

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

تفسیر برداشتهای لیتوژئوشیمیایی ثانویه و تلفیق آنها با مطالعات محیط

اولیه منطقه دالی شمالی به منظور هدایت حفاری

دانشجو

فرشاد دارابی گلستان

اساتید راهنما

دکتر رضا قوامی ریابی

دکتر رضا خالو کاکایی

استاد مشاور

دکتر هوشنگ اسدی هارونی

## دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/خانم فرشاد دارابی گلستان

تفسیر برداشتهای لیتوژئوشیمیایی ثانویه و تلفیق آنها با مطالعات محیط اولیه منطقه دالی شمالی به

منظور هدایت حفاری

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد

ارزیابی و با درجه .....مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر رضا قوامی ریابی
	نام و نام خانوادگی: دکتر رضا خالوکاکایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

و ہمسر مہربانم

## قدردانی

اول از همه، سپاس و تشکر ویژه خود را نثار می‌کنم به اساتید بزرگوارم، آقایان دکتر رضا قوامی ریابی و دکتر رضا خالو کاکائی، که پشتیبانی‌های علمی و معنوی ایشان قابل مبران نیست.

از جناب آقای دکتر اسدی هارونی که این داده‌ها را در اختیار اینجانب قرار دادند تشکر ویژه‌ای دارم.

در مراحل مختلف انجام این کار، از کمک‌های معنوی بسیاری از دوستان از جمله کیومرث سیف پناهی، میرمهدی سیدرمیمی، مهدی زارع، علی مسینی، رضا ثوابی، آرش مدادیان و زهره جنگروی بهره بردم و کمال تشکر را دارم.

## چکیده

این تحقیق بر روی منطقه کانی‌سازی شده Cu-Au دالی شمالی، در 200km جنوب غربی تهران و واقع در استان مرکزی انجام شده است. این مطالعات بر روی داده‌های حاصل از 165 نمونه‌ی خاک برجا برای 29 عنصر ( Au, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr ) و داده‌های حاصل از 435 نمونه از ترانسه بررسی و تفسیر گردید. برای داده‌های خاک از روشهای هندسه فراکتال، آماره فضایی U، تحلیل روند سطحی، آنالیز تطبیقی، آنالیز فاکتوری (PCA) و چند روش دیگر استفاده شده است. با استفاده از روشهای آنالیز تطبیقی عناصر آنومال و با استفاده از روشهای هندسه فرکتال و آمار فضایی U مناطق آنومال Cu-Au شناسایی گردیده است (طلای بیشتر از 500ppb و مس بیشتر از 1600ppm). آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای هم جهت شناسایی عناصر دارای وابستگی با کانی‌سازی (V, Ga, Fe, Ti, K, Mg و تاحدودی Pb, Zn) بکار گرفته شدند.

مطابق این بررسی یک آنومالی با ترکیب کوارتز دیوریت پورفیری و دیوریتی در سنگ‌های ولکانیکی با امتداد NE-SW شناسایی گردیده و وجود یک سیستم پورفیری مس غنی از طلا در دالی شمالی با مطالعات صورت گرفته (بررسی‌های ژئوفیزیکی، حفاری‌های اکتشافی و ترانسه‌ها) پیشین و حاضر تائید شد. نسبت  $\frac{Ba \times K}{Ca \times Zn}$  در ترانسه‌ها جهت شناسایی مناطق کانی‌سازی شده در سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری در ادامه فعالیت‌های اکتشافی بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: آنومالی، حد آستانه، هندسه فراکتال، آماره فضایی U، روند سطحی، آنالیز تطبیقی.

لیست مقالات استخراج شده از این پایان نامه:

F. Darabi Golestan, R. Ghavami- Riabi and H. Asadi-Haroni, 2011, "**Application of the correspondence analysis to determine anomalous elements and samples**", Goldschmidt Conference.

دارابی گلستان فرشاد، قوامی ریابی رضا، خالوکاکایی رضا، اسدی هارونی هوشنگ، "جدایش اثرات اپی ژنتیک از سین ژنتیک در شناسایی مناطق کانی سازی با استفاده از روش روند سطحی (Trend Surface) در اندیس Au-Cu پورفیری دالی شمالی بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی" چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، شهریور 1389، دانشگاه ارومیه.

دارابی گلستان فرشاد، خالوکاکایی رضا، قوامی ریابی رضا، اسدی هارونی هوشنگ، "تخمین آنومالی در اندیس Au-Cu پورفیری دالی شمالی و جدایش زمینه از آنومالی با استفاده از هندسه فراکتال" چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، شهریور 1389، دانشگاه ارومیه.

دارابی گلستان فرشاد، قوامی ریابی رضا، خالوکاکایی رضا "تعیین نوع آنومالی منطقه‌ای توسط آنالیز تطبیقی با تأیید آنالیز ویژگی"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، بهمن 1389، سازمان زمین‌شناسی ایران.

F. Darabi- golestan, R. Ghavami-Riabi, R. Khalokakaie, H. Asadi-Haroni, M. Seyedrahimi-Nyaragh., "**Interpretation of lithochemical and geophysical data to control the exploration activities**".

دارابی گلستان فرشاد، قوامی ریابی رضا، خالوکاکایی رضا، اسدی هارونی هوشنگ، "ارزیابی موقعیت نهشته Au-Cu پورفیری دالی شمالی با توجه به ژئوشیمی نمونه‌های خاک و نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی بمنظور ادامه عملیات اکتشافی" مجله زمین‌شناسی کاربردی.

## فهرست مطالب

### فصل اول (کلیات)

- 1-1 مقدمه ..... 2
- 2-1 منطقه مورد مطالعه ..... 3
- 3-1 پیشینه کارهای انجام شده در منطقه دالی ..... 4
- 4-1 ضرورت و اهداف انجام تحقیق ..... 7
- 5-1 سازمان‌دهی پایان نامه ..... 8

### فصل دوم (مطالعه نهشته‌های پورفیری Au-Cu و موقعیت مکانی آنها)

- 1-2 مقدمه ..... 11
- 2-2 موقعیت زمین‌شناسی قوس ماگماتیکی ارومیه-دختر ..... 11
- 3-2 زمین‌شناسی عمومی کانی‌سازی دالی ..... 14
- 5-2 جایگاه تکتونیکی ذخایر پورفیری و ماگماتیزم ..... ۱۷
- 6-2 کانسارهای مشابه در جهان ..... ۲۱

### فصل سوم (مطالعه نمونه‌های خاک در منطقه و تفسیر آنها)

- 1-3 مقدمه ..... 25
- 2-3 مقادیر زمینه و حدآستانه ..... 25
- 3-3 بررسی نمونه‌های خاک ..... 28
- 1-3-3 بررسی نمونه‌های خاک برای دو عنصر Au و Cu ..... 29
- 1-1-3-3 تحلیل‌های ساده آماری ..... 30
- 2-1-3-3 ارزیابی همگنی یا ناهمگنی توزیع Au-Cu در خاک و روند احتمالی کانی‌سازی ..... 32
- 3-1-3-3 تخمین شبکه ..... 36
- 4-1-3-3 هندسه فراکتال ..... 38
- 5-1-3-3 روش آماره فضایی U ..... 42
- 6-1-3-3 مقایسه نتایج روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U برای عناصر Au و Cu ..... 51
- 2-3-3 بررسی تغییرات غلظت سایر عناصر ..... 55
- 1-2-3-3 روش سطح روند ..... 61



65.....	2-2-3-3 هندسه فراکتال برای عناصر دیگر
69.....	3-2-3-3 بررسی آماره فضایی U برای عناصر دیگر
72.....	3-3-3 مقایسه نتایج حاصل از فراکتال و آماره فضایی U برای چند عنصر دیگر
73.....	4-3 نتیجه‌گیری

#### فصل چهارم (تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره)

75.....	1-4 مقدمه
75.....	2-4 آنالیز خوشه‌ای
77.....	3-4 آنالیز فاکتوری
84.....	4-4 آنالیز ویژگی
86.....	5-4 تجزیه و تحلیل تطبیقی
91.....	6-4 نتیجه‌گیری

#### فصل پنجم (مطالعه نمونه‌های ترانسه در منطقه و تفسیر آنها)

93.....	1-5 مقدمه
93.....	2-5 بررسی ترانسه‌ها در منطقه دالی شمالی
95.....	1-2-5 ترانسه TR04
100.....	3-2-5 ترانسه TR05
104.....	3-2-5 ترانسه TR06
108.....	4-2-5 ترانسه TR07
111.....	5-2-5 ترانسه TR3940
113.....	6-2-5 ترانسه TR 4080
115.....	3-5 نتایج کلی ترانسه‌ها

#### فصل ششم (نتیجه‌گیری و پیشنهادات)

118.....	1-6 نتیجه‌گیری
121.....	2-6 پیشنهادات

128..... منابع

**فصل هفتم (پیوست‌ها)**

136..... پیوست الف- اشکال مربوط به فصل سوم

153..... پیوست ب- اشکال مربوط به فصل پنجم

## فهرست شکل‌ها

- شکل (1-1): نقشه موقعیت منطقه دالی. .... 4
- شکل (2-1): نقشه لایه‌های اکتشافی آنومالیهای مغناطیسی و ژئوشیمیایی سطحی. .... 7
- شکل (1-2): مرزهای قوس آتشفشانی ارومیه- دختر ایران و نهشته‌های مس پورفیری مربوطه به آن ..... 13
- شکل (2-2): تصویر ماهواره‌ای استر منطقه دالی. .... 16
- شکل (3-2): جایگاه تکتونیکی ذخایر مس پورفیری و نهشته‌های اپی‌ترمال. .... 18
- شکل (2-4): ساختار همرفت اتاقک ماگمایی پوسته بالایی. .... 19
- شکل (2-5): گسترش قائم کانی زایی شدید طلا در نهشته پورفیری طلا- مس Skouries. .... 22
- شکل (3-1): توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی (A) و زمین (B) ..... 26
- شکل (3-2): نمونه شبکه‌برداری و نقشه پراکندگی نمونه‌های طلا در حالت اولیه ..... 29
- شکل (3-3): توزیع فراوانی همراه با نمودار تجمعی آن (A) برای Au ، (B) برای نرمال Au ..... 31
- شکل (3-4): توزیع فراوانی همراه با نمودار تجمعی آن (A) برای Cu ، (B) برای نرمال Cu ..... 32
- شکل (3-5): واریوگرام آزمون‌های مختلف کانسار برای عنصر Au ..... 35
- شکل (3-6): واریوگرام نرمال داده‌ها در جهت آزمون‌های 30 و 120 درجه برای عنصر Au و Cu ..... 35
- شکل (3-7): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Au ..... 37
- شکل (3-8): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Au بعد از Back Transformation ..... 37
- شکل (3-9): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Cu قبل (a) و بعد (b) از انتقال داده‌ها ..... 38
- شکل (3-10): نمودار فراکتال عیار- مساحت عنصر Au ..... 41
- شکل (3-11): نمودار فراکتال عیار- مساحت عنصر Cu ..... 41
- شکل (3-12): پنجره متحرک کروی با شعاع متغیر ..... 45
- شکل (3-13): توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Au (A) جامعه آنومالی، (B) جامعه زمین ..... 50
- شکل (3-14): توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Cu (A) جامعه آنومالی، (B) جامعه زمین ..... 51
- شکل (3-15): مناطق آنومال Au مشخص شده توسط روش فراکتالی و روش آماره U ..... 52
- شکل (3-16): مناطق آنومال Cu مشخص شده توسط روش فراکتالی و روش آماره U ..... 53
- شکل (3-17): نقشه آنومالی طلا در منطقه دالی شمالی ..... 54
- شکل (3-18): نقشه آنومالی مس در منطقه دالی شمالی ..... 54
- شکل (3-19): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عناصر Fe نسبت به مناطق آنومال طلا و مس ..... 56
- شکل (3-20): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عناصر Al نسبت به مناطق آنومال طلا و مس ..... 57
- شکل (3-21): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر La نسبت به مناطق آنومال طلا و مس ..... 57
- شکل (3-22): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Li نسبت به مناطق آنومال طلا و مس ..... 58
- شکل (3-23): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Na نسبت به مناطق آنومال طلا و مس ..... 58

- شکل (3-24): کانتور ترسیم شده برای شاخص  $\frac{Ce.La}{Na.Li}$  با عناصر نرمال شده.....60
- شکل (3-25): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عناصر Ca نسبت به مناطق آنومال طلا و مس.....60
- شکل (3-26): نقشه کانتوری نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Al)}{N(Na) \times N(Ca)}$ .....62
- شکل (3-27): نقشه کانتوری نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Mn)}{N(Na) \times N(Ca)}$ .....62
- شکل (3-28): نقشه‌های مقادیر زمینه و باقیمانده نسبت نرمالایز شده  $\frac{N(Fe) \times N(Al)}{N(Na) \times N(Ca)}$ .....63
- شکل (3-29): نقشه‌های مقادیر زمینه و باقیمانده نسبت نرمالایز شده  $\frac{N(Fe) \times N(Mn)}{N(Na) \times N(Ca)}$ .....64
- شکل (3-30): نتایج حاصل از تخمین عناصر %Fe، %Al، Mn(ppm)، %Ca، %Na و Ce(ppm).....66
- شکل (3-31): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Fe بر حسب %.....67
- شکل (3-32): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Al بر حسب %.....67
- شکل (3-33): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Mn بر حسب ppm.....68
- شکل (3-34): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Ca بر حسب %.....68
- شکل (3-35): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Na بر حسب %.....69
- شکل (3-36): توزیع مقادیر U عنصر Fe (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/53$ )، (B) جامعه زمینه.....70
- شکل (3-37): توزیع مقادیر U عنصر Mn (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/34$ )، (B) جامعه زمینه.....70
- شکل (3-38): توزیع مقادیر U عنصر Pb (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/295$ )، (B) جامعه زمینه.....71
- شکل (3-39): توزیع مقادیر U عنصر Zn (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/58$ )، (B) جامعه زمینه.....71
- شکل (3-40): مقایسه آنومالی Mn و Fe مشخص شده توسط روش فراکتالی با روش آماره U.....72
- 
- شکل (4-1): نمودار کلاستر عناصر.....76
- شکل (4-2): محدوده مشخص شده توسط فاکتور اول.....81
- شکل (4-3): محدوده مشخص شده توسط فاکتور دوم.....82
- شکل (4-4): محدوده مشخص شده توسط فاکتور سوم.....82
- شکل (4-5): محدوده مشخص شده توسط فاکتور چهارم.....83
- شکل (4-6): محدوده مشخص شده توسط فاکتور پنجم.....83
- شکل (4-7): نمودار پراکندگی متغیرها و نمونه‌ها در دستگاه مختصات فاکتوری.....90
- 
- شکل (5-1): موقعیت ترانسه‌های زده شده و پروفیل‌های IP/RS در منطقه دالی شمالی.....94
- شکل (5-2): شدت و نوع آلتراسیون در ترانسه TR04.....95
- شکل (5-3): تغییرات غلظت عناصر Cu، Au، Ba(ppm)، %K در طول ترانسه TR04.....97
- شکل (5-4): تغییرات غلظت عناصر V، Mn، Zn، ppm بر حسب %Fe در ترانسه TR04.....98
- شکل (5-5): تغییرات غلظت عناصر Ti، Ca، Mg، Na در طول ترانسه TR04.....98

- شکل (5-6): مقایسه تغییرات Ca-K و Ba-Zn در ترانسه TR04 ..... 99
- شکل (5-7): چگونگی تغییرات نسبت Ba/Zn و K/Ca ..... 99
- شکل (5-8): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, Fe, K در طول ترانسه TR05 ..... 102
- شکل (5-9): تغییرات غلظت عناصر Ba و Sr بر حسب ppm و Ti, Na بر حسب % در ترانسه TR05 ..... 103
- شکل (5-10): تغییرات غلظت عناصر Zn, Mn, V بر حسب ppm و Mg بر حسب % در ترانسه TR05 ..... 103
- شکل (5-11): مقایسه تغییرات غلظت عناصر K-Ca و Ba-Zn با هم در طول ترانسه TR05 ..... 104
- شکل (5-12): بررسی تغییرات نسبت های Ba/Zn و K/Ca در طول ترانسه TR05 ..... 104
- شکل (5-13): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Cr(ppm) در طول ترانسه TR06 ..... 106
- شکل (5-14): تغییرات غلظت عناصر Al%, P%, Ca%, Mn(ppm) در طول ترانسه TR06 ..... 106
- شکل (5-15): تغییرات غلظت عناصر Ba(ppm), V(ppm), Mg%, Zn (ppm) در طول ترانسه TR06 ..... 107
- شکل (5-16): بررسی چگونگی تغییرات نسبت های Ba/Zn و K/Ca در ترانسه TR06 ..... 107
- شکل (5-17): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Ca در طول ترانسه TR07 ..... 109
- شکل (5-18): تغییرات غلظت عناصر Na, Mn, Mg, Ti در طول ترانسه TR07 ..... 109
- شکل (5-19): تغییرات غلظت عناصر Zn, V, Fe, Ba در طول ترانسه TR07 ..... 110
- شکل (5-20): بررسی چگونگی تغییرات نسبت های Ba/Zn و K/Ca در ترانسه TR07 ..... 110
- شکل (5-21): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Na در طول ترانسه TR3940 ..... 112
- شکل (5-22): تغییرات غلظت عناصر Sr(ppm), Fe, Al, Mg در طول ترانسه TR3940 ..... 112
- شکل (5-23): تغییرات غلظت عناصر Ca, Cr(ppm), Ba(ppm), Ti در طول ترانسه TR3940 ..... 113
- شکل (5-24): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, Fe, K در طول ترانسه TR4080 ..... 114
- شکل (5-25): تغییرات غلظت عناصر Ti, Ca, Cr, Na در طول ترانسه TR4080 ..... 114
- 
- شکل (6-1): روند تغییرات Au و Cu در ترانسه TR07 و نسبت های Ba/Zn و K/Ca ..... 119
- شکل (6-2): روند تغییرات Au و Cu در ترانسه TR06 و نسبت های Ba/Zn و K/Ca ..... 119
- شکل (6-3): موقعیت آنومالی های مغناطیسی در منطقه دالی شمالی ..... 120
- شکل (6-4): ترانسه پیشنهاد شده برای بدست آوردن نتایج بیشتر جهت حفاری گمانه مناسب ..... 122
- شکل (6-5): مدل شارژپذیری و مقاومت ظاهری پروفیل IP04 به همراه مقطع عرضی زمین شناسی ..... 124
- شکل (6-6): مقطع عرضی در امتداد آزمون چاه DDH04، شارژپذیری ظاهری پروفیل IP06 ..... 124
- شکل (6-7): موقعیت پروفیل های IP و گمانه های DDH09، DDH10 و DDH11' ..... 125
- شکل (6-8): موقعیت گمانه های DDH09، DDH10 و DDH11 در منطقه دالی شمالی ..... 126

## فهرست جداول

- جدول 1-1 ارزیابی نتایج از گمانه‌های حفاری DDH03 و DDH04.....5
- جدول 4-1 مقادیر ویژه به همراه نمودار صخره‌ای فاکتورها .....78
- جدول 4-2 ماتریس اجزاء پنج فاکتور استخراج شده .....79
- جدول 4-3 ترتیب نمونه‌های آنومال .....85
- جدول 4-4 داده‌های اولیه و مجموع سطر و ستون‌ها (NS معرف مقدار نرمالایز متغییر است) .....87
- جدول 4-5 ماتریس F .....89
- جدول 5-1 عیارهای طلا و مس در طول ترانشه‌های موجود در دالی شمالی .....94
- جدول 5-2 خلاصه‌ای از عکس‌العمل ژئوشیمیایی عناصر در برابر کانی‌سازی .....115
- جدول 6-1 خصوصیات ژئومتری ترانشه پیشنهاد شده در منطقه دالی شمالی .....126
- جدول 6-2 خصوصیات ژئومتری سه چاه حفاری پیشنهادی در منطقه دالی شمالی .....127
- جدول 6-3 خصوصیات ژئومتری سه چاه حفاری پیشنهادی با مطالعات پیشین در منطقه .....127

فصل اول

کلیات

## 1-1 مقدمه

روش‌های مختلف ژئوشیمیایی، آماری و زمین‌آماری در مباحث اکتشافی با این هدف صورت می‌گیرد که بهتر بتوان بر پایه مبانی علمی ناهنجاری، با ارزش اکتشافی را مشخص نمود. پایه و پیش‌نیاز محاسبات ژئوشیمیایی و زمین‌آماری برداشت نمونه‌هایی است که باید داده‌های خام اولیه را به صورت غلظت‌هایی برای عناصر تامین نمایند. برای این منظور به ارزیابی اختصاصات ژئوشیمیایی منطقه ناهنجر کانی‌سازی Cu-Au پرداخته شده است که در این راستا در منطقه مورد مطالعه (دالی شمالی) 165 نمونه خاک و 435 نمونه ترانسه‌ای برداشت شده و دو گمانه حفر شده‌است. در این رساله بر روی نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده از خاک و ترانسه تحلیل‌های مختلف ژئوشیمیایی صورت گرفته است و عناصر دارای وابستگی بالا با کانی‌سازی در اطراف نهشته، هاله‌هایی را ایجاد می‌کنند که اکتشاف ماده معدنی را آسانتر می‌سازند. به منظور تفسیر هاله مذکور، تغییرات آلتراسیونی، کانی‌شناسی و نوع سنگ نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا بهتر بتوان به تحلیل و شناسایی مناطق آنومال پرداخت. از روش‌های متفاوتی برای جدایش آنومالی (یا آنومالی‌ها) و تعیین محدوده‌های امید بخش کمک گرفته شده است از جمله آنها روش‌های هندسه فراکتال، آماره فضایی U، روش سطح روند، آنالیز تطبیقی و آنالیز فاکتوری می‌باشند.

لازم به ذکر است که علاوه بر این عملیات و قبل از حفاری‌ها اطلاعات پیمایش مغناطیس هوایی و سه پروفیل ژئوالکتریک (IP/RS) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف کلیه این عملیات ارزیابی علمی اختصاصات ناهنجاری Au-Cu بوده است. از نتایج این اطلاعات اکتشافی نیز کمک گرفته شده است تا بهتر بتوان به ارزیابی مکان‌های مناسب برای هدایت حفاری‌های اکتشافی بعدی پرداخت.

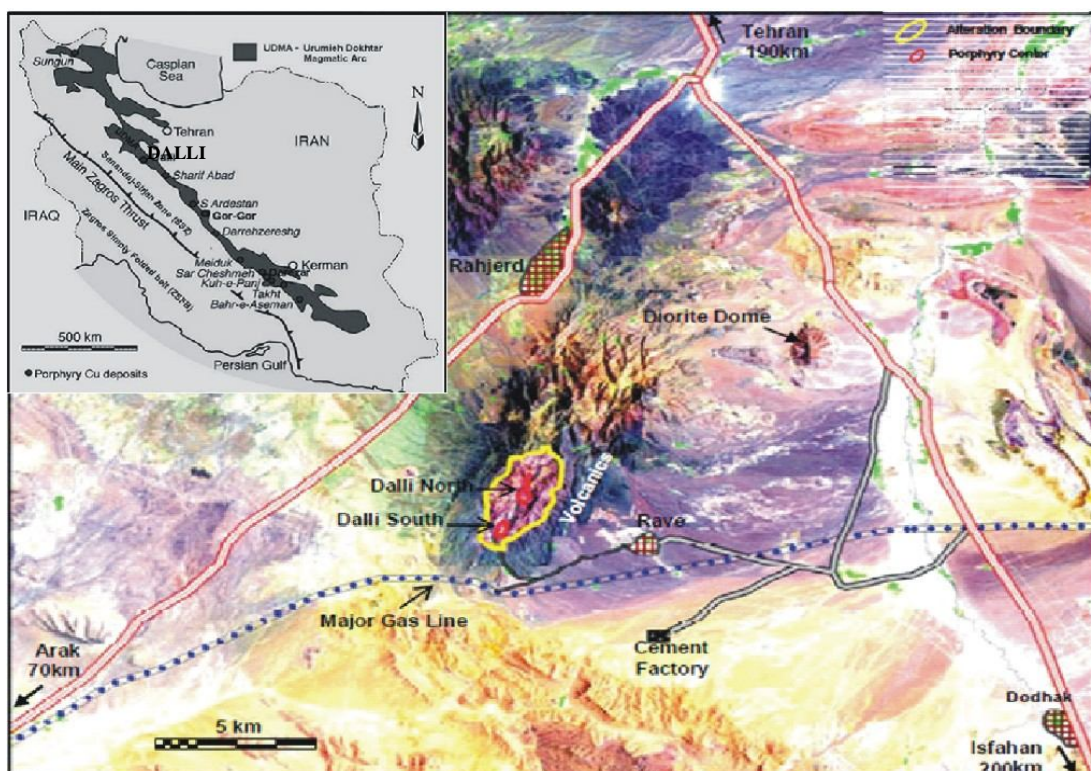


## 2-1 معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه دالی در استان مرکزی (70 کیلومتری اراک) و در نزدیکی تقاطع جاده اراک با بزرگراه تهران - اصفهان واقع شده است. این منطقه دارای طول جغرافیایی  $50^{\circ} 19' E$  و عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 16' N$  می باشد. خطوط اصلی شرکت گاز ایران از 15 کیلومتری جنوب دالی می گذرد (Asadi Haroni H., 2008). شکل 1-1 موقعیت دالی، جاده های دسترسی و خطوط لوله گاز ملی ایران که از منطقه عبور کرده است را نشان می دهد. راه در حدود 50 کیلومتری NNW دلیجان واقع گردیده و با جمعیتی نزدیک به هزار نفر نزدیکترین روستا به منطقه دالی می باشد که در شرق آن واقع شده است.

بر اساس مطالعات اکتشافی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه کانی سازی دالی از نوع مس پورفیری غنی از طلا ارزیابی گردید و تا کنون تنها نهشته Cu-Au پورفیری گزارش شده در کمربند ولکانیکی ارومیه - دختر می باشد که عمده معادن مهم ایران بر روی این کمربند واقع شده اند. کانی سازی در منطقه دالی مرتبط با سنگ های نفوذی دیوریتی، تونالیتی و گرانودیوریتی با روند شمال شرقی - جنوب غربی می باشد که به درون سنگ های آندزیتی آتشفشانی و پیروکلاست ها با دگرسانی پروپلیتیک عهد پالئوژن نفوذ کرده است.

منطقه دالی به دو تپه دالی شمالی و جنوبی تفکیک شده است، کانی سازی پورفیری دالی شمالی در کوارتز دیوریت ها به وجود آمده است. این منطقه دارای مساحت بیش از  $300m \times 400m$  بوده و آلتراسیون کلریت - سریسیت - مگنتیت تا پتاسیک، که توسط آلتراسیون پروپلیتیک (حاوی اپیدوت و کلریت) احاطه شده است در منطقه مشاهده می گردد. مطالعات این پایان نامه بر روی دالی شمالی متمرکز گردیده است که به بررسی آنومالی های ژئوشیمیایی موجود در خاکها و اختصاصات ژئوشیمیایی ترانشه های اکتشافی منطقه می پردازد.



شکل (1-1): نقشه موقعیت منطقه دالی (Asadi Haroni H., 2008).

### 3-1 پیشینه کارهای انجام شده در منطقه دالی

برای اولین بار شرکت ریو تینتو<sup>1</sup> کانی سازی در منطقه را شناسایی نمود اما بنا به دلایلی از ادامه کار باز ماند. در ادامه، این پروژه توسط شرکت درسا پردازه ادامه یافت و در سال 2004 نام دالی را بر روی منطقه نهادند. در اواخر سال 2006 از روی نقشه زون های آلتراسیونی که از تصاویر ماهواره ای نقشه زمین شناسی سلفچگان - خوره<sup>2</sup> با مقیاس 1:100000 بدست آمد منطقه مورد توجه قرار گرفت. در ادامه با بازدید و نمونه برداری از منطقه ای به مساحت در حدود 2/5Km×5Km، آنومالی های اکسیدی رسی-آهنی شناسایی گردید. در سال 2007، شرکت پرشین گلد<sup>3</sup> از انجام برنامه اکتشافی اجرایی، 70% رضایت را

1 - Rio Tinto  
2 - Salafchegan-Khorhe  
3 - Persian Gold

بدست آورد و در ادامه، شرکت ریو تینتو (که دوباره به کار برگشته بود) عملیات نمونه برداری از سنگ و خاک، نقشه زمین‌شناسی و پیمایش مغناطیسی را انجام داد. برداشت 165 نمونه از خاک با شبکه‌ای به مساحت 900m×800m در منطقه دالی شمالی انجام شده است. روش مورد استفاده جهت آنالیز و اندازه‌گیری غلظت نمونه‌ها ICP-MS بوده است و در این روش می‌توان به آسانی غلظت‌های بالا را اندازه گرفت لذا برای غلظت‌های بالا نیازی به جایگذاری نبوده است. در خصوص داده‌های زیر حد قابل ثبت، نصف حد قابل ثبت را جایگزین نموده‌اند. در این نمونه‌ها مقادیر Au از 800 تا 2867ppb (در استوک و سنگ دیواره مجاور و سنگ‌های دامنه کوه) و مقادیر مس هم از 860ppm تا 5400ppm تغییر می‌کند.

نتایج بدست آمده از عملیات نمونه‌برداری از سنگ و خاک و پیمایش مغناطیسی (توسط Rio Tinto) منجر به حفر 4 گمانه در منطقه دالی گردید. گمانه‌های 1 و 2 در دالی جنوبی، کانی زایی Au-Cu با شدت قویتری را قطع کردند و گمانه‌های 3 و 4 در دالی شمالی نهشته‌ای با اندازه بزرگتر از دالی جنوبی را قطع کرد که نسبتاً عیار را مس در حد پایینی نشان داد که نتایج و عیارهای Au و Cu در جدول 1-2 آورده شده است از این گمانه‌ها (مرحله اول حفاری) جهت تهیه طرح اکتشافی مرحله دوم حفاری در دالی استفاده شد.

جدول 1-1 ارزیابی نتایج از گمانه‌های حفاری DDH03 و DDH04 (Asadi Haroni., 2008).

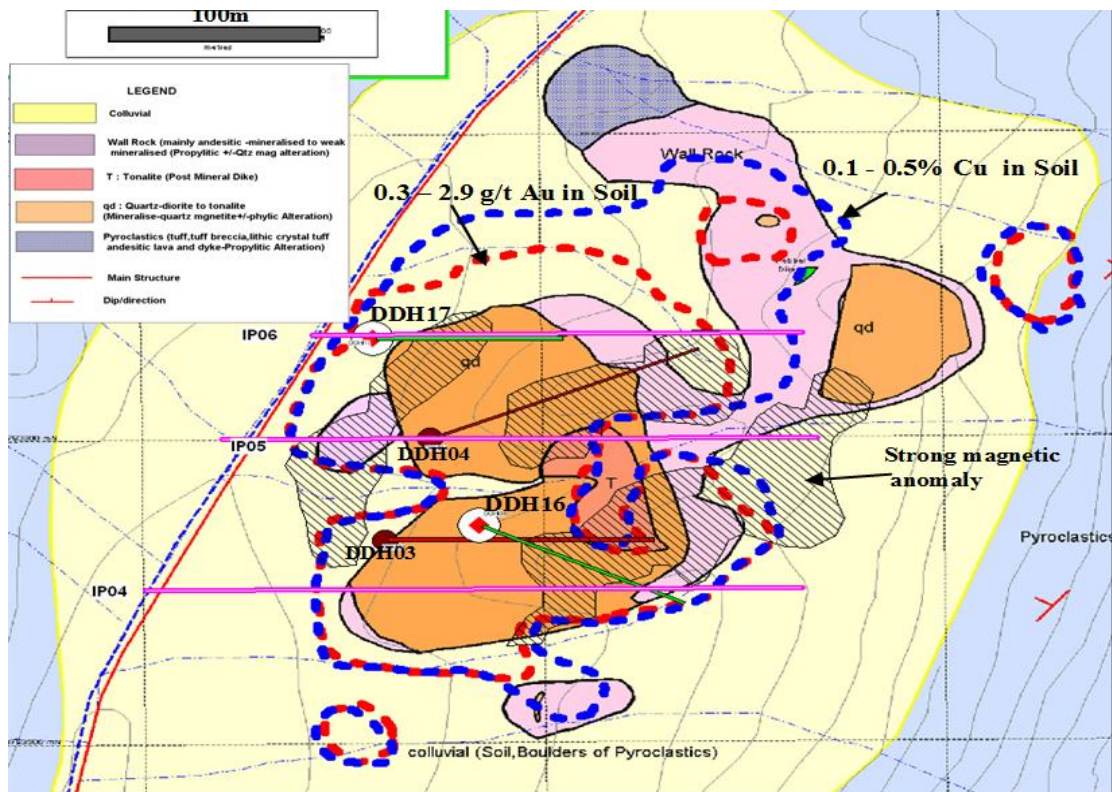
شماره چاه	عمق گمانه (m)	فاصله (m)	Au	Cu
DDH03	0-233 متر	233	0/52 g/t	%0/12
DDH04	0-316 متر	316	0/43 g/t	%0/15

این نتایج گویای پیوستگی جانبی از کانی‌زایی در بین گمانه‌های 3 و 4 منطقه دالی شمالی بوده و وجود یک سیستم مس پورفیری غنی از طلا را در منطقه دالی شمالی محتمل می‌دانست به همین دلیل تصمیم به انجام حفاری‌های بیشتر در مرحله دوم گرفته شد. این فعالیت‌های اکتشافی در طول مرحله دوم حفاری در دالی شامل موارد زیر است:

- تعداد 193 نمونه برداری از ترانشه‌های در امتداد آزمون *DDH03* و *DDH04* و آنالیز نمونه‌ها.
- اجرای پیمایش IP/RS در دالی شمالی به صورت پروفیل‌هایی در مقاطع مختلف.
- نقشه برداری زمین‌شناسی و توپوگرافی در مقیاس 1:5000 در دالی شمالی و مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نمونه‌های حاصل از مغزه.
- بررسی متالورژیکی نمونه‌های توده‌ای.

مجموعه عملیات ژئوفیزیکی در منطقه کمک شایانی به طراحی مکان حفاری‌های مرحله دوم خواهد نمود. برای این منظور پیمایش IP/RS سطحی در هر دو منطقه دالی شمالی و جنوبی انجام گردید. این بررسی 6 پروفیل با طول کلی 2/64Km را شامل می‌شود (یا تعداد کلی 800 داده نقطه‌ای) که برخی از آنها در ادامه اشاره شده است. با توجه به اینکه تفسیر این عملیات جزء این پایان نامه نمی‌باشد صرفاً اشاره‌ای به برخی نتایج بدست آمده می‌شود و از آنها در نهایت جهت ارائه موقعیت حفاری‌های پیشنهادی استفاده خواهد شد.

شکل 2-3 نقشه زمین‌شناسی با مقیاس 1:500 را نشان می‌دهد که بر روی آن آنومالی طلا (gr/ton) 2/89 - 0/3 با خط تراز مشخص شده) و مس (0/5% - 0/1% با خط تراز مشخص شده) در خاک و آنومالی‌های خیلی قوی مگنتیتی مشخص شده است.



شکل (1-2): نقشه لایه‌های اکتشافی آنومالی‌های مغناطیسی و ژئوشیمیایی سطحی، مرزهای واحدهای سنگی و همچنین پروفیل IP/RS، IP04 تا IP06) در دالی شمالی (Asadi Haroni., 2008).

#### 4-1- ضرورت و اهداف انجام تحقیق

با توجه به نوع نهشته موجود در منطقه دالی شمالی و نادر بودن آن در ایران، انجام مطالعات بیشتر اکتشافی را ایجاب می‌کند. ضرورت تکمیل مطالعات ژئوشیمیایی به منظور ارزیابی مناطق آنومال و هدایت حفاری‌ها بر اساس تلفیق اطلاعات اکتشافی (زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی) به منظور کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و حفاری یکی دیگر از ضرورت‌های این تحقیق است.

در اکتشافات ژئوشیمیایی به روش لیتوژئوشیمیایی تغییرپذیری دارای دو مؤلفه اساسی است که عبارتند از: 1- مؤلفه سین‌ژنتیک که مربوط به سنگ‌زایی است. 2- مؤلفه اپی‌ژنتیک که در ارتباط با فرآیندهای کانی‌سازی است و به عنوان مؤلفه مفید اکتشافی شناخته شده است. در این رساله ما به

مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف تفکیک آنومالی (فراکتال، آماره فضایی U، سطح روند)، آنالیز تطبیقی، آنالیز فاکتوری، کلاستر، ویژگی و بررسی اطلاعات سطحی نمونه‌های خاک و ترانسه‌ها سعی نموده‌ایم تا مناطق آنومالی را که توسط هر روش مشخص گردیده، تعیین نموده و اختصاصات ژئوشیمیایی مناطق با پتانسیل را به منظور هدایت حفاری‌ها و با شرایط زمین‌شناسی منطقه انطباق دهیم. این تفاسیر دید کاملتری را نسبت به منطقه ایجاد نموده و در هدایت عملیات پرهزینه حفاری ما را یاری می‌نمایند.

## 5-1 سازمان دهی پایان نامه

به منظور دستیابی به اهداف یاد شده، رساله حاضر در شش فصل تنظیم گردیده است. این فصول حاوی مطالب زیر می‌باشند:

1- فصل اول کلیاتی در مورد تحقیق، معرفی منطقه، کارهای انجام شده در منطقه، ضرورت و اهداف انجام تحقیق را در بر می‌گیرد.

2- فصل دوم شامل مطالعه اختصاصات نهشته‌های پورفیری Cu-Au موقعیت تکتونیکی تشکیل آنها، کانی‌سازی و زمین‌شناسی منطقه‌ای و محلی دالی و موقعیت قرارگیری معادن مشابه در ایران و سایر نقاط جهان را توضیح می‌دهد.

3- فصل سوم به تفسیر هاله‌های پراکندگی نمونه‌های برداشت شده از خاک در منطقه دالی شمالی پرداخته و با یک تخمین مناسب و اعمال روش فراکتال بر روی داده‌های حاصل از تخمین، مقدار حد آستانه عناصر مختلف تعیین و توسط روش آماره فضایی U تأیید می‌گردد. در ادامه شاخص‌هایی جهت نزدیک شدگی به آنومالی معرفی و بر روی چند نسبت عنصری، روش سطح روند استفاده شده است.

4- در فصل چهارم برخی از روش‌های آمار چند متغیره مانند آنالیز فاکتوری، آنالیز خوشه‌ای، آنالیز ویژگی و آنالیز تطبیقی تشریح و بر روی داده‌ها اعمال گردیده است و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده‌اند و عناصر عمده موثر در کانی‌سازی مشخص گردیده‌اند.

5- در فصل پنجم ترانسه‌های موجود در منطقه دالی شمالی به لحاظ لیتوژئوشیمیایی مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته و نسبت‌هایی هم برای محیط لیتوژئوشیمیایی بدست آمده که متناسب با روند تغییرات Au و Cu می‌باشد.

6- در فصل ششم نتایج حاصل از این رساله و پیشنهادات لازم جهت ادامه حفاری‌ها ارائه گردیده است و در انتها منابع معرفی شده‌اند.

فصل دوم

زمین‌شناسی منطقه



## 1-2 مقدمه

امروزه معادن با صرفه اقتصادی و بخصوص طلا و مس، با توجه به نیاز روز و تکنولوژی جدید اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر در ایران از نظر کانی‌سازی جزء مناطق پتانسیل بالا محسوب می‌گردد که معادن عمده‌ای در آن دیده می‌شود. منطقه دالی اولین اندیس پورفیری Au در ایران می‌باشد که با توجه به ارزش اقتصادی بالای آن مطالعات اکتشافی بیشتری را نیاز دارد. در این فصل موقعیت زمین‌شناسی منطقه دالی و کارهای انجام شده در منطقه جهت تکمیل تفاسیر و کارهای انجام شده در این رساله و چگونگی تشکیل اینگونه پتانسیل‌های معدنی تشریح می‌گردد.

## 2-2 موقعیت زمین‌شناسی قوس ماگماتیکی ارومیه-دختر<sup>1</sup> (UDMA)

یک ایالت شناخته شده برای نهشته‌های Au-Cu پورفیری، کوهزایی تبت- هیمالیا در حوزه متالوژنی تبت غربی می‌باشد که نهشته‌های فراوانی در تبت و آسیای غربی بوجود آورده است (Hou et al., 2009). ذخایر مهم مس - طلای پورفیری ایران مرتبط با استوک‌های کالک آلکان در کمربند آتشفشانی - نفوذی سه‌پند - بزمان (بخشی از کمربند ولکانیکی ارومیه-دختر شکل 1-2) می‌باشند (Stocklin., 1974; Hezarkhani, 2006a,b; Zarasvandi et al., 2007). این کمربند اولین بار توسط اشتوکلین و ستوده‌نیا<sup>2</sup> در سال 1972 معرفی شد و شامل سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی آلکان و کالک - آلکان تیپ I بوده که در ارتباط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی طی کوهزایی آلی است (Pourhosseini., 1981). این ذخایر چنانچه در مناطق فرورانش جزایر قوسی تشکیل شوند می‌توانند در سیستم پورفیری Cu-Mo بوده و چنانچه در منطقه فرورانش حاشیه قاره‌ای قرار گیرند یک سیستم Cu-

---

1 - Urimieh Dokhtar Magmatic Arc

2 - Stöcklin and Setudenia

Au پورفیری را تشکیل می‌دهند و هر دو ذخیره همراه با فرورانش صفحات اقیانوسی بوجود می‌آیند (Cooke et al., 2007). نهشته‌های پورفیری Cu-Au دارای مقدار بالایی مگنتیت در زون دگرسانی پتاسیک، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و یک همپوشانی مناسب نسبت به سیستم Cu-Mo می‌باشد (Qu et al., 2009; Hou et al., 2009; Yang et al., 2009). بطور کلی نهشته‌های Au-Cu پورفیری همراه با نفوذی‌های ساب‌ولکانیکی اکسیدی نوع I (سری مگنتیتی) می‌باشند (Cooke et al., 2007). مذاب‌های حاصل از صفحه فرورونده نقش مهمی در ماگماتیسم محیط‌های قوسی در چند کمر بند مهم کوهزایی دنیا داشته‌اند (Sajona et al., 2000; Xiaoming et al., 2004). ارتباط زایشی مهمی بین ذخایر مس - طلای پورفیری واقع در زون تصادم و ماگماتیسم آداکیتی از نظر ژئوشیمیایی وجود دارد (Defant and Drummond., 1990; Gao et al., 2003; Hou et al., 2004). آداکیت یک واژه پترولوژی است که برای سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی غنی از سیلیکا با نسبت بالای La/Yb و Sr/Y در قوس‌های سنوزوئیک مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی جدید ( $Ma \geq 25$ ) ارائه شده است (Gao et al., 2003; Wang et al., 2009; Shafiei et al., 2009; Jahangiri., 2007; Hezarkhani., 2006b; 2004a,b.). از آنجا که چنین سنگ‌هایی در جزیره آداک در اقیانوس آرام مشاهده شده‌اند، آداکیت<sup>1</sup> نام گرفته‌اند.

در ایران ماگماتیسم آداکیتی اولین بار در استوک پورفیری خاروانا معرفی شد. ویژگی‌های ژئوشیمیایی این پورفیری  $Sr/Y < 40$  و  $Sr > 380ppm$ ،  $Y < 13ppm$ ،  $Yb < 1.4ppm$ ،  $MgO < 3\%$ ،  $Al_2O_3 > 14.5\%wt$  می‌باشد که قابل مقایسه با سری‌های آداکیتی است (Defant and Drummond., 1990). زون‌های غنی از مس، طلا، نقره، آنتیموان، آرسنیک و بیسموت در این منطقه شناخته شده است. گرایش آداکیتی نهشته‌های پورفیری سرچشمه، سونگون و تعدادی از نهشته‌های پورفیری نیمه اقتصادی در نمودارهای Sr/Y-Y این مناطق اثبات شده است (Hou et al., 2009).



شکل (2-1): مرزهای قوس آتشفشانی ارومیه- دختر (UDMA) ایران و نهشته‌های مس پورفیری مربوطه به آن در ایران (Asadi Haroni H., 2008).

قوس ماگمایی ارومیه- دختر (UDMA) یک قوس ماگمایی خطی را شامل می‌شود که بالغ بر 1700Km از آتشفشان سهند در شمال غرب تا آتشفشان بزمان در جنوب شرق ایران را در بر می‌گیرد. سنگ‌های آذرین دیوریت، گرانودیوریت و گرانیتوئیدها به سن میوسن در UDMA به وفور یافت می‌شوند. سنگ‌های ولکانیکی شامل آندزیت، داسیت و پیروکلاست‌های به سن الیگومیوسن می‌باشند. ریچارد<sup>1</sup> (2003) استدلال کرد که سنگ‌های گرانیتوئیدی عهد سنوزوئیک UDMA از سری‌های ماگمایی کالک‌آلکالن تا آلکالن بوده، با این حال ماگماتیسم توده‌ای ائوسن- میوسن دارای ویژگی کالک‌آلکالن متوسط تا بالا می‌باشد. بر اساس ترکیبات عناصر ردیاب از ماگماتیسم سنوزوئیک، ریچارد (2003) یک

<sup>1</sup> - Richard

منشاء فرورانشی را برای این منطقه ارائه داد و شواهد سنی، تکتونوماگمایی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که مذاب‌های حاصل از فرورانش بطور نسبی در تشکیل نهشته‌های پورفیری ایران در کمربند آتشفشانی - نفوذی سهند- بزمان نقش داشته است. مس- طلای پورفیری دالی در سنگ‌های کالک آلکالن و سنگ‌های ساب‌ولکانیکی در قوس ماگماتیکی ارومیه- دختر (UDMA) که با ماگماتیسم نئوتیتیس در ایران مرکزی همراه بوده جایگزین گردیده است در شکل 2-1 موقعیت منطقه دالی و معادن مهم بر روی این کمربند نشان داده شده است (Asadi Haroni, 2008).

### 3-2 زمین‌شناسی عمومی منطقه کانی‌سازی دالی

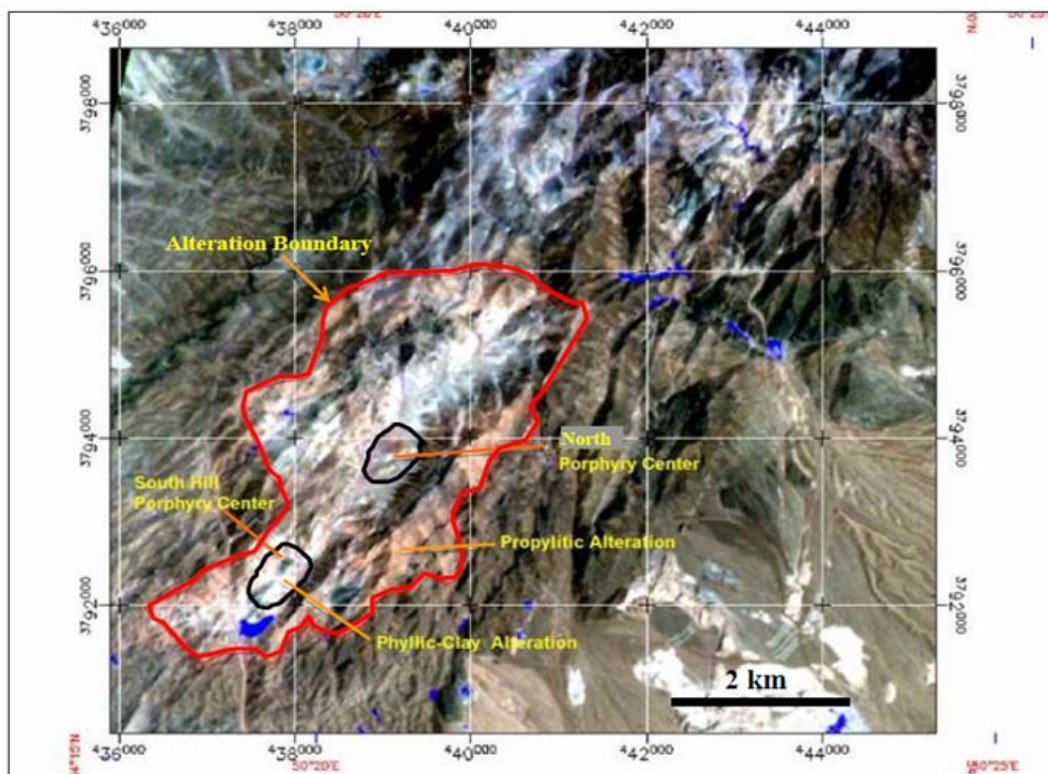
کانی‌سازی Au-Cu پورفیری در دو محدوده تپه دالی جنوبی و شمالی که به فاصله 1/7km از یکدیگر با روند شمال‌شرقی قرار دارند منطقه کانی‌سازی شده دالی جنوبی و دالی شمالی در شکل 2-2 آمده است. توپوگرافی نرم تا صاف در کف دره به صورت تدریجی به زمین شیب‌داری در دامنه دره می‌رسد. ارتفاع در کف دره از 1950 تا 2210 متر بالای کف دریا تغییر می‌کند. منطقه عموماً بیابانی تا نیمه کوهستانی به همراه باغات میوه در جنوب منطقه می‌باشد. سنگ‌های منطقه در تپه دالی شمالی از هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت تا هورنبلند بیوتیت دیوریت در تپه دالی جنوبی تغییر می‌کند. زمین‌شناسی منطقه گویای آن است که چینه‌های آتشفشانی میوسن پسین و رخنمون سنگ‌های آتشفشانی (آمفیبول آندزیت پورفیری، داسیت) و پیروکلاستیک‌ها در راستای NE-SW در طول بیشتر از 30Km تشکیل گردیده است.

عمدتاً محدوده اندیس دالی شامل سنگ‌های آذرین درونی دیوریت الیگومیوسن و ولکانیکی آندزیتی ائوسن بوده که تحت تأثیر محلول‌های هیدروترمال دچار دگرسانی‌های نوع پتاسیک، پروپلیتیک، سیلیسی و بطور محلی فیلیک شده‌اند. آلتراسیون‌ها در اندیس دالی منطقه‌ای به مساحت 3 در 6/5 کیلومتر را

پوشش می‌دهند این محدوده در خارج از آلتراسیون پروپلیتیک و با خط پرننگ مشخص است که وسیع‌ترین زون آلتراسیونی می‌باشد (شکل 2-2). کانی‌سازی مس و طلا در رابطه با آلتراسیون‌های پتاسیک (در سنگ‌های QDP) و سیلیسی (در سنگ‌های دیوریت و کنتاکت آن با آندزیت) می‌باشد. کانی‌سازی مس اساساً همراه با آلتراسیون پتاسیک و به مقدار کمتر با آلتراسیون سرسیت همراه می‌باشد (Hezarkhani et al., 1999). حضور مس در نقشه‌های منطقه همراه با آلتراسیون کلریت و اپیدوت و سرسیت و در سنگ‌های آتشفشانی میوسن-پلیوسن ملاحظه گردید. در تصاویر آستر آثار آلتراسیون پروپلیتیک و سیلیسی شدن نمایان می‌باشد. چندین استوک فلدسپار و گرانودیوریت پورفیری بصورت کمربندی به طول 3Km در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی نفوذ کرده که همراه با چندین محدوده کانی‌زایی مس پورفیری بوده است.

دالی جنوبی با شکل مخروطی به مساحت بالغ بر  $190 \times 225$  مترمربع می‌باشد آلتراسیون شدید پتاسیک (فلدسپات آلکالن - بیوتیت ثانویه) در مرکز پورفیری توسط آلتراسیون فیلیک (کوارتز - سرسیت - اسپکیولاریت  $\pm$  کلریت) همراه با رگچه/استوک‌ورک کوارتز - مگنتیت چند مرحله‌ای پوشش داده می‌شود و آلتراسیون پروپلیتیک گسترده آنها را احاطه می‌کند که موقعیت منطقه دگرسان شده در شکل 2-2 نشان داده شده است هر آلتراسیون دارای ویژگی‌های مخصوصی می‌باشد مثلاً میزان کانی‌مگنتیت در زون پتاسیک به بالاتر از 5% می‌رسد در حالی که اگر اسپکیولاریت در زون فیلیک رایج باشد به بالاتر از 10% می‌رسد (Asadi Haroni., 2008).

دانسپته رگه/استوک‌ورک حاوی کوارتز، مگنتیت و اکسیدهای آهن به 10 تا بیشتر از 50 در هر متر می‌رسد. بعضی رگه‌ها به حالت صفحه‌ای (بسیار ذوب شده) با پهنای  $2/5$  تا 4 متر یا بیشتر می‌باشند و چگالی رگه‌ها در دالی شمالی از دالی جنوبی کمتر می‌باشد. کانی‌مالاکیت لکه دار در منطقه رایج است و مقدار آن به بیش از 3% هم می‌رسد (Asadi Haroni, 2008).



شکل (2-2): تصویر ماهواره‌ای استر (VNIR123) منطقه دالی که مراکز پورفیری (دالی جنوبی و دالی شمالی) و زون‌های آلتراسیونی را نشان می‌دهد (Asadi Haroni., 2008).

بطور کلی کانی‌زایی (Au-Cu(Mo) در رگه‌های کوارتزی به صورت استوک‌ورکی یا رگه‌های صفحه‌ای همراه با دگرسانی پتاسیک می‌باشد. مناطق کوارتز استوک‌ورکی حاوی مگنتیت فراوان می‌باشد. کانه‌های اصلی شامل طلا- بورنیت- کالکوپیریت (مولیبدنیت) می‌باشد. هسته غنی از Au-Cu (با برنیت یا کلکوپیریت فراوان) همراه با هاله پیریت و در اطراف آن مولیبدن جایجا شده تمرکز می‌یابد (در برخی از ذخایر برنیتی یک منطقه حلقوی کالکوپیریتی وجود دارد). کانی‌های باطله شامل کوارتز، ارتوکلاز، مگنتیت، انیدریت ± آلبیت ± بیوتیت ± اکتینولیت ± اپیدوت ± هماتیت ± سرسیت ± پیریت می‌باشد (Wilson et al., 2002). علاوه بر این دو نهشته، در 600 متری شمال دالی شمالی منطقه‌ای به مساحت 80m×180m، چندین توده گرانودیوریتی کوچک دیگر حاوی طلا با مس پایین از سنگ‌های دیوریتی حاوی بیوتیت، هورنبلند و سنگ‌های آتشفشانی که تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته شده است

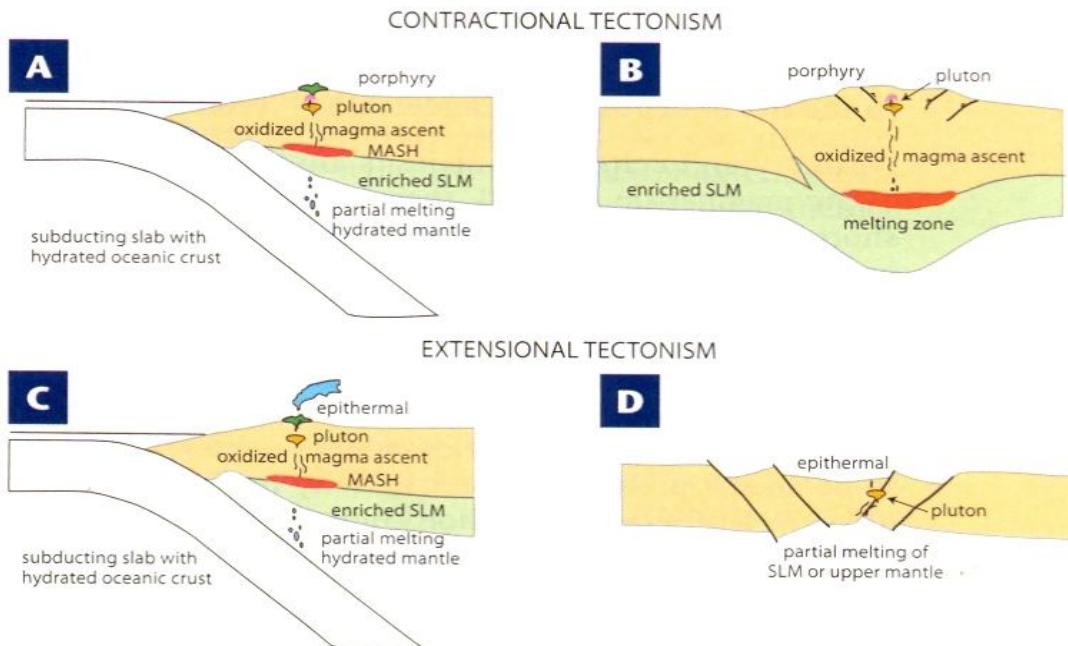
(Asadi Haroni., 2008). رخنمون‌های اصلی در دالی شمالی شامل دو تپه کوچک می‌باشد که مساحتی بالغ بر 200m×400m را پوشش می‌دهد. توده‌های نفوذی در دالی شمالی اسیدی‌تر از دالی جنوبی می‌باشند. نهشته پورفیری به وسیله رگه‌های کوارتز و کوارتز مگنتیت، استوکورکی شده است. وجود اثراتی از مالاکیت در طول شکستگی‌های ریز و رگچه‌های کوارتز قابل توجه می‌باشد.

## 4-2 جایگاه تکتونیکی ذخایر پورفیری و ماگماتیزم

دو هدف اساسی مطالعه در مورد نهشته شدن کانی‌ها، شناسایی منشاء فلز و چگونگی فرایندهای تحرک، انتقال و نهشته شدن فلزات می‌باشد (Weiqiang et al., 2010). تشکیل نهشته‌های مس پورفیری طلادار به لحاظ تکتونیکی بیشتر محدود به مناطق صفحات همگرا بوده و نهشته‌های فلزات قیمتی اپی‌ترمال در مناطق همگرای کششی و ریفیتی معمولاً یافت می‌شوند (شکل 2-4، C و D). هر دو این نهشته‌ها می‌توانند از ماگمایی (حامل فلزات) که از گوشته منشاء گرفته باشند. تفریق ماگمایی و جریان‌های همرفتی منجر به خروج و آزادسازی مواد فراری که در بالای اتاق ماگمایی تجمع می‌یابند می‌گردد. آزاد سازی سیالات هیدروترمالی و تشکیل نهشته‌های پورفیری Cu-Au، در ارتباط با استوک و دایک‌هایی می‌باشند که از اعماق 2-5 کیلومتری منشاء گرفته است. نهشته‌های اپی‌ترمال همراه با سنگ‌های ولکانیکی هم سن در اعماق کمتر از 1 کیلومتری می‌توانند باشند (Richard et al., 2009).

اتاقک ماگمایی در ذخایر مس پورفیری طلادار و نهشته‌های اپی‌ترمالی محصول فرورانش صفحه اقیانوسی به زیر صفحه اقیانوسی دیگر و یا صفحه قاره‌ای است اگرچه یک مجموعه مجزا از ترکیبات ماگمایی مرتبط با کانی‌زایی پورفیری، همراه با تصادم کوهزایی و بعد از متوقف شدن فرورانش صفحه اقیانوسی نیز صورت می‌گیرد (شکل 2-4) (Seedorff et al., 2005 ; Richard et al., 2009). آغاز تشکیل ماگما از گوشته و یا در هنگام فرورفتگی پوسته پایینی و یا گوشته بالایی به زون ذوب شده (در هنگام

تصادم کوهزایی) می‌باشد. سیالات آبدار بالا رونده در بالای ورقه‌های فروزانده شده، عناصر ناسازگار (مواد فرار، عناصر لیتوفیل با یون بزرگ، سیلیکا) را در داخل گوشته بر جا گذاشته و سبب متاسوماتیسم<sup>1</sup> و غنی‌شدگی سنگ‌ها از برخی عناصر می‌گردد. از ذوب پوسته زیرین تعدیل یافته محصولات مذاب بازالتی به وجود می‌آید که در مرکز پوسته جمع می‌شوند (شکل 2-4، A, C). مذاب‌های با منشاء گوشته، تبادلات گسترده‌ای با پوسته پایینی غنی از عناصر مافیک انجام می‌دهند که منجر به تشکیل ماگمایی با ترکیب متوسط می‌شود (Hildreth and Moorbath., 1998). ماگمای دیوریتی غالباً در پوسته مافیکی و ماگمای با ترکیب گرانودیوریتی غالباً در در پوسته فلسیکی رایج است.

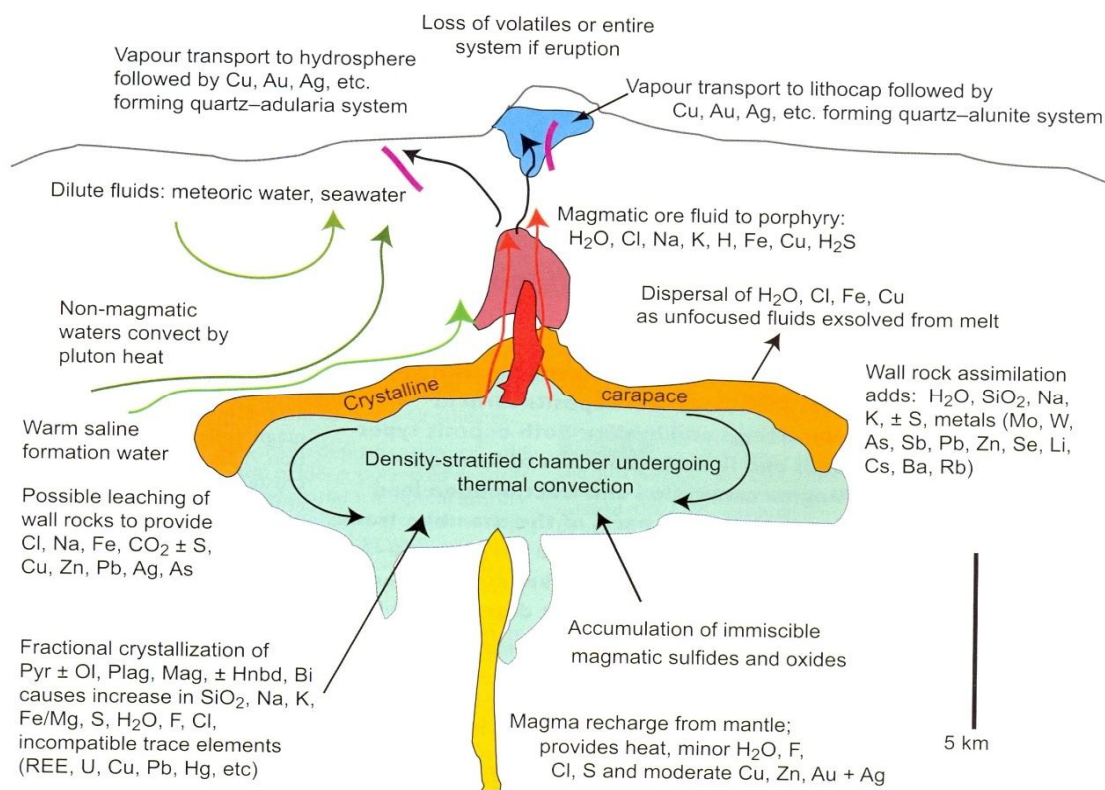


شکل (2-3): جایگاه تکتونیکی ذخایر مس پورفیری و نهشته‌های اپی‌ترمال. نهشته پورفیری Cu-Au در پایان مرحله ماگماتیک در هنگام انقباض، غالباً در حاشیه صفحات همگرای دستخوش تصادم (A) یا بعد از برخورد (B) تشکیل می‌شوند. نهشته‌های اپی‌ترمال، در ارتباط با حاشیه صفحات همگرای کششی (C) و مناطق ریفتی (D) می‌باشند. MASH: زون حاصل ذوب پوسته‌ای و جذب و ترکیب<sup>2</sup>، ذخیره ماگمایی<sup>3</sup>، و همگن سازی<sup>4</sup>. SLM: گوشته زیرین لیتوسفر<sup>5</sup>.

- 1 - Metasomatism
- 2 - Assimilation
- 3 - Magma Storage
- 4 - Homogenization
- 5 - Sublithospheric Mante



اجزاء بحرانی نهشته‌های پورفیری و اپی‌ترمال ماگمایی، ماگمای اکسید شده می‌باشد. ماگمای دیوریتی و گرانودیوریتی، فلزات کافی برای تولید نهشته‌های پورفیری را در بردارد، اما ماگما باید اکسید گردد و از سولفور غنی شود به طوری که سولفور در ماگما به عنوان سولفات و نه به صورت فرم کاهیده (به صورت کانی‌های سولفیدی در ته اتاق ماگمایی نشست می‌کنند) باقی بماند (Chambefort et al., 2008) از اینرو ماگما در طول ده‌ها کیلومتر از پوسته با ترکیب مختلف (شکل 2-4، A, B) بدون تغییر بارزی در وضعیت اکسید شدن بالا می‌آید. در حالت اشباع بخار، سولفور ممکن است به فاز بخار ماگماتیکی تقسیم و به مکان رسوب گذاری انتقال یابد (Candela and Picoli., 2005).



شکل (2-4): ساختار همرفت اتاقک ماگمایی پوسته بالایی، در عمق 6-12 کیلومتری زیر سطح با ماگمای کاملاً مافیکی. سیالات هیدروترمالی محلول در بخش بالایی اتاق جمع شده و به طور قائم به محیط‌های اپی‌ترمال و پورفیری وارد می‌شوند (بیوتیت ≡ Bi؛ هورنبلند ≡ Hnbd؛ مگنتیت ≡ Mag؛ الیوین ≡ Ol؛ پلاژیوکلاز ≡ Pl؛ پیروکسن ≡ Pyr).

ماگمای نفوذ کننده به پوسته بالایی در اتاقکی با عرض تقریبی 10-15 کیلومتر و گسترش قائم چند کیلومتر جمع می‌شود. این اتاقک ماگمایی در اعماق حدودی 2 تا 12 کیلومتری وجود دارد. واضح است که نفوذ پیوسته ماگما از اعماق، در زمان فوق‌العاده کوتاه صورت می‌گیرد و سپس انتقال به اتاق ماگمایی پوسته بالایی ثابت می‌ماند.

ماگمایی که از جبهه نشأت می‌گیرد اتاق ماگمایی را شارژ می‌کند این ماگما تولید کننده گرما و کمتر آب، F، Cl، S و تا حدودی Au و Cu می‌باشد. در پایین اتاق ماگمایی از یک سو تبلور بخشی پیروکسن و الیون، پلاژیوکلاز مگنتیت و... موجب افزایش  $SiO_2$ ، Na، K، Fe/Mg، S، F می‌گردد از سوی دیگر اکسیدها و سولفیدهای ماگمایی امتزاج ناپذیر تجمع می‌یابند (Vadim et al., 1999). مواد داخل اتاق ماگمایی با توجه به وزن مخصوص خود دستخوش همرفت گرمایی می‌گردند. سنگ دیواره  $H_2O$ ،  $SiO_2$ ، Na، K، S و As، Cs، Ba و Sb را به ماگما اضافه کرده و همچنین احتمال شستشوی سنگ دیواره جهت تولید Cl، Fe، Na، Cu، Pb، Zn، Ag و As نیز وجود دارد. با بالا آمدن ماگما و مواد فرار، سیالات ماگمایی کانه‌دار پورفیری شامل  $H_2O$ ، Cl، Na، K، H، Fe، Cu،  $H_2S$  بوجود می‌آید که توده‌های پورفیری را بوجود می‌آورند در صورتی که این سیالات همراه با Cu، Au، Ag و غیره به هیدروسفر انتقال یابد تشکیل سیستم کوارتز-آدولاریا، اما اگر به سنگ پوشش انتقال یابد سیستم کوارتز-آلونیت را تشکیل می‌دهند (Hamilton and Myers., 1967; Dilles et al., 2000) که طریقه تشکیل این دو سیستم در سطح زمین توسط شکل 2-5 بخوبی نمایش داده شده‌اند. به دلیل وجود ترکیبات شیمیایی ناهمگن و سیالات درگیر مخصوص، تله موجود جهت کانی‌سازی تنها در جدایش مواد معدنی Au و Cu تاثیر بالایی دارد، در حالی که دیگر فلزات از سیستم عبور می‌کنند بدون اینکه مقادیر به‌صرفه‌ای را از خود بر جای گذارند (Kamenetsky et al., 1999).

در مقیاس محلی به لحاظ زمین‌شناسی این ذخایر همراه با توده‌های نفوذی از انباشته‌های مونزونیت، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت تا سینیت پورفیری (نفوذهای چند مرحله‌ای معمول) می‌باشند عمق جایگیری توده‌ها بین 1-3Km می‌تواند باشد. همزمان با جایگیری ماگما، کانی‌زایی می‌تواند صورت بگیرد. دامنه سنی تشکیل این ذخایر از اردوسین بالایی تا کربونیفر بالایی (ازبکستان)، ژوراسیک پیشین (کلمبا)، ائوسن (یوتا)، میوسن بالایی - پلیوسن (آرژانتین، PNG-Irian Jaya) گزارش شده است (Wilson et al., 2002).

## 5-2 کانسارهای مشابه در جهان

نهشته‌های دره بینگهام<sup>1</sup> (ایالت یوتا<sup>2</sup>) واقع در امریکا از نظر کانی‌زایی و موقعیت تشکیل دارای شباهت‌های بسیاری با نهشته دالی می‌باشند. طلا و مس در نهشته دره بینگهام توزیع منظمی را در عیار و نسبت فلزات نشان می‌دهد. اغلب کانی‌زایی‌های Au-Cu از نظر زمانی و فضایی در اثر جایگزین شدن کوارتز مونزونیت‌های پورفیری (QMP) در امتداد دایک ضخیمی با راستای شمال شرقی - جنوب غربی و در مرز برخورد استوک مونزونیتی موجود و سنگ‌های رسوبی محصور کننده به وجود آمده‌اند (Gillian et al., 2010).

نهشته اسکوریز<sup>3</sup> واقع در کمربند آلپی کشور یونان مثال دیگری است که مشابه نهشته دالی می‌باشد. اسکوریز یک نهشته مس و طلای پورفیری است و در ارتباط با مونزونیت‌های پورفیری دوره الیگوسن می‌باشد (Kesler et al., 2002) که در نزدیک یک توده نفوذی قائم به وجود آمده است. اسکوریز ذخیره قطعی 206 میلیون تنی از مس 0/54% و طلای 0/8 g/t دارد (Kroll et al., 2002). نهشته اسکوریز خصوصیات بسیار مشابه‌ای را با دالی نشان می‌دهد. سطح هوازده نهشته اسکوریز، همانند دالی دارای ابعاد

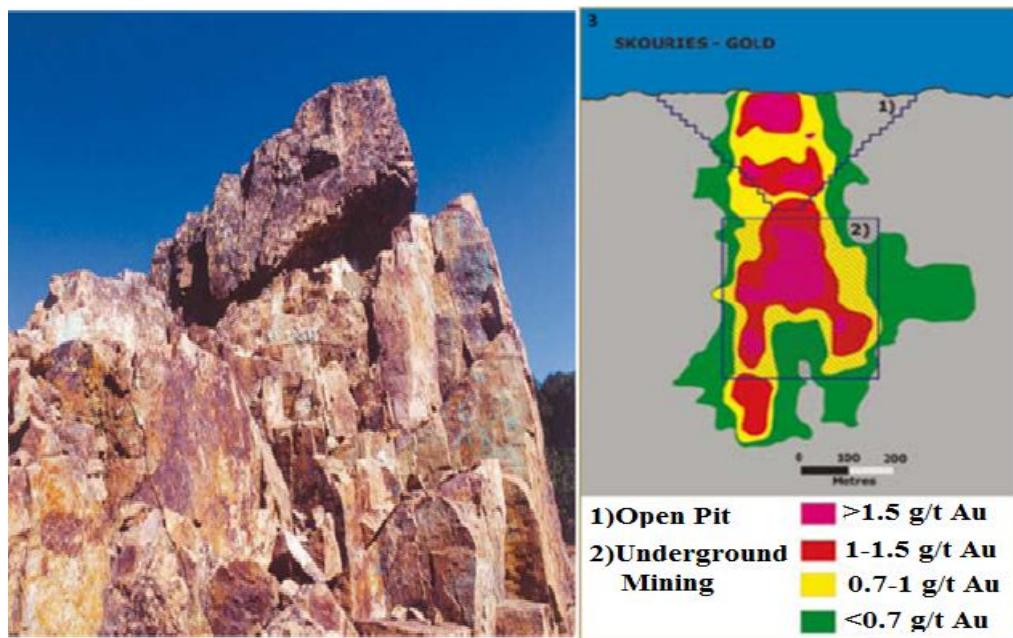
---

1 - Bingham Canyon

2 - Utah

3 - Skouries

200 متر در 200 متر می‌باشد. کانی‌زایی در اسکوریز حدوداً تا عمق 700m کشیده شده است که در شکل 2-6 عیار قسمت‌های مختلف و طریقه استخراج آن در عمق‌های مختلف نشان داده شده است. دالی و اسکوریز ویژگی‌های مشابهی با نهشته Cu-Au پورفیری Northpark در استرالیا دارند (Asadi Haroni., 2008).



شکل (2-5): گسترش قائم کانی‌زایی شدید طلا در نهشته پورفیری طلا-مس Skouries. شکل سمت چپ رخنمون سطحی در Skouries که شباهت زیادی با کلاهک سیلیسی در دالی جنوبی نشان می‌دهد (Asadi Haroni., 2008).

معدن مشابه دیگر نهشته طلا (مس) کوسکایری<sup>1</sup> ترکیه می‌باشد که آلتراسیونی کوارتز سرسیت بر روی ساختارهای با روند E-W متمرکز شده است. بعدها با گسترش فضایی بیشتر، واقعه آلتراسیونی آرژیلیتی پیشرفته بر روی آلتراسیون کوارتز-سرسیت منطبق گشته است. بیشترین میزان طلا محدود به بخش‌های دما بالای زون آلتراسیونی است که بعنوان استوک‌ورک‌ها شناخته می‌شود و یا بر جایگزینی سرسیت-پیریت-آلونیت-پیروفیلیت به جای کوارتز انطباق دارد. طلای جزئی و مگنتیت همراه، آرسنوپیریت،

1 - Kusayiri

رالگار، هماتیت اسپکیولار و کالکوپیریت اغلب در رخساره‌های آلتراسیونی اسمکتیت- ایلیت و یا اسمکتیت- کائولینیت- کلریت به وجود می‌آیند (Huseyin Y., 2003).

نهشه طلا (مس) کوسکایری در ابتدا با توجه به مقدار طلای استحصال شده از شستشوی توده‌ای<sup>1</sup> (BLEG) نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای کشف شد در ادامه با بررسی رسوبات آبراهه‌ای و نمونه برداری سنگی اطلاعات ژئوشیمیایی کامل‌تر گشت. بررسی‌های ژئوفیزیکی همراه پیمایش‌های مغناطیسی سطحی<sup>2</sup> و IP/RS<sup>3</sup> در منطقه صورت گرفت.

---

1 - Bulk Leach Extractable Gold (BLEG)

2 - magnetic ground

3 - induced polarization /resistivity

فصل سوم

مطالعه نمونه‌های خاک  
در منطقه و تفسیر آنها

### 1-3 مقدمه

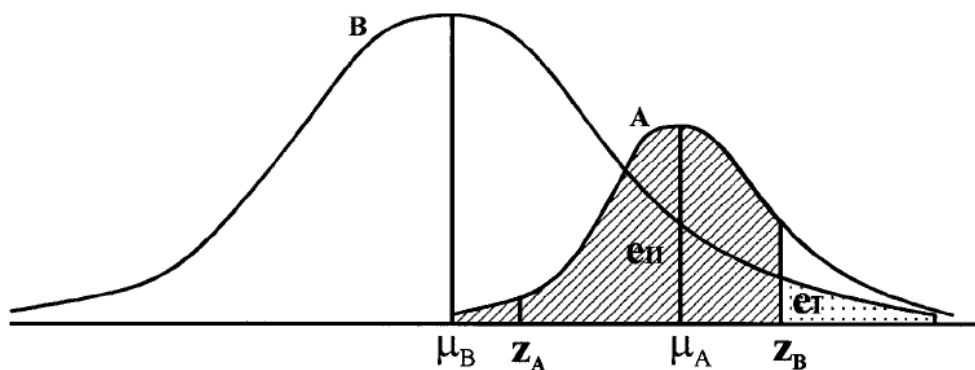
بررسی نمونه‌های خاک یکی از مهمترین عملیات جهت اطمینان از وجود یا عدم وجود آنومالی در هر منطقه‌ای می‌باشد. نمونه‌های خاک برداشت شده در منطقه دالی شمالی مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های تفکیک آنومالی بر روی آنها اعمال گردیده است و منطقه آنومال معرفی شده است. در این میان روش‌های متنوعی که بتوانند با هزینه کمتر و دقت بیشتر جهت شناسایی آنومالی بکار روند کاربرد وسیعی یافته‌اند. جهت انجام روش فراکتالی یک شبکه‌بندی منظم صورت گرفته و تخمین مناسب انجام می‌شود. با اعمال تکنیک تخمین، شبکه‌ای بر روی سطح منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده و با استفاده از روش عیار- مساحت نمودار تمام لگاریتمی فراکتالی ترسیم و مقدار حد آستانه تعیین و محدوده‌های آنومال مشخص گردید این حدود با روش آماره فضایی U هم محاسبه خواهند شد. در ادامه یک نسبت عنصری که آنومالی را بخوبی نشان دهد و راهنمای مناسبی خواهد بود، معرفی گردیده است.

### 2-3 مقادیر زمینه و حد آستانه

جدایش آنومالی از زمینه یکی از مهم‌ترین و عمده‌ترین مراحل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد. 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 که همان مقدار زمینه است. حد فوقانی تغییرات مقدار زمینه را حداقل مقدار آنومالی یا اصطلاحاً حد آستانه‌ای می‌نامند. به مقادیر بیشتر از حد آستانه‌ای آنومالی گفته می‌شود (حسنی پاک و شرف‌الدین، 1382). یک آنومالی ژئوشیمیایی بعنوان منطقه‌ای معرفی می‌گردد که تمرکز عنصر مورد مطالعه بزرگتر از مقدار آستانه خاصی باشد که در روش‌های سنتی بر اساس پارامترهای آماری مانند میانگین، میانه و انحراف معیار تعیین می‌گردد. بطور کلی مقدار حد

زمینه ژئوشیمیایی به صورت مجموعی از میانگین ( $\bar{x}$ ) و  $1/5$  تا  $3$  انحراف معیار ( $\sigma$ ) در این روش‌ها تعریف می‌شود (Changjiang et al., 2003).

اگر توزیع فراوانی غلظت داده‌های خام یا مقادیر تخمین زده شده توسط روش‌های مختلف (آماره فضایی U، کریجینگ و ...) را در نظر بگیریم، آنومالی (A) و زمینه (B) دو جامعه مجزا هستند که از نظر محتوی عنصر و ویژگی‌های فضایی متفاوت هستند. هدف از بکارگیری روش‌های جداسازی آنومالی‌ها تعریف حد آستانه‌ای است، به طوری که بتوان نمونه‌ها را بر اساس مقادیر عنصر کلاسه‌بندی 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 1-3 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 هم‌پوشانی داشته باشند، در این صورت دو مقدار متفاوت  $Z_A$  و  $Z_B$  را خواهیم داشت ( $Z_A < Z_B$ ) و نمونه‌های مابین این دو مقدار به طور یقین کلاسه‌بندی نمی‌شوند، زیرا این نمونه‌ها می‌توانند به هر دو جامعه آنومالی و زمینه متعلق باشند (Cheng et al., 1996).



شکل (1-3): توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی (A) و زمینه (B) (Cheng et al., 1996).

همانگونه که در شکل 1-3 ملاحظه می‌شود با دو نوع خطا در طبقه‌بندی می‌توانیم مواجه باشیم. این دو نوع خطا به طور معکوسی با هم ارتباط دارند، نوع اول ( $e_1$ ) وقتی اتفاق می‌افتد که نمونه با مقدار زمینه،



جزء زمينه حساب نشود و نوع دوم ( $e_{II}$ ) وقتی اتفاق می افتد که نمونه با مقدار آنومالی به عنوان زمينه به حساب آید. این دو نوع خطا معکوس هم می باشند، یعنی اگر یک نوع خطا با تغییر حد آستانه ای کوچک شود، دیگری بزرگ می شود. در بعضی مواقع می نیمم کردن یکی از خطاها جواب بهینه را می دهد ولی در مواقع دیگر بهتر است کل خطا (یعنی مجموع خطاهای نوع اول و دوم) را حداقل کرد (Cheng et al., 1996). روش های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمينه وجود دارد که از روش های آماری ساده (براساس پارامترهای آماری تابع توزیع) تا روش های پیچیده فراکتالی (براساس ساختار فضایی داده ها) تغییر می کنند. یکی از کاربردهای عمده هندسه فراکتال<sup>1</sup> در تخمین حد آستانه ای و در نتیجه جداسازی جامعه آنومالی از زمينه براساس اختلاف بعد فراکتال آنها می باشد. در روش های سنتی فرض می کنند که تمرکز عناصر شیمیایی در پوسته، از توزیع نرمال یا لاگ نرمال تبعیت می کنند همچنین مساحت نواحی نهایی آنومال معرفی شده توسط این روش به مراتب کمتر از روش های سنتی تعیین نواحی آنومال می باشد که این امر سبب کاهش قابل ملاحظه هزینه های اکتشافی در مراحل آتی می گردد. با توجه به اینکه هدف یک پروژه اکتشاف ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه ای معرفی مناطق امیدبخش جهت مطالعات بعدی است، لذا باید مناطق آنومالی به دقت تعیین شوند. برای این منظور سینکلر و استانلی (Stanely and Sinclair., 1998) روش های انتخاب حد آستانه را به سه گروه تقسیم کردند:

الف- روش های تجربی<sup>2</sup>

ب- روش هایی بر اساس مدل توزیع همراه با نظر شخصی<sup>3</sup>

ج- روش هایی بر اساس مدل توزیع و بدون نظر شخصی<sup>4</sup>

---

1 - Fractal Geometry

2 - Experimental methods

3 - Model- based subjective approaches

4 - Model- based subjective techniques

روش نمودارهای احتمال<sup>1</sup>، روش آماره انفصال<sup>2</sup> و روش‌های آنالیز فضایی نمونه‌هایی از گروه سوم می‌باشند. خیلی از روش‌های آماری برای مشخص کردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی بکار گرفته می‌شود. روش‌های آماری نظیر میانگین متحرک، کریجینگ، نمودارهای احتمال، آماره فضایی U و روش فراکتال گونه‌هایی از آنالیز فضایی هستند. بجز نمودارهای احتمال که بر پایه توزیع نرمال می‌باشند، بقیه بر اساس تغییرات فضایی تمرکز عنصری هستند (Changjiang et al., 2003).

### 3-3 بررسی نمونه‌های خاک

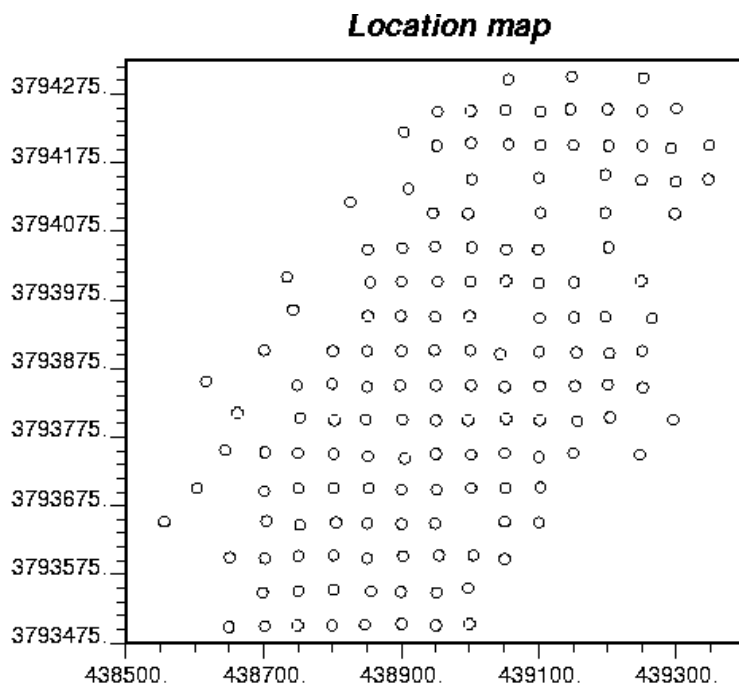
به منظور اکتشافات سطحی نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی ثانویه از خاک با ابعاد شبکه نمونه‌برداری 50m×50m در منطقه دالی شمالی صورت گرفت که موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل 3-2 نشان داده شده است. با حذف نمونه‌های تکراری و همچنین نمونه‌های خارج از رده، داده‌های 149 نمونه جهت بررسی بکار گرفته شد. این نمونه‌ها برای 47 عنصر Au, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr توسط شرکت AMDEL صورت گرفت و عناصر Ag, Be, Bi, Cd, Ge, Hg, Nb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Ta, Te, Th, Tl, U, W به علت‌های مختلفی همانند اینکه غلظت زیر حد قابل ثبت دستگاه بوده و یا به علت نشان ندادن تغییرات قابل توجه غلظت حذف گردیدند. در ادامه به بررسی و تفسیر نتایج نمونه‌برداری‌های صورت گرفته بر روی این 29 عنصر از این محیط ثانویه پرداخته شده است. نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از خاک در این منطقه چند آنومالی متوسط تا قوی طلا را نشان داده است در ادامه ابتداً به بررسی

---

1 - Probability Plot

2 - Gap statistics

نقشه‌های توزیع فضایی Cu-Au پرداخته شده و سپس سایر عناصر مرتبط و نقشه‌های مربوطه مورد بررسی قرار داده می‌گیرند.



شکل (3-2): شبکه نمونه برداری و نقشه پراکندگی نمونه‌های طلا در حالت اولیه

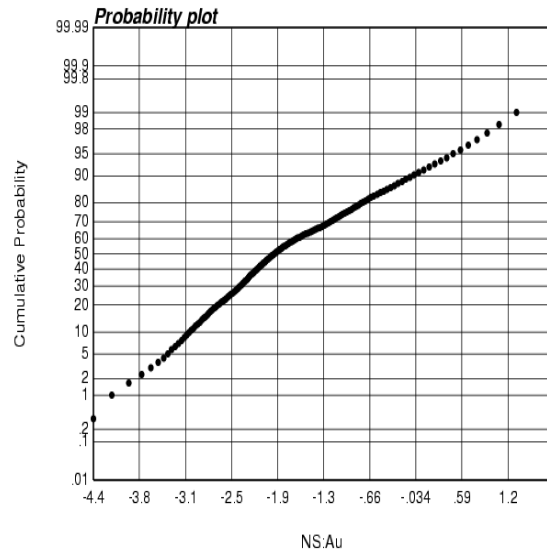
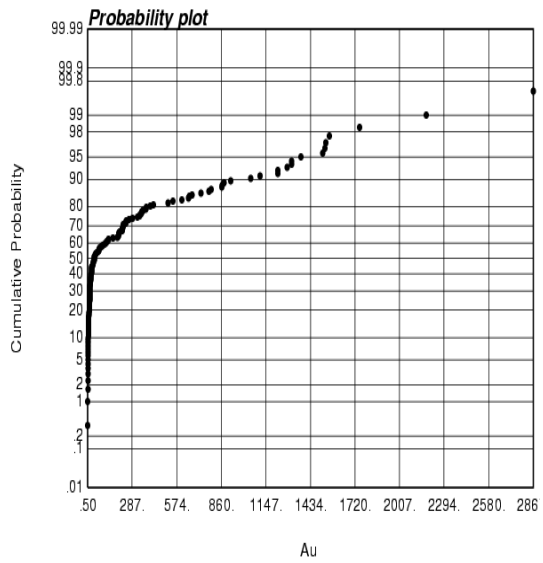
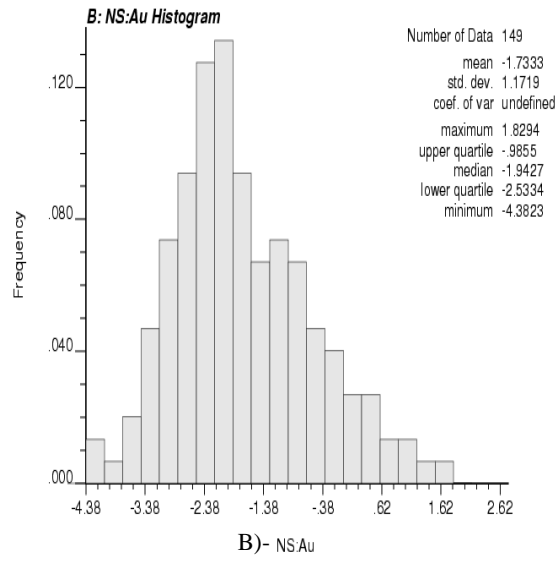
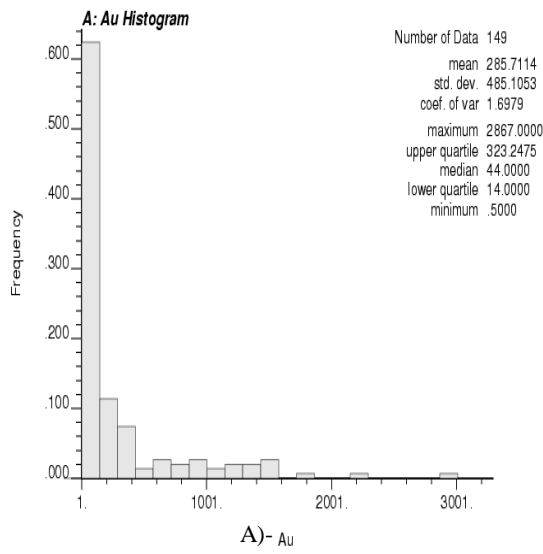
### 1-3-3 بررسی نمونه‌های خاک برای دو عنصر Au و Cu

ارزیابی پاراژنهای عنصر مرتبط با تمرکزهای Au-Cu در محیط ثانویه و خاک برجا یکی از اهداف مطالب ارائه شده در این قسمت می‌باشد. هدف آن است تا مدل پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر در خاک مورد بررسی قرار داده شود و بر اساس آن به هدایت حفاری‌ها جهت شناسایی مناطق کانی‌سازی پرداخته شود. برای این منظور ابتدا محدوده‌های تمرکز Au-Cu در خاک شناسایی و به عنوان مبناء در نظر گرفته شده‌اند.

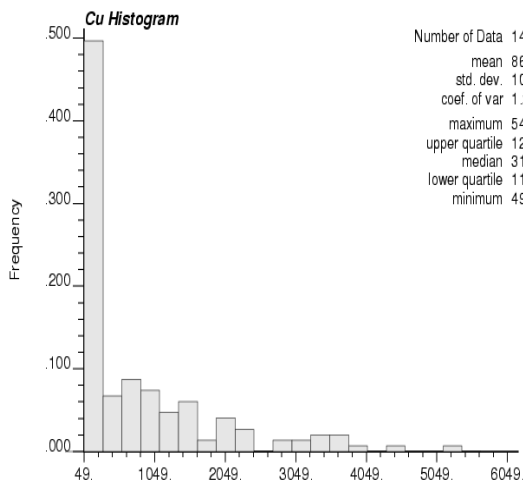
به منظور تعیین مناطق آنومال برای هر عنصر و بخصوص Au و Cu که اهداف اصلی این پروژه می‌باشند از روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U استفاده شده و نتایج حاصله از هر دو روش با هم مقایسه و منطقه آنومال تفکیک می‌گردد.

### 3-3-1-1 تحلیل‌های ساده آماری

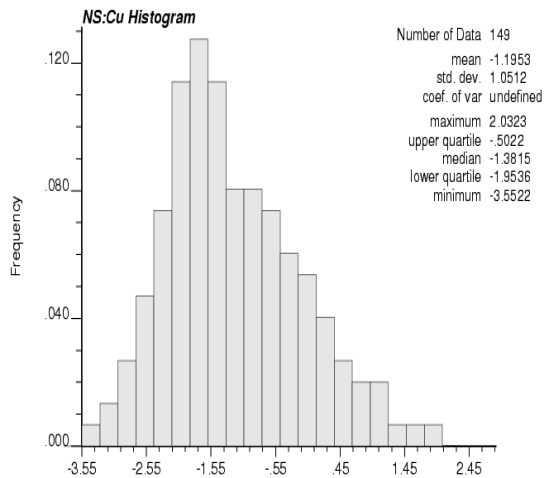
مقدمات نرمال‌سازی و بررسی‌های اولیه در نرم‌افزار WinGslib صورت گرفته است که یکی از قویترین نرم‌افزارهای زمین آماری می‌باشد. برای تعیین ناحیه‌ی امیدبخش Au و Cu در اندیس دالی شمالی، هیستوگرام‌ها و منحنی فراوانی تجمعی داده‌های خام و نرمال آنها، اطلاعات سودمندی را از تغییرات و چگونگی توزیع و همچنین سایر پارامترهای آماری (کمترین و بیشترین مقادیر، میانگین، میانه، انحراف معیار و...) در اختیار ما قرار می‌دهند. توزیع L در داده‌های طلا به وضوح دیده می‌شود (شکل 3-3 قسمت A) که در آن کمترین عیارها بیشترین فراوانی را دارند و در شکل B نمودار فراوانی نرمالایز شده داده‌های طلا و در زیر آن نمودار فراوانی احتمال نرمال شده ترسیم گردیده است و برای عنصر مس در شکل 3-4 نمودار فراوانی و احتمال تجمعی عنصر مس دیده می‌شود. کمترین غلظت Au در نمونه‌ها 0/5ppb و بیشترین آن 2867ppb است که انحراف معیار آنها 485 بدست آمد. همچنین کمترین مقدار Cu در نمونه‌ها 49ppm و بیشترین آنها 5403ppm می‌باشد و انحراف معیار آن 1048ppm می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد با نرمالایز سازی داده‌ها به توزیع نرمال نزدیکتر می‌شوند.



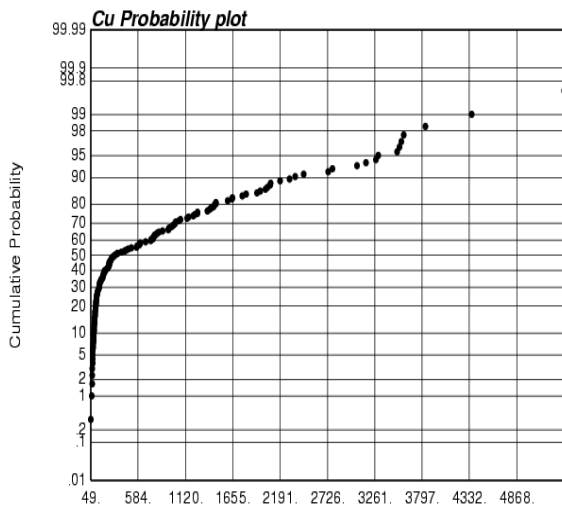
شکل (3-3): توزیع فراوانی همراه با نمودار تجمعی آن. (A) برای Au ، (B) برای نرمال Au



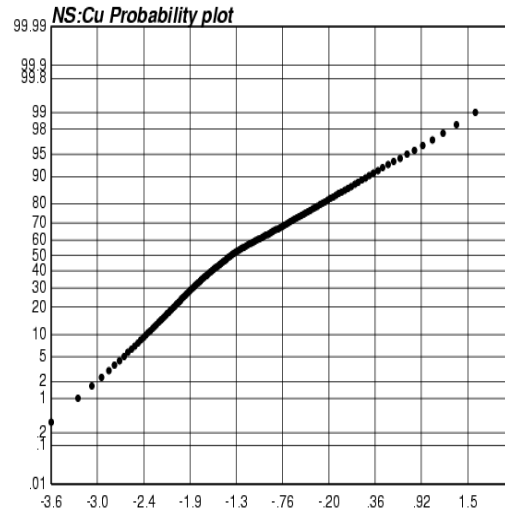
A)- Cu



B)- NS:Cu



Cu



NS:Cu

شکل (3-4): توزیع فراوانی همراه با نمودار تجمعی آن. (A) برای Cu ، (B) برای NS:Cu

## 2-1-3-3 ارزیابی همگنی یا ناهمگنی توزیع Au-Cu در خاک و روند احتمالی

### کانی سازی

یک روش مرسوم جهت تخمین و انجام کارهای آماری این است که ابتدا داده‌ها را انتقال می‌دهند (مانند نرمال سازی، انتقال کاکس و باکس<sup>1</sup> و انتقال لاگ نرمال) و آنالیزها بر روی داده‌های انتقال یافته

صورت می‌گیرد و در نهایت نتایج تخمین به حالت اولیه بازگردانی می‌گردند (Goovaerts., 2009). از نمودارهای واریوگرام اطلاعات زیادی برداشت شده و جهت انجام کارهای آماری از آن استفاده‌های بیشماری می‌گردد اما جهت ترسیم آن موارد بسیاری را باید در نظر گرفت، انتخاب طول گام<sup>1</sup> در آنالیز واریوگرام تجربی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد در صورتیکه نمونه‌برداری در شبکه‌ای منظم و یا با بی‌نظمی کم صورت گرفته باشد طول گام باید برابر فاصله نقاط نمونه‌برداری باشد. اگر طول گام کوچکتر از فاصله شبکه نمونه برداری باشد مقدار واریوگرام در فاصله انتخابی کمتر از مقدار واقعی تخمین خواهد خورد و در صورتیکه طول گام بسیار بزرگتر از فاصله نقاط نمونه برداری باشد ساختار همبستگی در واریوگرام منعکس نخواهد شد و یا دامنه<sup>2</sup> دیده نخواهد شد و ممکن است حتی اثر قطعه‌ای<sup>3</sup> تام ایجاد شود. اگر طول گام بسیار کوچکتر از فاصله نمونه برداری باشد تعداد زوج نقاطی که در تخمین مقدار واریوگرام شرکت خواهند کرد اندک خواهد بود و بنابراین مقدار تخمین از نظر آماری بی معنی خواهد بود (<http://gisinfo.blogspot.com>).

در صورتیکه مقدار واریوگرام در گام‌های نخستین برابر یا فراتر از مقدار واریانس ( $\sigma^2 = C_0 + C$ ) باشد به این معنی است که طول گام یا فاصله نمونه‌برداری خیلی زیاد است در حالت عادی مقدار  $\sigma^2$  برابر سقف نمودار می‌باشد. اگر مقدار واریوگرام در گام‌های نخستین دارای مسیر مشخصی نباشد و یا نوسان داشته باشد ممکن است به دلیل تعداد کم داده‌ها و یا ناهمسانگردی در منطقه و یا نامناسب بودن طول گام باشد. در بعضی موارد با نگاه کردن به داده‌ها می‌توان جهت ناهمسانگردی را حدس زد و بدین ترتیب از محاسبات فراوان کاست. در صورتیکه زاویه جستجو کمتر باشد ناهمسانگردی بارزتر دیده خواهد شد و در صورتیکه زاویه جستجو بزرگ باشد اثر هموارسازی (میانگین‌گیری) موجب تضعیف علائم ناهمسانگردی

---

1 - Lag

2 - Rang

3 - Nugget effect ( $C_0$ )

خواهد شد (<http://gisinfo.blogspot.com>). یک واریوگرام برای مضربی از گام‌ها محاسبه می‌گردد، هر نقطه واریوگرام در راستای یک آزمون مشخص بعد از در نظر گرفتن تعداد زیادی جفت داده بدست می‌آید با اندازه‌گیری‌های متناوب از پیوستگی‌های فضایی واریوگرام جفت‌های مرتبط محاسبه می‌گردد. این سنجش‌های متناوب به خاطر غلبه بر تنگی داده‌ها، مقادیر خارج از رده، دسته بندی و اشتباهات نمونه برداری انجام می‌شود. یک واریوگرام بر اساس مجموعه‌ای از ارتباطات تعریف می‌شود و یا به طور کلی‌تر سنجشی از تغییرات فضایی جهت مطالعات زمین‌آماری می‌باشد (Clayton and Andre., 1998). واریوگرام  $\gamma(h)$  جهت بیان کردن کمیت وابستگی فضایی نمونه‌ها بیان می‌شود (ابطه 3-1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad 1-3$$

که در آن  $m(h)$  تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته در محاسبات به ازای فاصله معین  $h$  و  $z$  مقدار عیار کمیت مورد اندازه‌گیری است (Regli et al., 2004; Lopez et al., 2005; Wang et al., 2008; Sumfleth et al., 2008). ممکن است در منطقه به خاطر وجود انیزوتروپی، واریوگرام‌ها در جهات مختلف دامنه و سقف<sup>1</sup> متفاوتی داشته باشند اگر دامنه در امتدادهای مختلف تغییر کند در حالی که سقف نمودار ثابت است انیزوتروپی هندسی<sup>2</sup> و اگر سقف نمودار در جهات مختلف تغییر کند اما دامنه ثابت باشد انیزوتروپی ناحیه‌ای<sup>3</sup> در منطقه وجود دارد و یا امکان وجود هر دو نوع هم بسیار زیاد است (Edward et al, 1989).

ابتدا واریوگرام در امتداد آزمون‌های مختلف ترسیم گردید که با توجه به دامنه مناسب و بیشترین پیوستگی و تغییرات نرم آن، آزمون 30 درجه بعنوان امتداد کانی‌سازی برگزیده شد (شکل 3-5). از طرفی نموداری که کمترین شعاع تاثیر را دارد و سریعتر از همه به سقف خود می‌رسد و در فاصله کمی

---

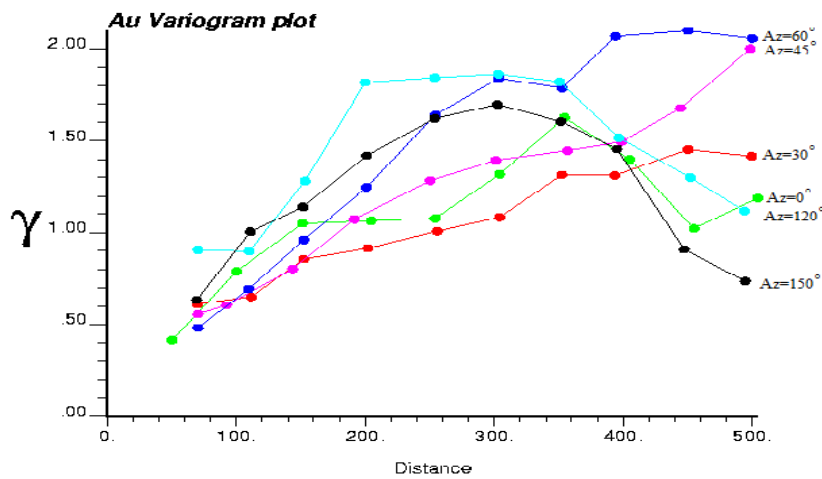
1 - sill

2- geometric anisotropy

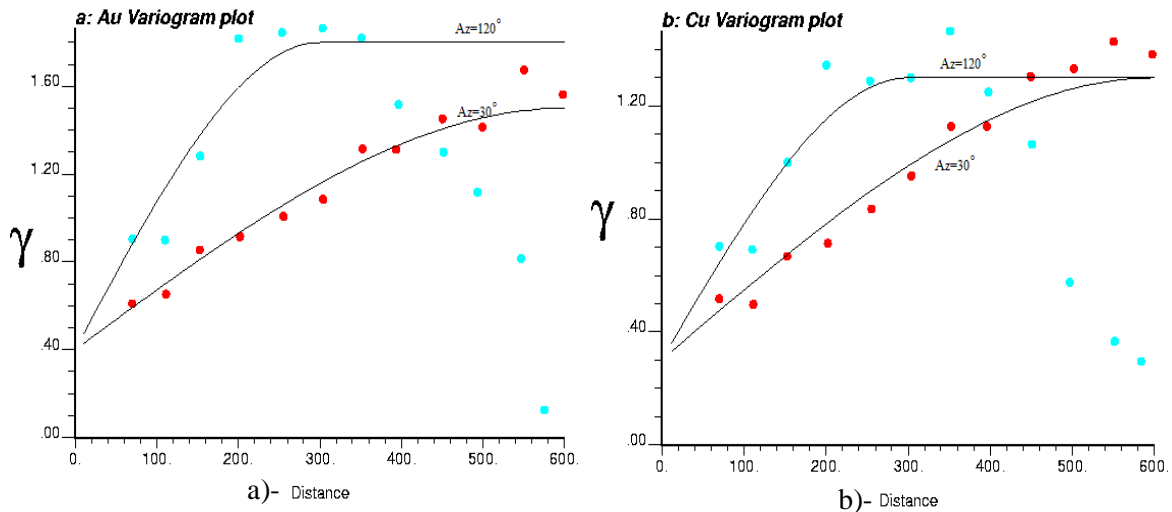
3- zonal anisotropy



ریزش می‌کند (می‌شکند) در آزمون 120 درجه می‌باشد. بنابراین واریوگرام برای عناصر Au و Cu در امتداد آزمون‌های 30 و 120 درجه که در امتداد کانسار و عمود بر امتداد کانسار می‌باشند ترسیم شده است. طلا هم آنیزوتروپی هندسی و هم ناحیه‌ای دارد ولی مس تا حدودی آنیزوتروپی هندسی نشان می‌دهد در هنگام آنالیز واریوگرام مدل کروی<sup>1</sup> بهترین برازش را بر داده‌ها نشان داد و دامنه تاثیر را بخوبی مشخص نمود و برای عناصر Au و Cu بخوبی ترسیم شده است (شکل 3-6 a و b).



شکل (3-5): واریوگرام آزمون‌های مختلف کانسار برای عنصر Au



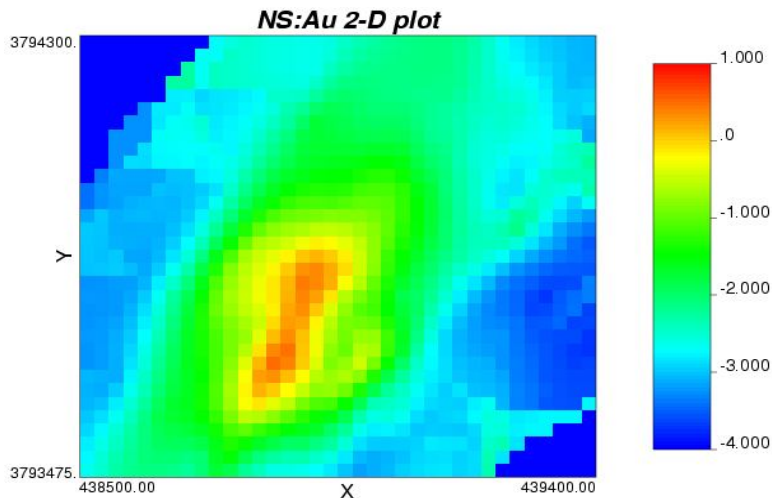
شکل (3-6): واریوگرام نرمال داده‌ها در جهت آزمون‌های 30 درجه (امتداد کانسار) و 120 درجه (عمود بر امتداد کانسار) برای عنصر Au (شکل a) و Cu (شکل b)

واریوگرام‌ها یک منطقه انیزوتروپ، با بیشترین دامنه تاثیر در جهت N30E را نشان می‌دهد و گویای بیشترین پیوستگی یا همان امتداد توده معدنی است که در شکل 3-6 برای هر دو عنصر به صورت واریوگرام  $Az=30^\circ$  نشان داده شده است. نمودار واریوگرام اثر قطعه‌ای برابر 0/4 برای Au و 0/3 برای Cu را دارد و دامنه تاثیر برای هر دو عنصر 600 متر در امتداد آزیموت 30 درجه (N30E) و 300 متر در امتداد آزیموت 120 درجه (N60W) می‌باشد یعنی نمونه‌ها تا این فاصله در آزیموت‌های مختلف بر روی هم تاثیر دارند و بعد از این فاصله واریوگرام به سقف خود می‌رسد (شکل 3-6).

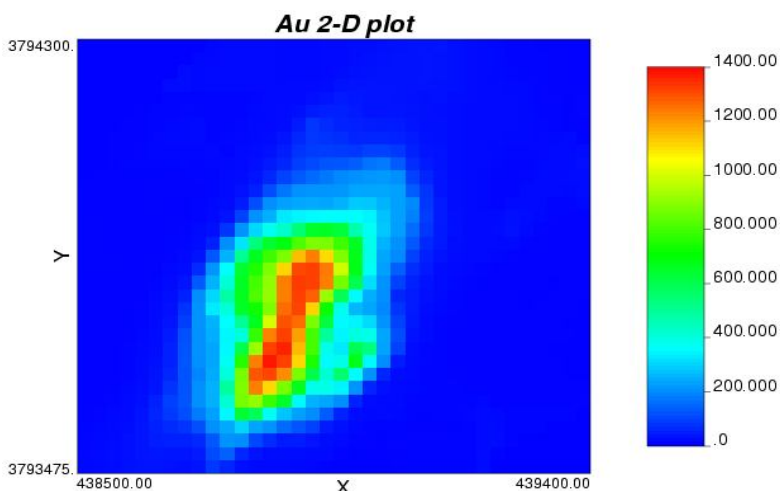
### 3-1-3-3 تخمین شبکه

جهت تخمین آنومالی در یک منطقه با روش کریجینگ از یک شبکه نمونه‌برداری غیر منظم که در منطقه با ابعاد  $50m \times 50m$  صورت گرفته است استفاده می‌کنیم. برای تعیین حد آستانه به روش فراکتال، ابتدا منطقه مورد مطالعه به صورت یک شبکه به ابعاد  $25m \times 25m$  در نظر گرفته شد و سپس برای نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از کریجینگ تخمین صورت گرفت. شعاع تاثیر جهت تخمین 200m در نظر گرفته شد تا با توجه به نمونه‌های هم‌جوار تخمین صورت گیرد. برای یک تخمین مناسب واریوگرام با بیشترین دامنه تاثیر انتخاب می‌گردد و در ادامه با استفاده از خصوصیات آن واریوگرام، آنومالی با روش کریجینگ تخمین زده می‌شود روش کریجینگ اساساً جهت ارائه تخمینی از مقادیر نمونه‌برداری نشده است و استفاده از داده‌های حاصل از تخمین جهت ایجاد یک مدل احتمالی صورت می‌گیرد. کریجینگ یک فیلتر پایین‌گذر است که تمایل به هموار کردن مقادیر جزئی و بسیار بزرگ داده‌های خام اولیه دارد (Clayton and Andre., 1998). از مزایای این روش در نظر گرفتن موقعیت دقیق فضایی نمونه‌ها در تعیین حد جدایش جوامع می‌باشد که این موضوع در آمار کلاسیک به هیچ وجه در نظر گرفته نمی‌شود.

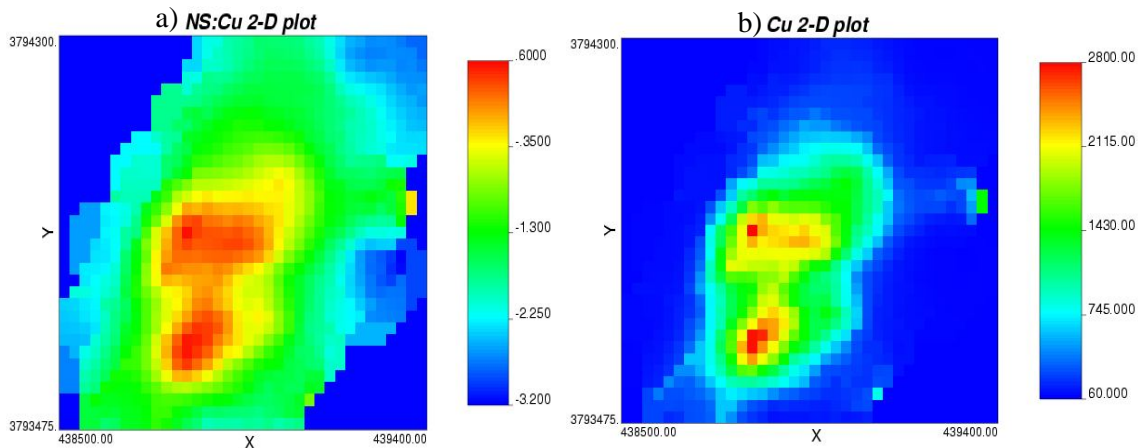
داده‌های حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Au در یک نقشه دو بعدی در شکل 3-7 ترسیم شده است که در بازه‌ای کوچکتر از بازه نرمال داده‌ها قرار می‌گیرند و اگر داده‌ها تحت یک انتقال معکوس به فرم داده‌های خام اولیه تبدیل گردند با ترسیم شکل 3-8 این داده‌ها آنومالی عنصر Au به صورتی تغییر می‌کند که مکان آنومالی را با وضوح بهتر نشان می‌دهد. تخمین برای عنصر Cu هم همانند Au صورت گرفته و با انطباق مناسب بر آنومالی طلا خود را نشان می‌دهد (شکل 3-9). این تخمین برای عنصر Au و Cu با شعاع تاثیر<sup>1</sup> 200 متر در نظر گرفته شد..



شکل (3-7): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Au



شکل (3-8): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Au بعد از Back Transformation به حالت اولیه



شکل (3-9): نقشه حاصل از تخمین کریجینگ برای عنصر Cu قبل (a) و بعد (b) از انتقال داده‌ها به حالت اولیه

در ادامه، هندسه فراکتال برای داده‌های تخمینی بدست آمده از روش کریجینگ به کار برده می‌شود و بعد از آن جوامع آماری موجود معرفی می‌گردند. روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U از مهمترین روش‌های آنالیز فضایی، و روش‌های نسبتاً جدیدی هستند که در آنها علاوه بر غلظت یک عنصر در یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. این دو روش دقت شایانی را در انجام جدایش آنومالی از زمینه دارند.

### 4-1-3-3 هندسه فراکتال

قبل از شناخت هندسه فراکتال، هندسه اقلیدسی به عنوان بخشی از ریاضیات از سالیان بسیار دور توسط بشر در شناخت طبیعت به کار گرفته شده است. در هندسه فراکتال برخلاف هندسه اقلیدسی بحث از خطوط و سطوحی است که بعد عدد صحیح یک و دو ندارند. حداکثر کاربرد هندسه اقلیدسی محاسبات شکل‌های دو بعدی و سه بعدی است که مرز آنها توسط خطوط خمیده (دایره- هذلولی- سهمی- بیضی) تعریف می‌شود. با افزوده شدن هندسه نااقلیدسی طیف وسیع‌تری از پدیده‌ها توسط این هندسه توصیف شدند. ولی هندسه نااقلیدسی هم از تغییر و تفسیر اشکال طبیعی عاجز بود، در نهایت با به وجود آمدن هندسه فراکتال پیچیدگی‌های اشکال طبیعی با این هندسه توصیف شدند (سید رحیمی، 1387).

مندلیبروت<sup>1</sup> می‌گوید اشکال هندسه اقلیدسی در الگوسازی بی‌نظمی‌های تعیین‌پذیر و دستگاه‌های نامنظم به هیچ کار نمی‌آید، این پدیده‌ها به هندسه‌هایی نیاز دارند که از مثلث‌ها و دایره‌ها بسیار دورند. در مورد آنها باید از ساختار نااقلیدسی و به خصوص از هندسه نوینی به نام هندسه فراکتال‌ها استفاده کرد. در واقع فراکتال‌ها توصیف‌گر طبیعت‌اند آن‌طور که طبیعت اعمال می‌کند نه به گونه‌ای که بشر می‌خواهد و این امتیاز بزرگی محسوب می‌شود. فراکتال هندسه طبیعت، رهیافتی تازه به کاربردهای متعدد در علوم مختلف است (Mandelbort., 1983 & Cheng et al., 1996).

کاربرد این روش در شناسایی جوامع آنومالی از جوامع زمینه می‌باشد انواع روش‌های آنالیز فراکتالی شامل روش عیار- مساحت، عیار- محیط، عیار- فاصله و روش طیف توان می‌باشد. در اینجا نمودار تمام لگاریتمی مقادیر عیار در مقابل مساحت استفاده می‌شود. چنگ و همکارانش<sup>2</sup> در سال 1996 روش فراکتالی غلظت- مساحت را ابداع و در ادامه توسط چانگ جییانگ و همکارانش<sup>3</sup> در سال 2002 جهت جدایش آنومالی ژئوشیمیایی بکار گرفته شد. این نمودارها ارتباط نسبی- نمایی بین مساحت‌های  $A(\rho)$  با مقدار عیار المان‌های بیشتر از  $\rho$  و مقادیر عیار  $\rho$  را نشان می‌دهد (رابطه 2-3)؛

$$A(\rho) \propto C\rho^{-\alpha} \quad 2-3$$

که در آن  $C$  یک مقدار ثابت و  $\alpha$  توانی است که ممکن است چندین مقدار برای دامنه‌های متفاوت از مقادیر عیار ژئوشیمیایی در نمودار عیار- مساحت را مشخص کند. بنابراین معادلات فراکتال توابع نمایی متعارفی هستند که در آنها تغییر یک کمیت فیزیکی (نظیر سطح محصور منحنی‌های میزان) از ویژگی قابل سنجش دیگری (نظیر تغییر موقعیت مکانی) تبعیت می‌کند. مقادیر  $\rho$  نقاط جدایش این خطوط مستقیم به عنوان عیارهای حد، جهت جدایش مقادیر ژئوشیمیایی جوامع مختلف آنومالی و زمینه معرفی

1 - Mandelbrot

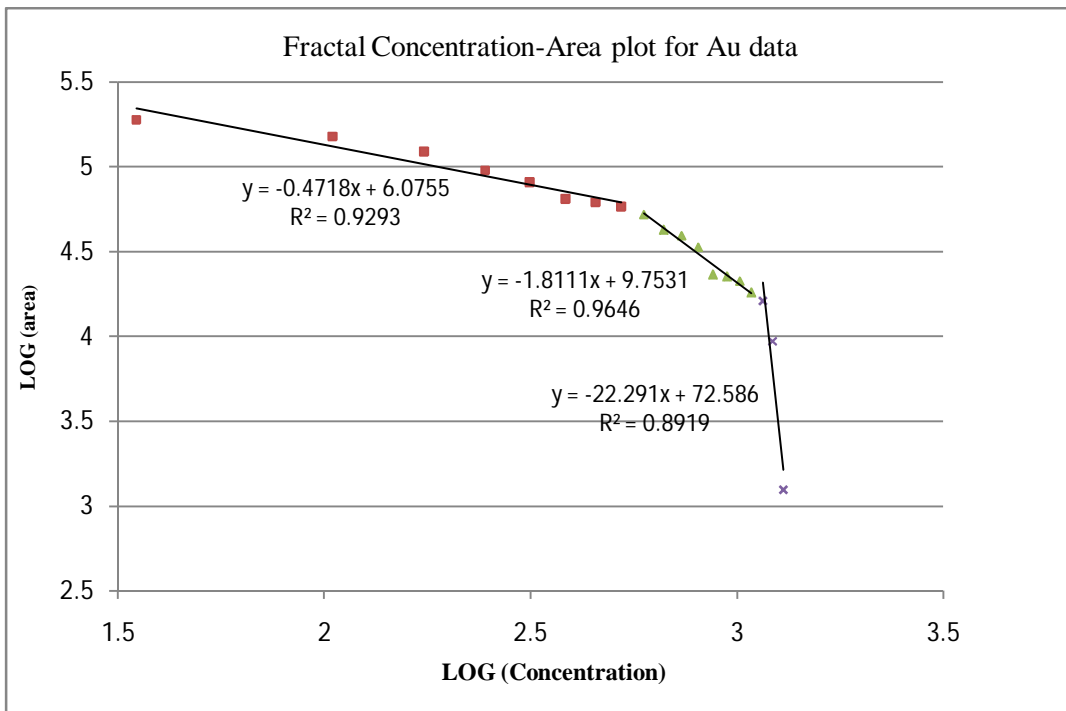
2 - Cheng et al.

3 - Changjiang et al

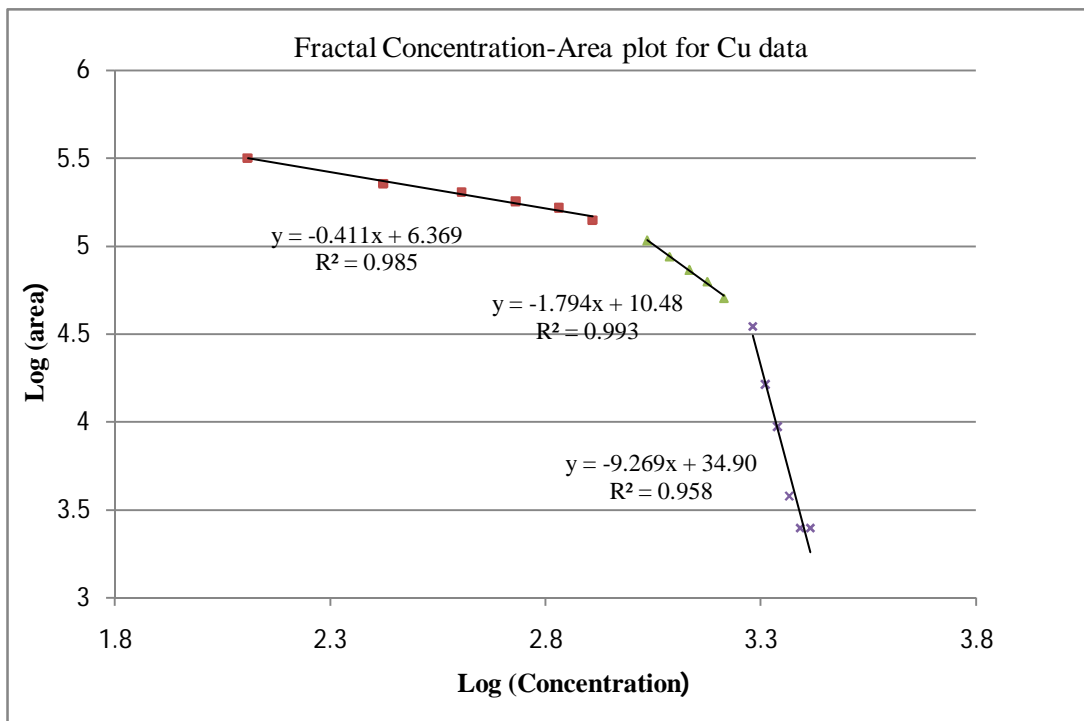
می‌گردد (Hassani et al., 2009; Cheng et al., 2002). در اکتشافات ژئوشیمیایی تمرکزهای بالا همراه با فرآیندهای کانی‌سازی، می‌تواند جوامع مختلفی را نسبت به مقدار زمینه منعکس کند. به عبارت دیگر بعد فراکتالی کانی‌سازی با مقدار بعد زمینه متفاوت خواهد بود. با توجه به این مطلب که ماهیت فراکتالی توزیع عناصر در محیط اثبات شده است، می‌توان از این روش برای جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه استفاده کرد (Cheng et al., 1996).

جهت بکارگیری این روش داده‌های حاصل از تخمین طلا و مس توسط روش کریجینگ (داده‌های انتقال یافته به حالت اولیه بعد از Back Transformation) در 20 کلاس دسته‌بندی گردید و سپس ضمن اعمال محاسبات آماری بر روی این 20 کلاس نمودار فراکتال تمام لگاریتمی عیار- مساحت را برای هر کدام از عناصر Au و Cu در یک نمودار تمام لگاریتمی ترسیم شد نتایج این عملیات برای دیگر عناصر در ضمیمه آورده شده است. محور قائم این نمودار لگاریتم مساحت و محور افقی لگاریتم غلظت می‌باشد. نمودار بدست آمده یک نمودار نمایی می‌باشد که با برازش خطوطی مستقیم بر آن که ضریب همبستگی حداقل 90% داشته باشند جوامع آماری مختلف مشخص می‌گردد. در این مورد عناصر طلا و مس سه جامعه مختلف را نشان می‌دهند که در شکل 3-10 و 3-11 مشاهده می‌گردد.

مقادیر متناظر شکستگی بین خطوط به عنوان عیار حد برای جدایش مقادیر ژئوشیمیایی به اجزای مختلفی که معرف فاکتورهای موثری در توزیع آنها می‌باشند نظیر، تفکیک لیتولوژیکی و فرآیندهای ژئوشیمیایی (کانی‌سازی) استفاده می‌شود (Ford et al., 2008). نقاط شکست خطوط نشان دهنده تغییر جامعه می‌باشد که به این صورت می‌توان حد آستانه جوامع را تعیین کرد. نقطه حاصل از تقاطع دو خط انتهایی که شیب بیشتری دارند بعنوان حد آستانه‌ای تفکیک جوامع آنومالی از زمینه در نظر گرفته می‌شود.



شکل (3-10): نمودار فراکتال عیار- مساحت عنصر Au



شکل (3-11): نمودار فراکتال عیار- مساحت عنصر Cu

برای عنصر Au سه جامعه آماری مختلف قابل برداشت است که دو نقطه 560ppb و 1120ppb نقاط جدایش جوامع هستند. با جدایش نمونه‌های موجود در هر سری 93 نمونه دارای مقادیر بیشتر از 560ppb هستند (مجموع سری دوم و سوم - شکل 3-10) و 29 نمونه دارای مقدار بالاتر از 1120ppb می‌باشند (سری سوم). اما برای عنصر Cu هم که سه جامعه آماری را شامل می‌شود نقاط 950/5 ppm و 1772/5ppm هم نقاط جدایش این جوامع هستند (شکل 3-11). تعداد نمونه‌های با غلظت بالاتر از 1120ppb برای طلا بسیار کم می‌باشند اما تعداد نمونه‌های عنصر مس با غلظت 1770ppm به بالاتر تعداد قابل قبولی دارد که بعنوان حد آستانه‌ای مس (محدوده آنومال مس) ارزیابی می‌گردد. با ترسیم محدوده آنومال برای مس که بر دو جامعه انتهایی طلا همپوشانی بسیار خوبی دارد می‌توان فهمید که نمونه‌های با غلظت بالای 560ppb طلا بعنوان آنومال شناخته می‌شوند. با استفاده از حد آستانه‌های بدست آمده مناطق آنومال را می‌توان مشخص نمود که در بخش‌های بعدی ارائه می‌گردد.

### 5-1-3-3 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. بدین ترتیب ارتباط فضایی نقاط در این روش کاملاً در نظر گرفته می‌شود. انتقال داده‌ها با تکنیک پنجره متحرک در عرصه‌های مختلف پردازش تصویر، پردازش داده‌های ژئوفیزیکی و داده‌های ژئوشیمیایی بطور فراوان استفاده گردیده است. یک پنجره ثابت نمی‌تواند گونه‌های مختلف موجود زمین‌شناسی با مقیاس‌های مختلف را در برگیرد. از این‌رو روش‌های پنجره متحرک با یک مقدار ثابت پنجره نمی‌تواند بهترین نتیجه را به ما بدهد. این اشکال با بکاربردن پنجره‌های متحرک بهینه و با شکل و اندازه مختلف رفع شد. این



نظریه با استفاده از روش آماره فضایی  $U$  که به وسیله چنگ و همکارانش در سال 1995 و 1996 پیشنهاد گردید مشهور گشت (Cheng, 1999). نظریه اولیه آنالیز آماره فضایی این است که اگرچه هر کدام از نمونه‌های محدوده همپوشانی (از  $z_A$  تا  $z_B$  در شکل 3-1) نمی‌توانند طبقه‌بندی گردند اما با استفاده از آمار و براساس گروهی از نمونه‌های همان جامعه و بکارگیری اطلاعات فضایی می‌توان تصمیم‌گیری بهتری اتخاذ نمود از این‌رو آنالیز فضایی می‌تواند جهت بهبود نتایج طبقه‌بندی استفاده گردد (سید رحیمی و همکاران، 1387؛ Cheng et al., 1996).

در روش‌های معمول تخمین حدآستانه‌ای مانند نمودارهای احتمال، روش‌های آماره تک‌متغیره و چند متغیره غلظت عنصر در نمونه‌ها را مدنظر قرار می‌دهند، در صورتی که آماره فضایی  $U$  در حقیقت یک تجزیه و تحلیل آماری فضایی انجام می‌شود و لذا علاوه بر توزیع فراوانی غلظت عنصر مورد نظر، موقعیت فضایی نمونه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود.

همانطور که در بخش 3-2 این فصل گفته شد دو نوع خطا در طبقه بندی نمونه‌ها به زمینه و آنومالی وجود دارد:

1- خطای رد کردن: که در نتیجه رد کردن طبقه بندی یک نمونه مربوط به جامعه زمینه در آن جامعه است ( $e_I$ ).

2- خطای پذیرش: که ناشی از پذیرفتن یک نمونه مربوط به جامعه آنومال در جامعه زمینه است ( $e_{II}$ ).

این دو خطا به طور معکوس با یکدیگر همراهند و لذا باید مجموع آنها حداقل شود. آماره فضایی  $U$  می‌تواند دو حالت داشته باشد:

(الف) با افزایش تعداد نمونه‌ها خطای کل به صفر برسد ( $\lim_{n \rightarrow \infty} (e_I + e_{II}) = 0$ ).

(ب) با افزایش تعداد نمونه‌ها خطا تمایلی به صفر شدن نداشته باشد ( $\lim_{n \rightarrow \infty} (e_I + e_{II}) > 0$ ).

ثابت شده است که آماره U (مانند آماره های  $\chi^2$  و F) از نوع اول است و لذا وقتی تعداد نمونه‌ها به طور نامحدود افزایش می‌یابند خطای کلی به صفر نزدیک می‌شود (Cheng et al., 1996).

تنها عامل کنترل کننده دو نوع خطای  $e_I$  و  $e_{II}$  (خطاهای جداسازی آنومالی از زمینه) در این روش، تعداد نمونه‌هاست و معمولاً با افزایش تعداد نمونه‌ها نتایج بهتری حاصل می‌شود. فرض کنید جامعه A دارای توزیع نرمال با میانگین  $\mu_A$  و پراش  $\sigma_A^2$  و جامعه B نیز دارای توزیع نرمال با میانگین  $\mu_B$  و پراش  $\sigma_B^2$  باشند. نمونه‌های مستقل تصادفی  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  از این دو جامعه جمع‌آوری و مخلوط می‌شوند. هدف تشخیص نمونه‌های مربوط به هریک از دو جامعه A و B می‌باشد. متغیر تصادفی U به صورت  $U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  تعریف می‌شود. این بدان معنی است که U میانگین مقادیر  $x_i$  است. این متغیر دارای خصوصیات زیر می‌باشد (Cheng et al., 1996).

اگر همه نمونه‌ها از جامعه A دارای میانگین حسابی  $E(U) = \mu_A$  و پراش  $\sigma^2(U) = \frac{1}{n} \sigma_A^2$  باشند و همه نمونه‌ها از جامعه B دارای میانگین حسابی  $E(U) = \mu_B$  و پراش  $\sigma^2(U) = \frac{1}{n} \sigma_B^2$  باشند آنگاه میانگین U برای نمونه‌هایی از جامعه A (یا B) همان میانگین x برای جامعه A (یا B) است، ولی پراش U برای هر دو جامعه، برابر  $\frac{1}{n}$  پراش مقدار x است و فقط به تعداد نمونه بستگی دارد.

اگر بجای متوسط حسابی، متوسط وزن دار برای U بکار رود خواهیم داشت (رابطه 3-3):

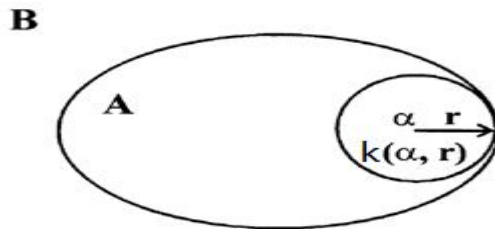
$$U = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad 3-3$$

که در آن دو محدودیت در مورد وزن‌ها وجود دارد این دو محدودیت عبارتند از:  $0 \leq W_i \leq 1$  و  $\sum W_i = 1$ . اگر نمونه‌ها مربوط به جامعه A باشند خواهیم داشت:  $E(U) = \mu_A$  و  $\sigma_U^2 = \sum W_i^2 \sigma_A^2$  و اگر نمونه‌ها مربوط به جامعه B باشند آنگاه خواهیم داشت:  $E(U) = \mu_B$  و  $\sigma_U^2 = \sum W_i^2 \sigma_B^2$ . در

صورتی که یکی از وزن‌ها  $W_1 = 1$  باشد شرط  $\sum W_i = 1$  ایجاب می‌کند که بقیه وزن‌ها صفر باشد. اگر همه وزن‌ها برابر هم و برابر  $\frac{1}{n}$  باشند (میانگین حسابی داده‌ها) در این صورت رابطه 3-4 را خواهیم داشت:

$$\sum W_i^2 = \frac{1}{n^2} + \frac{1}{n^2} + \dots + \frac{1}{n^2} = \frac{n}{n^2} = \frac{1}{n} \quad 4-3$$

لذا  $\frac{1}{n} \leq \sum W_i^2 \leq 1$  است. بنابراین آماره  $U$  یک میانگین وزن‌دار است، یعنی در هر نقطه از نقاط اندازه‌گیری و یا نمونه‌برداری مقدار  $U$  به صورت میانگین وزن‌داری از نقاط اطراف محاسبه می‌شود. فرض کنید موقعیت آامین 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 می‌گیریم و آنرا  $k(\alpha_i, r)$  می‌نامیم (شکل 3-3).



شکل (3-12): پنجره متحرک کروی با شعاع متغیر:  $A$  منطقه آنومالی و  $B$  منطقه زمینه است.  $k(\alpha, r)$  همسایگی مدور اطراف نمونه  $\alpha_i$  با شعاع  $r$  است. نمونه‌های  $k(\alpha, r)$  برای ایجاد  $U(r)$  میانگین‌گیری می‌شود (Cheng., 1999).

مانند همه روش‌های میانگین وزن‌دار، نقاط نزدیکتر وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. رابطه 3-5 معیار نزدیکی و دوری نمونه  $\alpha_j$  به نمونه  $\alpha_i$  واقع در مرکز دایره  $k(\alpha, r)$  را بدست می‌دهد (Cheng et al, 1996):

$$\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j) = \frac{r - d(\alpha_i, \alpha_j)}{r} \quad 5-3$$

که در آن  $d(\alpha_i, \alpha_j)$  فاصله بین موقعیت نمونه‌های  $\alpha_i$  و  $\alpha_j$  است. این تابع خواص زیر را دارد:

$$0 \leq \mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_i) \leq 1 \quad 1-$$

2- اگر  $\alpha_i = \alpha_j$  آنگاه  $\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_i) = 1$ . یعنی اگر در روی همان نقطه مورد تخمین داده‌ای وجود

داشته باشد، آن داده با بیشترین وزن ممکن که برابر واحد است شرکت می‌کند.

3- اگر  $\alpha_j \notin k(\alpha_i, r)$  آنگاه  $\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j) = 0$  یعنی نمونه‌ای که خارج از شعاع جستجو قرار دارد،

هیچ تاثیری در تخمین مقدار  $U$  نقطه مورد نظر ندارد.

حال مقدار  $W_j$  به صورت رابطه 3-6 تعریف می‌شود:

$$W_j(r) = \frac{\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j)} \quad 6-3$$

که در آن  $n$  تعداد نمونه‌هایی است که در محدوده جستجو قرار گرفته و  $W_i(r)$  وزن‌ها (تابع شعاع جستجو) می‌باشند. همانگونه که در بالا ذکر شد  $\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j)$  معیاری از نزدیکی نقطه  $\alpha_j$  به نقطه مورد تخمین ( $\alpha_i$ ) می‌باشد و در حقیقت همان وزن نقطه  $\alpha_j$  است ولی از آنجا که باید جمع وزن‌ها برابر واحد باشد، لذا رابطه فوق نقش برقرار کننده این شرط را دارد. پس از محاسبه وزن هر نمونه واقع در محدوده جستجو، می‌توان مقدار میانگین وزن دار نقاط واقع در محدوده جستجو برای نقطه نام را از رابطه 3-7 محاسبه کرد:

$$\bar{x}_i(r) = \sum_{j=1}^n w_j(r) x_j \quad 7-3$$

که در آن  $x_j$  کمیت اکتشافی مورد نظر در نقطه  $\alpha_j$  است. تنها عاملی که در محاسبه فوق مدنظر قرار نگرفته است چگونگی پراکندگی نمونه‌ها در محدوده جستجو است. این پارامتر از رابطه 3-8 محاسبه می‌شود:

$$S_i(r) = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j^2(r)} \quad 8-3$$

وقتی نمونه‌ها حول نقطه مورد تخمین بطور منظم پراکنده‌اند هر کدام وزنی معادل  $\frac{1}{n}$  پیدا می‌کنند و در نتیجه  $S_i(r) = \frac{1}{n}$  می‌شود. اما در حالتی که نقاط معلوم حول نقطه مجهول بطور نامنظم پراکنده شده باشند  $S_i(r) > \frac{1}{n}$  خواهد بود بطوری که در حالت عادی آن یعنی وقتی یک نمونه وزنی معادل 1 دریافت می‌کند بقیه نمونه‌ها وزن صفر پیدا می‌کنند مقدار  $S_i(r) = 1$  می‌شود.

مقدار آماره  $U$  در نقطه  $\lambda$  را با تاثیر  $S_i(r)$  در  $\bar{x}_i(r)$  و استاندارد کردن آن بصورت رابطه 9-3 تعریف می‌کنیم:

$$U_i(r) = \frac{\bar{x}_i(r) - \mu}{\sigma} \quad 9-3$$

که در آن  $\mu$  میانگین و  $\sigma$  انحراف معیار کل داده‌ها می‌باشد. مقدار  $U_i(r)$  تابعی از  $r$  است یعنی با تغییر  $r$  مقادیر مختلفی برای  $U_i$  بدست می‌آید. به ازای هر  $r$  تعدادی از نمونه‌های اطراف در محاسبه مقدار  $U$  نقطه مجهول شرکت می‌کنند، در نتیجه  $U$ های مختلفی برای نقطه مجهول بدست می‌آید. در واقع در هر نقطه مقدار  $U_i$  به ازای شعاع جستجوی  $r$  میانگین از تعداد  $n_1$  نمونه از جامعه آنومالی و  $n_2$  نمونه از جامعه زمینه است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$U_i(r) = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} w_j(r) x_j - \mu}{\sigma} + \frac{\sum_{k=1}^{n_2} w_k(r) x_k - \mu}{\sigma} \quad 10-3$$

اگر میانگین جامعه آنومال را  $\mu_A$  و میانگین جامعه زمینه را  $\mu_B$  بنامیم، آنگاه خواهیم داشت:

$$\mu_B < \mu < \mu_A$$

اگر نمونه‌هایی که به ازای یک  $r$  مشخص در همسایگی نقطه  $i$  قرار می‌گیرند همگی از جامعه آنومالی باشند، در رابطه فوق جمله دوم صفر می‌شود. چون در صورت کسر جمله اول میانگین وزن دار مقادیر عیار تعدادی نمونه از جامعه آنومالی محاسبه می‌شود لذا مقدار بدست آمده نزدیک به  $\mu_A$  خواهد شد که با

کسر  $\mu$  از آن مقدار نسبتاً بزرگ مثبت بدست می‌آید. بنابراین در حالتی که نمونه‌های اطراف نمونه  $i$  همگی از یک جامعه (آنومالی یا زمینه) باشند، با افزایش شعاع جستجو مقدار قدر مطلق  $U$  افزایش می‌یابد، ولی برای حالتی که نمونه‌های اطراف از جامعه آنومالی باشند این مقدار مثبت و در حالت عکس، منفی خواهد بود. این افزایش تا زمانی ادامه می‌یابد که محدوده همسایگی از یک جامعه مثلاً آنومالی (یا زمینه) وارد جامعه دیگر زمینه (یا آنومالی) شود. در این حالت جمله اول عبارت فوق مقداری مثبت و بزرگ و جمله دوم آن مقداری منفی با قدر مطلق بزرگ خواهد شد که جمع جبری آنها، مقداری کوچک و نزدیک به صفر می‌شود. بنابراین مقدار بهینه  $r$  که بیشترین جدایش بین دو جامعه آنومالی و زمینه را موجب می‌شود مقداری است که به ازای آن  $U$  حداکثر است (Cheng et al., 1996):

$$U_i^* = \max(|U_i(r_0)|) \quad ; \quad 0 \leq r \leq r_{\max} \quad 11-3$$

رابطه 11-3 به این معنی است که در هر نقطه نمونه‌برداری (با اندازه‌گیری) باید با  $r=0$  تا  $r=r_{\max}$  مقادیر  $U$  را محاسبه کرد و سپس از این  $U$ های بدست‌آمده حداکثر مقدار قدر مطلق آنها را انتخاب (به ازای شعاع همسایگی  $r_0$ ) و به نقطه مورد نظر مقدار  $U$  مربوطه را نسبت داد.

- اگر  $\alpha_i \in A$  باشد مقدار  $U_i^*$  دارای توزیع نرمال به مشخصات زیر است:  $U_i^* \approx N\left(\frac{\mu_A - \mu}{s_i(r_0)}, \frac{\sigma_A}{\sigma}\right)$

- اگر  $\alpha_i \in B$  باشد:  $U_i^* \approx N\left(\frac{\mu_B - \mu}{s_i(r_0)}, \frac{\sigma_B}{\sigma}\right)$

اگر  $\mu_B < \mu < \mu_A$  باشد، آنگاه  $U^*(r_0)$  به میانگینی برابر  $0 < \frac{\mu_A - \mu}{\sigma} < \frac{\mu_A - \mu}{s_i(r_0)}$  (اگر  $\alpha_i \in A$ ) خواهد

داشت و در صورتی که  $\alpha_i$  متعلق به  $B$  باشد میانگینی برابر  $0 < \frac{\mu_B - \mu}{\sigma} < \frac{\mu_B - \mu}{s_i(r_0)}$  است. اگر  $\alpha_i$  در مرز

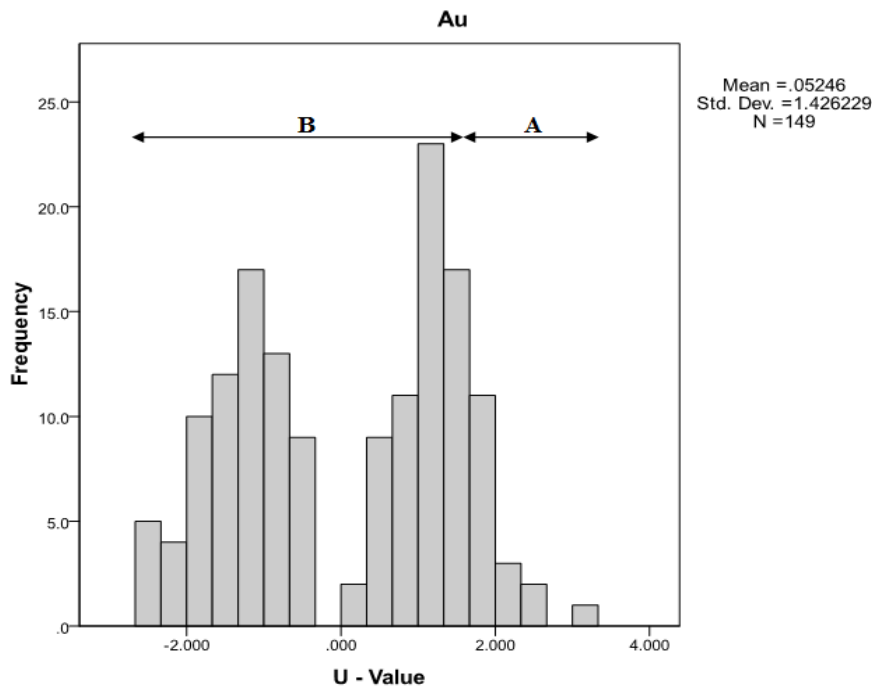
بین  $A$  و  $B$  قرار گیرد آنگاه  $r_0$  نزدیک صفر می‌شود و بنابراین  $U_i^*(r_0)$  به تعداد کل نمونه‌های داخل

$k(\alpha_i, r)$  و به موقعیت  $x_i$  بستگی دارد، بنابراین وقتی  $\alpha_j$  در نزدیک مرز A و B قرار گیرد تعداد کمی نمونه در  $k(\alpha_i, r)$  یافت می‌شود و مقدار نزدیک به مقدار استاندارد شده  $x_i$  می‌شود.

همچنین مقدار  $U^*(r_0)$  بستگی به چگالی نمونه‌برداری در ناحیه دارد. به عبارت دیگر از نظر آماری چگالی نمونه‌برداری قابلیت این روش تشخیص جوامع ژئوشیمیایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مقدار  $r_{\max}$  بسته به چگالی نمونه‌برداری و وسعت منطقه انتخاب می‌شود. در صورتی که با بررسی شعاع‌های مختلف و نزدیک به هم در منطقه نتایج یکسانی به دست آید، بنابراین روش مورد نظر نسبت به این پارامتر چندان حساس نمی‌باشد.

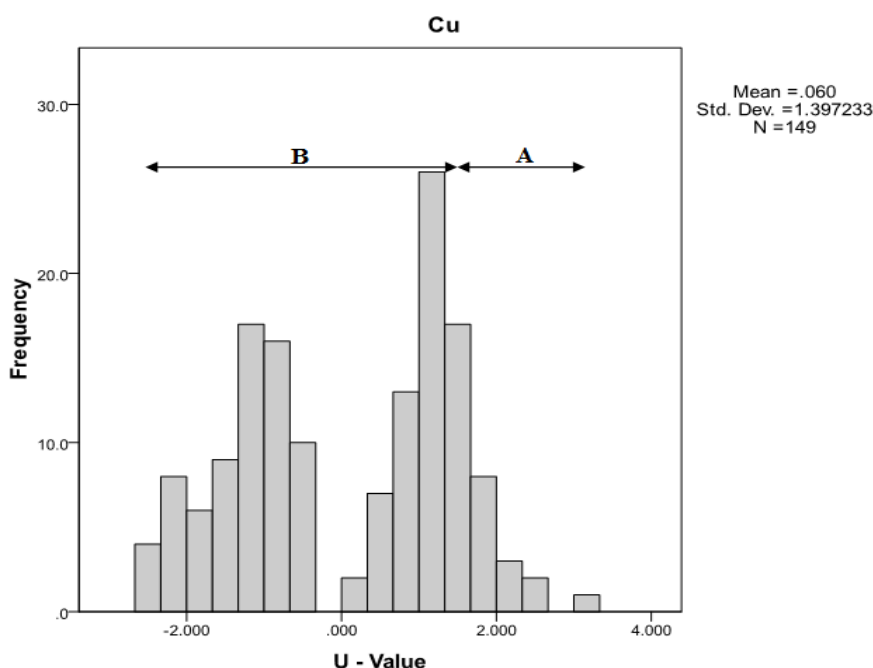
برای بدست آوردن بهترین یا بزرگترین مقدار آماره  $U^*$  در هر نقطه، باید در اطراف نقطه اندازه‌گیری، مقادیر مختلف  $U$  به ازای دوایر مختلفی که شعاع آنها را با توجه به چگالی نمونه‌برداری زیاد می‌کنیم بدست می‌آید. در نهایت دامنه‌ای از مقادیر  $U$  برای شعاع‌های مختلف بدست می‌آید که بزرگترین آنها را با  $U^*$  نشان داده و مقدار آنرا به نقطه مورد نظر نسبت می‌دهیم. برای هر نقطه نمونه برداری، از شعاع همسایگی صفر تا 1000 متر ( $r_{\max}$ )، مقادیر  $U$  محاسبه می‌شود جهت دقت در محاسبات فاصله بین شعاع دو دایره متوالی 10m در نظر گرفته شد بطوریکه برای هر نقطه نمونه برداری 100 داده نتیجه شد که برای هر کدام یک مقدار  $U$  بدست خواهد آمد و بزرگترین مقدار  $U$  از نظر قدر مطلق به نقطه مربوطه اختصاص می‌یابد. پس به ازای تعداد نمونه‌های موجود، یک مقدار  $U^*$  را خواهیم داشت که ممکن است منفی یا مثبت باشد در صورتی که نمودار فراوانی این مقادیر ترسیم گردد نقطه صفر مرز بین زمینه (مقادیر منفی  $U$ ) و آنومالی امید بخش (مقادیر مثبت  $U$ ) می‌باشد (Cheng, 1999; Ghavami et al., 2010).

نمودار فراوانی مقادیر U مربوط به طلا در شکل 3-13 دیده می‌شود که دو جامعه زمینه و آنومالی از هم تفکیک گشته است و دیگر محدوده همپوشانی زمینه و آنومالی که در شکل 3-1 نشان داده شد وجود ندارد و دو خطای  $e_I$  و  $e_{II}$  که در بخش 3-2 معرفی شد حداقل گردیده است. بخاطر 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  $1/47$  بدست آمد که در شکل 3-13 و 3-14 این محدوده برای Au و Cu 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  $1/47$  برای طلا و  $1/45$  برای مس آنومال محسوب می‌گردند. مقادیر میانگین و انحراف معیار در سمت راست نمودار آورده شده است و غالباً میانگین مقادیر U عددی نزدیک به صفر است.



شکل (3-13): توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Au. (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/47$ ), (B) جامعه زمینه





شکل (3-14): توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Cu (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/45$ )، (B) جامعه زمینه

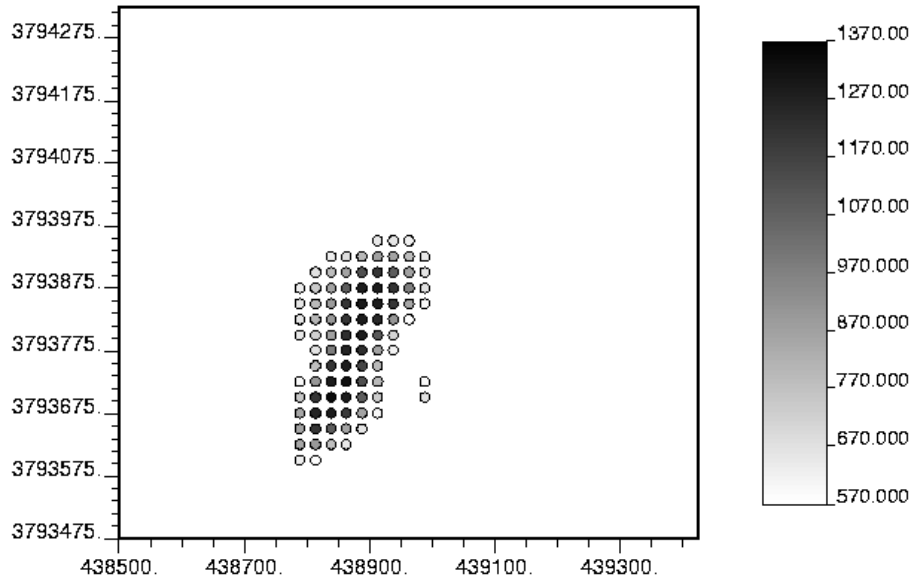
### 6-1-3-3 مقایسه نتایج روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U عناصر Au و Cu

مناطقى که در روش‌های آماره فضایی U و فراکتالی به عنوان آنومالی های Au و Cu معرفی گشتند در شکل 3-15 (برای Au) و شکل 3-16 (برای Cu) نشان داده شده‌اند. روش فراکتال مقادیر 560ppb برای طلا و 1770ppm برای مس را بعنوان آنومالی مشخص نمود اما روش آماره U این مقادیر را به ترتیب 1/47 و 1/45 نشان داد که با رسم آنها همپوشانی و انطباق خوبی مشاهده گشت. هر دو روش برای طلا و مس نتایج بسیار نزدیک به هم نشان می‌دهند که حاکی از قدرت و دقت بالای این دو روش در شناسایی آنومالی‌ها می‌باشد. مقدار U برابر 1/47 برای عنصر Au در داده‌های اولیه حدوداً برابر 500ppb و مقدار U برابر 1/45 برای عنصر Cu حدوداً برابر 1650ppm ارزیابی گردید.

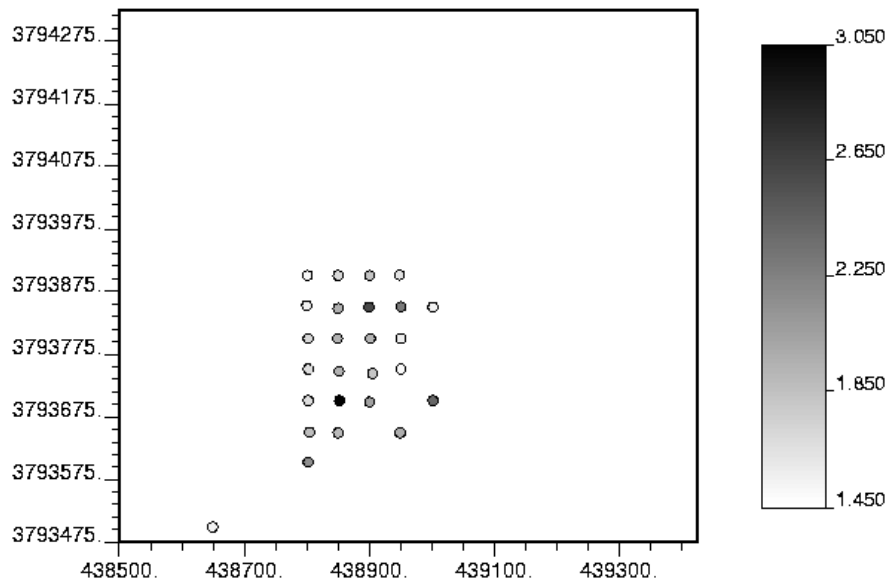
با توجه به نتایج فراکتال و آماره فضایی U جهت اطمینان کامل از انتخاب محدوده امید بخش محدوده‌های با  $Cu > 1600ppm$  و  $Au > 500ppb$  بعنوان مناطق آنومال در نظر گرفته شده‌اند در شکل 3-17 و 3-18 نقشه‌های توزیع فضایی هاله‌های پراکندگی طلا و مس در منطقه دالی شمالی ترسیم شده

است و در نقشه سایر عناصر خط تراز  $Cu > 1500ppm$  (بصورت خط چین) و  $Au > 500ppb$  (بصورت خط پیوسته) ترسیم گردیده است تا چگونگی تغییرات دیگر عناصر با آنها سنجیده شود. بنظر می‌رسد حداکثر مقادیر Au-Cu در سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری و تا حدودی در مرز خارجی آن می‌باشد.

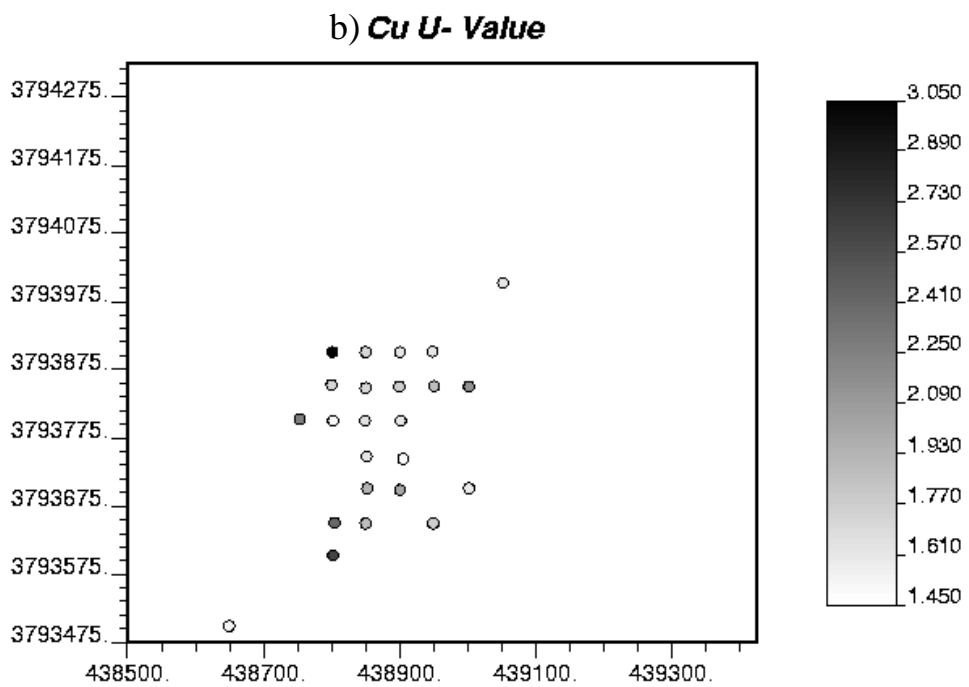
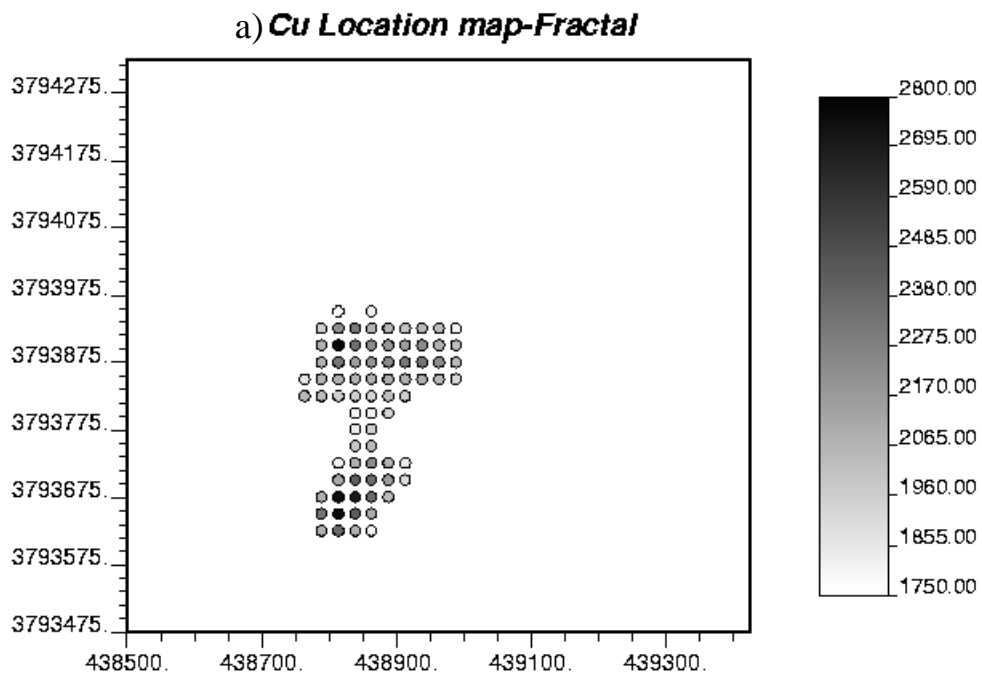
a) **Au Location map-Fractal**



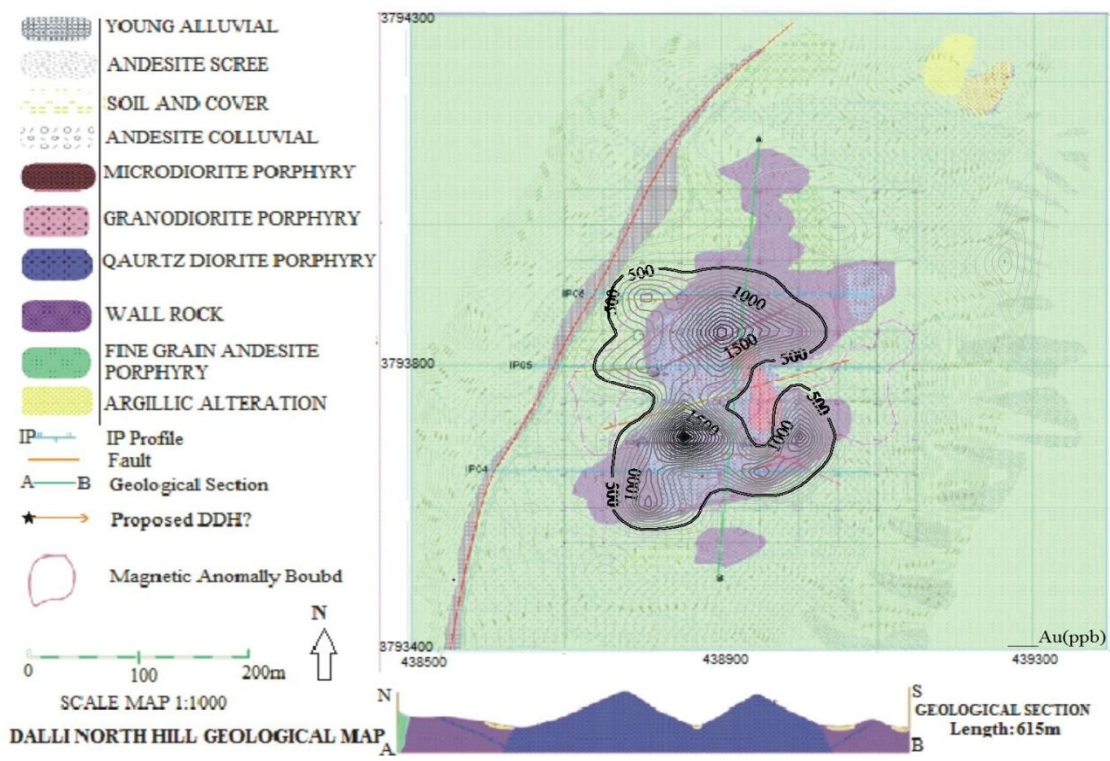
b) **Au U- Value**



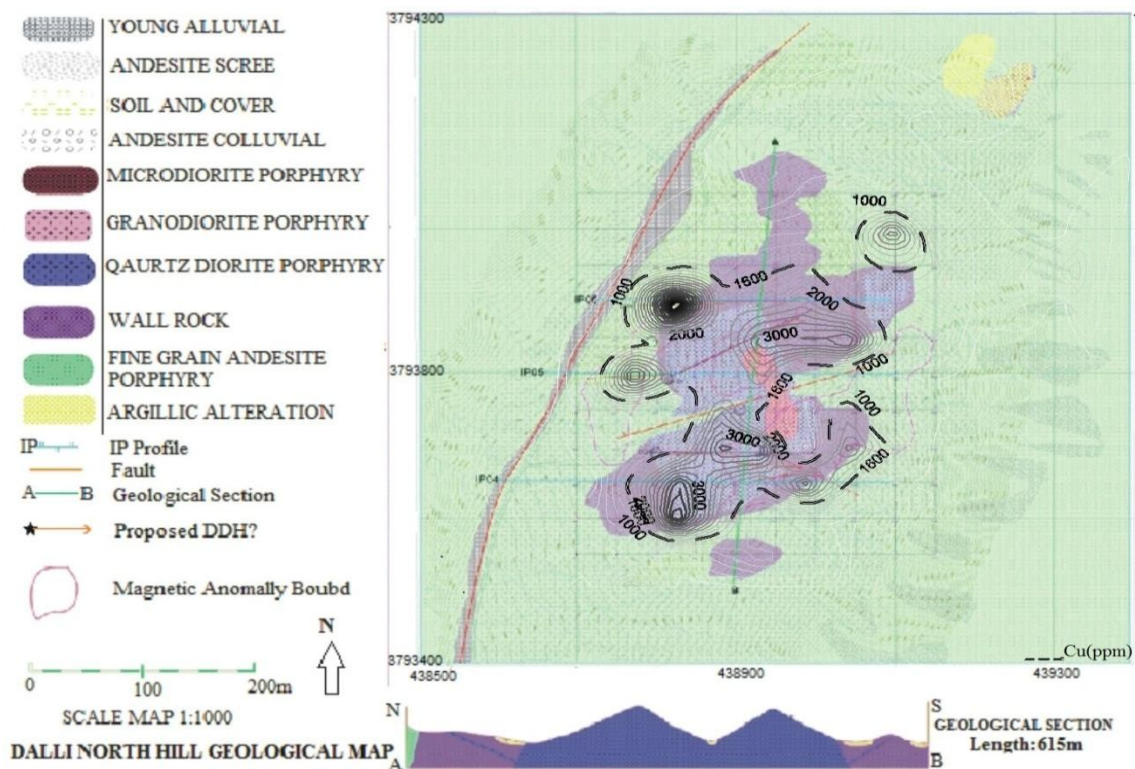
شکل (3-15): مناطق آنومال Au مشخص شده توسط روش فراکتالی در شکل a (غلظت بالای 560ppb) و روش آماره U (مقدار بزرگتر از  $\bar{U} + S = 1/47$ ) در شکل b



شکل (3-16): مناطق آنومال Cu مشخص شده توسط روش فراکتالی در شکل a و روش آماره U (مقدار بزرگتر از  $\bar{U}+S=1/45$ ) در شکل b



شکل (3-17): نقشه آنومالی طلا در منطقه دالی شمالی



شکل (3-18): نقشه آنومالی مس در منطقه دالی شمالی

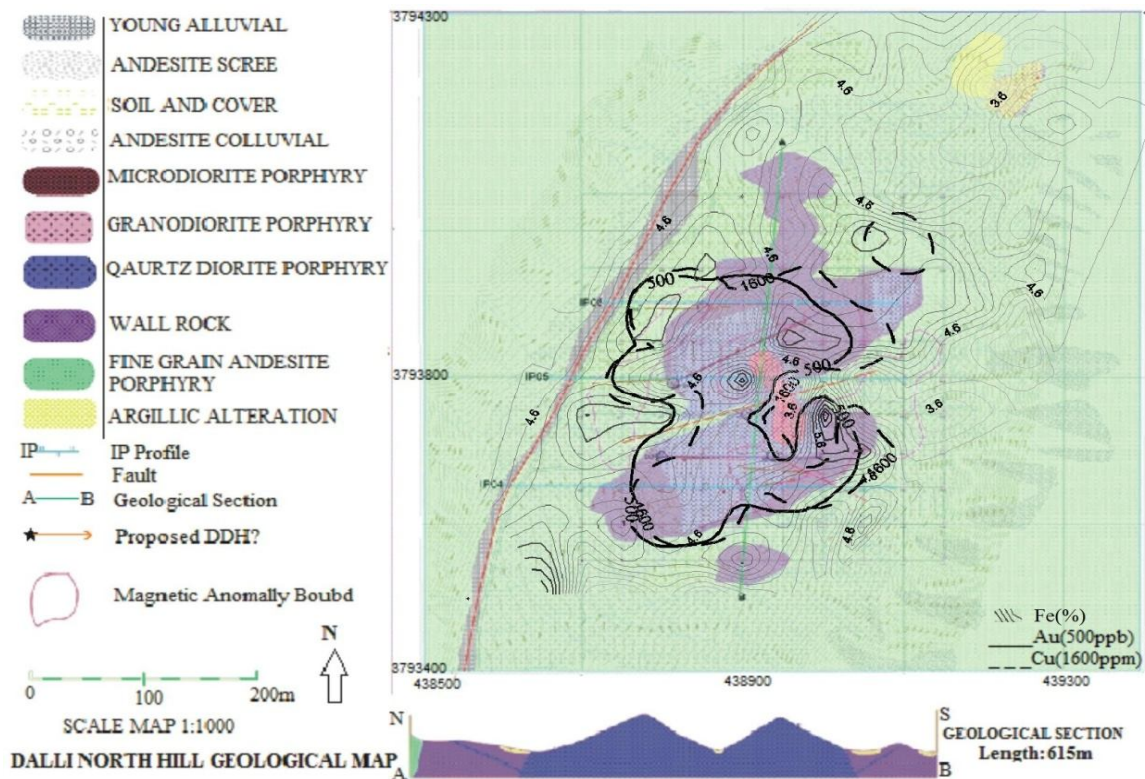
### 2-3-3 بررسی تغییرات غلظت سایر عناصر در خاک

آنومالی‌های بدست آمده عناصر Au و Cu انطباق بسیار بالایی نشان داده و جهت بررسی چگونگی تغییرات غلظت سایر عناصر در خاک نقشه‌های توزیع غلظت هر عنصر ترسیم و با آنومالی‌های Au و Cu مقایسه گردید. آنومالی‌ها با توجه به روش‌های تفکیک آنومالی ذکر شده در قسمت‌های قبل صورت گرفته است. در این مقایسه ملاحظه شد که بعضی از عناصر ویژگی‌های خاصی نشان داده یعنی تا حدودی غنی شدگی نسبی و بعضی دیگر تهی شدگی شدید در منطقه آنومال نشان می‌دهند. عنصر Fe تا حدودی در سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری و بیشترین مقادیر خود را در مرز سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت‌های با کانی‌زایی ضعیف (سنگ دیواره) دیده می‌شود (شکل 3-19). این عنصر تا حدودی یکی از عناصر وابسته به آنومالی‌های Au-Cu می‌باشد. خطوط تراز ترسیم شده برای غلظت عناصر در محدوده ترسیمی در دالی شمالی غلظت‌های بالا (غنی شدگی) با خطوط قطور و مشکی ترسیم شده است در حالی که غلظت‌های پایین (تهی شدگی) با خطوط نازک و روشن نشان داده شده است که این به صورت تدریجی صورت می‌گیرد.

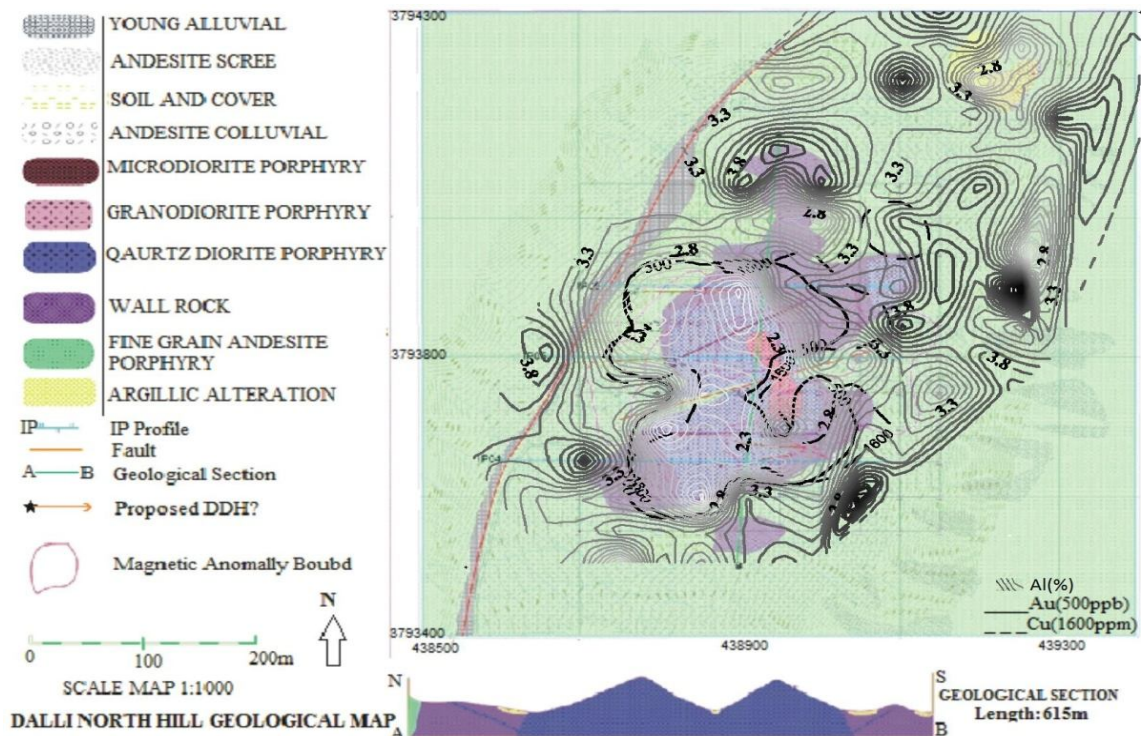
عنصر Al هم از عناصری است که در سنگ دیواره و سنگ‌های آندزیتی تمرکز غلظت نشان می‌دهد این در حالی است که در سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری، این عنصر تهی شدگی دارد (شکل 3-20) پس یک عنصری است که در مقیاس ناحیه ای بتوان از آن بهره جست.

La و Ce هم در سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری مقادیر غلظت بیشتری نسبت به اطراف نشان می‌دهند و این غلظت بالا در قسمت جنوب، شرق و شمال شرق منطقه آنومال Au و Cu دیده می‌شود (شکل 3-21).

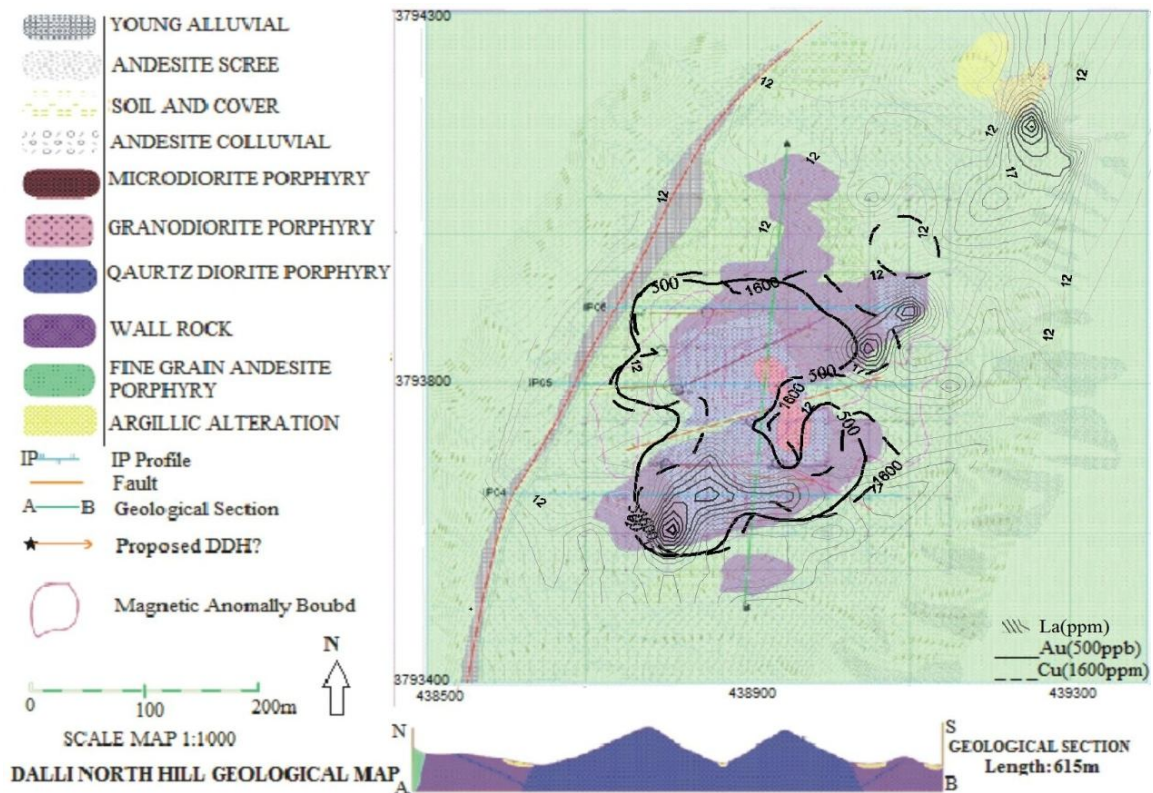
عناصر Li و علی‌الخصوص Na در مراکز آنومالی Au-Cu از خود تهی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند (شکل 3-22 و 3-23). این روند در Na بخوبی دیده می‌شود و در منطقه روند غنی‌شدگی از مرکز به اطراف دیده می‌شود. تغییرات غلظت برای عناصر K, Mg, Ti, Ga, V, Ni, B, Sr, Co, Cr, S, Pb, Zn, Ba و Ce, Y, P, Mo در پیوست الف و از شکل الف-1 تا شکل الف-18 آورده شده است.



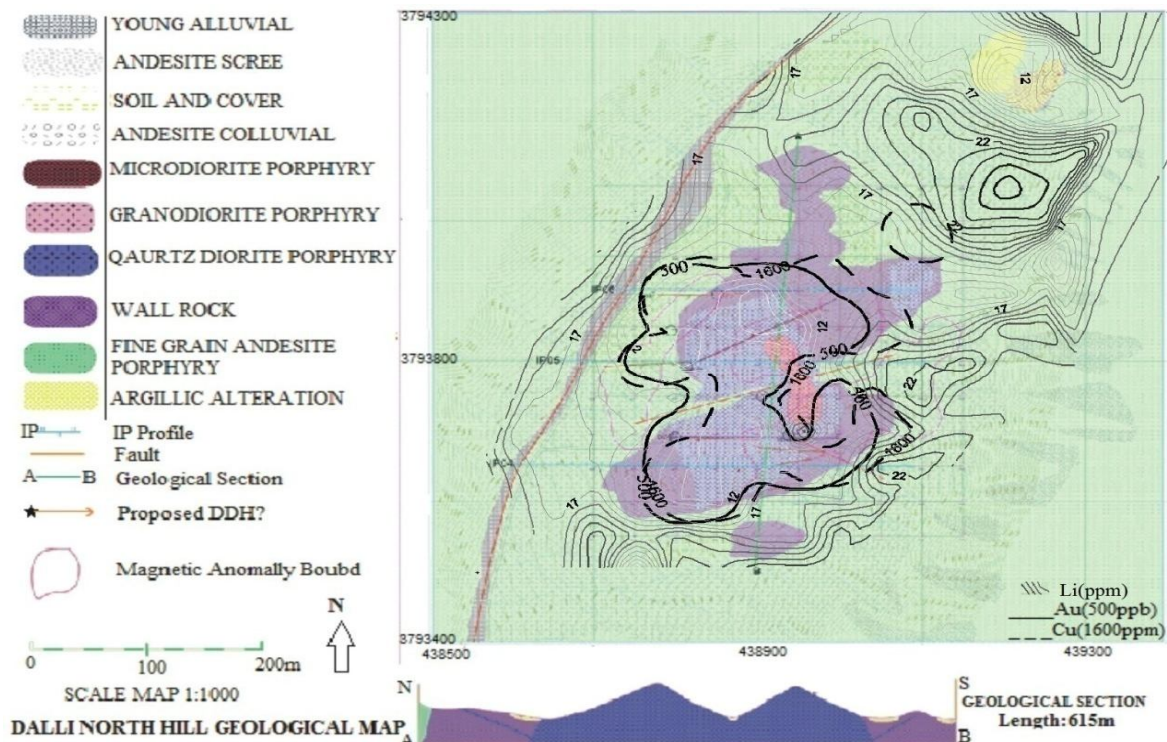
شکل (3-19): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Fe نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی



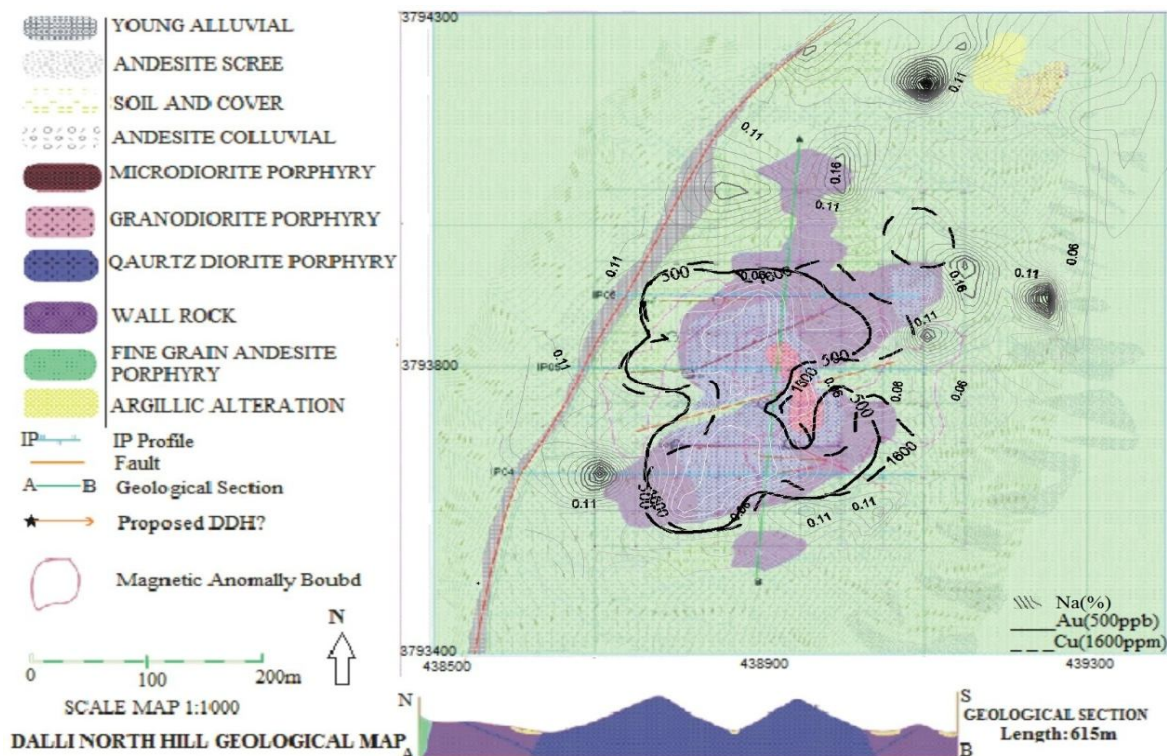
شکل (3-20): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Al نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی



شکل (3-21): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر La نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی



شکل (3-19): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Li نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی



شکل (3-20): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Na نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی



با توجه به اینکه عنصر طلا همراه با Cu بعنوان عناصر آنومال مبناء می‌باشند تغییرات دیگر عناصر را به سمت منطقه آنومال (Au-Cu) مورد بررسی قرار داده‌ایم. در بررسی‌های تک عنصری روند زیر در نمونه‌های برداشت شده از خاک مشاهده گردید:

Au, Cu, Ce, La, Fe, Al, Mn, Ca, Na, Li

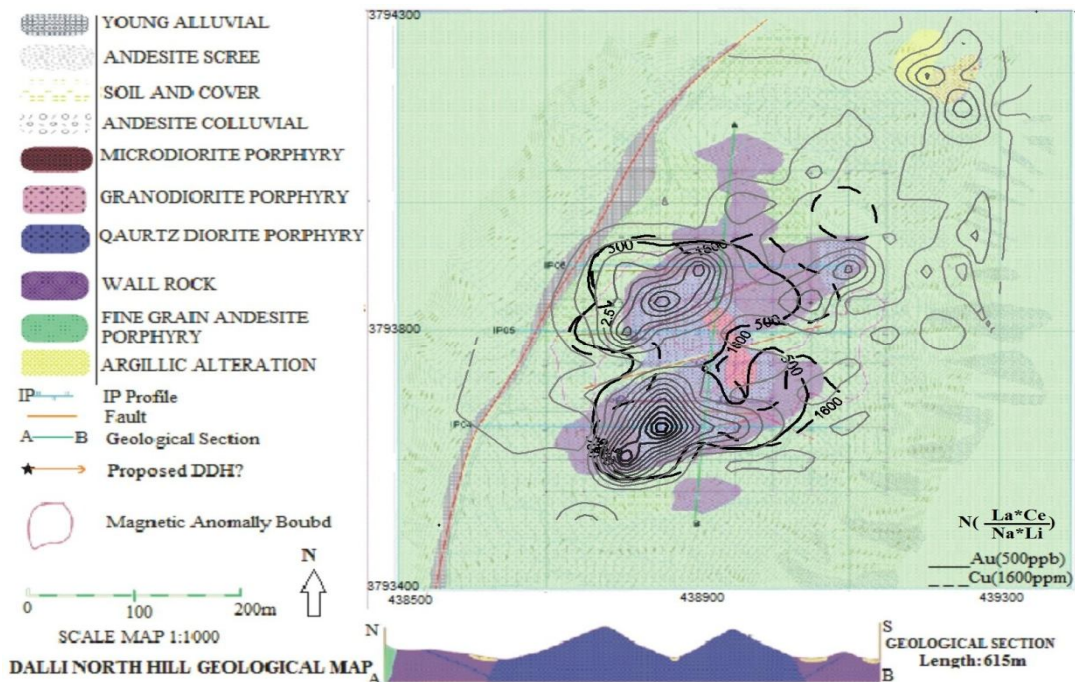
در این توالی عناصر آنومال و مورد پی‌جویی (Cu و Au) در ابتدای سری و متعاقب آنها عناصری که تا حدودی در مرکز آنومالی Au-Cu غنی‌شدگی و یا روندی صعودی را نشان می‌دهند، آورده شده و در انتهای سری عناصر با تهی‌شدگی در مرکز آنومالی Au-Cu و غنی‌شدگی در اطراف منطقه آنومال Au-Cu جای می‌گیرد.

با بررسی‌های فراوان و سنجش عناصر مختلف در نسبت‌های گوناگون نسبت  $\frac{Ce.La}{Na.Li}$  همانطور که در شکل 3-24 دیده می‌شود برای داده‌های نرمالایز شده یک شاخص مناسب و یک راهنمای پی‌جویی برای آنومالی Au و Cu در منطقه دالی شمالی می‌باشد چرا که عناصر Ce و La تا حدودی در قسمت جنوبی و کمتر در قسمت شمالی آنومالی غلظت‌های بالا (شکل 3-21) و عناصر Li و Na هم در مرکز آنومالی تهی‌شدگی شدید نشان می‌دهند (اشکال 3-22 و 3-23). کانتور ترسیم شده برای این نسبت بر مناطق آنومال همپوشانی بالایی دارد و روند کانی‌سازی در جهت شمال‌شرقی - جنوب‌غربی را نشان می‌دهد.

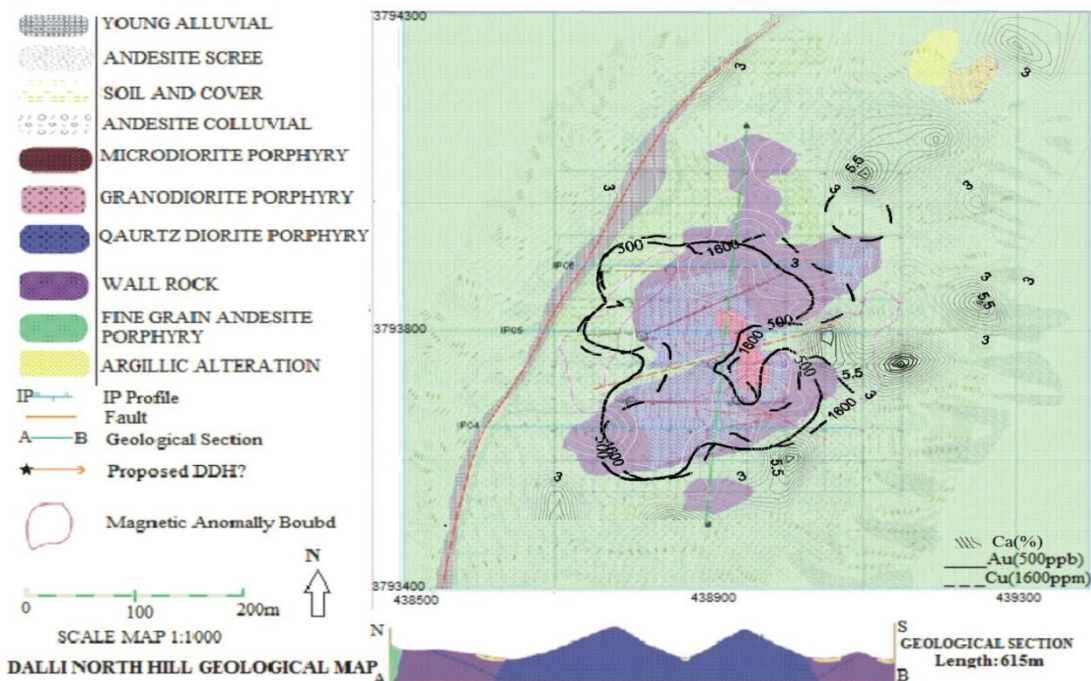
همچنین عناصر Fe و Al گرایش بیشتری به سمت قسمت‌های درونی‌تر آنومالی Au و Cu دارند و بیشتر در سنگ دیواره آندزیتی دانه‌ریز با کانی‌سازی ضعیف و همچنین سنگ‌های آندزیتی اطراف وجود دارند و Fe تا حدودی در گرانودیوریت‌های پورفیری هم یافت می‌شود عنصر Ca هم در سنگ‌های کوهپایه‌ای آندزیتی مقادیر بالاتری نسبت به اطراف نشان می‌دهد (شکل 3-25) که با نرمالایز کردن داده‌های این عناصر در نسبت  $\frac{Fe.Al}{Na.Ca}$ ، آنومالی بخوبی خود را نشان می‌دهد (شکل 3-26). از طرفی

نسبت  $\frac{Fe.Mn}{Na.Ca}$  (شکل 3-27) هم بکار گرفته شد که نتایج مشابهی را حاصل نمودند. این نسبت‌ها توسط

روش سطح روند تجزیه و در بخش بعد مورد تحلیل قرار داده شده است.



شکل (3-21): کانتور ترسیم شده برای شاخص  $\frac{Ce.La}{Na.Li}$  با عناصر نرمال شده



شکل (3-22): پراکندگی ژئوشیمیایی غلظت عنصر Ca نسبت به مناطق آنومال طلا و مس در منطقه دالی شمالی

### 1-2-3-3 روش سطح روند

در روش سطح روند<sup>1</sup> بر اساس درجات مختلفی سطح روند ناحیه‌ای تعریف شده که برای ذخایر مختلف ممکن است متفاوت باشد می‌توان به بیشترین انطباق بین سطح روند ناحیه‌ای با زمینه داده‌های ژئوشیمیایی منطقه دست یافت و بر این اساس مؤلفه باقیمانده یا آنومال را محاسبه کرد. در نرم افزار ModelVision این قابلیت وجود دارد که آنومالی (مؤلفه اپی‌ژنتیک<sup>2</sup>) را از زمینه (مؤلفه سین‌ژنتیک<sup>3</sup>) تفکیک نمود بر این اساس معادله کلی زیر در روند تفکیک حاکم خواهد بود:

12-3 مقدار زمینه - مقادیر نرمالایز داده‌های اندازه‌گیری شده = مقدار آنومالی

بمنظور ارزیابی نزدیک‌شدگی و دورشدگی از محدوده آنومالی‌های مس و طلا نسبت‌های  $\frac{Fe.Al}{Na.Ca}$  و

$\frac{Fe.Mn}{Na.Ca}$  مورد محاسبه قرار گرفته‌است و تغییرات این دو نسبت در محدوده مورد مطالعه بررسی شده

است. این دو نسبت بیشترین مقدار خود را در محدوده آنومالی و کمترین مقدار را در خارج از محدوده

آنومالی نشان می‌دهند. در صورتی که نرمال شده عناصر را در نسبت‌های مذکور قرار دهیم مشاهده

می‌شود که آنومالی‌ها با وضوح بیشتر خود را نشان می‌دهند (شکل 3-26 و شکل 3-27). در این روند مقدار

زمینه بعنوان مؤلفه ناحیه‌ای<sup>4</sup> محاسبه شده بر اساس روش روند سطحی معرفی می‌گردد و آنومالی بعنوان

مؤلفه باقیمانده<sup>5</sup> معرفی خواهد شد.

---

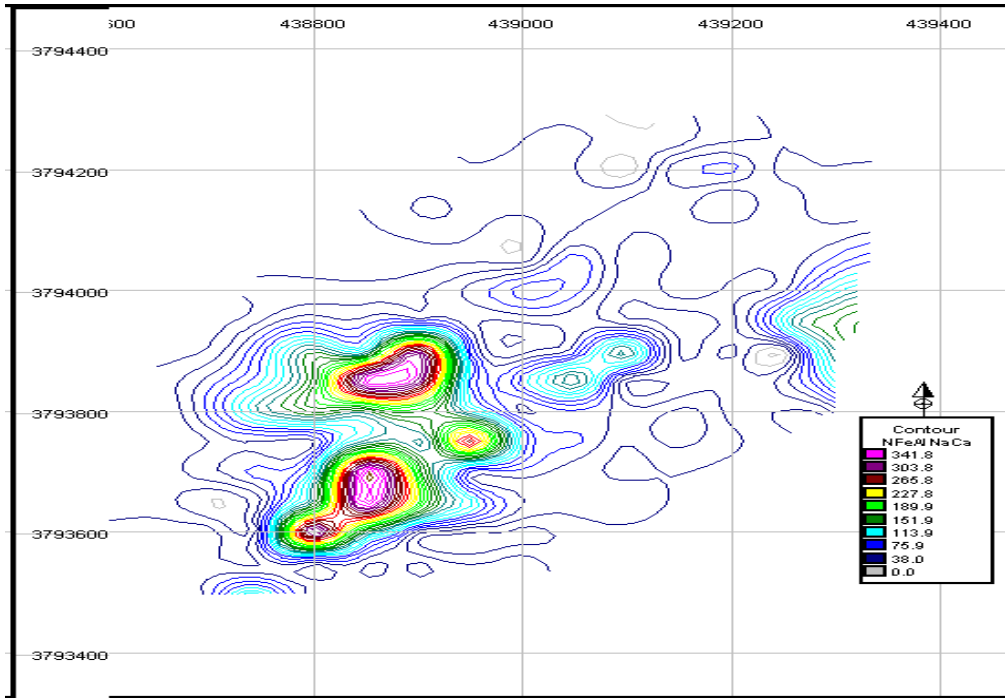
<sup>1</sup> - Trend Surface Mapping

<sup>2</sup> - Epygenetic

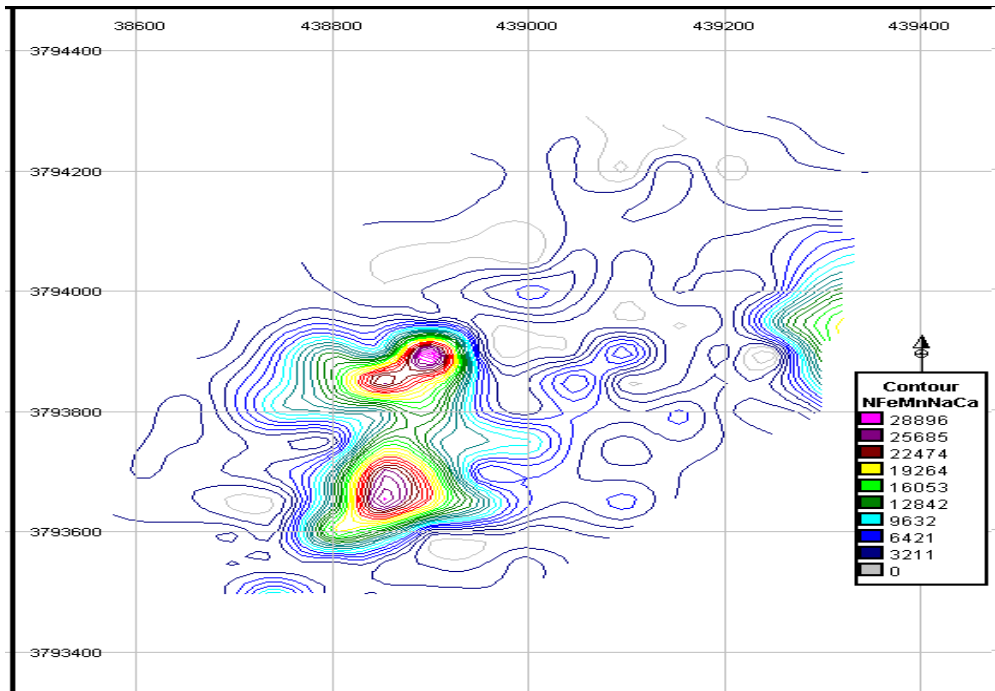
<sup>3</sup> - Syngenetic

<sup>4</sup> - Regional effect

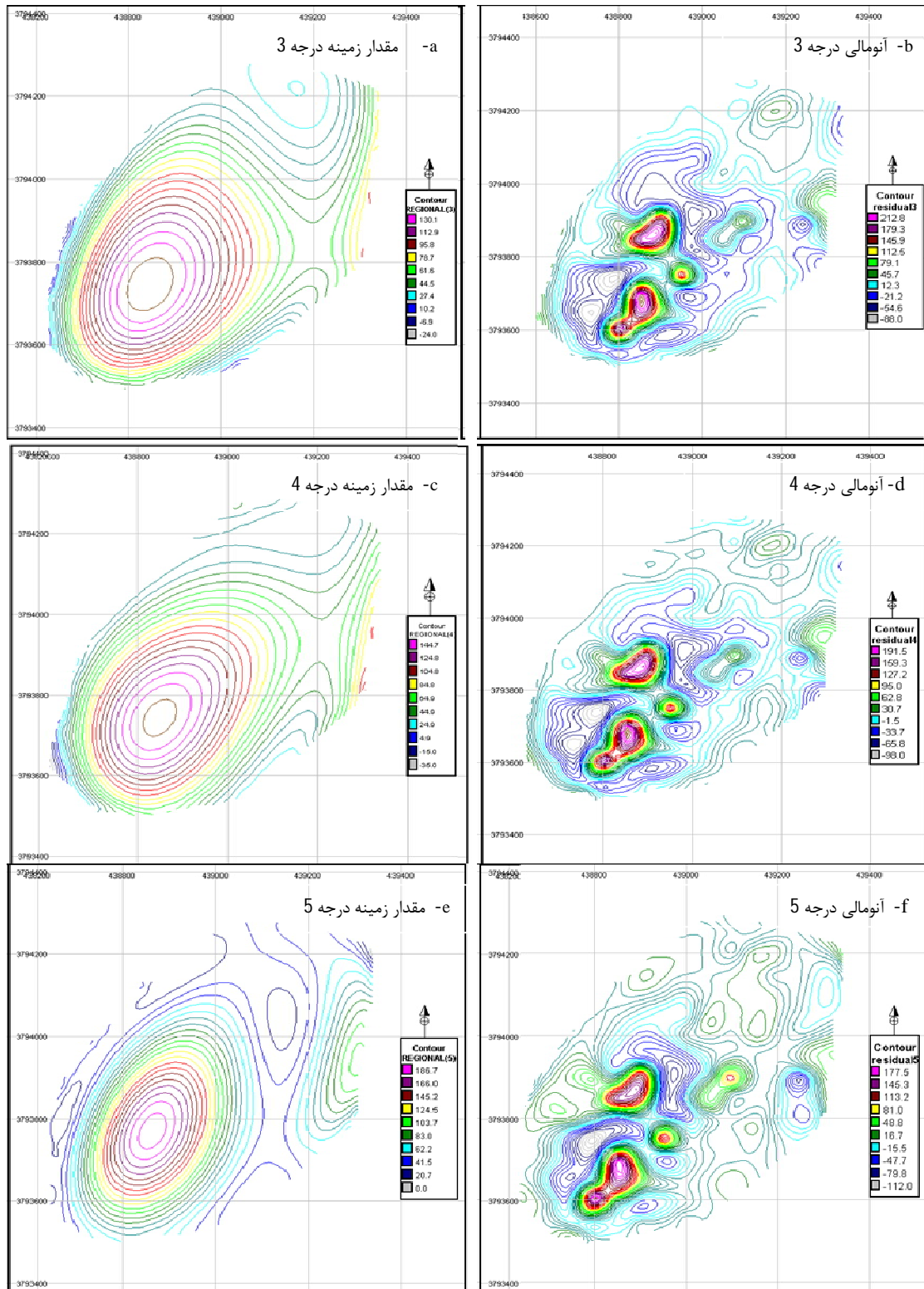
<sup>5</sup> - Residual effect



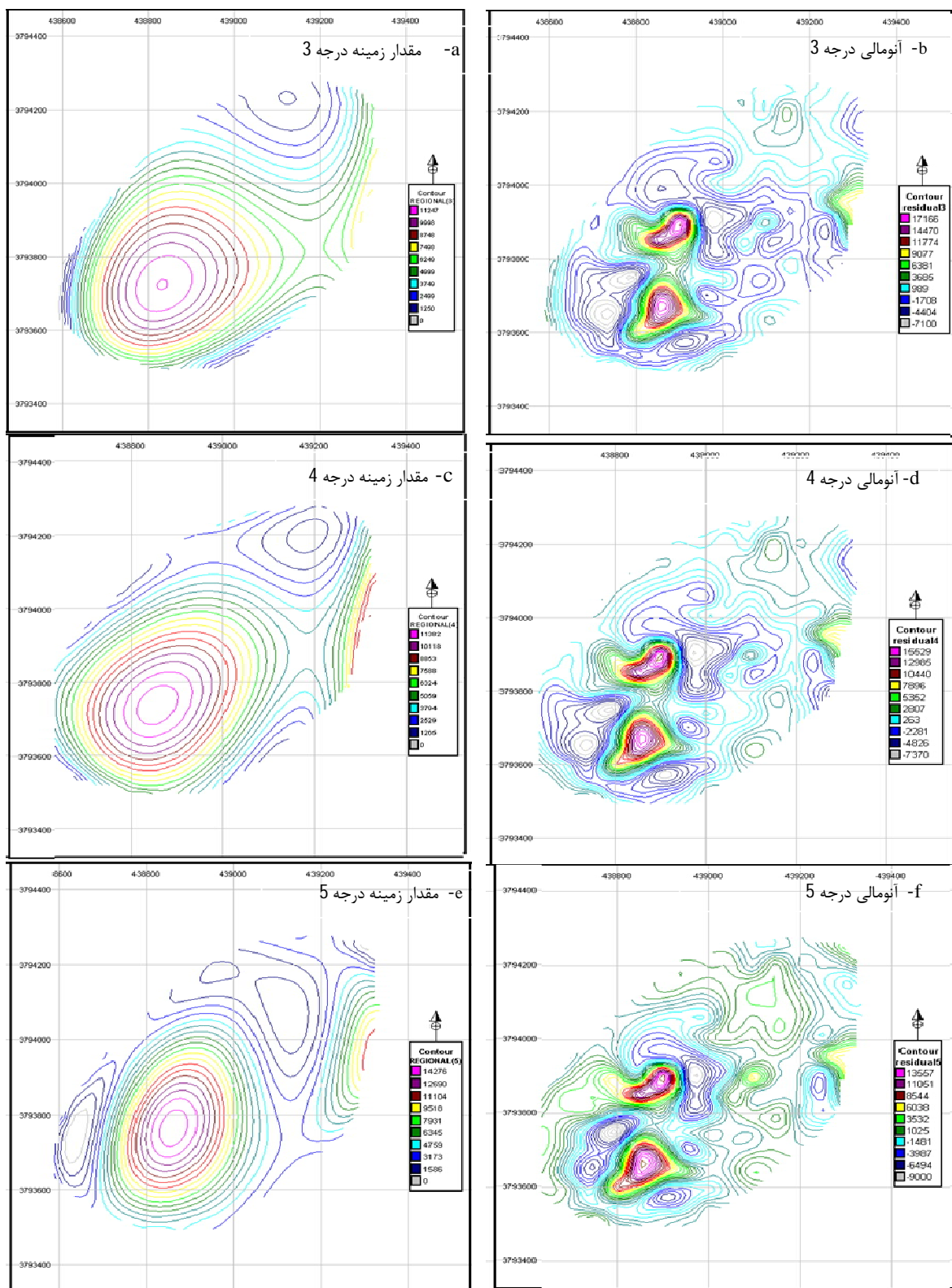
شکل (3- 23): نقشه کانتوری نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Al)}{N(Na) \times N(Ca)}$



شکل (3- 24): نقشه کانتوری نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Mn)}{N(Na) \times N(Ca)}$



شکل (3-25): نقشه‌های مقادیر زمینه و باقیمانده نسبت نرمالیز شده برای درجات مختلف 3 (a,b) و 4 (c,d) و 5 (e,f).



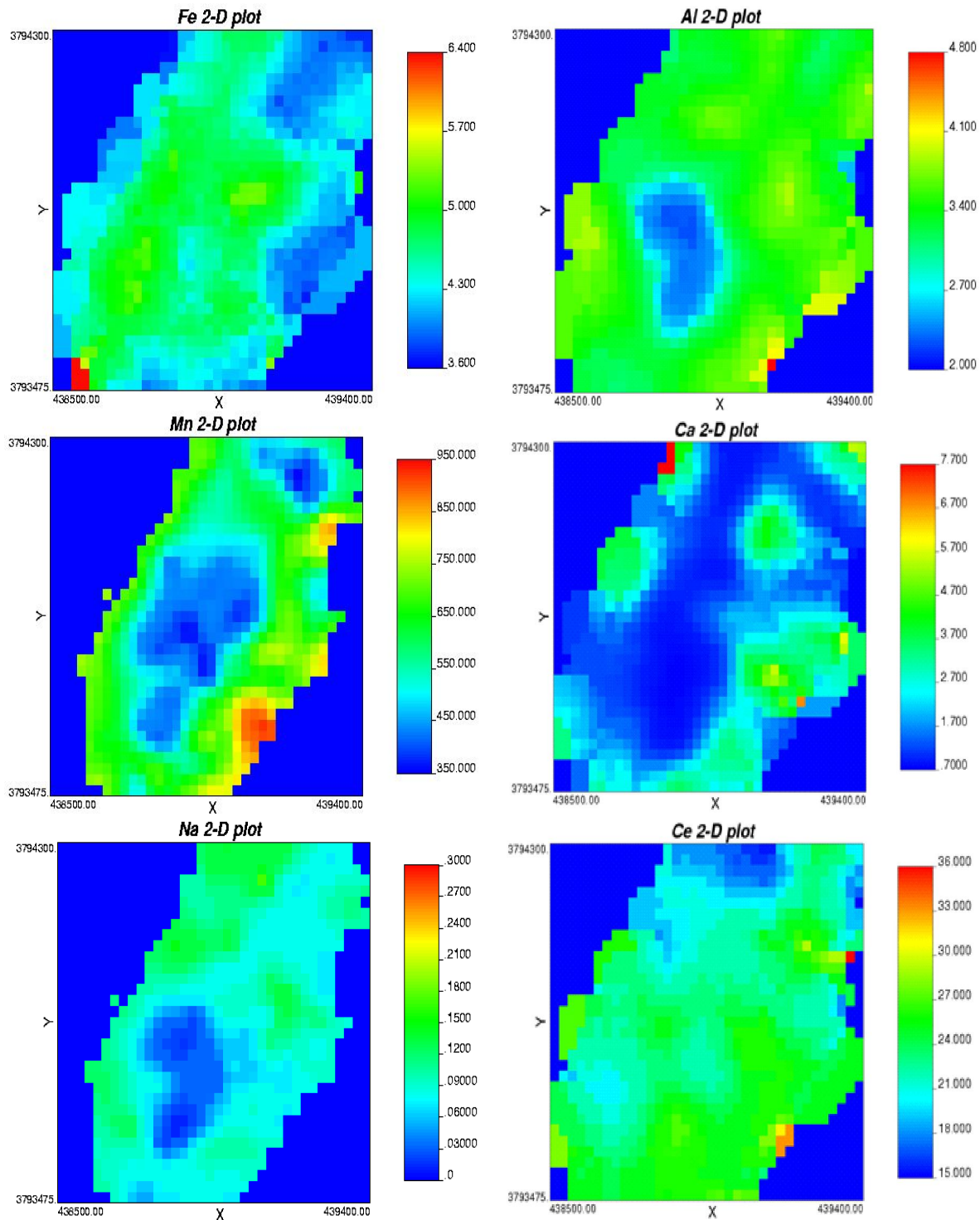
شکل (3-29): نقشه‌های مقادیر زمینه و باقیمانده نسبت نرمالیز شده  $\frac{N(Fe) \times N(Mn)}{N(Na) \times N(Ca)}$  برای درجات مختلف 3 (a,b) و 4 (c,d) و 5 (e,f).

بر روی داده‌های منطقه مورد مطالعه روش‌های روند سطحی با درجات 3 و 4 و 5 برای نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Al)}{N(Na) \times N(Ca)}$  (در شکل 3-28) و برای نسبت  $\frac{N(Fe) \times N(Mn)}{N(Na) \times N(Ca)}$  (در شکل 3-29) اعمال گردیده است که در این بررسی روند درجه 4 بهترین تفکیک را نشان داده است چرا که آنومالی‌های مشخص شده بر نتایج مراحل قبل انطباق بیشتری دارد. در این اشکال نقشه مؤلفه زمینه (شکل سمت چپ) و مولفه آنومال (شکل سمت راست) ترسیم شده است (اشکال 3-28 و 3-29). همانگونه که ملاحظه می‌گردد در محدوده‌های آنومالی طلا و مس بر اساس نسبت نرمالایز شده  $\frac{Fe.Al}{Na.Ca}$  بخوبی مناطق آنومال مشخص گردیده است به عبارت دیگر مولفه اثرات سین‌ژنتیک یا همان اثرات زمینه بخوبی از مولفه اپی‌ژنتیک یا اثرات آنومالی تفکیک گردیده است و اثرات اپی‌ژنتیک بعد از حذف مقدار زمینه مشخص گردیده است.

### 3-2-3-2 هندسه فراکتال برای عناصر دیگر

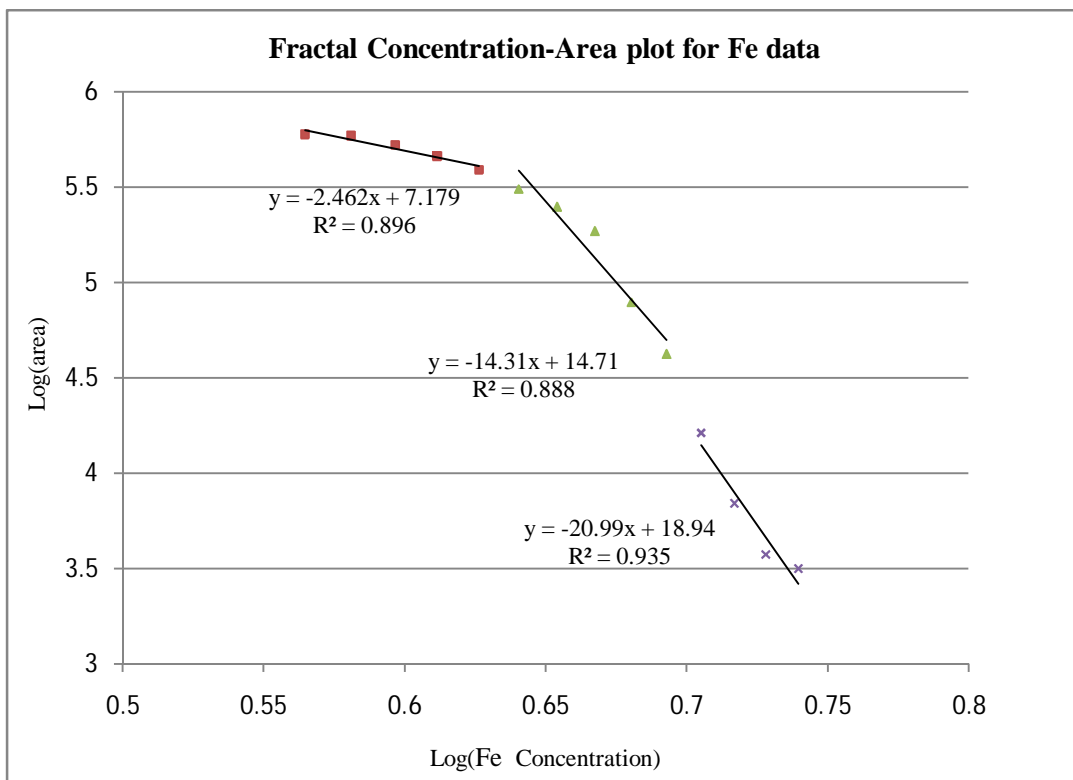
تخمین بر روی تمام عناصر مورد بررسی انجام شد و داده‌های حاصل از تخمین صورت گرفته برای عناصر Fe، Al، Mn، Ca و Na (آنگونه که برای Au و Cu انجام شد) جهت ترسیم فراکتالی در این بخش استفاده شدند (نتایج حاصل از تخمین و نمودارهای فراکتال تعدادی از عناصر دیگر در ضمیمه آورده شده است). تخمین صورت گرفته برای Fe، Al، Mn، Ca، Na و Ce در شکل (3-30) آورده شده است. از داده‌های حاصل از تخمین جهت رسم نمودار فراکتالی استفاده شد برای عناصر Fe، Al، Mn، Ca و Na جامعه آماری انتهایی بدست آمده در نمودار لگاریتم مساحت-غلظت فراکتالی که بر اساس حدود آستانه‌ای به ترتیب مقادیر بیشتر از 4/93٪، 3/2٪، 585ppm، 2/75٪ و 0/125٪ می‌باشد بعنوان آنومالی تعیین گردید نمودارهای فراکتالی این عناصر در شکل 3-31 تا 3-35 آورده شده‌اند. هاله‌های Na و Ca در اطراف کانسار به صورت یک کمربند محدوده آنومالی Au-Cu دالی شمالی را احاطه کرده‌اند. نمودار

فراکتالی عناصر Cr و Mg, K, Ti, Pb, Zn, As, Ce, Co اشکال الف-19 تا شکل الف-27 موجود در پیوست آورده شده است.

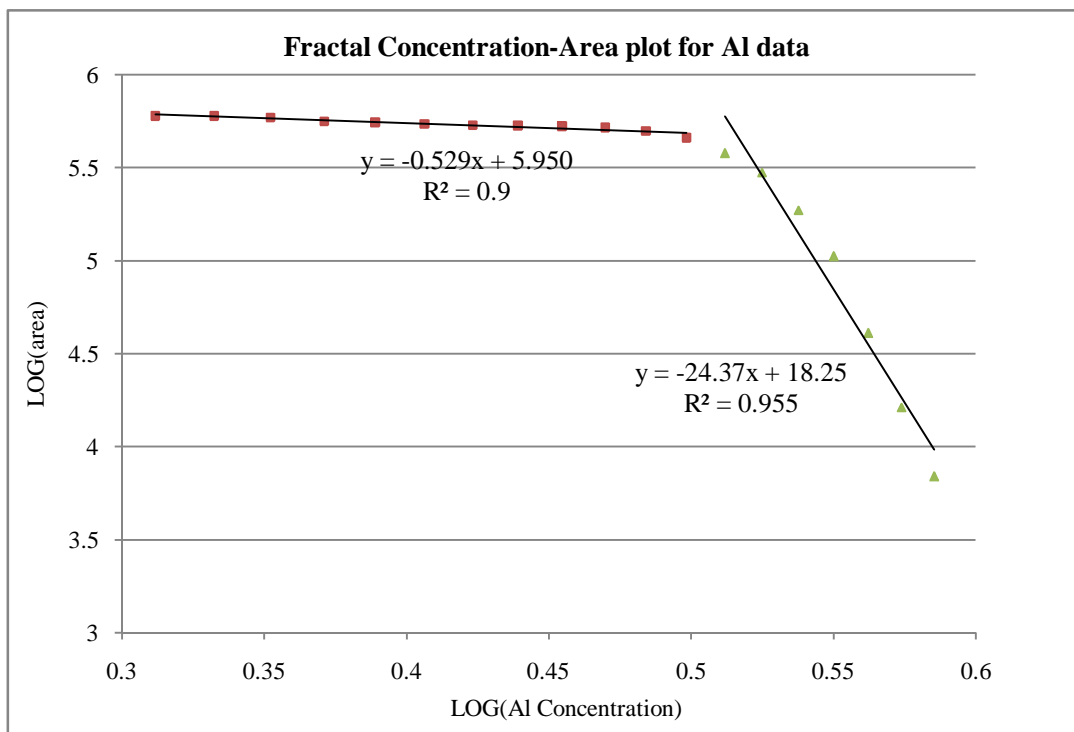


شکل (3-30): نتایج حاصل از تخمین عناصر (Fe(%), Al(%), Mn(ppm), Ca(%), Na(%)) و Ce(ppm)

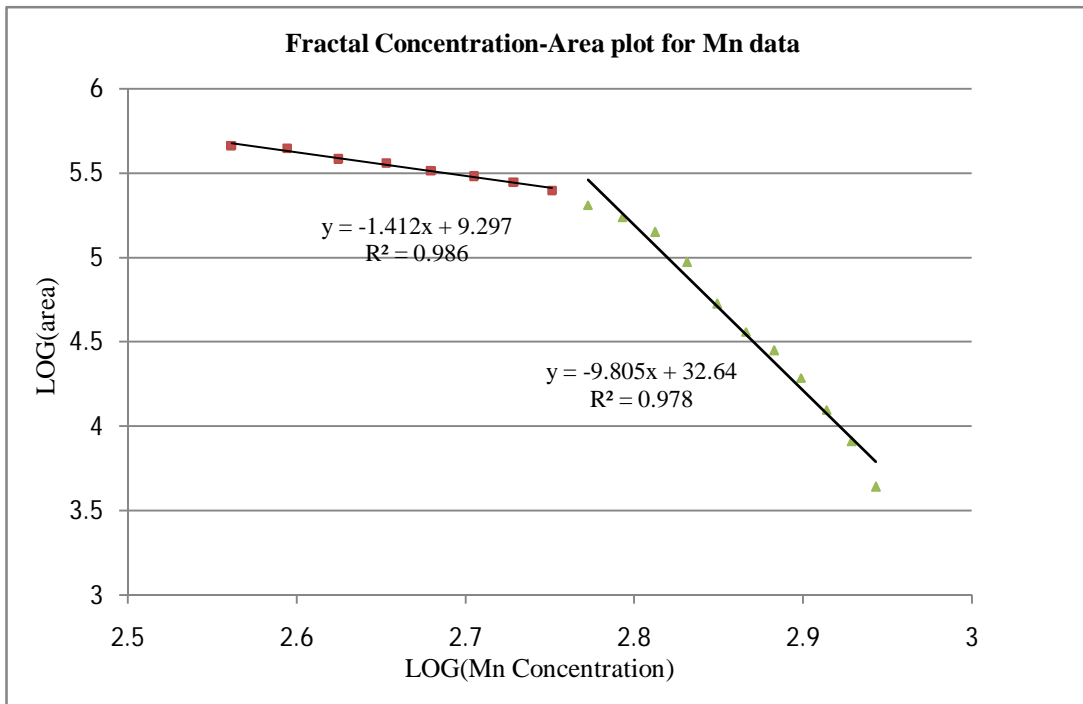




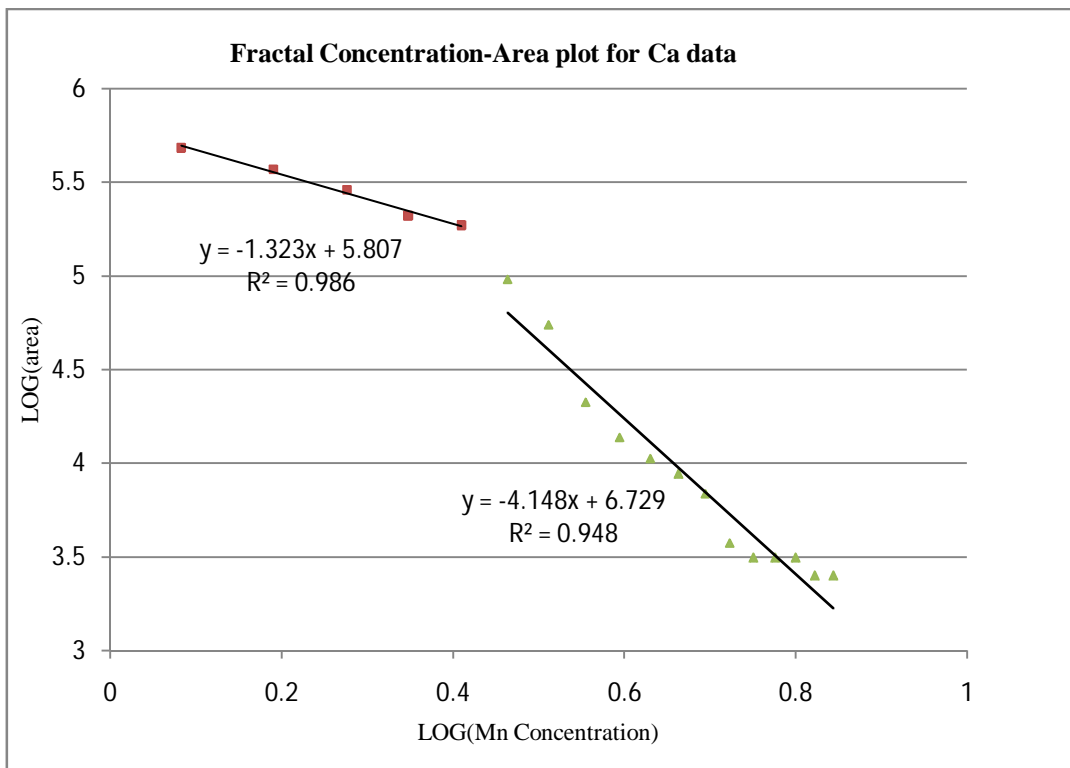
شکل (31-3): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Fe برحسب % (مقدار حدود آستانه‌ای برابر 4/23 و 4/93 درصد)



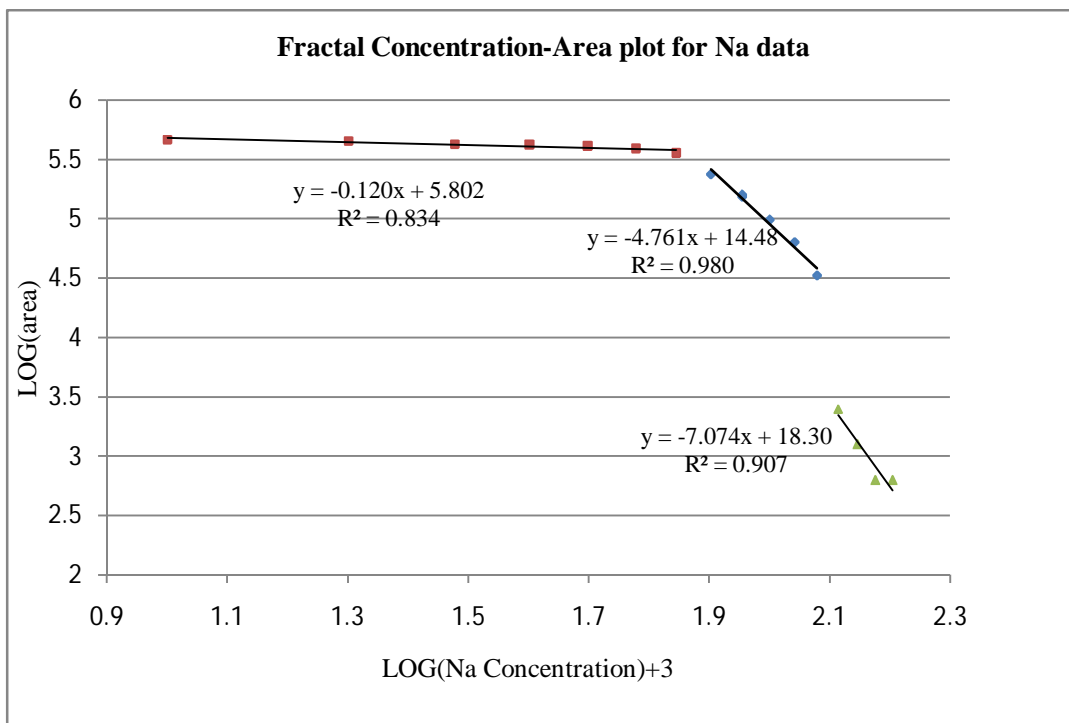
شکل (32-3): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Al برحسب % (مقدار حد آستانه‌ای برابر 3/2 درصد)



شکل (3-33): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Mn برحسب ppm (مقدار حد آستانه‌ای برابر 585ppm)



شکل (3-34): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Ca برحسب % (مقدار حد آستانه‌ای برابر 2/75 درصد)

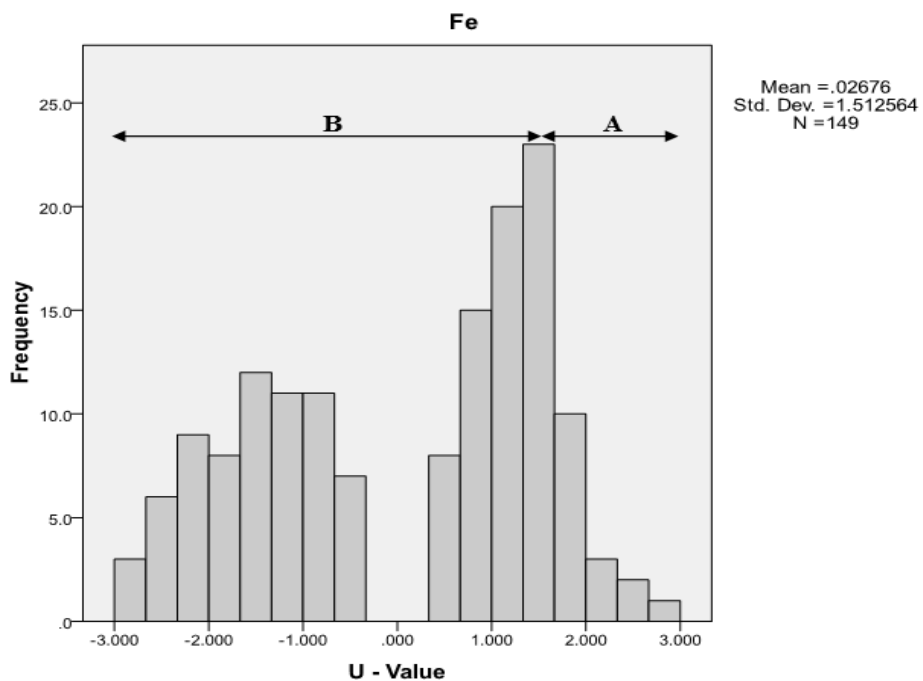


شکل (3-35): نمودار لگاریتم غلظت - مساحت عنصر Na برحسب % (مقدار حدود آستانه‌ای برابر 0/075 و 0/125 درصد)

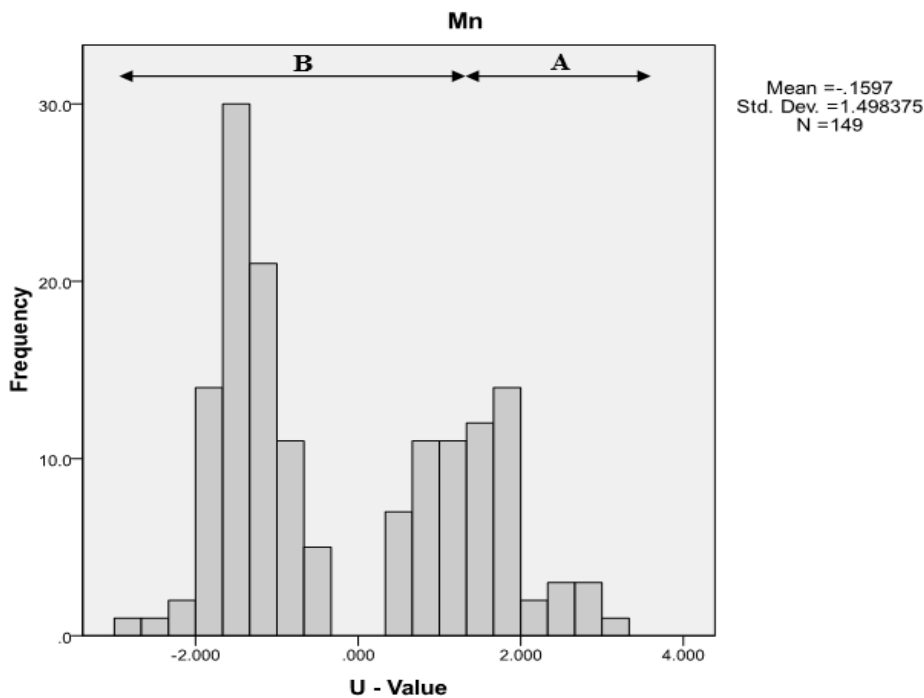
### 3-2-3-3 بررسی آماره فضایی U برای سایر عناصر

علاوه بر Au و Cu تعدادی از عناصر دیگر هم توسط آماره فضایی U مورد بررسی قرار داده شده است. مقادیر  $\bar{U} + S$  بعنوان مقادیر آنومال عناصر Fe, Mn, Pb, Zn به ترتیب 1/53, 1/34 و 1/29 و 1/58 و مقادیر کمتر از آن معرف زمینه می‌باشند. اشکال 3-36 تا 3-39 نمودار توزیع U را برای این عناصر نشان می‌دهد که مقادیر زمینه و آنومالی با A و B نشان داده شده است. اگرچه در آماره فضایی U مقادیر بیشتر از صفر مقادیر امیدبخش و یا آنومالی هستند اما در اینجا  $\bar{U} + S$  بعنوان حد آنومال در نظر گرفته شد که  $\bar{U}$  مقدار میانگین مقادیر آماره U عنصر و S انحراف از معیار عنصر می‌باشد. در همه این هیستوگرام‌ها مقدار U برابر صفر مرکز هیستوگرام می‌باشد که دو جامعه اطراف آن وجود دارد مقادیر بالاتر از صفر آنومالی و مقادیر کمتر از صفر زمینه می‌باشد. مشاهده می‌شود که این روش زمینه و آنومالی را بخوبی

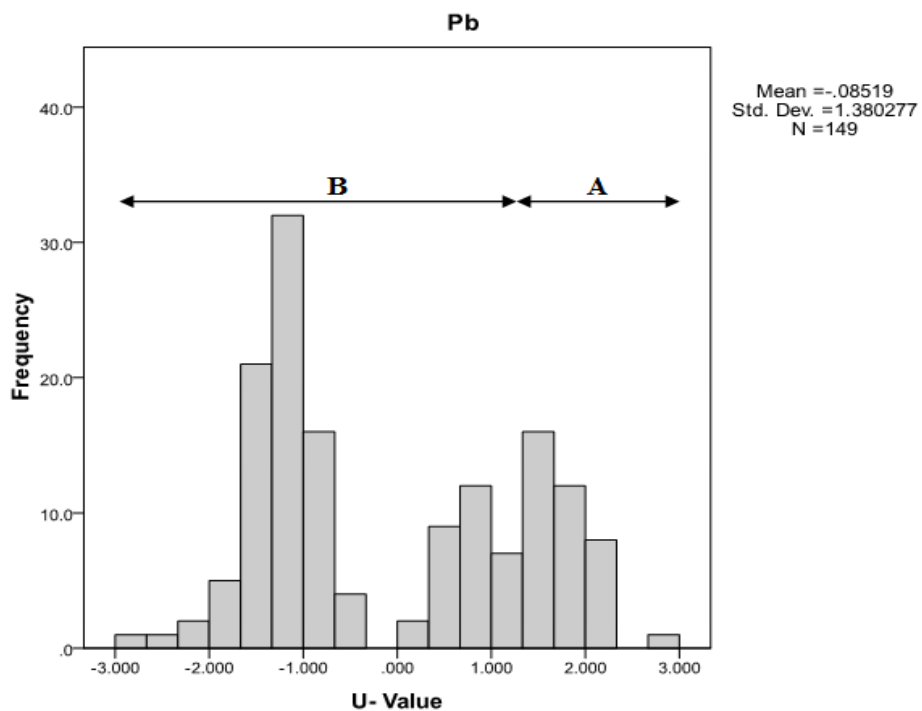
تفکیک می کند و اختلاط این جوامع را از بین می برد و دو خطایی را که در بخش 2-3 و شکل 1-3 توضیح داده شد دیگر وجود ندارد.



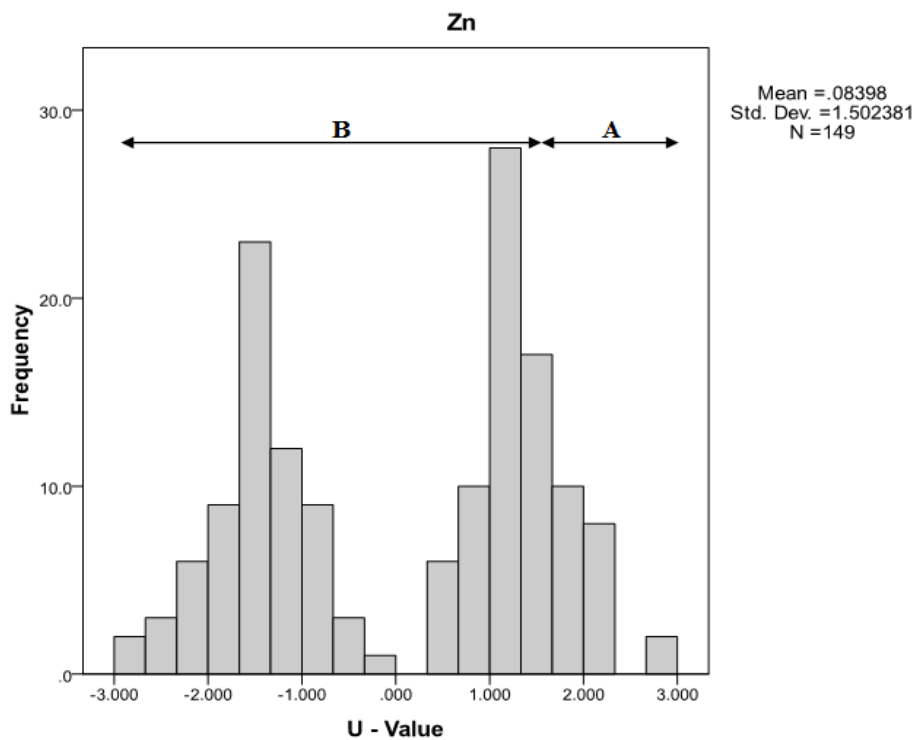
شکل (3- 36): توزیع مقادیر U عنصر Fe. (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/53$ )، (B) جامعه زمینه



شکل (3- 37): توزیع مقادیر U عنصر Mn. (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/34$ )، (B) جامعه زمینه



شکل (3-38): توزیع مقادیر U عنصر Pb (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/295$ )، جامعه زمینه (B)

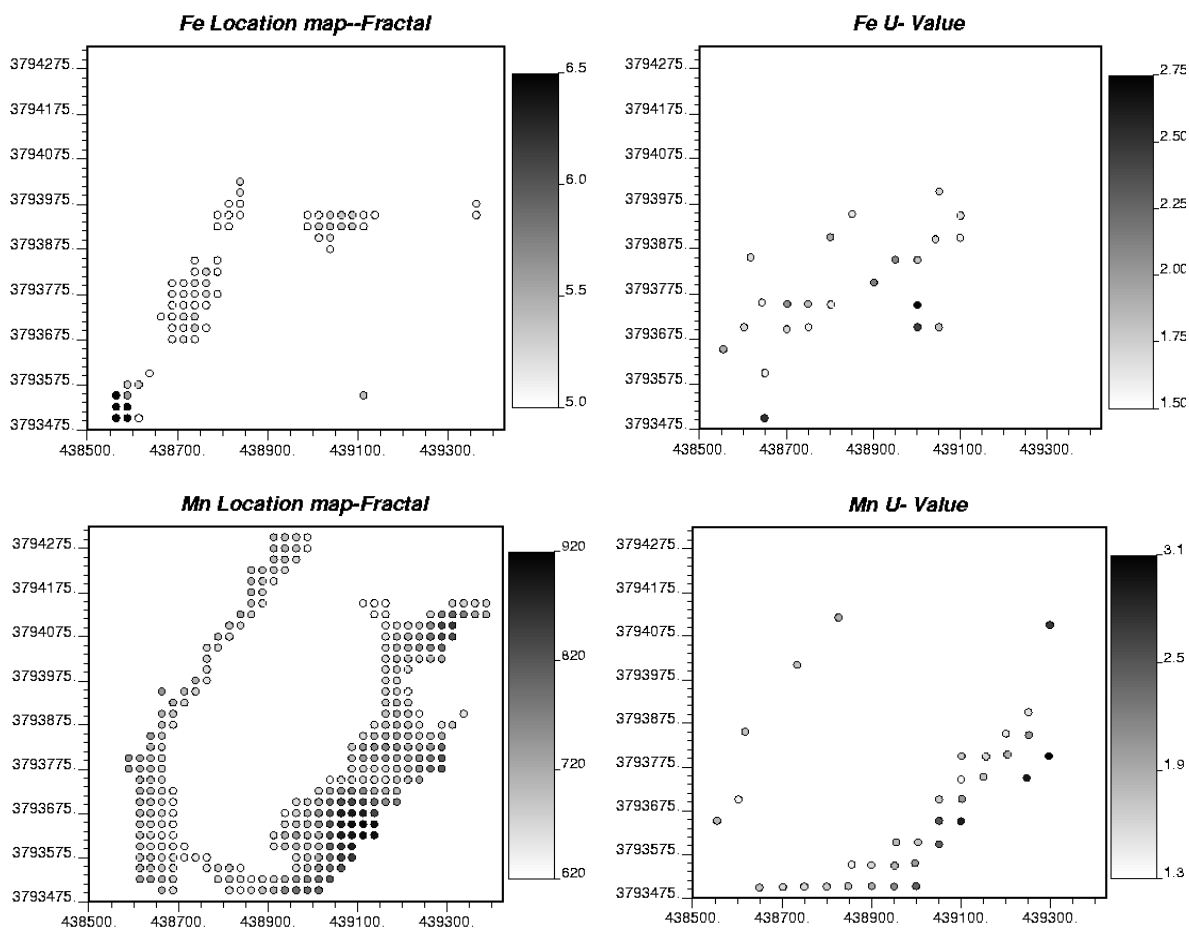


شکل (3-39): توزیع مقادیر U عنصر Zn (A) جامعه آنومالی ( $\bar{U}+S=1/58$ )، جامعه زمینه (B)

### 3-3-3 مقایسه نتایج حاصل از فراکتال و آماره فضایی U برای چند عنصر دیگر

در شکل 3-40 نقشه آنومالی حاصل از دو روش فراکتال و آماره فضایی U برای عناصر Fe و Mn نمایش داده شده است. در روش فراکتالی مقادیر بیشتر از 5% برای Fe و بیشتر از 620ppm برای Mn بعنوان آنومالی بدست آمد که توسط آماره U نیز تأیید گشت. بطور کلی انطباق نتایج حاصل از روش فراکتالی و آماری بویژه برای Mn خوب بوده است.

در ضمیمه (شکل الف-31 و الف-32) نمودار آماره U برای تعدادی از عناصر به همراه نقشه نمونه‌های جدا شده با استفاده از این روش، که جزء آنومالی محسوب می‌شوند آورده شده است.



شکل (3-40): مقایسه آنومالی Mn و Fe مشخص شده توسط روش فراکتالی با روش آماره U

### 3-4 نتیجه گیری

جهت جداسازی آنومالی از زمینه روش های مختلفی وجود دارد اما روش های آماره فضایی U و فراکتال از قویترین آنها هستند که با بررسی آنها در این فصل نتیجه شد که آنومالی ها با دقت خوب و بسیار نزدیک به هم توسط این دو روش مشخص شده اند و با کمترین خطا از زمینه جدا می گردند. هر چه که تعداد نمونه ها در این دو روش بیشتر باشد دقت روش هم بیشتر می گردد. آنومالی های نشان داده شده برای تعدادی از عناصر مانند Au، Cu، Pb، Zn، As، Mn و Fe با این دو روش بررسی گردید که نتایج حاصل از دو روش جواب های بسیار نزدیک به هم نشان دادند. روش سطح روند هم با توجه به تغییرات دیگر عناصر و ایجاد یک نسبت مناسب این آنومالی را مشخص نمود و درجه جدایش 4 بعنوان بهترین درجه معرفی گشت. نسبت  $\frac{Ce.La}{Na.Li}$  در منطقه موقعیت آنومالی ها و راستای کانی سازی را بخوبی نشان داد.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل‌های آماری

چند متغیره



## 1-4 مقدمه

در این فصل از تحلیل چند متغیره آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی‌های متغیرها و تعیین فاکتورهای عمده موثر در کانی‌سازی استفاده شده است. همچنین از تحلیل‌های چند متغیره جهت ارزیابی محدوده‌های مکانی آنومالی‌های موجود در خاک بر اساس متغیرهای وابسته به کانی‌سازی کمک گرفته شده است. آنالیز تطبیقی یک روش مناسب جهت شناسایی آنومالی منطقه‌ای است. با توجه به اینکه برخی از عناصر در میان نمونه‌های برداشت شده تا غلظت‌هایی کاملاً متفاوت از دیگر عناصر نشان داده و غنی‌شدگی دارند، لذا آنالیز تطبیقی روشی مناسب می‌باشد. از سوی دیگر با استفاده از آنالیز ویژگی نمونه‌های با اهمیت را می‌توان رده‌بندی نمود.

## 2-4 آنالیز خوشه‌ای (کلاستر)

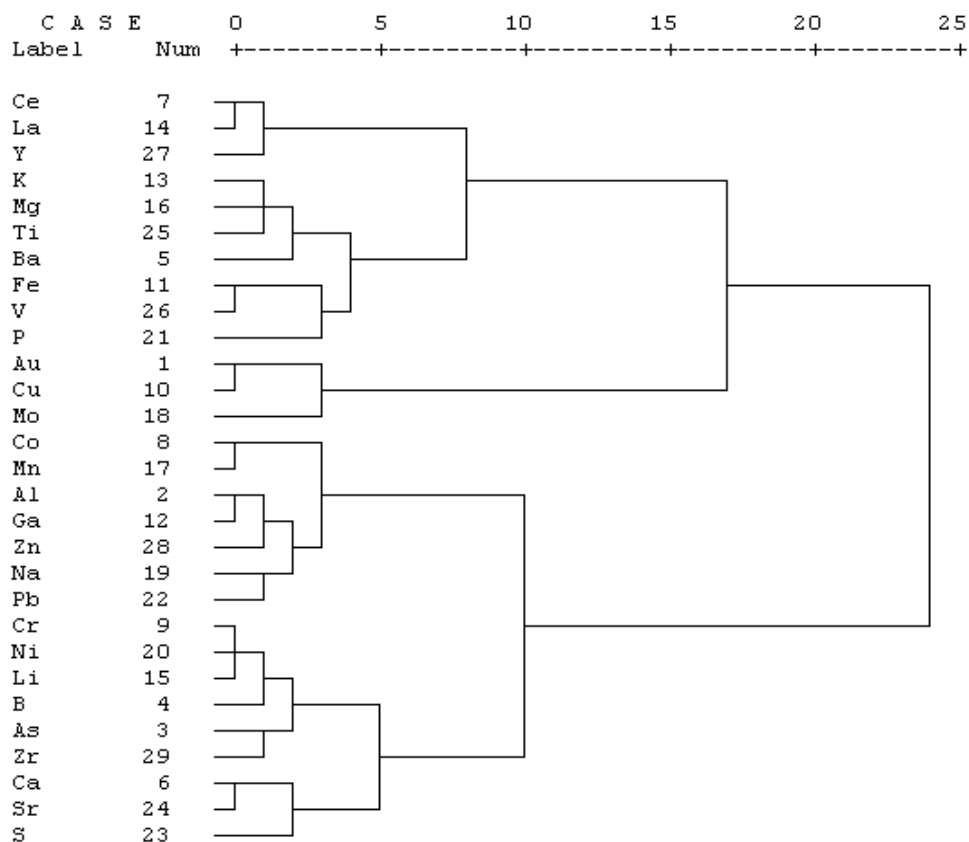
در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (کلاستر) ارتباط بین متغیرها مورد بررسی قرار می‌گیرد و متغیرهایی که به یکدیگر وابسته بوده و یا مرتبط می‌باشند به عنوان اعضای یک گروه در نظر گرفته شده و بر حسب شدت نزدیکی یا دوری خوشه‌بندی می‌شوند. در این روش به منظور نمایش ساده ارتباط بین متغیرها، دندوگرام یا نمودار خوشه‌ای بین متغیرها ترسیم می‌شود. آنالیز خوشه‌ای و دندوگرام ترسیم شده نوعی تحلیل چند متغیره است که به ارزیابی شدت و نوع وابستگی بین پارامترهای مورد مطالعه می‌پردازد و مبناء آن ماتریس همبستگی بین داده‌ها بوده که بر اساس بالاترین همبستگی بین متغیرها خوشه‌بندی داده‌ها صورت می‌گیرد. با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، دندوگرام بر اساس روش وارد<sup>1</sup> برای داده‌های خاک و متغیرهای منطقه محاسبه و نتایج آن در شکل 1-4 نشان داده شده است. همانطور که از شکل مذکور مشاهده می‌گردد دسته بندی صورت گرفته برای منطقه مورد مطالعه به شرح ذیل است:

---

<sup>1</sup> - Ward Method

- Ce-La-Y -1
- Fe-V-K-Ti-Ba-Mg-Au-Cu -2
- P-Mo -3
- Na-Pb-Co-Mn-Zn-Al-Ga -4
- Cr-Ni-Li-B-Zr-As-Ca-Sr-S -5

سه گروه اول در یک شاخه و دو گروه آخر هم در شاخه ای دیگر قرار دارند که عناصر موجود در هر گروه با هم وابستگی بالایی دارند. آنالیز کلاستر داده‌ها را به گروه‌هایی که معنادار یا مفید و یا هردوی آن می‌باشد تقسیم می‌کند. اگر هدف داشتن گروه‌هایی معنادار باشد در این صورت خوشه‌ها باید ساختار طبیعی داده‌ها را مجسم کند. از این‌رو در بعضی موارد تجزیه و تحلیل خوشه‌ای تنها یک نقطه آغازین مفید برای اهداف دیگر نظیر خلاصه‌بندی داده‌ها می‌باشد (Everitt et al., 2001).



شکل (4-1): نمودار کلاستر عناصر.

## 3-4 آنالیز فاکتوری

تجزیه و تحلیل فاکتوری روشی به منظور تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده تغییرپذیری از متغیرهایی با نقش کمتر است که حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه می‌کنند بر این اساس عوامل تاثیر گذار دسته‌بندی شده و به صورت فاکتورهای مختلفی معرفی می‌گردند و سهم نسبی هر یک از فاکتورها در توجیه تغییرپذیری مشخص می‌شود. بطور خلاصه هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری آن است که برای  $P$  متغیر اندازه‌گیری شده بتوان  $k$  فاکتور ( $k < p$ ) را بگونه‌ای تعریف کرد که بتوانند بخش اعظمی از تغییرپذیری‌ها را توجیه کنند (حسنی پاک و شرف‌الدین، 1382).

تحلیل فاکتوری نوعی تکنیک آماری است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. لذا یکی از اهداف اصلی کاربرد روش تحلیل فاکتوری، کاهش ابعاد داده‌هاست که برای این منظور روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>1</sup> (PCA) بر روی داده‌ها صورت می‌گیرد در این روش بر اساس دوران مؤلفه‌ها، بیشینه واریانس در میدان متغیرها بوجود می‌آید و تغییرپذیری‌های توجیه شده توسط متغیرها را محاسبه می‌نمائیم.

روش مذکور بر روی داده‌های خاک که شامل 29 متغیر می‌باشد اعمال گردیده است. بر این اساس برای تعیین تعداد فاکتورها از مقادیر ویژه ماتریس همبستگی، درصد تجمعی واریانس و نمودار تعداد مؤلفه‌ها، در برابر مقادیر ویژه می‌توان استفاده کرد. به این ترتیب فاکتورها با مقدار ویژه بالای یک مجموعاً حدود 80% واریانس تجمعی جامعه نمونه‌برداری را پوشش می‌دهند، که برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها می‌تواند مناسب باشد. با در نظر نگرفتن 24 فاکتور دیگر تنها 20% اطلاعات از بین می‌رود. نتایج این تحلیل در جدول 1-4 نشان داده شده است همانطور که ملاحظه می‌شود فاکتورهای اصلی در منطقه دالی

---

1 - Principal Component Analysis

شمالی پنج فاکتور است که به عنوان کنترل کننده‌های اصلی، تا حدودی 80% از فرآیندهای زمین‌شناسی و کانی‌سازی موثر در تغییر غلظت بوجود آمده در منطقه را می‌تواند شناسایی نماید.

جدول 4-1 مقادیر ویژه به همراه نمودار صخره‌ای فاکتورها

توصیف مقادیر واریانس							
مقادیر ویژه اولیه				مقادیر ویژه اولیه			
اجزاء	مقادیر ویژه	درصد واریانس	فراوانی تجمعی درصد واریانس	اجزاء	مقادیر ویژه	درصد واریانس	فراوانی تجمعی درصد واریانس
1	9.484	32.704	32.704	16	.233	.802	96.127
2	5.574	19.220	51.924	17	.212	.731	96.858
3	3.975	13.708	65.632	18	.169	.582	97.440
4	1.946	6.711	72.343	19	.150	.519	97.959
5	1.542	5.318	77.661	20	.121	.419	98.377
6	.982	3.387	81.048	21	.096	.331	98.709
7	.801	2.764	83.811				
8	.726	2.502	86.313				
9	.542	1.869	88.182				
10	.437	1.506	89.688				
11	.408	1.407	91.095				
12	.356	1.227	92.323				
13	.319	1.100	93.423				
14	.285	.981	94.404				
15	.267	.921	95.325				

در جدول 4-1 مقادیر ویژه هر فاکتور، درصد واریانس و فاکتور واریانس تجمعی محاسبه شده‌است. مقادیر ویژه اهمیت فاکتورها را متناسب با متغیرهای آن نشان می‌دهد بگونه‌ای که اگر یک فاکتور مقدار ویژه کوچکی داشته باشد، سهم کوچکی در تفسیر واریانس فاکتورها دارد و ممکن است در برابر فاکتورهای مهم نادیده گرفته شود. مرحله بعد شامل استخراج عامل‌هایی است که به ارزیابی متغیرهای تاثیرگذار در هر فاکتور بر اساس محاسبات PCA پرداخته می‌شود که نتایج آن در جدول 4-2 آورده شده است.

جدول 4-2 ماتریس اجزاء پنج فاکتور استخراج شده

	Component				
	1	2	3	4	5
Li	0.868	0.025	0.332	-0.113	0.046
Ni	0.809	-0.244	0.396	0.141	-0.127
B	0.769	-0.384	0.194	-0.023	-0.018
Sr	0.764	-0.281	-0.26	-0.286	0.127
Co	0.759	0.242	-0.184	0.155	-0.171
Mn	0.75	0.153	0.259	0.296	-0.289
Al	0.689	0.523	-0.174	-0.13	0.043
As	0.651	-0.404	0.033	0.253	-0.114
Zr	0.625	-0.162	0.271	0.449	-0.104
Cr	0.619	-0.107	0.462	0.085	-0.201
Na	0.594	0.485	-0.503	0.092	0.038
Ca	0.575	-0.121	0.011	-0.637	-0.115
S	0.554	-0.276	-0.428	0.094	0.386
V	0.061	0.857	-0.145	0.143	0.047
Ga	0.412	0.764	-0.158	-0.046	0.03
Fe	-0.237	0.716	0.01	0.396	-0.134
Ti	-0.337	0.714	0.34	-0.254	-0.286
K	0.186	0.712	0.377	-0.201	0.039
Mg	0.414	0.676	0.217	-0.451	-0.141
Zn	0.552	0.57	-0.06	0.229	-0.093
Pb	0.498	0.149	-0.487	0.391	0.322
Cu	-0.837	0.312	0.192	-0.021	-0.091
Au	-0.89	0.181	0.07	0.093	-0.102
Ce	-0.044	-0.201	0.869	0.126	0.255
La	-0.063	-0.213	0.856	0.035	0.289
Y	0.101	0.358	0.678	0.048	0.407
P	-0.255	0.292	0.282	0.476	-0.155
Mo	-0.406	0.368	-0.128	0.13	0.619
Ba	0.508	0.435	0.26	-0.206	0.434

در این جدول پنج فاکتور اصلی کنترل کننده تغییر پذیری داده‌ها مدنظر قرار داده شده است و عناصر تاثیر گذار بر روی هر فاکتور و ضرایب تاثیر آنها (مقادیری مثبت یا منفی) تعیین گردیده‌اند. امتیاز فاکتورها ممکن است به عنوان متغیرهایی در مدل‌سازی بعدی مورد استفاده قرار گیرد. یکی از کاربردهای تجزیه و تحلیل فاکتوری در اکتشاف، رسم نقشه‌های فاکتوری است. این نقشه‌ها می‌تواند بین تمرکز

عناصر کانساری با فاکتورهای کنترل کننده آن و عوامل لیتولوژی، ساختمانی، آب و هوایی، ژئومورفولوژی و غیره ارتباط برقرار کند.

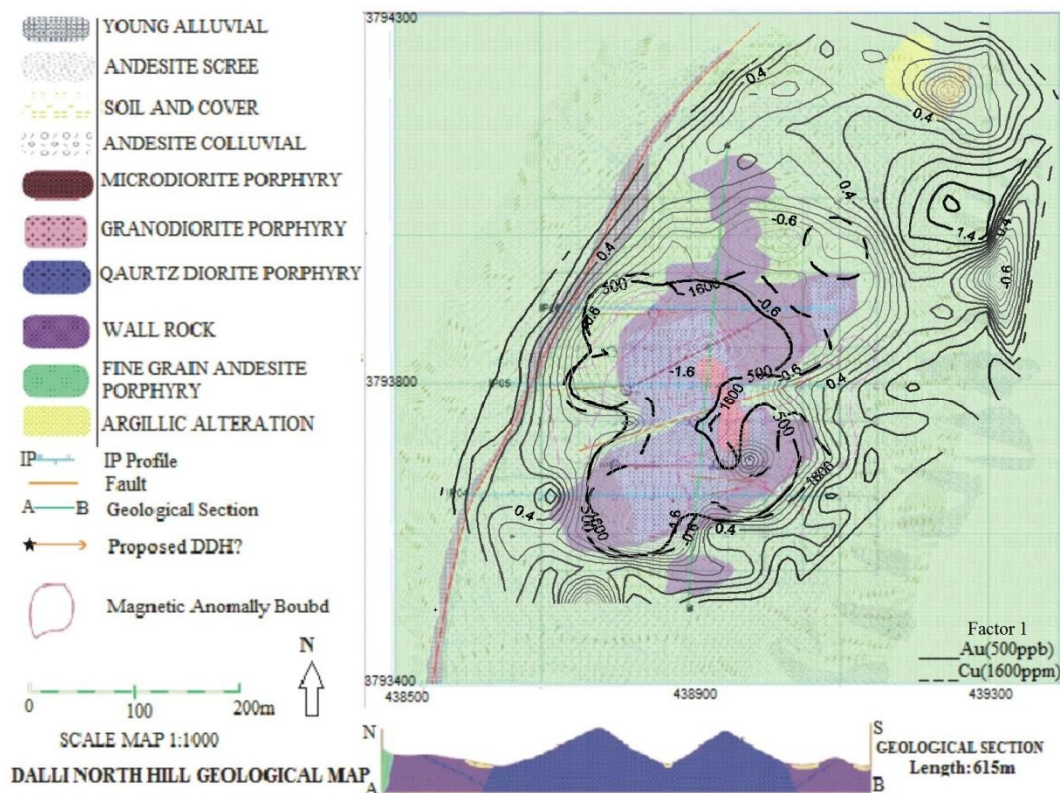
عناصر تاثیر گذار در فاکتور اول As, B, Cr, Co, Li, Mn, Ni, Sr, Al, Na, Ca, S و Zr می باشند شکل 2-4 محدوده تحت پوشش این فاکتور را نشان می دهد که در خاک و گراول و تخته سنگ کوهپایه ای و خرده سنگ های آندزیتی<sup>1</sup> سنگ های آندزیت دانه ریز و سنگ های آواری جوان ناشی از گسل بیشترین مقادیر را دارد و در منطقه آنومال Au-Cu و سنگ در برگیرنده تهی شدگی نسبی نشان می دهد. بطور کلی این فاکتور در سنگ های آندزیت پورفیری دانه ریز دارای دگرسانی پروپلیتیک با شدت ضعیف تا متوسط وجود دارد.

عناصر تاثیر گذار بر روی فاکتور دوم V, Ga, Fe, Ti, K, Mg, Au, Cu و تا حدودی Ba, Pb و Zn می باشند مطابق شکل 3-4 این فاکتور که در سنگ دیواره (آندزیت با کانی زایی ضعیف که دگرسانی های پروپلیتیک، کوارتز مگنتیت و پتاسیک دارد) و تا حدودی سنگ همبر آندزیت پورفیری دانه ریز توسعه یافته و مقادیر بالایی نشان می دهد (در آندزیت های دامنه ای یا سنگ های آواری بسیار کم وجود دارد).

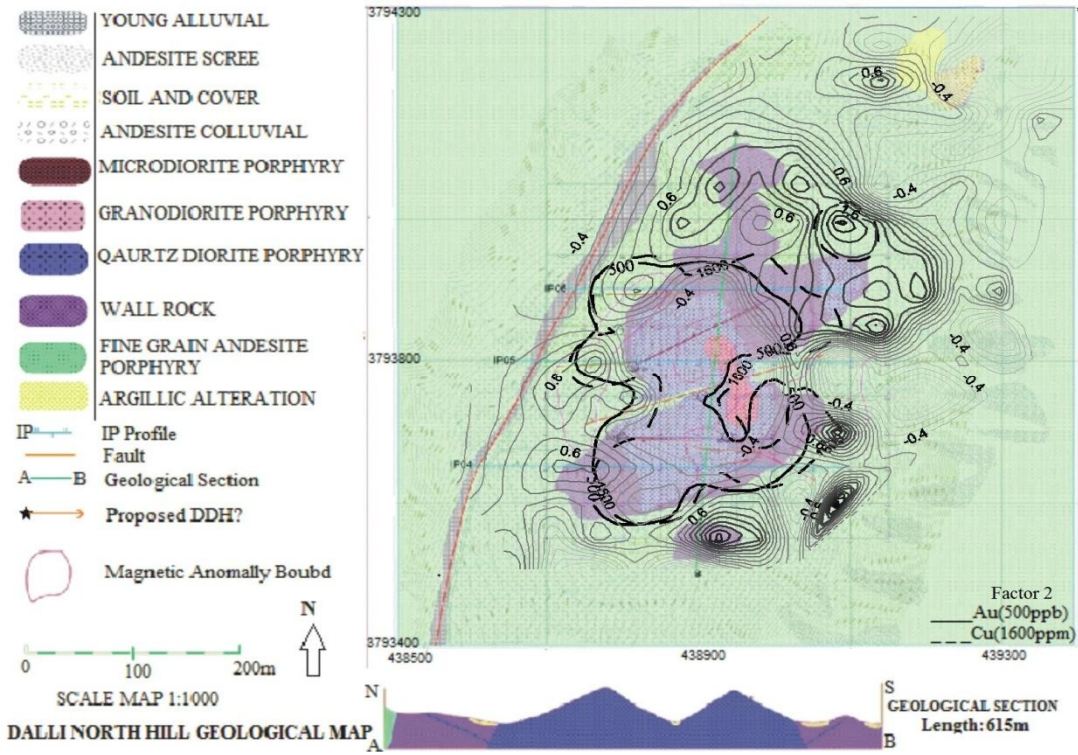
مجموعه عناصر کنترل کننده فاکتور سوم شامل Ce, La, Y می باشد که در سنگ های QDP و تا حدودی آندزیت های دامنه ای (در خارج از منطقه مگنتیتی شده)، سنگ دیواره آندزیتی و آندزیت پورفیری دانه ریز مقادیر بالاتری نشان می دهد (شکل 4-4).

عناصر مرتبط با فاکتور چهارم شامل P و تا حدودی Pb, Zn, Fe, As می باشند شکل 4-5 نشان می دهد که این فاکتور در محدوده اطراف گسل ها مقادیر بیشتر را نشان داده و در سنگ های آندزیت کوهپایه ای مقادیر کم ولی در پوشش خاکی منطقه مقادیر بالا دارد. این فاکتور در آندزیت های دانه ریز هم مقادیر کمی را نشان می دهند.

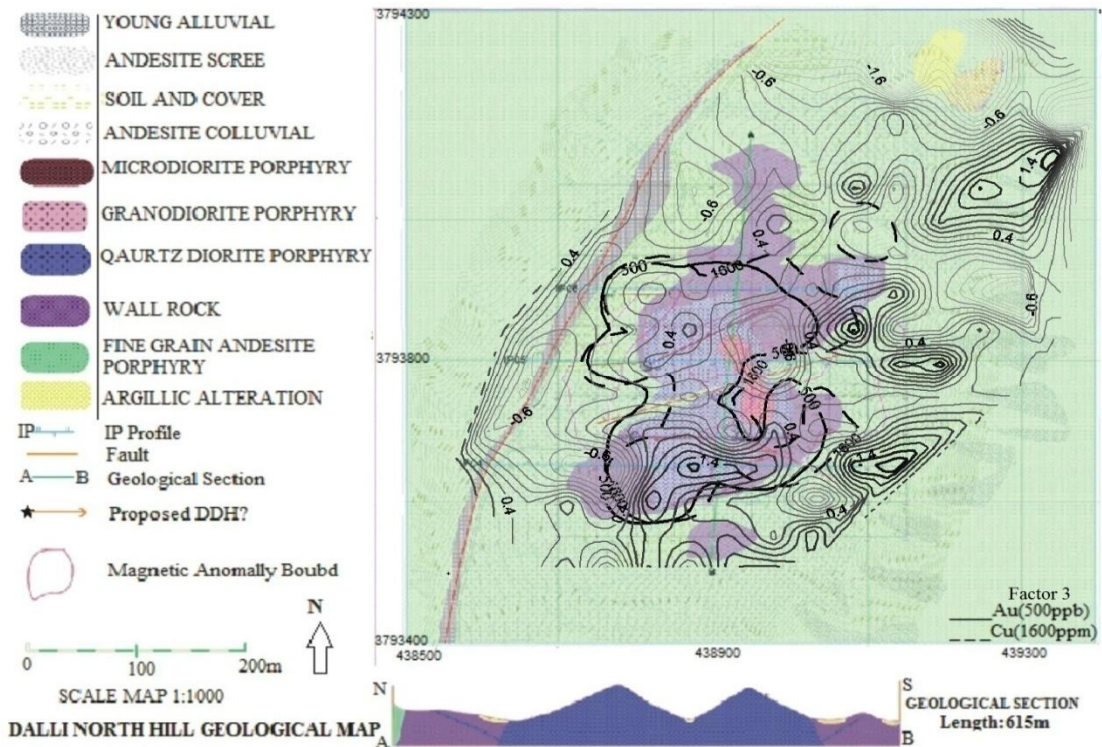
عنصر مربوط به فاکتور پنجم Mo و تا حدودی Ba می باشد در شکل 4-6 دیده می شود که این فاکتور در محدوده اطراف آلتراسیون آرژیلیکی و پوشش خاکی منطقه عکس العمل هایی را نشان داده و در بقیه مناطق بخصوص سنگ دیواره آندزیتی بسیار کم می باشد.



شکل (4-2): محدوده مشخص شده توسط فاکتور اول

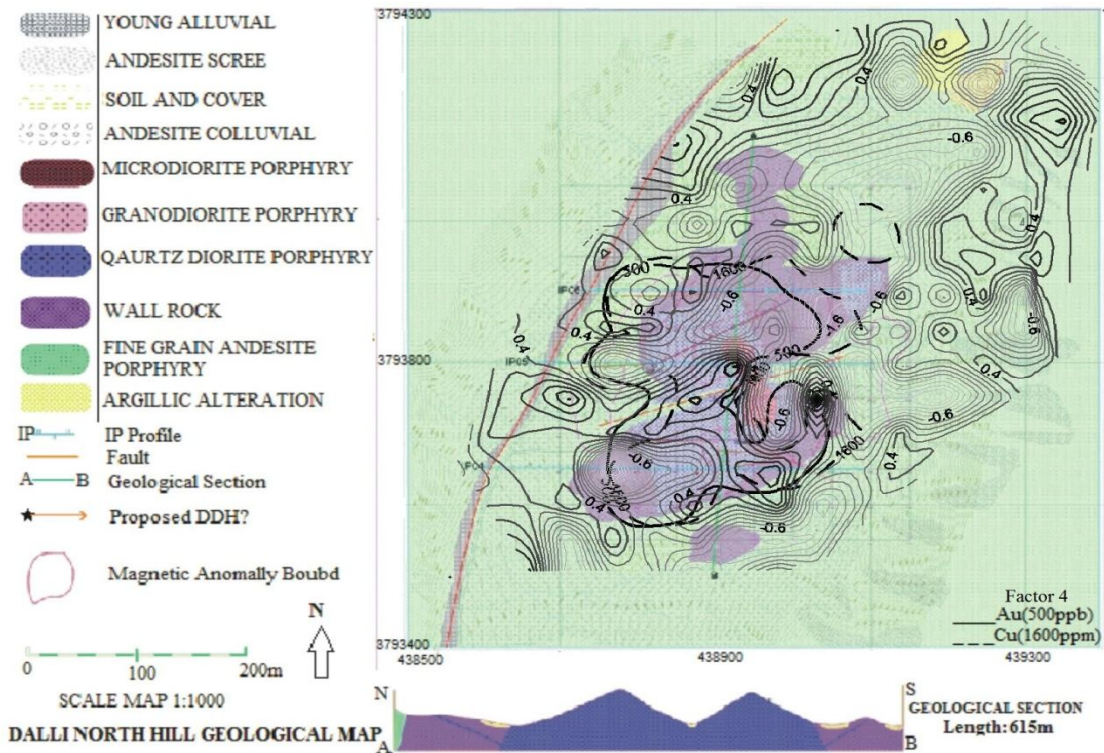


شکل (4-3): محدوده مشخص شده توسط فاکتور دوم

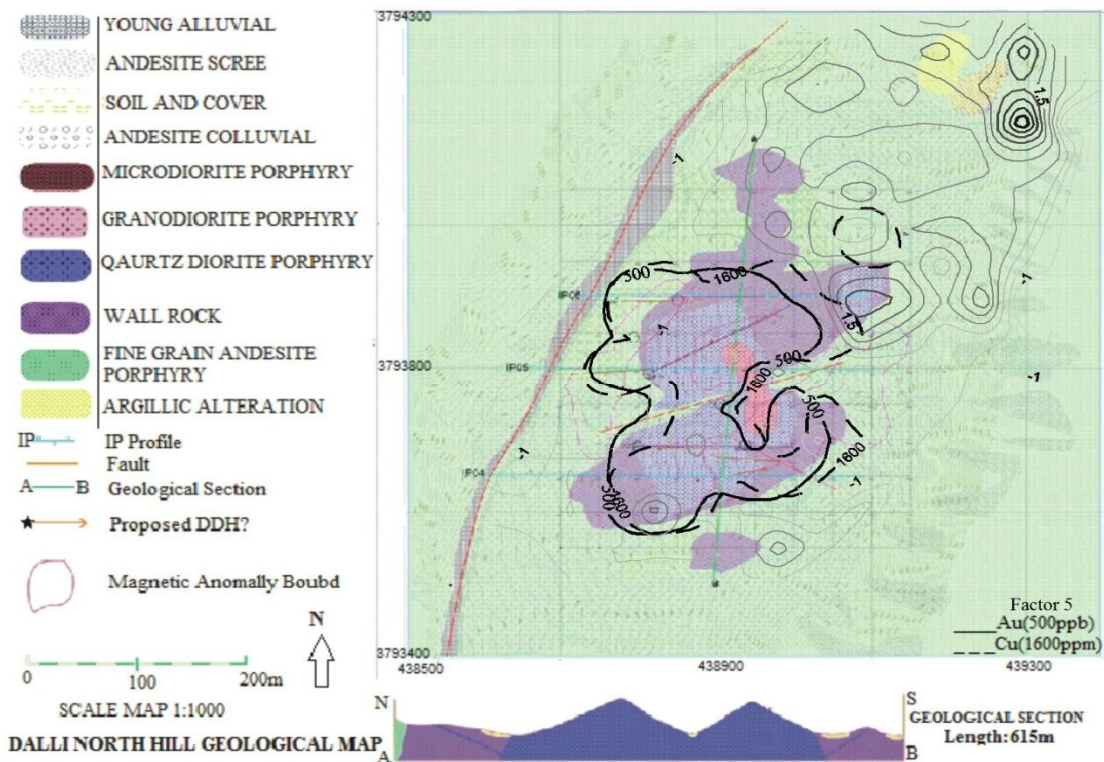


شکل (4-4): محدوده مشخص شده توسط فاکتور سوم





شکل (4-5): محدوده مشخص شده توسط فاکتور چهارم



شکل (4-6): محدوده مشخص شده توسط فاکتور پنجم

## 4-4 آنالیز ویژگی

آنالیز ویژگی نوعی روش رتبه‌بندی می‌باشد که در این تحقیق هدف آن است که با استفاده از آن نمونه‌های آنومال را رتبه‌بندی نموده و مشخص کنیم که کدام نمونه از اهمیت بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار است. برای این منظور از غلظت نشان داده شده برای هر عنصر در کل نمونه‌ها در ساخت یک ماتریس بکار برده می‌شود. در این ماتریس ( $X$ ) سطرها نمونه‌های آنومال و ستون‌ها متغیرها یا عناصر مورد بررسی می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه این ماتریس 149 سطر (نمونه) و 29 ستون (متغیر) دارد، و بر اساس اصول زیر نمونه‌های آنومال با توجه به غلظت‌شان کدبندی شده است ( $\bar{x}$  = میانگین داده‌ها و  $s$  = انحراف معیار می‌باشد):

1- نمونه‌هایی که غلظت آنها بیش از  $\bar{x} + 2s$  است با کد 1،

2- نمونه‌هایی که غلظت آنها بیش از  $\bar{x} + 3s$  است را با کد 2،

3- نمونه‌هایی که غلظت آنها بیش از  $\bar{x} + 4s$  است را با کد 3 نشان داده شده است.

چون که همه عناصر در همه نمونه‌ها دارای مقادیر آنومال نمی‌باشند، لذا درآیه‌های خالی در ماتریس مذکور، یعنی درآیه‌هایی که عنصر در آن نمونه دارای مقدار آنومال نمی‌باشد این درآیه با عدد صفر کدبندی شده است. سپس ماتریس با کد بندی جدید را در ترانهاده‌اش ضرب کرده که در نتیجه ماتریس حاصل هر سطر یک بردار را به هر نمونه ربط می‌دهد.

$$[C] = [X] [X]^T \quad 1-4$$

با بدست آوردن اندازه این بردار به هر نمونه یک عدد مرتبط شده که بزرگترین عدد معرف مهم‌ترین نمونه و کمترین عدد بیانگر کم اهمیت‌ترین نمونه آنومال می‌باشد که این نتایج در جدول 3-4 آورده شده است.

جدول 4-3 ترتیب نمونه‌های آنومال.

Number	Value	Number	Value	Number	Value
22	7.141428	83	3.162278	68	2
11	6.63325	107	3.162278	102	2
40	6	110	3.162278	138	2
84	6	29	3	148	2
53	5.656854	41	3	32	1.732051
16	5.291503	74	3	33	1.732051
124	5.291503	75	3	47	1.732051
114	5.196152	1	2.828427	62	1.732051
87	4.795832	6	2.828427	67	1.732051
133	4.795832	42	2.828427	71	1.732051
35	4.690416	64	2.828427	93	1.732051
106	4.690416	81	2.828427	99	1.732051
70	4.582576	121	2.828427	104	1.732051
117	4.582576	134	2.828427	109	1.732051
65	4.123106	63	2.645751	123	1.732051
76	4.123106	140	2.236068	129	1.732051
24	4	143	2.236068	139	1.732051
111	4	144	2.236068	145	1.732051
30	3.316625	147	2.236068		
56	3.162278	7	2		

همانطور که از جدول مشاهده می‌شود نمونه شماره 22 مهم‌ترین نمونه آنومال و نمونه شماره 145 کم‌اهمیت‌ترین نمونه آنومال می‌باشد و تعداد نمونه‌های آنومال خاک 58 نمونه می‌باشد که به ترتیب نزولی توسط آنالیز ویژگی مرتب شده‌اند و ویژگی هر کدام در زیر آمده است:

1- نمونه شماره 22 با طول جغرافیایی 438801 و عرض جغرافیایی 3793549 که برای عناصر

Au, Cu, La, Mo و Y مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+2s$  نشان می‌دهد.

2- نمونه شماره 40 با طول جغرافیایی 438852 و عرض جغرافیایی 3793700 که برای عنصر

Au مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+3s$  نشان می‌دهد.

3- نمونه شماره 84 با طول جغرافیایی 438800 و عرض جغرافیایی 3793900 که برای عنصر

Cu مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+3s$  را نشان می‌دهد.

4- نمونه شماره 11 با طول جغرافیایی 438899 و عرض جغرافیایی 3793549 که برای عناصر

Ba، Cr، K، Mg و Ti مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+2s$  نشان می‌دهد.

5- نمونه شماره 16 با طول جغرافیایی 439050 و عرض جغرافیایی 3793597 که برای عناصر

Al، Ga، Mg و Zn مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+2s$  را نشان می‌دهد.

6- نمونه شماره 53 با طول جغرافیایی 439150 و عرض جغرافیایی 3793751 که برای عنصر

Ca مقادیر آنومالی در حد  $\bar{x}+3s$  را نشان می‌دهد.

بقیه نمونه‌ها هم آنومالی‌هایی با اولویت کمتر از خود نشان می‌دهند.

#### 5-4 تجزیه و تحلیل تطبیقی<sup>1</sup>

آنالیز تطبیقی یک روش گرافیکی تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد (Greenacre M.J., 2007). در آنالیز

تطبیقی رابطه همزمان متغیرها و نمونه‌ها با یکدیگر در یک دیاگرام مورد بررسی قرار می‌گیرد و در یک

دستگاه مختصات سیستم فاکتوری موقعیت نمونه‌های برداشت شده نسبت به متغیرها نمایش داده می‌شود

(Abdi H., 2007c). این نمودار گرافیکی بیشترین شباهت بین سطر (نمونه) و ستون‌ها (متغیر) را نشان

می‌دهد طوری که متغیر آنومال با نمونه‌های معرف آنومالی (که مقادیر بالایی از عناصر آنومال) خود را از

بقیه جدا می‌کنند. جدول 4-4 درایه‌های ماتریس را نشان می‌دهد که در آن مقادیر نرمال شده برای هر

عنصر جایگزین مقادیر واقعی گردیده است و تجزیه و تحلیل بر روی آنها صورت می‌گیرد. جهت بررسی

همزمان نمونه‌ها و متغیرها بطوری که یک دید کلی از نمونه و آنومالی‌های موجود حاصل گردد از روش

آنالیز تطبیقی استفاده گردید. هدف بدست آوردن دو ماتریس می‌باشد که یکی روابط بین نمونه‌ها و

دیگری روابط بین متغیرها را بیان نماید و در نهایت با ترکیب این دو ماتریس و ترسیم دو به دوی ستون‌ها

---

<sup>1</sup> - Correspondence Analysis

فاکتورها) موقعیت متغیرها نسبت به هم و متعاقب آن نمونه‌هایی که تغییرات عنصری را بطور بارزی مشخص نماید ترسیم گردد.

جدول 4-4 داده‌های اولیه و مجموع سطر و ستون‌ها (NS معرف مقدار نرمالایز متغیر است)

۲۹ عنصر مورد بررسی

Number	←-----→						r <sub>i</sub>	
	NS: Au	NS: Al	NS: As	.	.	NS: Zn		NS: Zr
1	2.98945	4.5442	5.12126	.	.	5.44668	4.46447	143.2111
2	2.0232	4.39148	4.88059	.	.	4.19639	4.66953	132.6374
3	4.3183	3.18228	3.41849	.	.	2.74899	3.10318	99.01791
نمونه‌ها	.	.	.	.	.	.	.	.
148	1.99484	4.6181	5.66557	.	.	4.57584	5.57582	140.6845
149	3.00563	6.41978	4.75804	.	.	4.37464	5.34509	132.2348
C <sub>j</sub>	486.7384	715.8602	673.7895	.	.	712.5327	668.2929	

ماتریس داده‌ها که یک ماتریس 149×29 می‌باشد ([X]) مجموع مقادیر هر سطر از این ماتریس، تشکیل برداری می‌دهد که با [r] و همچنین مجموع هر ستون از ماتریس مورد نظر نیز تشکیل بردار دیگری می‌دهد که با [c] نشان داده می‌شود (جدول 4-4) این ماتریس‌ها در نرم افزار متلب<sup>1</sup> محاسبه گشته‌اند. بنابراین هر عضو این بردارها را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد که m تعداد متغیرها (29 عنصر) و n تعداد نمونه (149 نمونه) می‌باشد:

$$r_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{im} \quad 1-4$$

$$c_j = x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{nj} \quad 2-4$$

حال دو ماتریس قطری [R] با بعد n × n و [C] با بعد m × m به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$[R] = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_n) \quad 3-4$$

$$[C] = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_m) \quad 4-4$$

بنابراین  $[R]$  و  $[C]$  ماتریس‌های قطری هستند که عناصر روی قطر اصلی آن به ترتیب  $r_i$  و  $c_j$  می‌باشند (Hongjin et al., 1995; Hongjin et al., 2007). حال ماتریس  $[W]$  به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$[W] = [R]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} [X] [C]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} \quad 5-4$$

در رابطه فوق توان  $-\frac{1}{2}$  بدان معنی است که اولاً کل عناصر ماتریس به توان  $\frac{1}{2}$  می‌رسند و سپس معکوس ماتریس محاسبه می‌شود و بالاخره ماتریس  $[H]$  بصورت رابطه 4-6 که از ضرب ترانسپوز ماتریس  $W$  در ماتریس  $W$  بدست می‌آید محاسبه می‌شود:

$$[H] = [W]^T [W] \quad 6-4$$

پس از محاسبه ماتریس  $[H]$  که یک ماتریس  $29 \times 29$  است مقادیر ویژه و بردارهای ویژه آنرا محاسبه می‌کنیم.  $P$  مقدار ویژه بدست می‌آید که همیشه  $P < m$  می‌باشد، این مقادیر بین صفر تا یک انتخاب می‌شوند و اولین مقدار ویژه که عدد 1 می‌باشد حذف گردیده و 28 مقدار دیگر انتخاب می‌شوند:

$$0 < \lambda_p \leq \dots \leq \lambda_2 \leq \lambda_1 < \lambda$$

بردارهای ویژه متناظر با هر مقدار ویژه،  $[a_j]$  نیز محاسبه می‌شوند سپس بر اساس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه دو ماتریس زیر را بنا می‌کنیم:

$$[\Lambda]_{(p \times p)} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \quad 7-4$$

$$[A]_{(m \times p)} = \left[ [a_1] [a_2] \dots [a_p] \right] \quad 8-4$$

که در آن  $[\Lambda]$  یک ماتریس قطری است که عناصر روی قطر اصلی آن مقادیر ویژه فوق‌الذکر می‌باشند و  $[A]$  ماتریسی است که هر ستون آن یکی از بردارهای ویژه را تشکیل می‌دهد.

سپس دو ماتریس  $U$  و  $V$  بنابر روابط 9-4 و 10-4 محاسبه می‌شوند:

$$[U] = [C]^{-\frac{1}{2}} [A] [\Lambda]^{-\frac{1}{2}} \quad 9-4$$

$$[V] = [R]^{-\frac{1}{2}} [W] [A] \quad 10-4$$

ماتریس  $[U]$  یک ماتریس  $m \times p$  بوده و روابط بین متغیرها (28 فاکتور بدست آمده برای 29 متغیر) و ماتریس  $[V]$  یک ماتریس  $n \times p$  است که روابط بین نمونه‌ها (28 فاکتور بدست آمده برای 149 نمونه) را بیان می‌کند. ماتریس نهایی  $F$  بر اساس تجزیه و تحلیل تطبیقی و از ترکیب دو ماتریس بالا بوجود می‌آید و همانطور که در جدول 4-5 مشاهده می‌شود این ماتریس یک ماتریس  $n + m$  سطری و  $p$  ستونی است که  $n$  تعداد سطرهای ماتریس  $V$  و  $m$  تعداد سطرهای ماتریس  $U$  می‌باشد (Hongjin et al., 1995):

$$[F] = \begin{bmatrix} [V] \\ [U] \end{bmatrix} \quad 1-4$$

جدول 4-5 ماتریس F

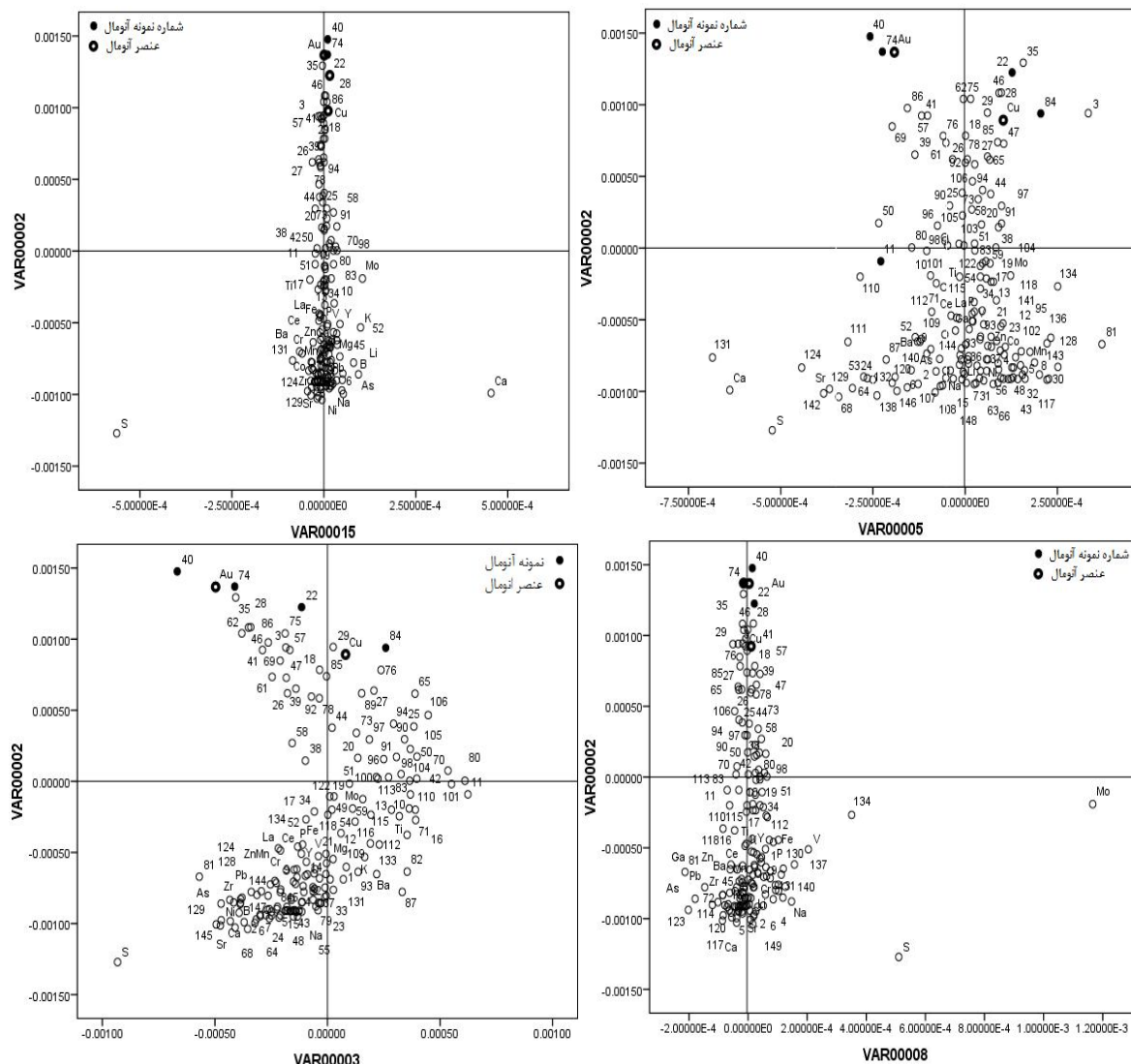
		p فاکتور بدست آمده						
		Var 2	Var 3	Var 4		Var 27	Var 28	
تعداد	1	1.55E-05	0.000256	-2.9E-05	.	-2.9E-05	3.15E-05	
	2	-0.00096	-0.00077	-0.00039	.	1.33E-05	-4E-06	
	3	0.00092	-0.00096	0.000907	.	-5.9E-05	-5.4E-05	
نمونه (n)	.	.	.	.	.	.	.	
	148	-0.00096	-0.00065	-4.2E-05	.	2.58E-05	-0.00013	
	149	-0.00067	0.000873	0.000807	.	3.49E-05	9.01E-06	
	29 متغیر (m)	Au	0.002745	-0.00038	0.000805	.	4.4E-05	2.43E-05
		Al	-0.00051	0.000759	-0.00022	.	2.54E-05	-3E-05
		As	-0.00085	-0.0006	0.000563	.	2.56E-05	-5.6E-07
		.	.	.	.	.	.	.
		Zn	-0.00022	0.000614	-8.1E-05	.	-2E-05	7.48E-06
	Zr	-0.00071	-0.00057	0.000117	.	8.75E-06	-4.7E-06	

به منظور بررسی فاکتورهای تطبیقی دو به دوی ستون‌های ماتریس  $[F]$  را که همان فاکتورها می‌باشند

در یک نمودار پراکنندگی رسم می‌کنیم بنابراین تعداد  $[p(p-1)]/2$  نمودار بدست می‌آید. شکل 4-7

نمونه‌هایی از این نمودارها می‌باشند که در همه آنها جدا شدن یک یا چند متغیر دلیل بر وجود مقادیر

غیر عادی در آن دارد و جدا شدن یک یا چند نمونه به آن سمت نشاندهنده آن است که نمونه مورد نظر نسبت به آن عنصر آنومال است و این نمونه‌ها با توجه به کشیدگی خود به سمت متغیر امکان آنومال بودن آن متغیر را در منطقه بالا می‌برند بنابراین منطقه نسبت به متغیرهای Au و Cu دارای آنومالی می‌باشد و نمونه‌های 84 و 40 و 22 و 74 دارای بیشترین غلظت‌ها نسبت به متغیرهای Au و Cu می‌باشد که فاکتورهای روی هر محور VARهای موجود در جدول 4-5 می‌باشند.



شکل (4-7): نمودار پراکندگی متغیرها و نمونه‌ها در دستگاه مختصات فاکتوری



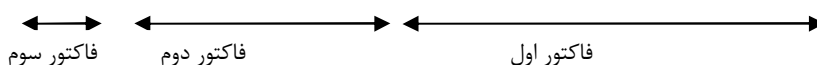
## 6-4 نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج روش آنالیز تطبیقی و تاثیر همزمان متغیرها و نمونه‌ها، در بسیاری از اشکال خروجی مشخص شد که منطقه نسبت به Au و Cu آنومالی بالایی نشان می‌دهد چرا که در بیشتر موارد این عناصر خود را از بقیه عناصر جدا کرده بود و خیلی از نمونه‌ها هم گرایش و کشیدگی خاصی به سمت این دو متغیر (Cu و Au) نشان می‌دادند که دلیل آن غنای بالای این نمونه‌ها از این عناصر بوده‌است.

روش آنالیز ویژگی نمونه‌های مهم منطقه را بر اساس مقدار آنومالی نشان داده اولویت‌بندی می‌کند که نمونه شماره 22 از Au و Cu، شماره 40 از Au و شماره 84 از Cu غنی شدگی دارند که در آنالیز تطبیقی بخوبی همرا با سایر نمونه‌ها این اختلاف دیده می‌شود.

فاکتورهای مشخص شده در آنالیز فاکتوری، هر کدام بیانگر ویژگیهای خاص منطقه‌ای هستند. بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای تغییرات منطقه‌ای عناصر را و میزان دور و یا نزدیکی آنها در ارتباط با دو عنصر Au و Cu مطابق روند زیر منظم نمود:

Au, Cu, Ce, La, Fe, Mg, Ti, V, K, Ga, Al, Mn, Ni, B, Sr, Ca, Na, Li, Co



ترتیب جایگیری برخی از عناصر همانند Ca, Na, Sr و دوری آن نسبت به Au و Cu به نوعی در نتایج نمودارهای آنالیز تطبیقی قابل ملاحظه می‌باشد در روند فوق‌الذکر تغییرات منطقه‌ای بنوعی روندهای تغییرات غنی‌شدگی را در یک سمت و تهی‌شدگی را در سمت دیگر در مقابل تغییرات دو عنصر Au و Cu نشان می‌دهند که با روند عنصری Au, Cu, Ce, La, Fe, Al, Mn, Ca, Na, Li که با بررسی‌های تک عنصری و با توجه به تغییرات غلظت عناصر در منطقه بدست آمد نیز انطباق دارد. توالی معرفی شده شاخص‌های عنصری قبلی را نیز تأیید می‌نماید.

## فصل پنجم

مطالعه نمونه‌های ترانشه

در منطقه و تفسیر آنها

## 1-5 مقدمه

به منظور ارزیابی مناطق آنومال محیط ثانویه حفریات سطحی اکتشافی قطعیت بیشتری را در مورد وجود یا عدم وجود آنومالی با اهمیت و ماده معدنی به ما می‌دهند. لذا بعد از عملیات مقدماتی (کم هزینه‌تر) در صورت بدست آوردن نتایج رضایت‌بخش مرحله دوم عملیات اکتشافی آغاز می‌گردد. بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده از خاک با در نظر گرفتن اختصاصات منطقه‌ای می‌تواند در تعیین مکان حفر ترانشه‌ها مورد استفاده واقع شود. در منطقه دالی شمالی تعداد شش ترانشه حفر گردید که هر کدام بنا به مطالعاتی که قبلاً انجام شده‌است طراحی گشته‌اند. در این فصل به مطالعه هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه حاصل از اطلاعات موجود پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است که موقعیت بسیاری از ترانشه‌های حفر شده با مطالعات قبلی تائید می‌گردد.

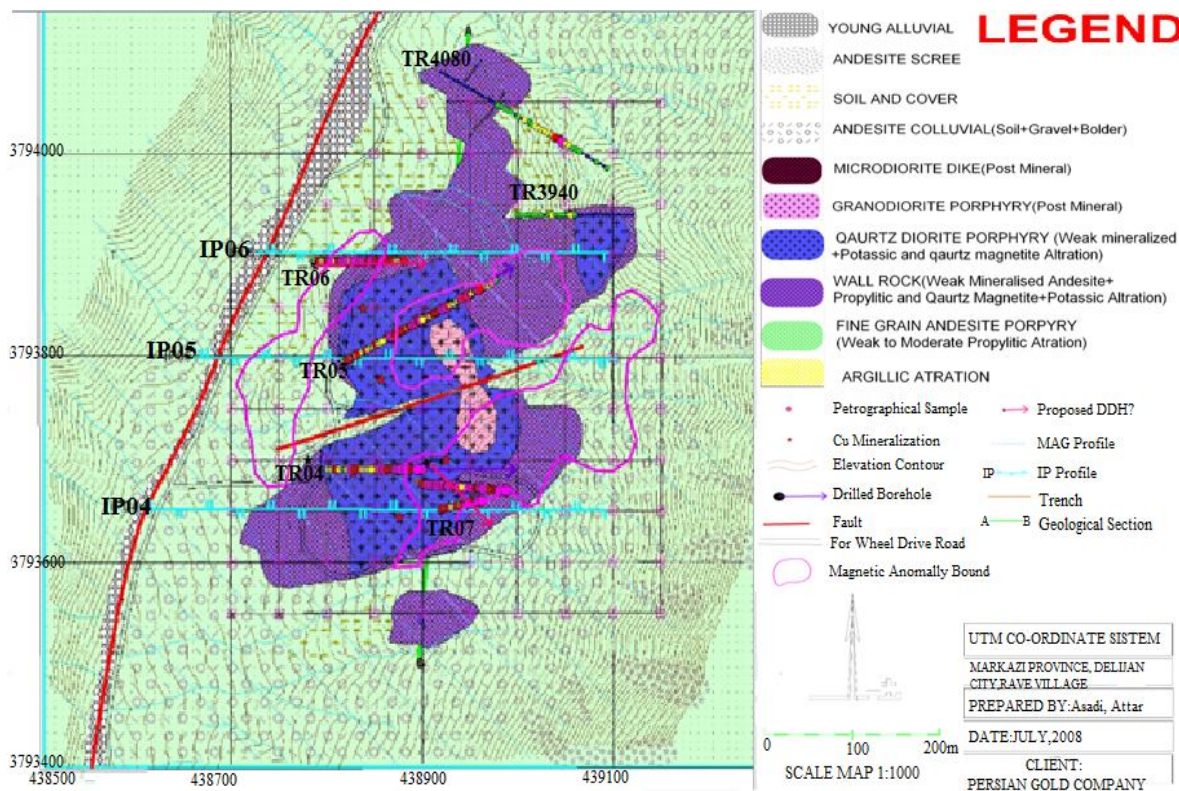
## 2-5 بررسی ترانشه‌های منطقه دالی شمالی

در اندیس دالی شمالی (منطقه‌ای با وسعت بیش از  $400\text{m} \times 350\text{m}$ )، شش ترانشه (جمعاً 870 متر که از آنها 345 نمونه برداشت شده است) حفر گردیده است (Asadi Haroni., 2008). این ترانشه‌ها شامل  $TR04$ ،  $TR05$ ،  $TR06$ ،  $TR07$ ،  $TR3940$  و  $TR4080$  می‌باشد که موقعیت آنها در شکل 1-5 مشخص شده است و زمین‌شناسی منطقه بخوبی معرفی شده است. با توجه به نتایج بدست آمده برخی از ترانشه‌ها در امتداد آزمون چاه‌های حفاری طراحی شده است. عمق این ترانشه‌ها با توجه به هوازدگی و ضخامت خاک بین 3 تا 4 متر متغیر می‌باشد بطوریکه افق خاکی بطور کامل کنار زده شده سنگ‌های غیر هوازده مشخص باشد. با فواصل دو متری از ترانشه‌ها نمونه‌برداری صورت گرفته است. از آنالیز نمونه‌ها توسط آزمایشگاه ALS Chemex کانادا برای ترانشه‌ها مشخص گردید که در چه بخشی از ترانشه‌ها

کانی‌سازی باعث وجود غلظت‌های بالای Au و Cu شده است. در نهایت بخش کانی‌سازی شده تعیین و میانگین عیار برای عناصر Au و Cu محاسبه گردیده است.

جدول 5-1 عیارهای طلا و مس در طول ترانسه‌های موجود در دالی شمالی

شماره ترانسه	طول کلی ترانسه (m)	طول بخش کانی‌سازی شده (m)	مقدار طلا (ppm)	مقدار مس (%)
TR04	۱۹۸	۱۹۸	۱/۱	۰/۲۲
TR05	۱۸۸	۱۸۸	۰/۸۴	۰/۱۷
TR06	۹۸	۹۸	۱/۱	۰/۲۳
TR07	۴۴	۴۴	۱/۰	۰/۲۳
TR3940	۶۲	۳۰	۰/۴	۰/۷۱
TR4080	۱۰۰	۴۶	۰/۵	۰/۲۱



شکل (5-1): موقعیت ترانسه‌های زده شده و پروفیل‌های IP/RS در منطقه دالی شمالی

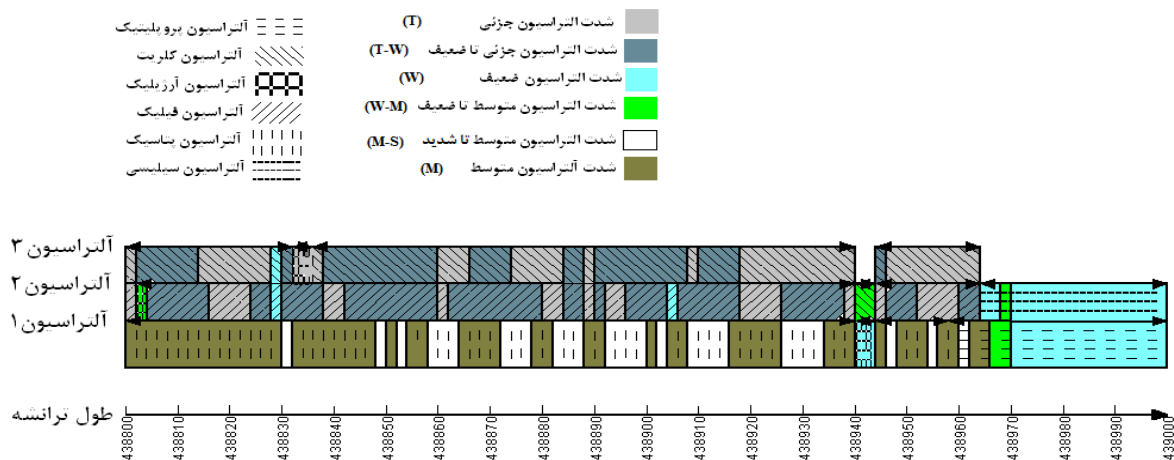
در منطقه شاهد انواعی از آلتراسیون‌ها هستیم که شدت آنها از ناچیز (Trace) به ضعیف (Weak)، متوسط (M/Moderate) و در نهایت قوی (Strong) می‌رسد. در ادامه به بررسی پروفیل ژئوشیمیایی هریک از ترانسه‌های مذکور پرداخته و عکس‌العمل‌های عناصر مختلف مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### 1-2-5 ترانسه TR04

در این ترانسه غلظت طلا در طول 130 متر از آن تقریباً بالای 1ppm می‌باشد که بعنوان زون کانی‌سازی شده معرفی گردیده و حاوی دگرسانی‌های پتاسیک و فلیک بالا می‌باشد. همانطور که در شکل 2-5 مشاهده می‌گردد سه سری آلتراسیون در امتداد این ترانسه وجود دارد:

- دگرسانی پتاسیک و آرژیلیک و پروپلیتیک (آلتراسیون 1)؛
- دگرسانی فلیک که در انتهای پروفیل به دگرسانی سیلیسی تبدیل شده است (آلتراسیون 2)؛
- دگرسانی کلریتی شدن در کل پروفیل گسترش دارد (آلتراسیون 3).

آلتراسیون پتاسیک با دو شدت M و M-S و آلتراسیون پروپلیتیک و آرژیلیک با شدت W می‌باشند. در این پروفیل دگرسانی پتاسیک حاوی مگنتیت رگه‌ای و انتشاری است. دگرسانی فلیک در حد ضعیف تا جزئی و دگرسانی کلریتی شدن در حد جزئی می‌باشد.



شکل (2-5): شدت و نوع آلتراسیون در ترانسه TR04

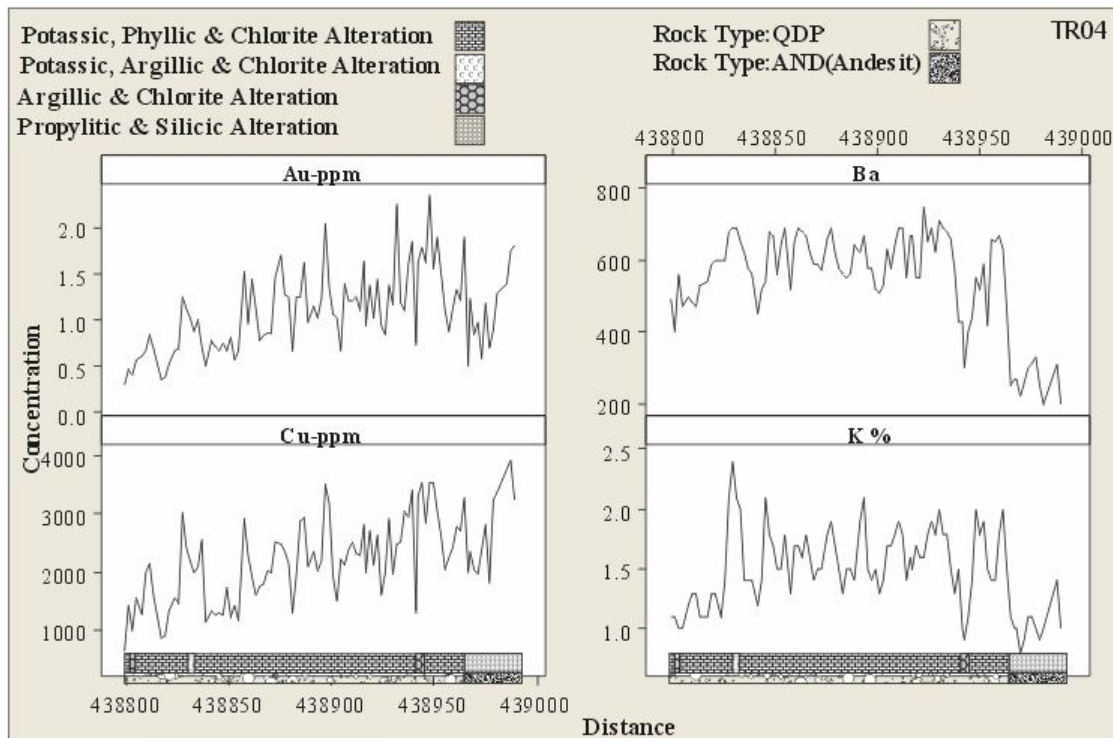
این ترانسه به صورت دو ترانسه DDH03 و DDH03a بوده که از نمونه شماره 50 وارد ترانسه DDH03a می‌شویم. نمودار تغییر غلظت در طول شش ترانسه موجود برای تمامی عناصر در این فصل توسط نرم‌افزار مینی‌تب<sup>1</sup> ترسیم گشته است. در تمام این نمودارها مقادیر غلظت عنصر در محور قائم و طول ترانسه در محور افقی می‌باشد. سپس در نرم افزار کرل دراو<sup>2</sup> کارهای گرافیکی هر شکل انجام شده است و لژند و پروفیل تغییرات نوع سنگ و آلتراسیون طراحی شده است. روند تغییرپذیری غلظت‌های Au و Cu در کوارتز دیوریت‌های پورفیری (QDP) تقریباً روند افزایشی دارد که در حدود مختصات 438950 به حداکثر مقدار غلظتی خود که در حدود 1/5ppm طلا و 3000ppm مس می‌رسد (شکل 5-3). بعضی عناصر همانند Ag در اکثر مواقع دارای غلظت زیر حد قابل ثبت (مقدار 1ppm) می‌باشد ولی در ابتدای ترانسه DDH03 و در قسمت دوم ترانسه یعنی DDH03a و بطور کلی در TR07 و ابتدای ترانسه TR3940 غلظت آن 1 یا 2ppm و در چند نمونه به 3ppm رسیده است. در نمونه‌های با مقدار نقره بالاتر، کانی مالاکیت (MAL) دیده شده است. در امتداد پروفیل TR04 و آلتراسیون پتاسیک، روند کلی تغییرات Ba افزایش تدریجی از 450ppm تا 750ppm نشان می‌دهد و در مقابل روند تدریجی افزایشی Au مقدار K بین 2%-1/5% می‌باشد (شکل 5-3). مقادیر V, Ti, Mg تقریباً در حد ثابتی در کمترین سطح خود باقی مانده و به محض ورود به آندزیت‌ها و دگرسانی سیلیسی روند افزایشی نشان می‌دهند (شکل 5-4 و 5-5). Na شکل 5-5 نشان می‌دهد که تغییرات Na در کل پروفیل در حد تقریباً 2/5 درصد ثابت ماند و تغییرات چندانی از خود نشان نمی‌دهد از سوی دیگر مقادیر Ca روند نزولی را در زون افزایش Au-Cu نشان داده که با ورود به آندزیت‌ها (AND) افزایش نشان می‌دهد. تغییرات عناصر Fe و Mn در شکل 5-4 رسم شده است بطور کلی این دو عنصر روند افزایشی را در زون پتاسیک و با ورود به زون پروپلیتیک و سیلیسی

---

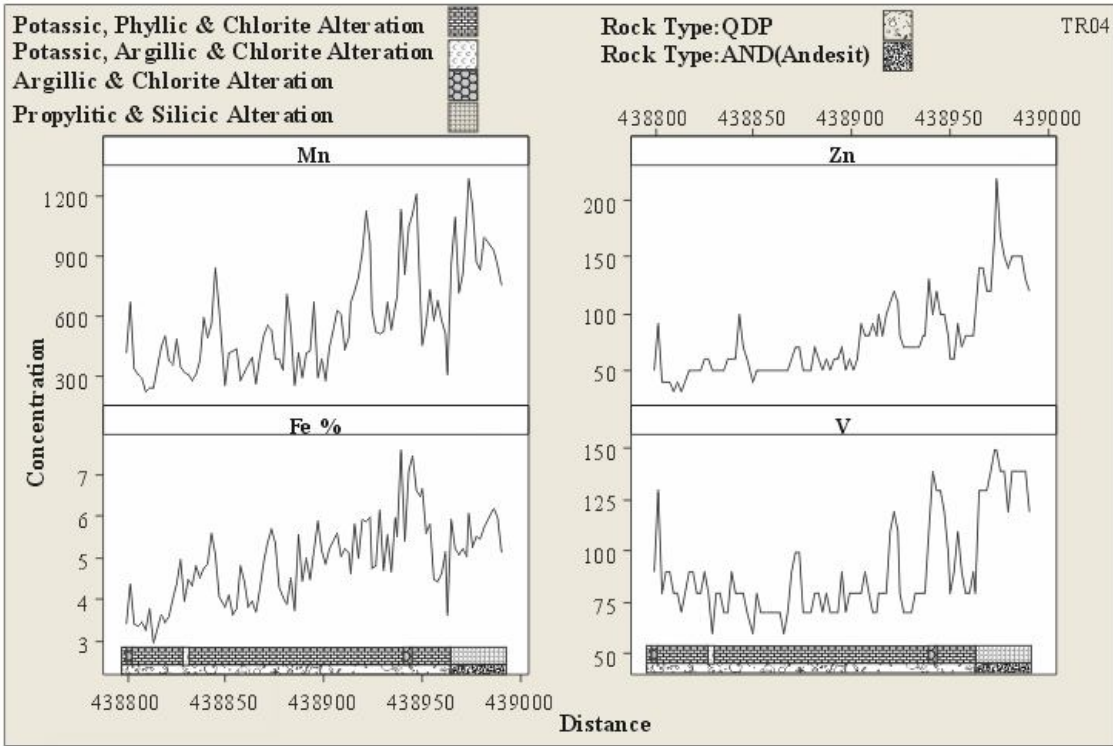
<sup>1</sup> - Minitab

<sup>2</sup> - CorelDRAW 10

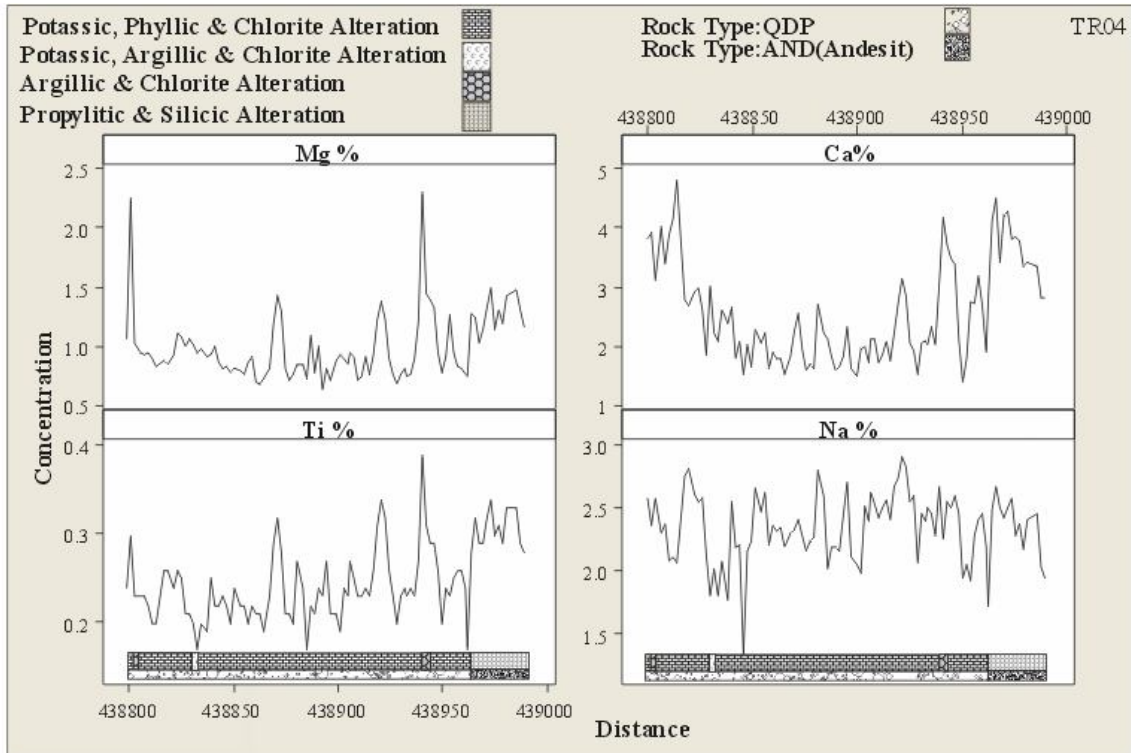
دچار افت نسبی می‌شود. شکل 5-6 رفتارهای شاخص را در چهار عنصر K، Ca، Ba و Zn را نشان می‌دهد که دو عنصر K و Ca از یک سو و Ba و Zn از سوی دیگر تغییرات معکوسی را با هم نشان می‌دهند که در شکل 5-7 روند تغییرات دو عنصری  $\frac{Ba}{Zn}$  و  $\frac{K}{Ca}$  ترسیم گشته است که این عکس‌العمل‌ها در بررسی نسبت دو عنصری به صورت واضحتری دیده می‌شود. این دو نسبت در سنگ‌های AND که دارای دگرسانی‌های پروپلیتیک و سیلیسی می‌باشند مقادیر کمی را نشان می‌دهند. تغییرات عناصر Sr، P، Al، Bi و Pb، Co، Cr، Ni در این ترانسه در پیوست و در اشکال ب-1 و ب-2 آورده شده است.



شکل (3-5): تغییرات غلظت عناصر Au، Cu، Ba (ppm)، K % در طول ترانسه TR04

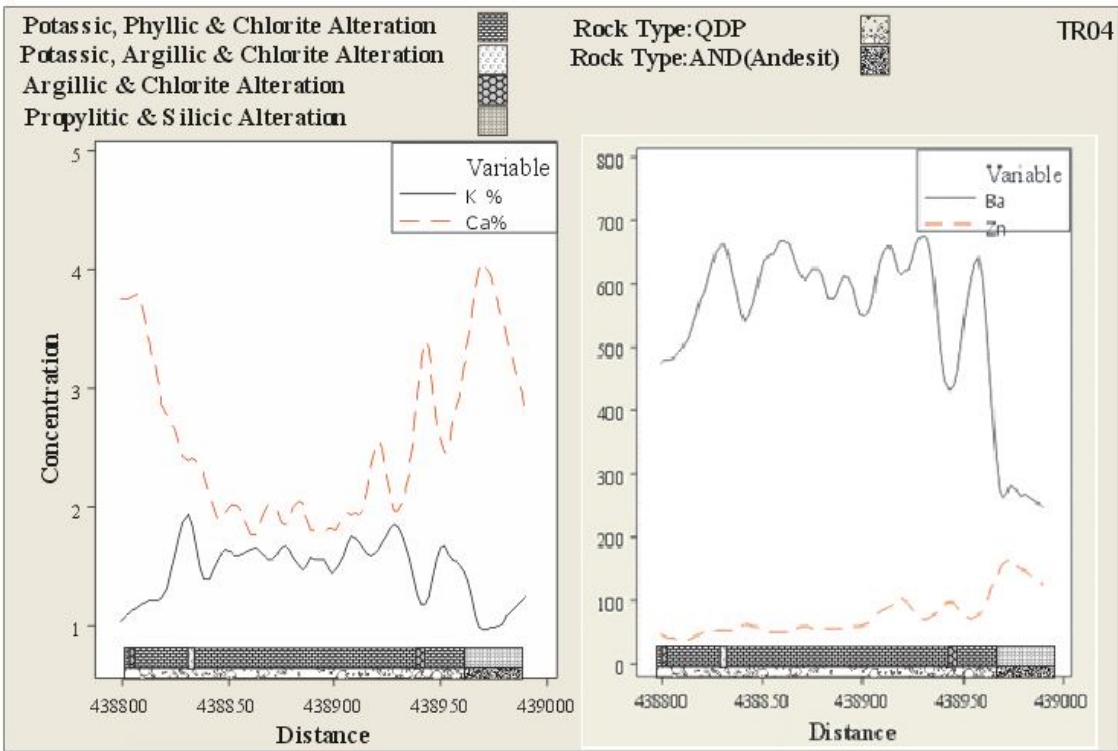


شکل (4-5): تغییرات غلظت عناصر Mn, Zn, V بر حسب ppm و Fe بر حسب درصد در طول ترانسه TR04

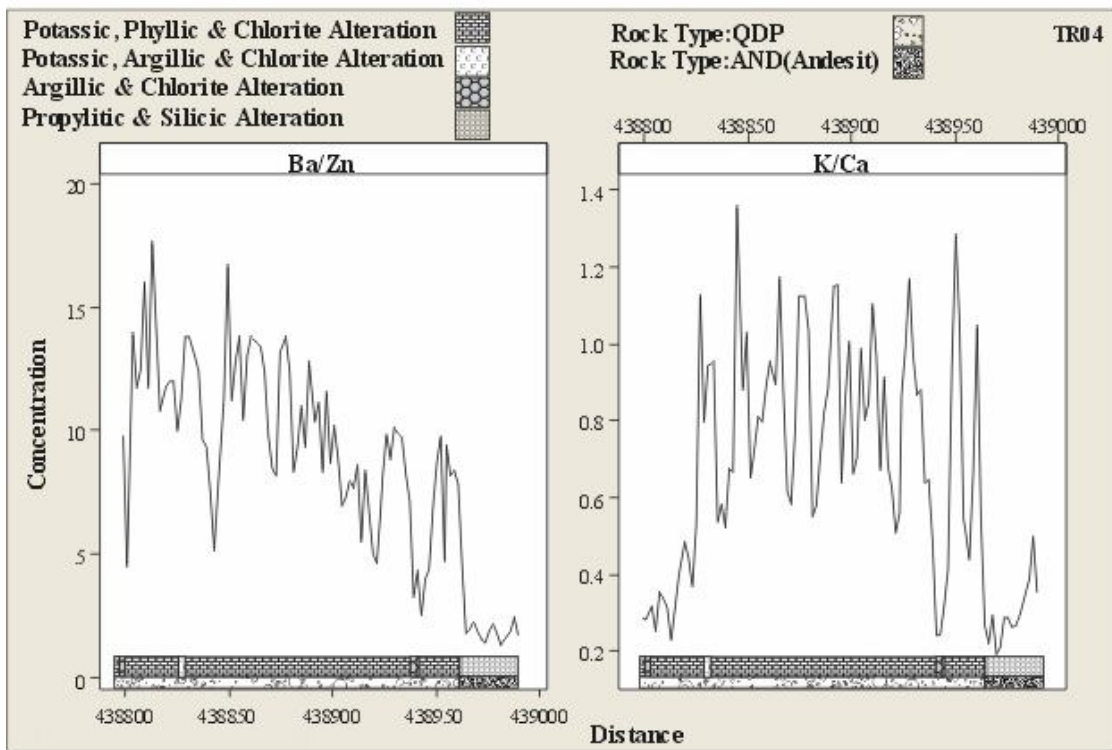


شکل (5-5): تغییرات غلظت عناصر Na, Mg, Ca, Ti در طول ترانسه TR04





شکل (5-6): مقایسه تغییرات Ca-K و Ba-Zn در ترانشه TR04



شکل (5-7): چگونگی تغییرات نسبت Ba/Zn و K/Ca

با بررسی تغییرات غلظت برای تمام عناصر در طول ترانسه نتایج زیر بدست آمد:

- عناصر Mn، V و Zn در محدوده سنگ‌های مختلف تغییرات غلظت مشابه نشان می‌دهند.
- عناصر Zn-Ba و Fe-Ba و K-Ca بصورت جفت‌هایی که تغییرات عکس هم دارند دیده می‌شوند با توجه به نسبت Ba/Zn در شکل 5-7 دیده می‌شود که این نسبت روند معکوسی را با تغییرات عناصر Au و Cu در طول ترانسه و در سنگ‌های QDP دارد و نسبت K/Ca یک شاخص لیتولوژی و دگرسانی می‌باشد.

## 2-2-5 ترانسه TR05

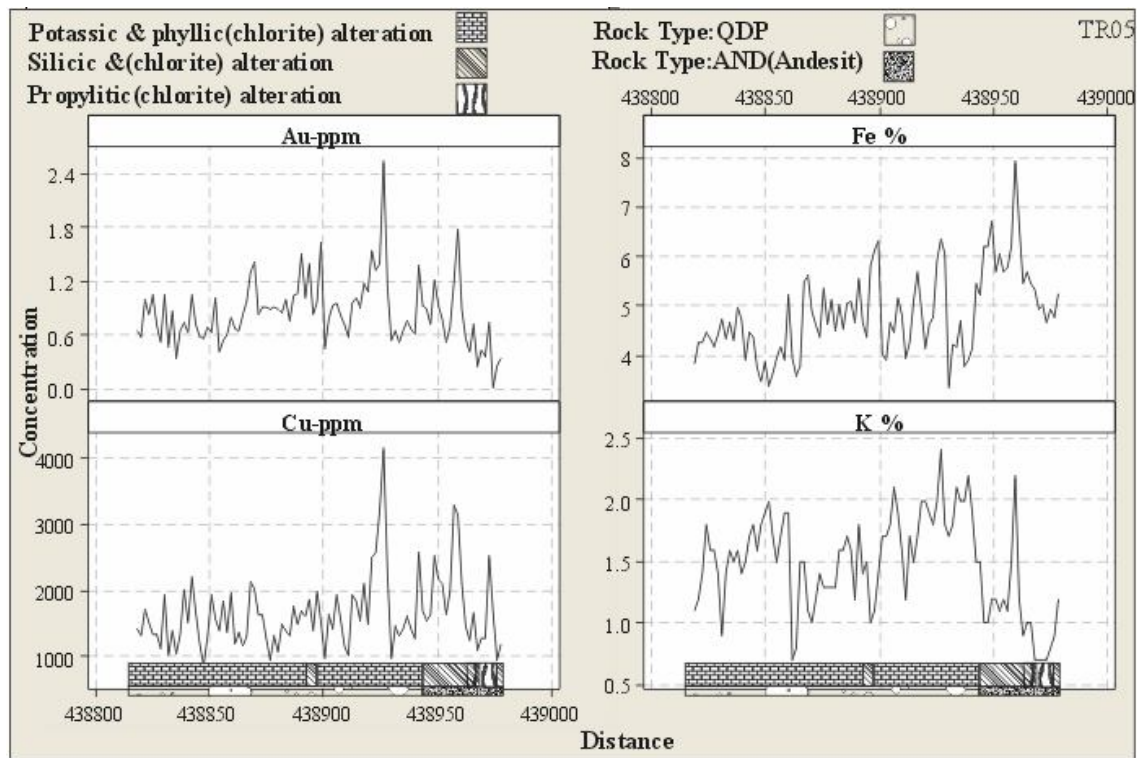
ترانسه TR05 نزدیک به 160 متر طول داشته و در امتداد آزمون گمانه DDH04 (راستای جنوب‌غربی - شمال شرقی) زده شده است. بخش زیادی از این ترانسه سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری (QDP) و بخشی از آن سنگ‌های آندزیتی (AND) را قطع می‌نماید. در سنگ‌های QDP دگرسانی‌های پتاسیک با شدت متوسط و فلیک و کلریت در حد ضعیف تا جزئی دیده می‌شود. در سنگ‌های آندزیتی دگرسانی‌های سیلیسی در حد متوسط تا جزئی و کلریتی در حد جزئی تا ضعیف و در بعضی نمونه‌ها دگرسانی پروپلتیک در حد جزئی تا ضعیف وجود دارد. در این ترانسه در سنگ‌های QDP میزان فراوانی کانی FeX (اکسیدهای آهن) در حد 1-2 درصد و در سنگ‌های AND در حد 0/5-1 درصد می‌باشد. در سنگ‌های QDP تعداد نمونه‌های حاوی MnX (اکسیدهای منگنز) فراوانی بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی مالاکیت (MAL) دارد اما در آندزیت‌ها بر عکس می‌باشد.

بطور کلی هاله‌های پراکندگی ژئوشیمیایی Au، Cu و K بگونه‌ایست که در سنگ‌های QDP از سطح بالاتری در مقایسه با ANDها برخوردار می‌باشد که در شکل 5-8 این تغییرات مشاهده می‌شود. روند افزایشی Au در QDP از حدود 0/7ppm به حدود 2ppm می‌رسد، این روند در خصوص عنصر Cu از

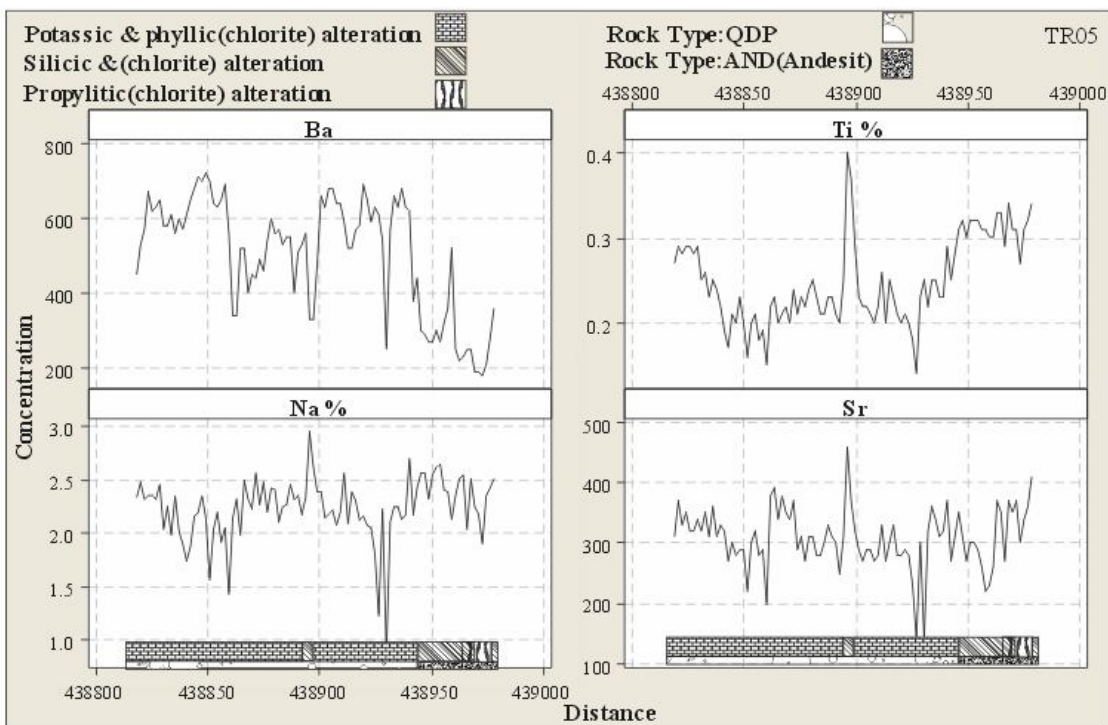
1500ppm به 3500ppm و برای عنصر K هم از 1/5% به 2% می‌رسد. مقدار Au, Cu و K در سنگ‌های آندزیتی به ترتیب حداکثر به 1/2ppm, 2500ppm و 1/3% می‌رسد، میزان متوسط Fe در QDP به 5% و در آندزیت‌ها به حدود 6% می‌رسد و از سطح بالاتری در آندزیت‌ها برخوردار می‌باشد. در شکل 5-9 تغییرات عناصر Ba, Na, Ti و Sr ترسیم گشته است توزیع Na و Sr در سنگ‌ها تقریباً در حد ثابت و به ترتیب در حدود 2/4% و 320ppm می‌باشد از طرفی تغییرپذیری Ba و Ti رفتارهای کاملاً عکس یکدیگر را در این ترانسه از خود نشان می‌دهند بگونه‌ای که Ba دارای رنج متوسط بالایی در حدود 600ppm در QDP و روند کاهشی تا حدود 200ppm در آندزیت‌ها از خود نشان می‌دهد (شکل 5-9). این در حالی است که Ti در QDP دارای مقدار متوسط و پایین 0/23% و در ANDها روند افزایشی تا 0/32% از خود نشان می‌دهد (شکل 5-9) دو عنصر Ti و Fe در آندزیت‌ها که دگرسانی کلریت هم داشته باشند مقادیر بالایی نشان می‌دهند. گروه دیگر از عناصری مانند Zn-V-Mg-Mn در واحد سنگی QDP دارای پایین‌ترین حد ثابت خود بوده و در آندزیت‌ها به بالاترین حد ثابت خود می‌رسند و یا روند افزایشی را از خود نشان می‌دهند (شکل 5-10).

با بررسی تغییرات غلظت عناصر در طول این ترانسه، عکس‌العمل‌های متضادی در شکل 5-11 برای عناصر K با Ca و Ba با Zn وجود دارد که با توجه به چگونگی تغییرات این جفت عناصر مشاهده می‌شود که جهت تفکیک مرزهای لیتولوژیکی می‌توان از دو نسبت K/Ca و Ba/Zn کمک گرفت زیرا که در سنگ‌های مختلف تغییرات معکوسی در جفت عناصر وجود دارد. با رسم این نسبت‌ها در شکل 5-12 دیده می‌شود که نسبت K/Ca یک شاخص مناسب جهت ارزیابی مناطق با اهمیت Au و Cu می‌تواند باشد اما نسبت Ba/Zn بعنوان معیار مناسبی در تفکیک سنگ‌های QDP از AND می‌تواند بعنوان راهنمای خوب عمل نماید. نمودار تغییرات عناصر Cr, Ca, P, Al, Pb, Co, Ni, Sc در شکل ب-3 و

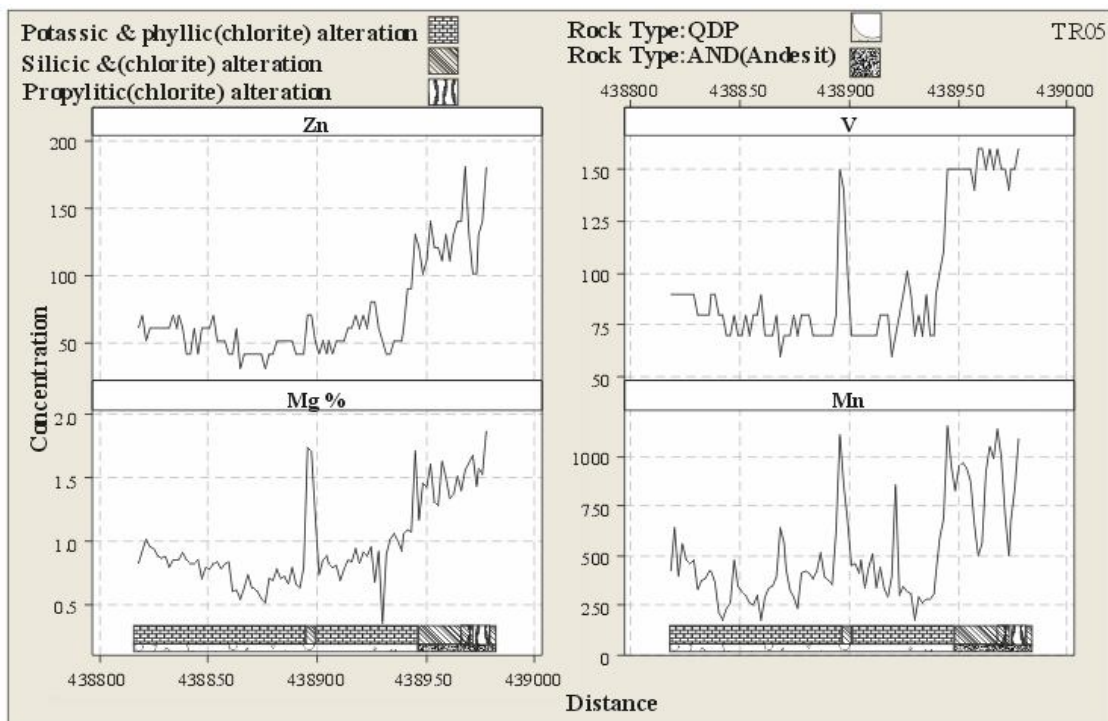
شکل ب-4 در پیوست آورده شده است. در مورد این عناصر این نکته قابل توجه است که عنصر Cr تغییرات نزدیکتری به عناصر Au و Cu دارد و در محدوده کانی‌سازی غلظت بالایی دارد.



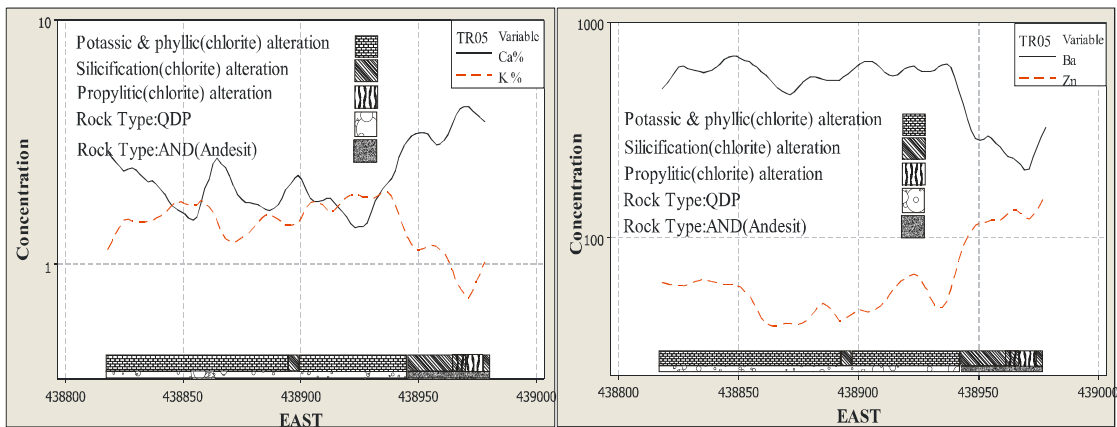
شکل (5-8): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, Fe, K در طول ترانسه TR05



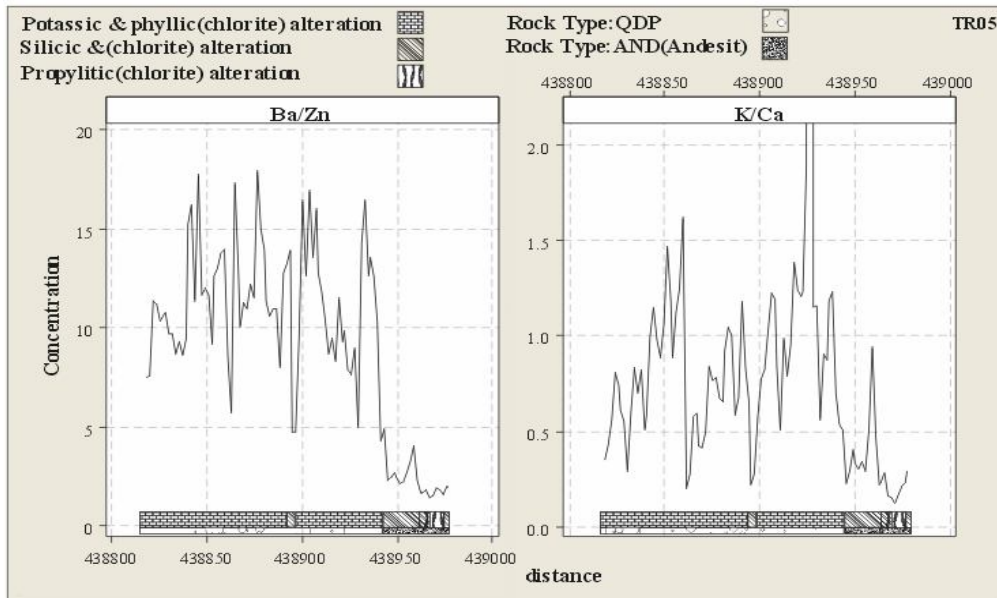
شکل (5-9): تغییرات غلظت عناصر Ba و Sr بر حسب ppm و Ti، Na بر حسب درصد در طول ترانسه TR05



شکل (5-10): تغییرات غلظت عناصر Zn، Mn، V بر حسب ppm و Mg بر حسب درصد در طول ترانسه TR05



شکل (5-11): مقایسه تغییرات غلظت عناصر K-Ca و Ba-Zn با هم در طول ترانسه TR05



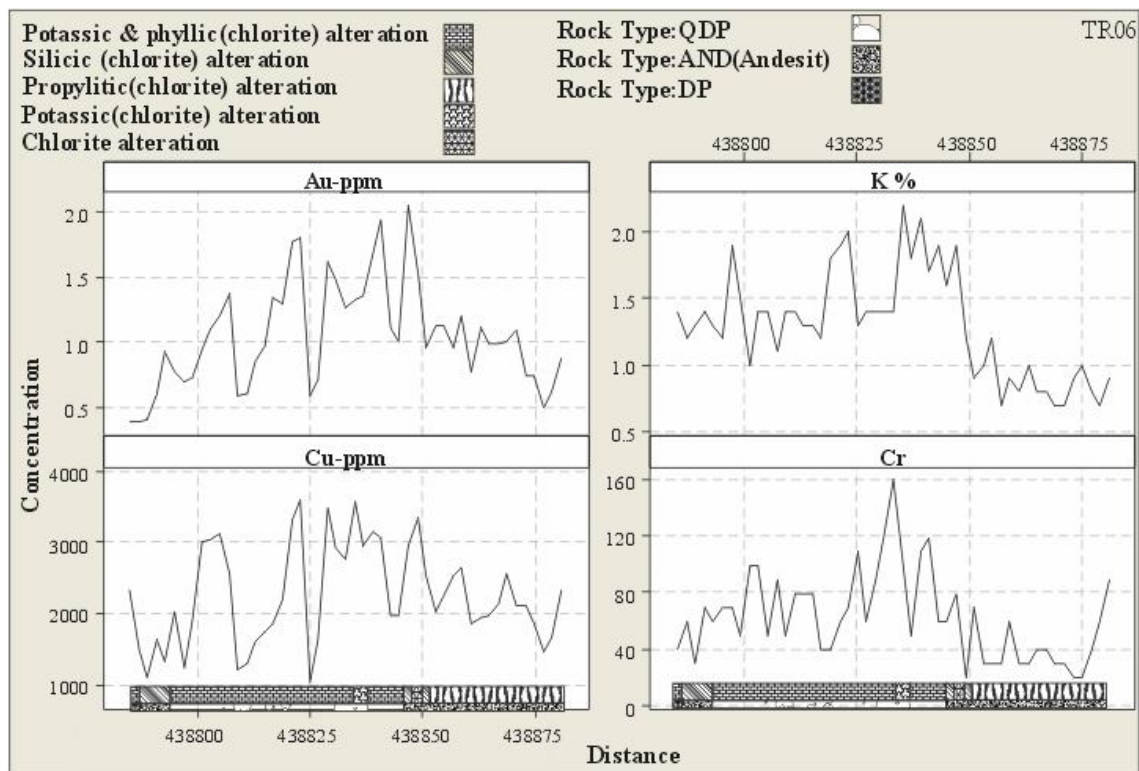
شکل (5-12): بررسی تغییرات نسبت های Ba/Zn و K/Ca در طول ترانسه TR05

### 3-2-5 ترانسه TR06

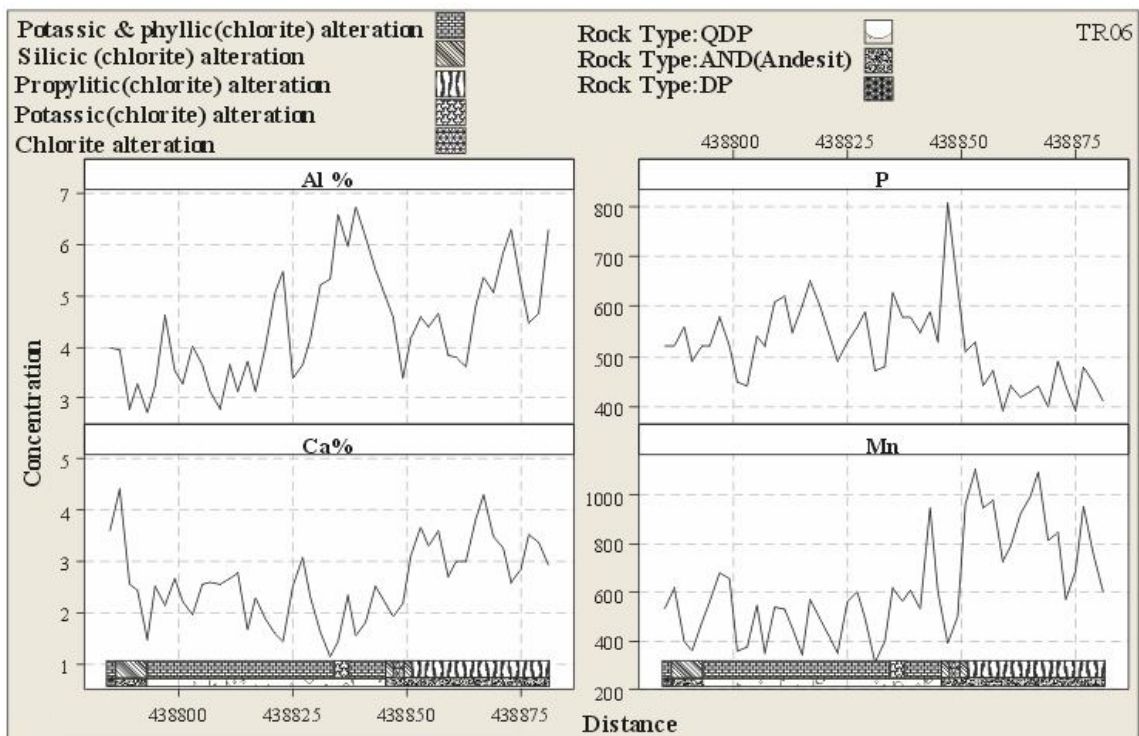
ترانسه TR06 با طول 100m که در 30m متر از ابتدای آن دارای آنومالی  $Au > 1/5 \text{ ppm}$  و  $Cu > 3200 \text{ ppm}$  در سنگ های QDP حاوی دگرسانی های پتاسیک متوسط، فلیک و کلریتی جزئی می باشد. در این ترانسه مقدار  $Fe > 5\%$  بوده که نسبتاً بالا می باشد که در شکل ب-6 موجود در پیوست آورده شده است.

آلتراسیون کلریت در کل ترانشه مشاهده می‌گردد و شدت آن در حد متوسط (منتهی‌الیه سمت راست ترانشه) تا جزئی می‌باشد. جنس سنگ‌ها در انتهای سمت چپ ترانشه شامل دیوریت پورفیری و سپس کوارتز دیوریت پورفیری و در انتهای سمت راست آن به آندزیتی دانه‌ریز تغییر می‌یابد. در بخش مرکزی ترانشه آلتراسیون پتاسیک (با متوسط 1/9% پتاسیم) که سپس از دو طرف به پتاسیک-فیلیک تغییر می‌یابد، در انتهای سمت راست ترانشه دگرسانی پروپلتیک و در انتهای سمت چپ سیلیسی شدن را شاهد می‌باشیم (شکل 5-13، پروفیل تغییرات سنگ‌شناسی و دگرسانی).

از جمله اختصاصات اکتشافی زون 30 متری تمرکز طلا ( $Au > 1/5 \text{ppm}$ ) سنگ‌های QDP می‌توان به بالا بودن نسبی پتاسیم (2% K- شکل 5-13)، کروم (120ppm - شکل 5-13)، آلومینیوم (6% - شکل 5-14)، مس ( $Cu > 3000 \text{ppm}$  - شکل 5-13) و باریم (حدود 600ppm - شکل 5-15) اشاره کرد که در مقایسه با نواحی مجاور از بالاترین میزان برخوردار می‌باشد. از مشخصات ژئوشیمیایی منطقه دگرسانی پروپلتیک سنگ‌های آندزیتی (AND) منتهی‌علیه سمت راست ترانشه می‌توان به بالا بودن نسبی Ca (حدود 3/5% - شکل 5-14)، Mn (حدود 1000ppm، شکل 5-14)، روند افزایشی Mg (از 1/5% به سمت 1/8% در شکل 5-15) و V (شکل 5-15) و پایین بودن نسبی p (حدود 450ppm - شکل 5-14) اشاره نمود. لازم بذکر است که این مشخصات ژئوشیمیایی تا حدود زیادی راهنمای تفکیک مرزهای پترولوژیکی AND از QDP نیز می‌باشند. در این خصوص Ba، Mg و Mn به نحوی مناسب عکس‌العمل‌های اکتشافی در برابر دگرسانی و لیتولوژیکی را به خوبی از خود نشان می‌دهد. نسبت Ba/Zn در سنگ‌های QDP مشابه تغییرات با مقادیر غلظت طلا روند افزایش و کاهش نشان می‌دهد، همچنین نسبت K/Ca هم یک شاخص مناسب اکتشافی می‌باشد که محدوده آنومال آن همخوانی خوبی با محدوده آنومال Au و Cu دارد (شکل 5-16). تغییرات عناصر Sr، Co، Ti، Na و Pb در شکل ب-5 و شکل ب-6 موجود در پیوست آورده شده است.

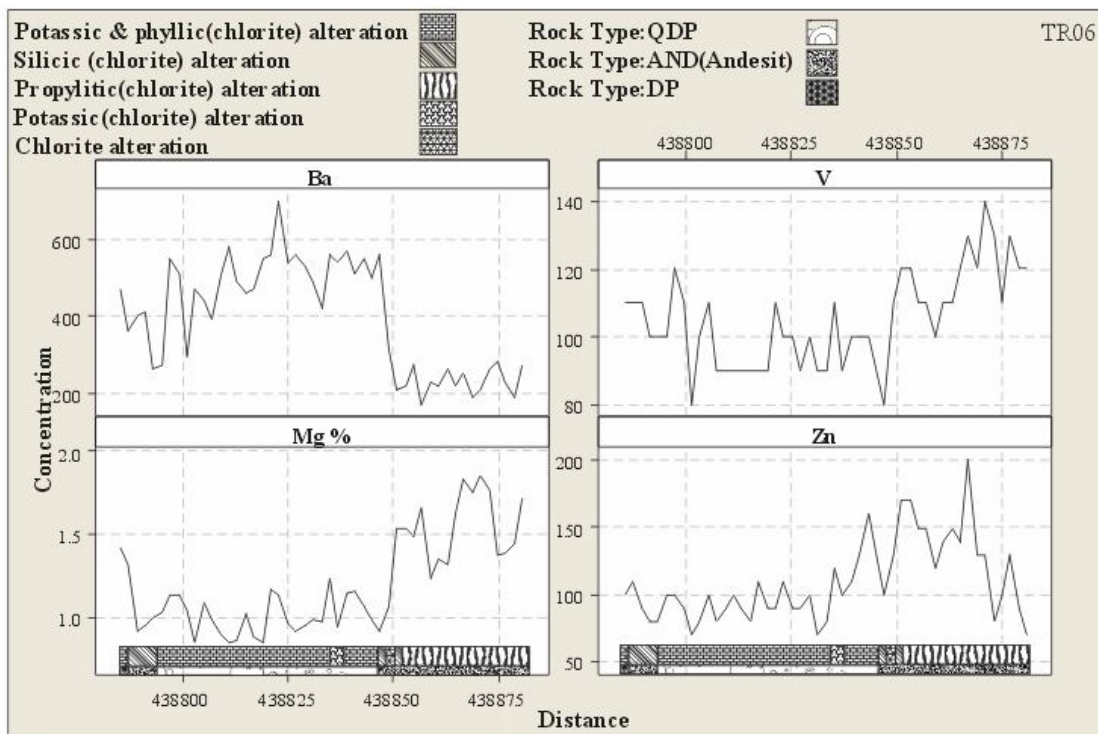


شکل (5-13): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Cr(ppm) در طول ترانسه TR06

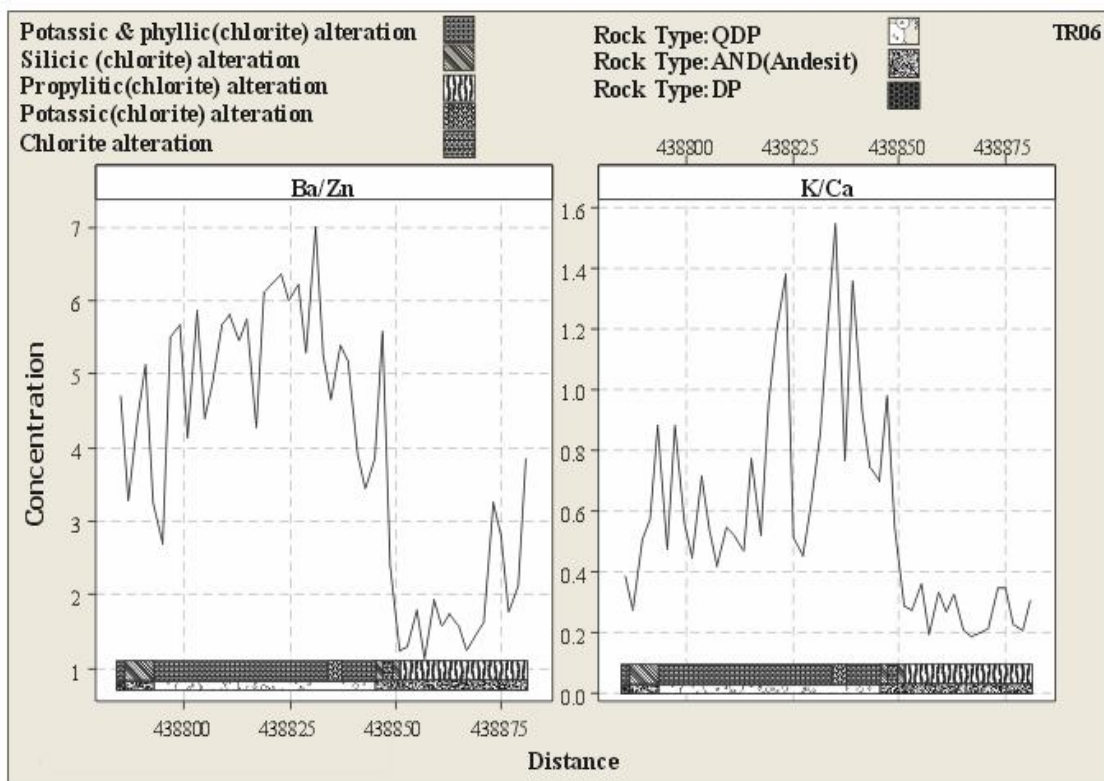


شکل (5-14): تغییرات غلظت عناصر Al%, P%, Ca%, Mn(ppm) در طول ترانسه TR06





شکل (5-15): تغییرات غلظت عناصر Ba(ppm), V(ppm), Mg%, Zn (ppm) در طول ترانسه TR06

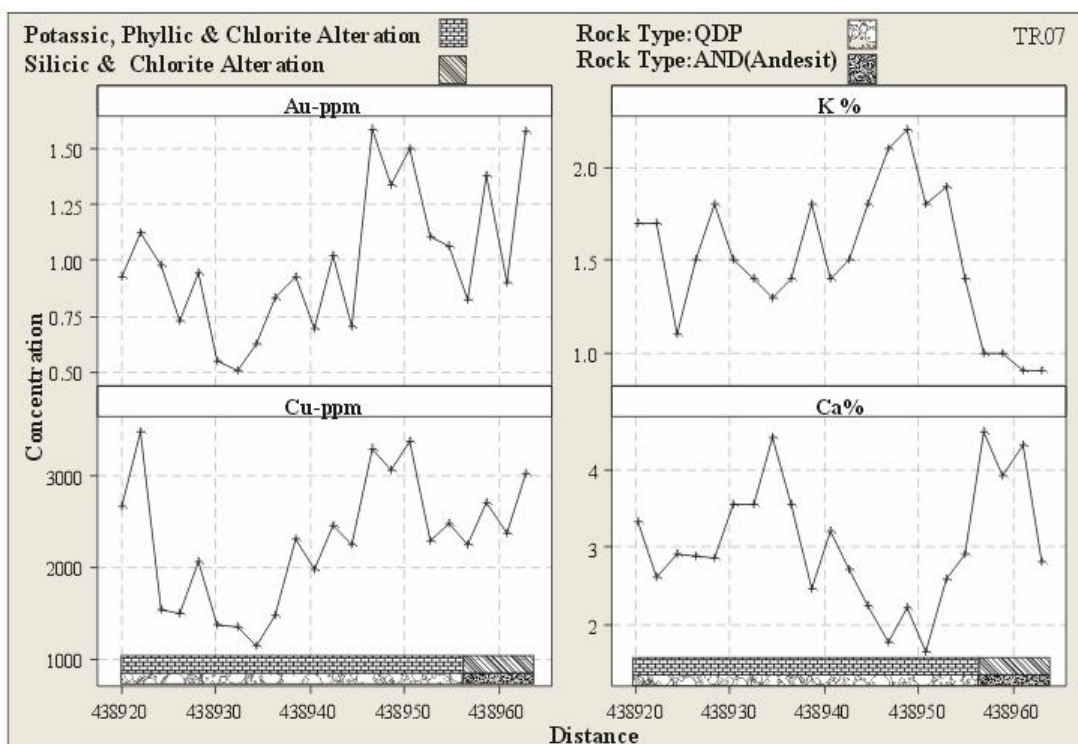


شکل (5-16): بررسی چگونگی تغییرات نسبت‌های Ba/Zn و K/Ca در ترانسه TR06

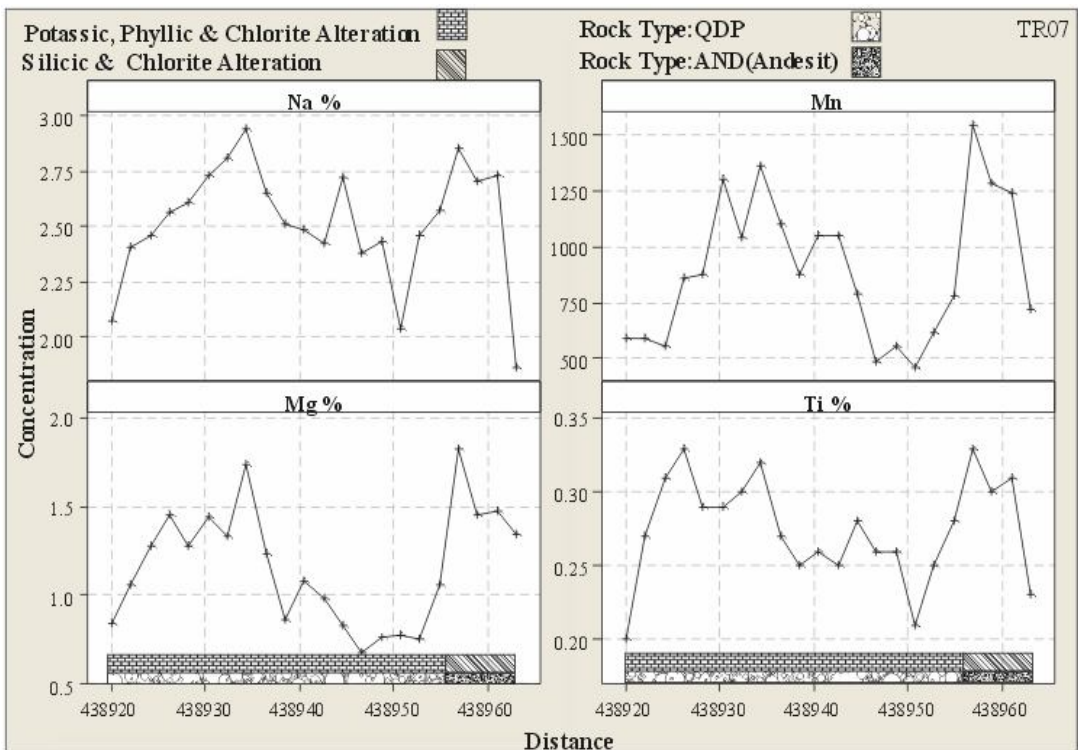
## 4-2-5 ترانسه TR07

ترانسه TR07 دارای 40m طول بوده که در آن بخش اصلی سنگها QDP بوده و در انتهای سمت راست به سنگهای آندزیت خاتمه می‌یابد. در این ترانسه بخش اصلی سنگها تحت تاثیر دگرسانی پتاسیک، فلیک و کلریتی واقع شده‌اند که در انتهای سمت راست پروفیل بیشتر به نوع سیلیسی و کلریتی تغییر می‌یابند. در نمونه‌های انتهای سمت راست ترانسه شدت کلریتی شدن افزایش می‌یابد. حدود 20m از این ترانسه دارای غلظت طلای  $Au > 1.25 ppm$  و  $Cu > 3000 ppm$  می‌باشد (شکل 5-17).

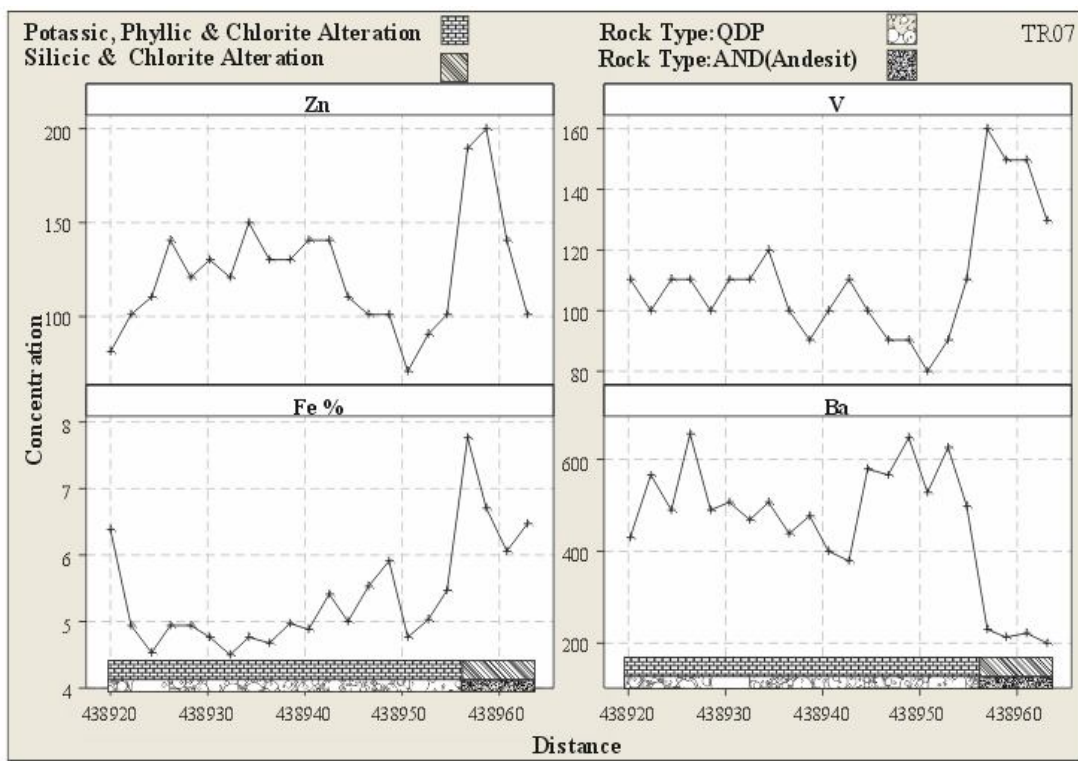
از اختصاصات ژئوشیمیایی هاله‌های پراکندگی عناصر در زون تمرکز Au و Cu (سنگهای QDP) این ترانسه می‌توان به بالاترین شدت نسبی K ( $> 2\%$  - شکل 5-17) و Ba (600ppm - شکل 5-19) و پایین‌ترین شدت نسبی Ca ( $< 2/5\%$  - شکل 5-17)،  $Mg < 1\%$ ،  $Mn < 600 ppm$ ،  $Na < 2/5\%$ ،  $Ti < 0/25\%$  (شکل 5-18) و  $Zn < 180 ppm$  اشاره نمود (شکل 5-19). عناصری مانند K، Ca، V و Fe در برابر تغییرات لیتولوژی و دگرسانی به خوبی عکس‌العمل نشان می‌دهند (شکل 5-17 و 5-19). شکل 5-19 بر این نکته دلالت دارد که Ba تا حدودی در سنگهای کوارتز دیوریت پورفیری روند افزایشی و مشابه Au و Cu دارد. در شکل 5-20 نسبت‌های Ba/Zn و K/Ca در این ترانسه ترسیم گردیده است و بخوبی موقعیت آنومالی‌های Au و Cu را در سنگهای QDP نشان می‌دهد. تغییرات غلظت سایر عناصر (Pb, Al, P, Sr, Cr, Ni) در شکل ب-7 و شکل ب-8 آورده شده است. با توجه به شکل ب-7 عنصر Al در محدوده غلظت بالای Au و Cu از خود آنومالی نشان می‌دهد و تغییرات مشابه‌ای دارد.



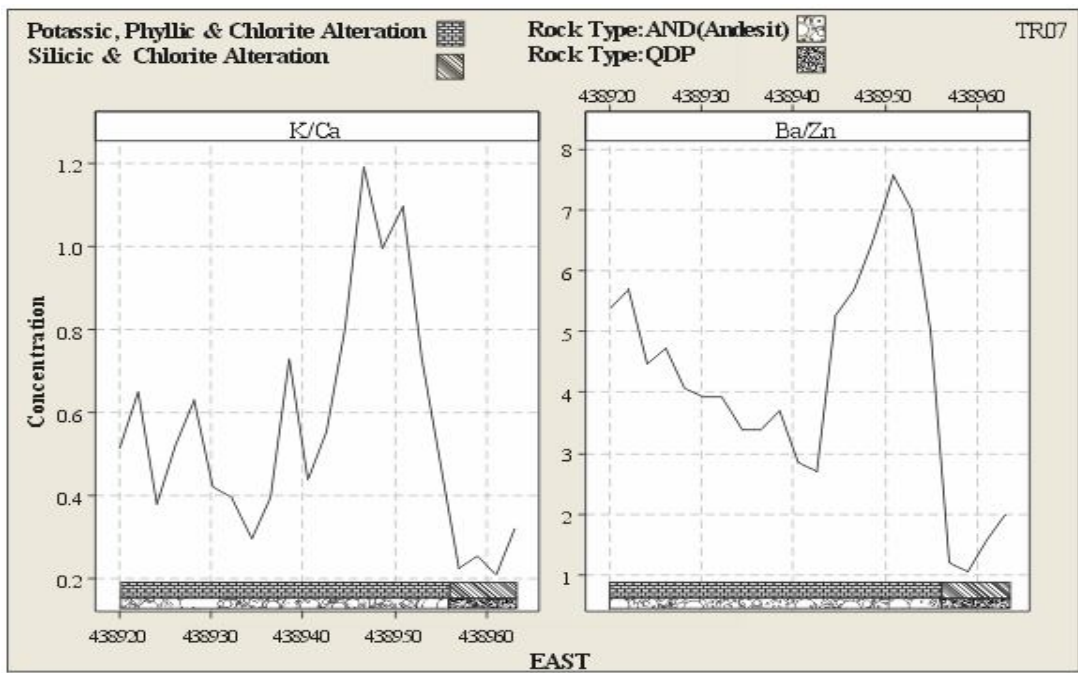
شکل (5-17): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Ca در طول ترانسه TR07



شکل (5-18): تغییرات غلظت عناصر Na, Mg, Mn, Ti در طول ترانسه TR07



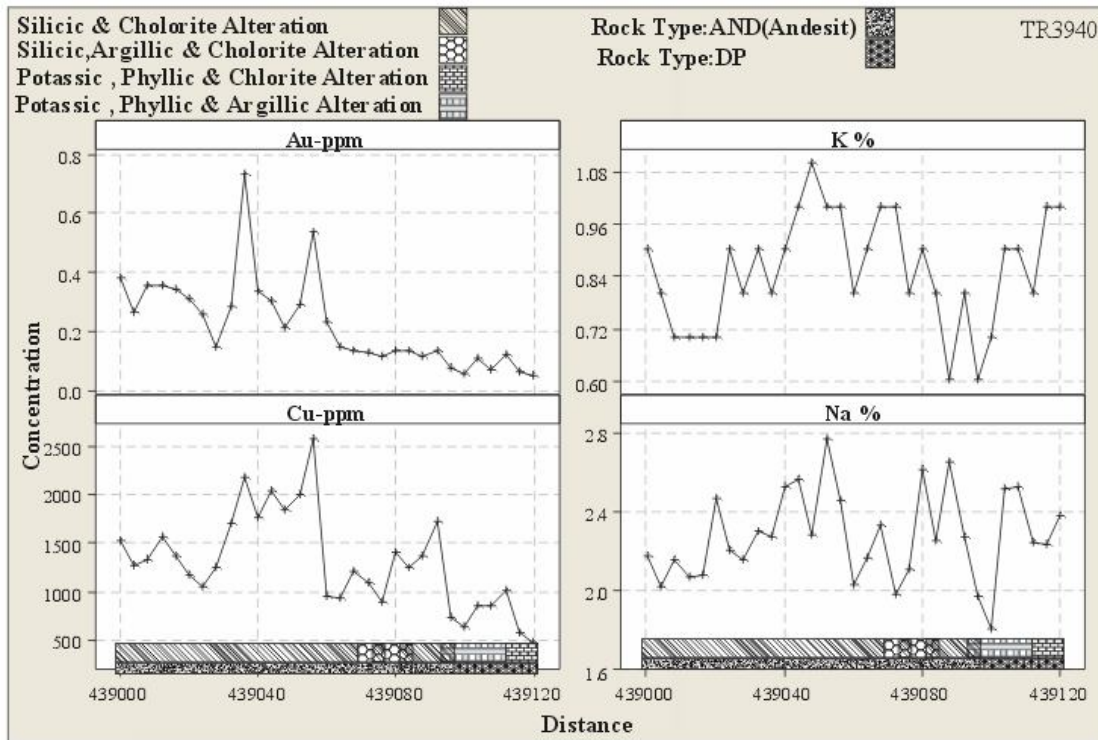
شکل (5-19): تغییرات غلظت عناصر Zn, V, Fe, Ba در طول ترانسه TR07



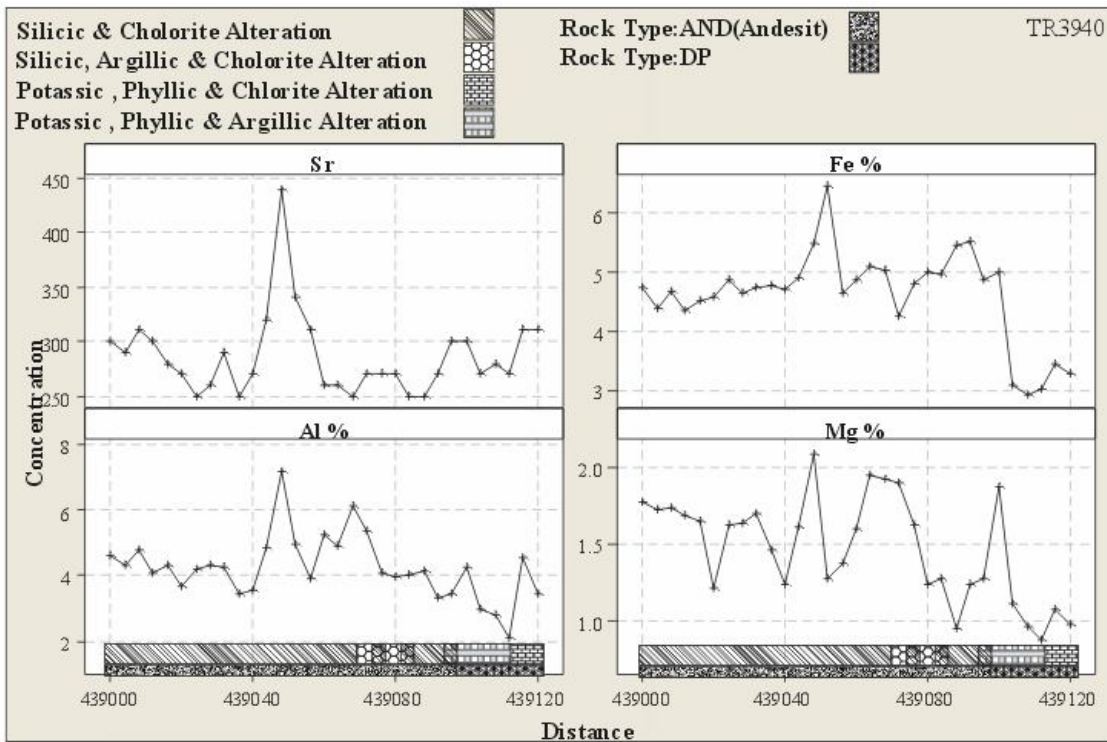
شکل (5-20): بررسی چگونگی تغییرات نسبت‌های K/Ca و Ba/Zn در ترانسه TR07

## 5-2-5 ترانسه TR3940

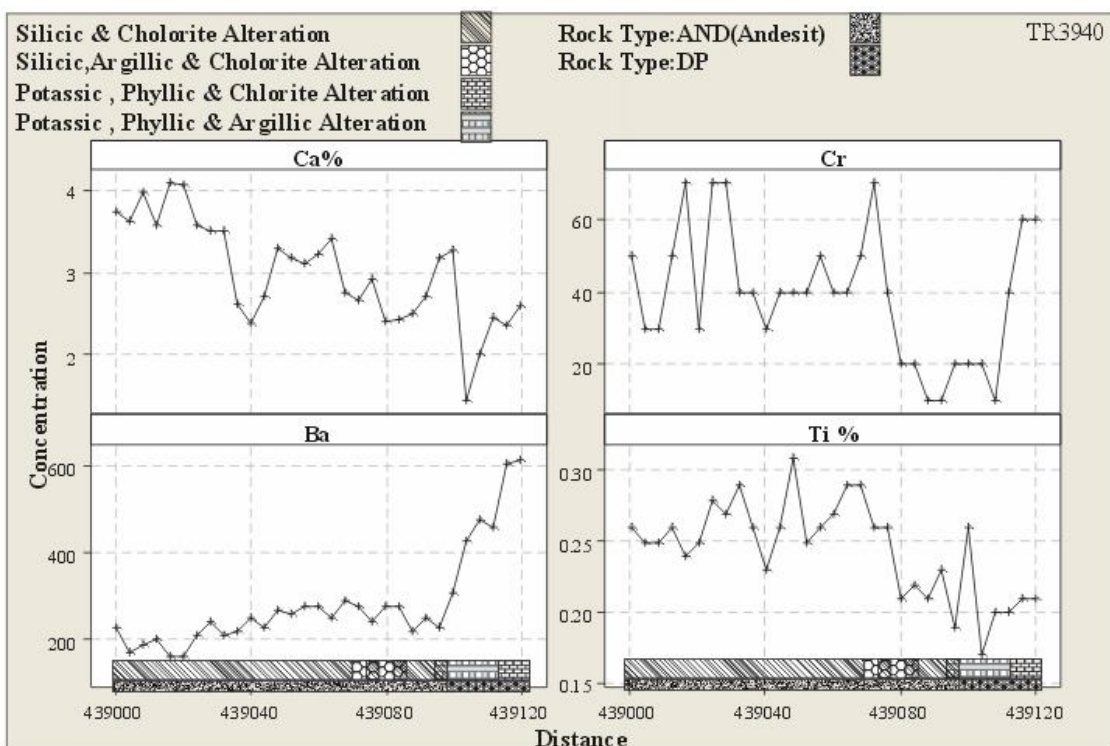
ترانسه TR3940 با طولی برابر 120 متر بطور عمده سنگ‌های آندزیت (AND) را قطع نموده و در منتهی‌علیه سمت راست آن به دیوریت پورفیری (DP) خاتمه می‌یابد. با توجه به شکل 5-21 و پروفیل تغییرات سنگ‌شناسی و دگرسانی‌ها در طول ترانسه مشاهده می‌شود که دگرسانی سیلیسی، کلریتی و آرژیلیکی در بخش سمت چپ ترانسه و دگرسانی‌های پتاسیک، فلیک و آرژیلیکی در سمت راست ترانسه گسترش دارند. بطور کلی در واحدهای آندزیتی مقدار متوسط مس و طلا پایین می‌باشد و بیشتر تمرکز Cu متداول می‌باشد ( $0.3\text{ ppm} < \text{Au} < 0.5\text{ ppm}$  و  $1500\text{ ppm} < \text{Cu} < 2000\text{ ppm}$ ). در بررسی صورت گرفته عناصر Al-Sr (شکل 5-22) عکس‌العمل‌های نسبتاً قابل ملاحظه‌ای و K عکس‌العمل کمی (شکل 5-21) با روند غنی‌شدگی نسبی مشابه با Au-Cu از خود نشان می‌دهند. بطور کلی مطابق شکل 5-22 دو عنصر Fe و Mg نیز نسبت به دگرسانی‌ها و شناسایی مرزهای لیتولوژیک عکس‌العمل نشان داده، بگونه‌ایکه در زون دگرسانی سیلیسی- کلریتی بالاترین میزان نسبی Fe و Mg را ملاحظه می‌کنیم که با ورود به منطقه دگرسانی پتاسیک و فلیک به کمترین حد نسبی خود می‌رسند. عناصر Ti و Ba نسبت به تغییرات لیتولوژیکی عکس‌العمل نشان می‌دهند که در شکل 5-23 این امر مشاهده می‌شود. تغییرات غلظت عناصر V, Mn, P, Pb, Zn در طول ترانسه نکته قابل توجهی نشان نمی‌دهند و در شکل ب-9 در پیوست آورده شده‌اند.



شکل (5-21): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, K, Na در طول ترانسه TR3940



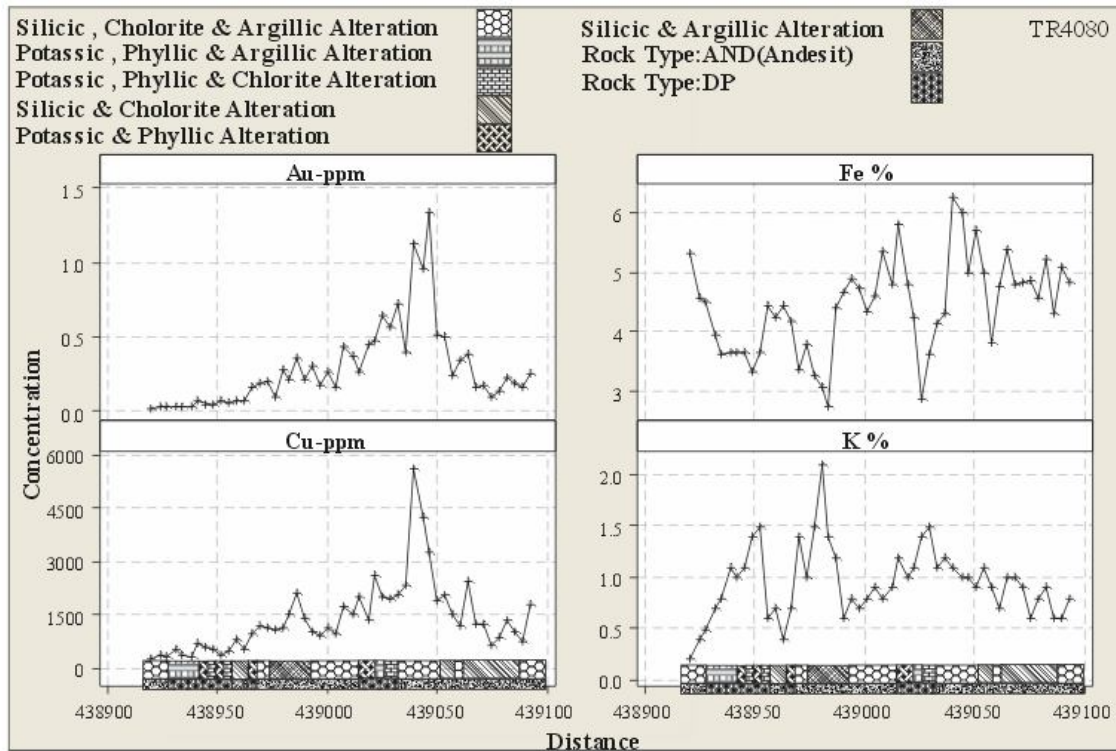
شکل (5-22): تغییرات غلظت عناصر Sr, Al, Fe, Mg در طول ترانسه TR3940



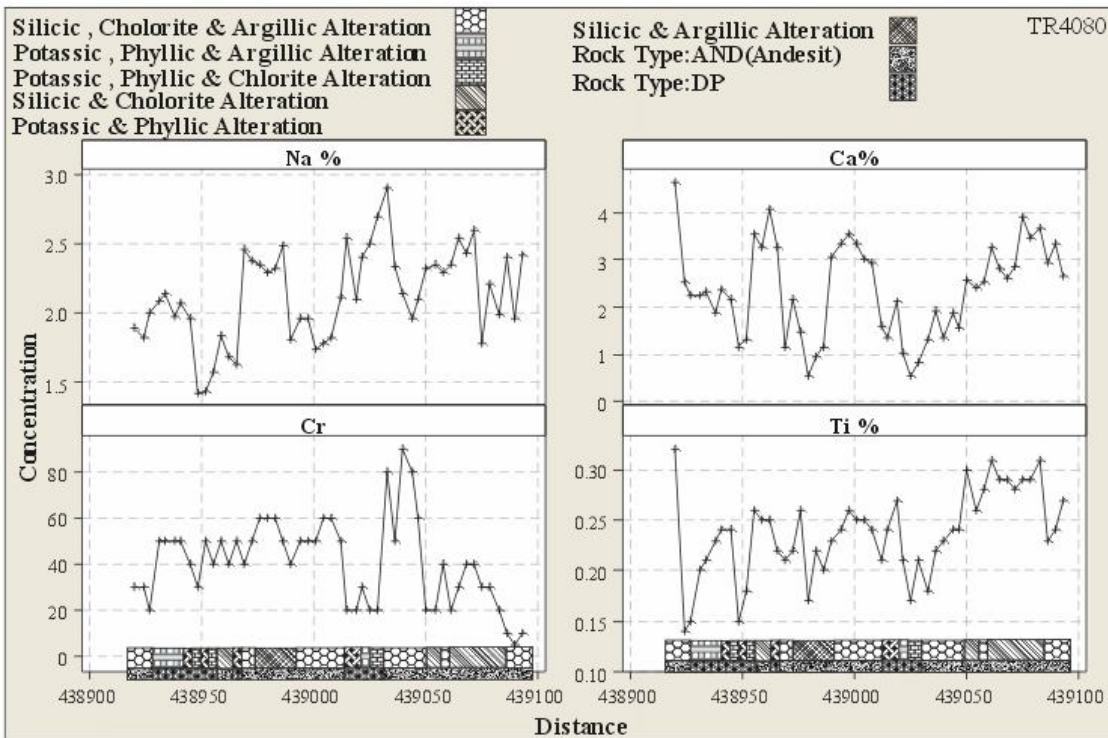
شکل (5-23): تغییرات غلظت عناصر Ca, Cr(ppm), Ba(ppm), Ti در طول ترانشه TR3940

### 6-2-5 ترانشه TR4080

طول ترانشه TR4080 برابر 170m بوده که در راستای شمال غربی- جنوب شرقی بوده و با حد فاصل 4m به 4m نمونه برداری شده است. نوع سنگ های موجود در این ترانشه دیوریت پورفیری و آندزیت های دانه ریز می باشد. تعدادی از نمونه ها غلظت طلا بالای 0/5ppm و مس بالای 3000ppm نشان داده اند (شکل 5-24)، روند تغییرپذیری عناصر Fe و Ca عکس Au و Cu (شکل 5-24 و 5-25) می باشد. مطابق شکل 5-25 عناصر Na و Cr روندی مشابه با روندهای تغییرپذیری Au و Cu را نشان می دهد و همچنین عنصر Ti در مقابل تغییر لیتولوژیکی و دگرسانی عکس العمل نشان می دهد. تغییرات عناصر Mg, Ba, Sr, Al در شکل ب-10 در پیوست آورده شده اند.



شکل (5-24): تغییرات غلظت عناصر Au, Cu, Fe, K در طول ترانسه TR4080



شکل (5-25): تغییرات غلظت عناصر Na, Cr, Ca, Ti در طول ترانسه TR4080.



### 3-5 نتایج کلی ترانشه‌ها

میزان شدت غلظت Au و تا حدودی Cu در محدوده سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری (QDP) ( $Au > 0/45 \text{ ppm}$  و  $Cu > 2500 \text{ ppm}$ ) بمراتب بالاتر از محدوده سنگ‌های آندزیتی ( $Au > 1/2 \text{ ppm}$  و  $Cu \approx 3000 \text{ ppm}$ ) می‌باشد. در QDP غالب دگرسانی‌ها از نوع پتاسیک متوسط تا فیلیک ضعیف و کلریتی جزئی، مرتبط با کانی‌زایی بود حال آنکه در محدوده سنگ‌های AND غالباً در مناطق دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی تا آرژیلیکی حداکثر غلظت‌های طلا متمرکز گردیده و در موارد کمتری در محدوده‌های پتاسیک می‌باشد. در جدول 2-5 سعی شده است تا عکس‌العمل‌های ژئوشیمیایی عناصر در شناسایی محدوده‌های مرتبط با کانی‌سازی، دگرسانی و مرزهای پترولوژیکی را بطور مجزا در ترانشه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شود.

جدول 2-5 خلاصه‌ای از عکس‌العمل ژئوشیمیایی عناصر در برابر کانی‌سازی و محدوده‌های تمرکز Au و Cu، پترولوژیکی و دگرسانی در منطقه دالی شمالی.

شماره ترانشه	حداکثر مقادیر Au, Cu (ppm)	سنگ میزبان	عناصر مرتبط با محدوده تمرکز Au-Cu	عناصر در ارتباط معکوس با محدوده‌های تمرکز Au و Cu	عناصر مرتبط با مرزهای پترولوژیکی و دگرسانی
TR04	>1.5, >3000	QDP	Fe-Pb-Ba-K	Ca- Sr- Cr	Zn-V-Ti-Mg
TR05	>1.2, >2000	QDP	K-Fe-Ba	Ca- Sr- Mn-Mg	Fe-Zn-V-Mg-Mn-Ti-Ba
TR06	>1.5, >3000	QDP	K-Cr-Al-Ba	Ca-Ti	P-Zn-V-Mg-Mn-Ba
TR07	1.5, >3000	QDP	K-Fe-Ba	Ca-Na-Mg-Mn-Ti-Zn	Fe-Zn-V-Ba
TR3940	$\approx 0.4, \approx 3000$	AND	K-Na-Ti-Zn-Al-Sr	-	Fe-Mn-Mg-Ti-Ba
TR4080	$\approx 1, >3000$	AND, DP	Na -Cr	Fe-Ca-Sr	Fe-Mn-Mg-Ti

براساس این جدول می‌توان نتیجه گرفت که در سنگ‌های آندزیتی K و Na تمایل به غنی شدگی نسبی در محدوده تمرکز Au و Cu نشان داده و عناصری مانند Mg, Mn و Ti و گاهاً Fe مرزهای لیتولوژیکی و دگرسانی را مشخص می‌کنند. این در حالی است که در سنگ‌های میزبان QDP غنی

شدگی نسبی از K و گاهاً Ba و تهی شدگی نسبی از Ca و گاهاً Mn و Sr در محدوده‌های تمرکز Au و Cu ملاحظه شده و عناصری مانند Zn و V و گاهاً Mn و Mg را در تفکیک مرزهای لیتولوژیکی و دگرسانی می‌توان بکار گرفت.

در میان ترانسه‌های مختلف، ترانسه TR07 عکس‌العمل‌های ژئوشیمیایی واضحی را در سنگ‌های QDP نشان می‌دهد و در این میان TR3940 در سنگ‌های AND عکس‌العمل‌ها را بخوبی نشان می‌دهد. شدیدترین منطقه آلتراسیونی پتاسیک در TR04 و TR07 دیده می‌شود (در حدود M-S). شدیدترین منطقه آلتراسیونی فلیک در بعضی از قسمت ترانسه‌های TR3940 و TR4080 دیده می‌شود (دارای شدت W-M). منطقه آلتراسیونی کلریتی در ترانسه TR06 و در انتهای آن (شدت W-M) و در انتهای ترانسه TR05 (شدت در حد W) دیده می‌شود. آلتراسیون آرژیلیک را تنها در ترانسه TR4080 (متناوباً و با شدت بین T-M) و ترانسه TR3940 (با شدت T-W) دیده می‌شود. شدیدترین منطقه آلتراسیونی سیلیسی بیشتر در ترانسه TR07 و TR4080 گسترش یافته است.

در امتداد ترانسه‌های TR04 و TR05 بعداً گمانه‌های DDH03 و DDH04 در منطقه حفاری شده است. نتایج بررسی اطلاعات ترانسه‌ها، گمانه‌ها و برداشت‌های ژئوفیزیکی گویای کانی‌سازی طلا در بخش فوقانی تپه دالی شمالی می‌باشد. جهت تخمین گسترش کانی‌زایی در دالی شمالی بایستی گمانه‌های جدیدی طراحی گردد.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

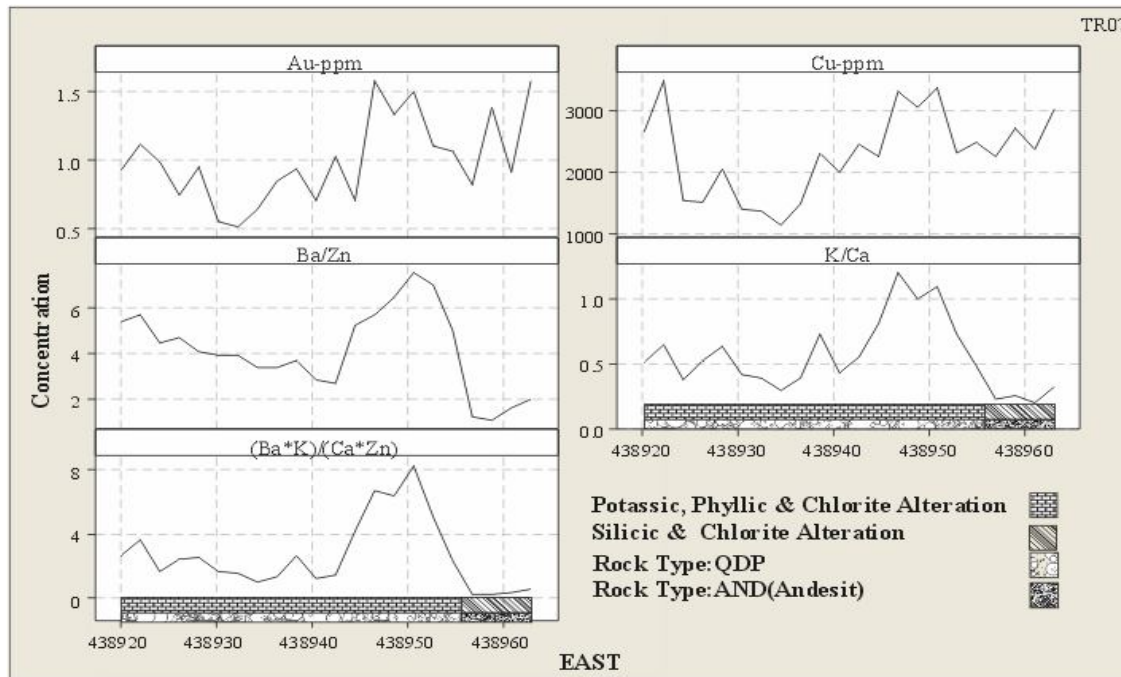
## 1-6 نتیجه‌گیری

روش آنالیز تطبیقی داده‌های ژئوشیمیایی خاک عناصر Au و Cu را متفاوت از بقیه متغیرها نشان داد بطوری که خیلی از نمونه‌ها گرایش به سمت این دو عنصر داشته که این امر دلیلی بر وجود آنومالی Au و Cu در منطقه دالی شمالی می‌باشد. نتایج آنالیز ویژگی نیز نمونه‌های با غلظت‌های بالا از Au و Cu را که توسط آنالیز تطبیقی معرفی شده تأیید می‌نماید. روش‌های فراکتال و آماره فضایی U مناطق آنومالی Au, Cu را در خاک مشخص نموده و ارتباط سایر عناصر با آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته شد و مقادیر آنومال و حد آستانه برای این دو عنصر و سایر عناصر مشخص گردیده است. روش آنالیز فاکتوری، پنج فاکتور مهم با توصیف ژئوشیمیایی مخصوص به خود را مشخص نمود که این فاکتور با گروه‌بندی انجام شده توسط آنالیز خوشه‌ای نیز مورد تأیید قرار گرفته است. بر اساس تحلیل نتایج PCA عناصر موثر و همراه کانی‌سازی شامل Fe, K, Mg, Ti, V, Al, Ga و تا حدودی Pb و Zn مشخص شده است.

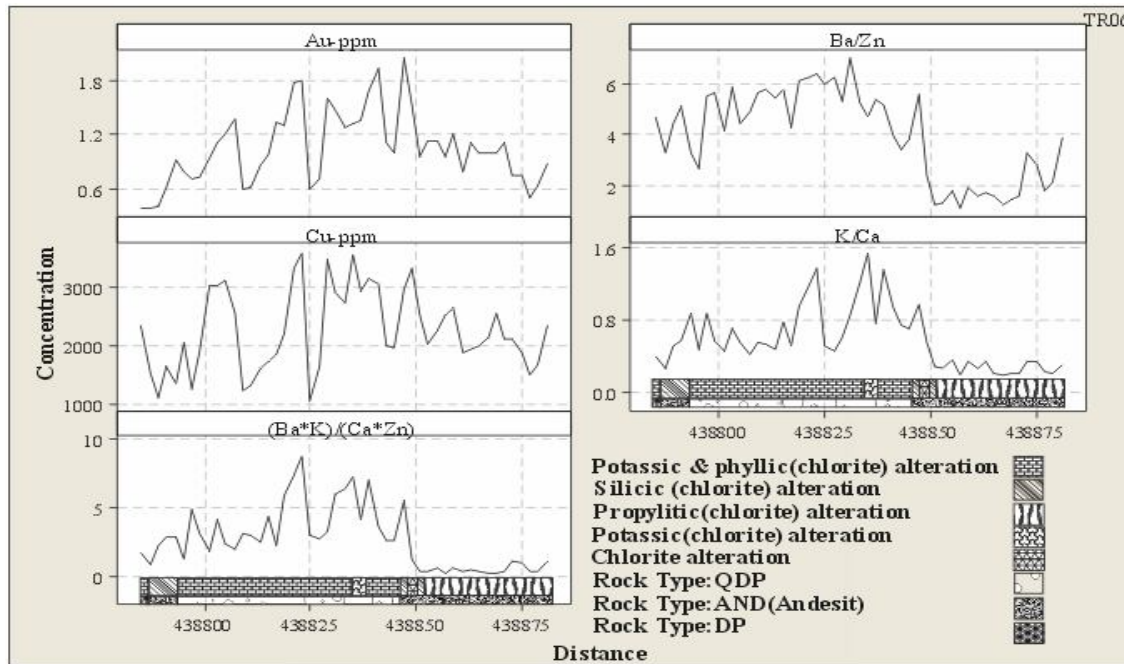
مناطق آنومال خاک برای Au و Cu انطباق مناسبی نشان می‌دهند. محدوده آنومال بالای 500ppb طلا و بیش از 1600ppm مس منطبق بر سنگ‌های QDP بوده است. سنگ میزبان AND در این مناطق کانی‌سازی ضعیف نشان داده که این موضوع با روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U نیز تأیید گردیده است. آنومال‌ترین نمونه‌ها از Au و بویژه Cu در مرز سنگ دیواره آندزیتی (AND) و سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری (QDP) واقع شده‌اند. ترانسه‌های  $TR04, TR05, TR06, TR07$  نتایج نمونه‌های خاک را تأیید کرده و در مرز بین سنگ‌های AND و QDP بیشترین غلظت‌های Au و Cu را نشان داده است، در این ترانسه‌ها نسبت‌های  $\frac{Ba}{Ca}$  ،  $\frac{K}{Ca}$  و نسبت ضربی آنها  $\frac{Ba \times K}{Ca \times Zn}$  مناطق آنومال از Au و Cu را بخوبی در سنگ‌های QDP نشان می‌دهند. بعنوان مثال در ترانسه‌های  $TR06$  و  $TR07$  تغییرات غلظت Au و Cu و

نسبت‌های  $\frac{Ba}{Zn}$  و  $\frac{K}{Ca}$  و همچنین  $\frac{Ba \times K}{Ca \times Zn}$  در اشکال 1-6 و 2-6 نشان داده شده است. در ترانسه‌های

TR04, TR05 هم این نسبت‌ها به وضوح مطابق با تغییرات Au و Cu در سنگ‌های QDP می‌باشد.

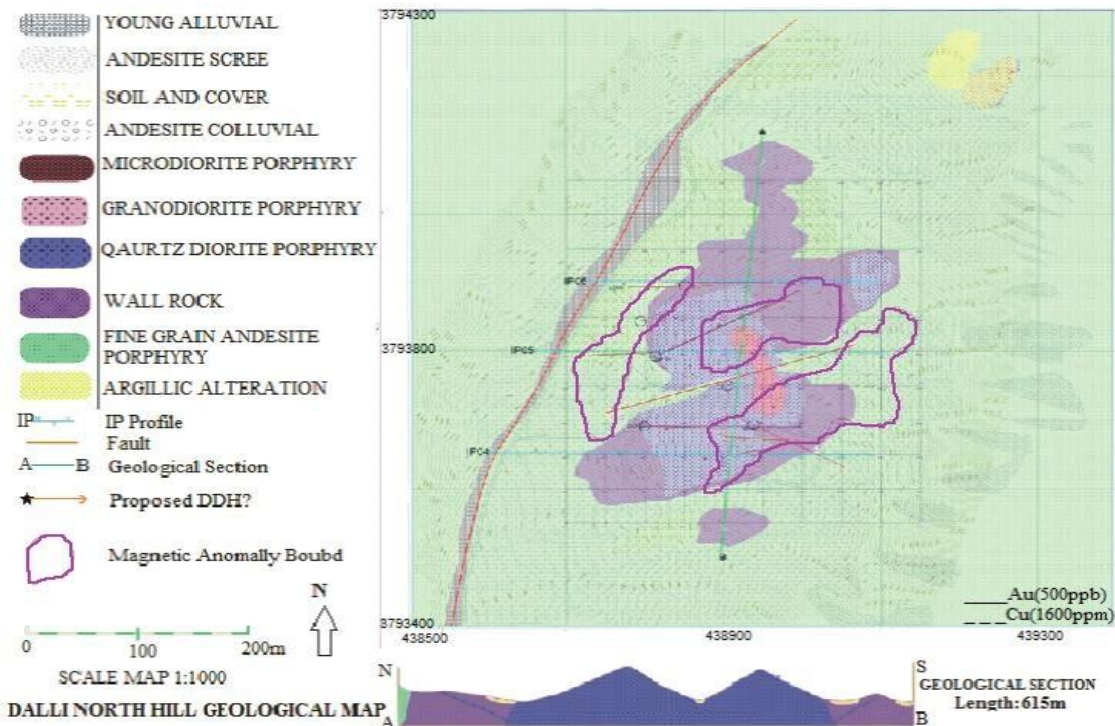


شکل (1-6): روند تغییرات Au و Cu در ترانسه TR07 و نسبت‌های Ba/Zn و K/Ca



شکل (2-6): روند تغییرات Au و Cu در ترانسه TR06 و نسبت‌های Ba/Zn و K/Ca

محدوده‌های آنومال مشخص شده توسط خاک برای Au و Cu، موقعیت ترانشه‌ها و نمونه‌های آنومال در شکل 6-7 مشخص شده‌اند و نمونه‌های با غلظت بالای 1ppm طلا برای ترانشه‌ها در داخل یک بیضوی قرار گرفته‌اند که نزدیک به کنتاکت AND و QDP می‌باشند. با توجه به مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته بر روی ترانشه‌ها بیشترین مقادیر طلا و مس در ترانشه TR04 و TR05 واقع شده است که احتمال کانی‌سازی را در قسمت‌هایی از این ترانشه‌ها بالا می‌برد. بیشترین مقادیر این دو ترانشه (محدوده داخل بیضی) بر دو لبه توده نفوذی گرانودیوریت پورفیری (Post Mineral) انطباق دارد که می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی در منطقه باشد. عامل دیگر نقش گسل است که توده گرانودیوریت پورفیری را قطع نموده و در موقعیت نهشته‌ها تغییرات مکانی ایجاد کرده است. مطابق شکل 6-3 آنومالی‌های مغناطیسی در منطقه روند NE-SW را نشان می‌دهند که بیشترین مقادیر آنها در کنتاکت AND و QDPها و همچنین در دو طرف گسل و در اطراف سنگ‌های گرانودیوریت پورفیری دیده می‌شود.

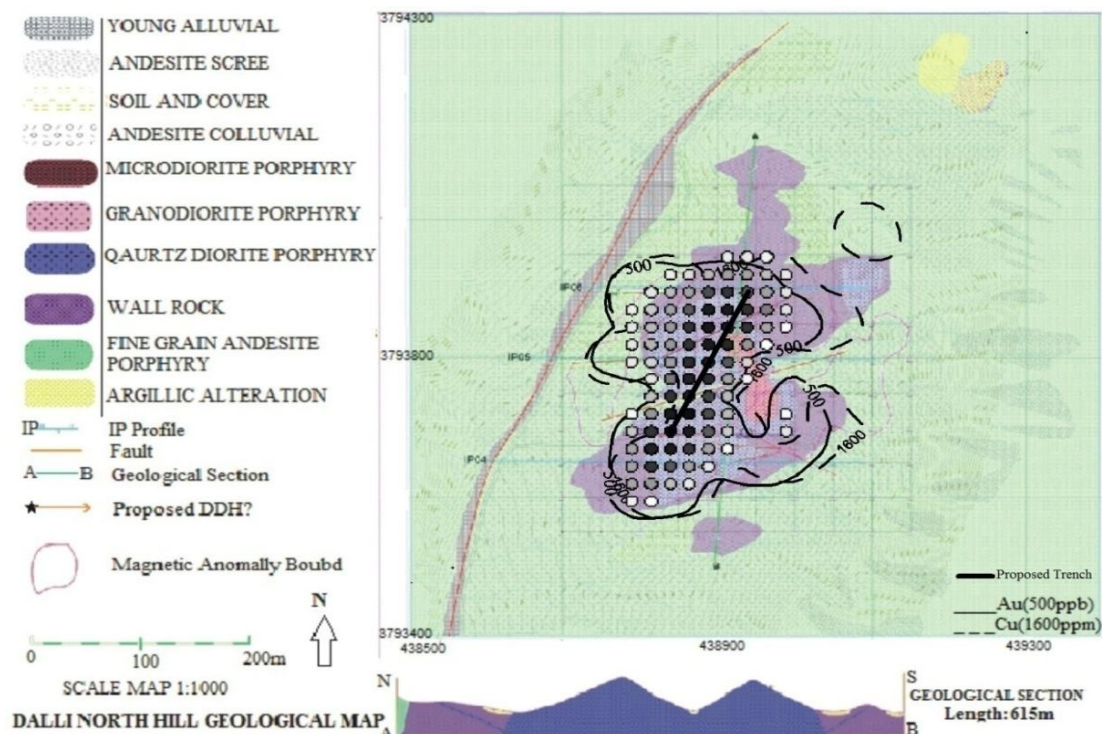


شکل (6-3): موقعیت آنومالی‌های مغناطیسی در منطقه دالی شمالی

مجموعه عملیات ژئوفیزیکی در منطقه کمک شایانی به طراحی مکان حفاری‌های مرحله دوم خواهد نمود. برای این منظور پیمایش IP/RS سطحی در منطقه دالی شمالی از قبل انجام شده است. این بررسی 3 پروفیل با طول کلی 1/34Km را شامل می‌شود که از دو پروفیل IP موجود جهت پیشنهاد موقعیت حفاری استفاده شده است. گمانه DDH03 در امتداد آزیموت TR04 حفر شده که بیشترین مقادیر خود را در کنتاکت AND و QDP نشان داده است (شکل 6-5-c) و گمانه DDH04 در امتداد آزیموت TR05 نیز مؤید همین موضوع می‌باشد (شکل 6-6-a). غلظت‌های بالا در این گمانه‌ها مقادیر متناظر را در ترانسه هم آزیموت گمانه تأیید می‌نماید که می‌تواند دلیلی بر پیوستگی این غلظت‌ها از عمق تا سطح منطقه باشد لذا گمانه‌های جهت حفاری در این موقعیت‌ها می‌توانند پیشنهاد گردد.

## 2-6 پیشنهادات

با توجه به ثبت آنومالی‌های طلا و مس با روند شمال شرقی - جنوب غربی و بررسی‌های صورت گرفته در منطقه دالی شمالی، ترانسه طراحی شده در شکل 6-4 پیشنهاد می‌گردد تا بتوان بر این اساس به نتایج بیشتری دست یافت. با توجه به اینکه در این راستا کارهای اکتشافی چندانی صورت نگرفته حفر ترانسه در این راستا ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت در صورت مفید واقع شدن این ترانسه می‌توان به گمانه‌های حفاری دیگری در این موقعیت فکر کرد.



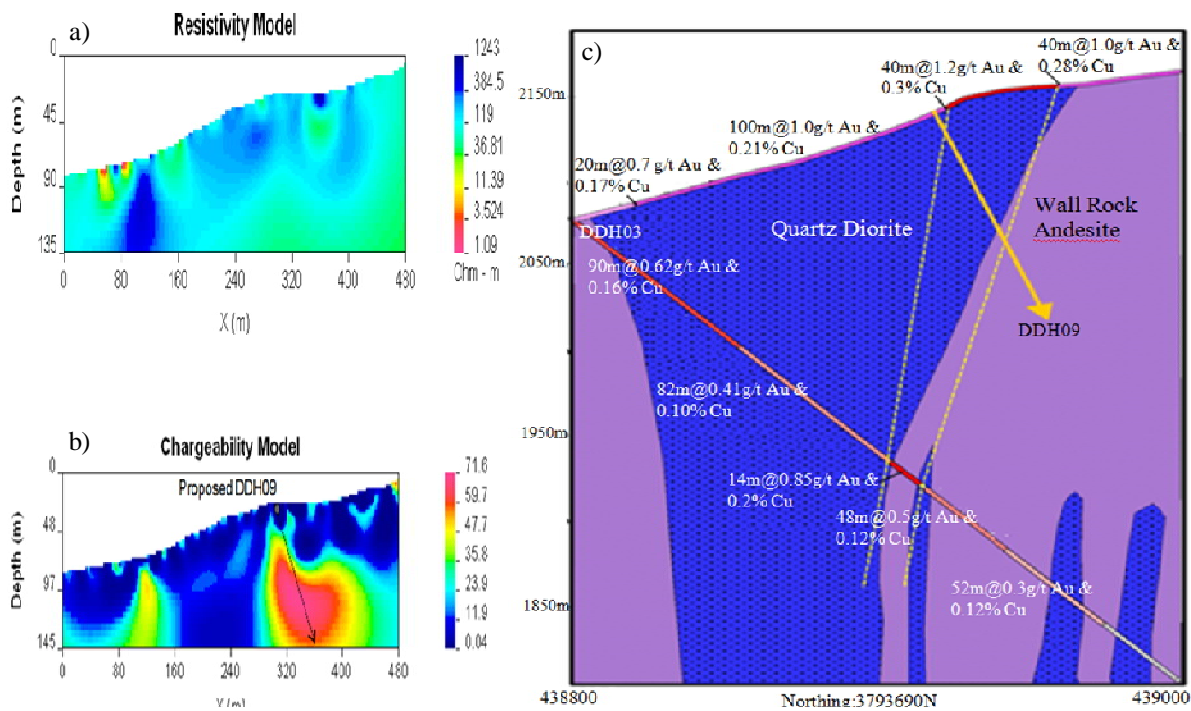
شکل (6-4): ترانسه پیشنهادی جهت کسب اطلاعات بیشتر لیتوژئوشیمیایی از وضعیت کانی‌سازی در منطقه دالی شمالی

پروفیل IP04 یک آنومالی شدید در شرق و یک آنومالی ضعیف در قسمت غربی منطقه نشان می‌دهد. مقاومت ظاهری پایین (شکل 6-5a) و شارژپذیری بالا (شکل 6-5b) در پروفیل IP04 تأیید کننده همدیگر بوده و مقطع عرضی بر روی ترانسه TR04 و گمانه DDH03 با فاصله 40 متر بالاتر از پروفیل IP04 موقعیت گمانه و ترانسه و وضعیت زمین‌شناسی توده نفوذی و سنگ میزبان در زیر سطح را به همراه مقادیر غلظت هر بخش نشان می‌دهد (شکل 6-5c). بخش فوقانی تپه دوقلویی دالی شمالی با مقادیر مس بالای 0/35% را نشان می‌دهد. کنتاکت آندزیت و کوارتز دیوریت به همراه شارژابلیته قوی (71mv/v) در پروفیل IP04 و اثرات مغناطیسی بالا سبب گردیده است تا گمانه DDH09 جهت حفاری پیشنهاد شود (شکل 6-5 و 6-7) این گمانه با آزیموت 130 درجه و شیب 70 درجه توده با شارژپذیری بالا را قطع می‌کند. احتمالاً این گمانه سنگ‌های کنتاکت و آنومالی‌های مغناطیسی را بخوبی پوشش دهد و اطلاعات مناسبی را از توده‌های نفوذی حاصل کند.

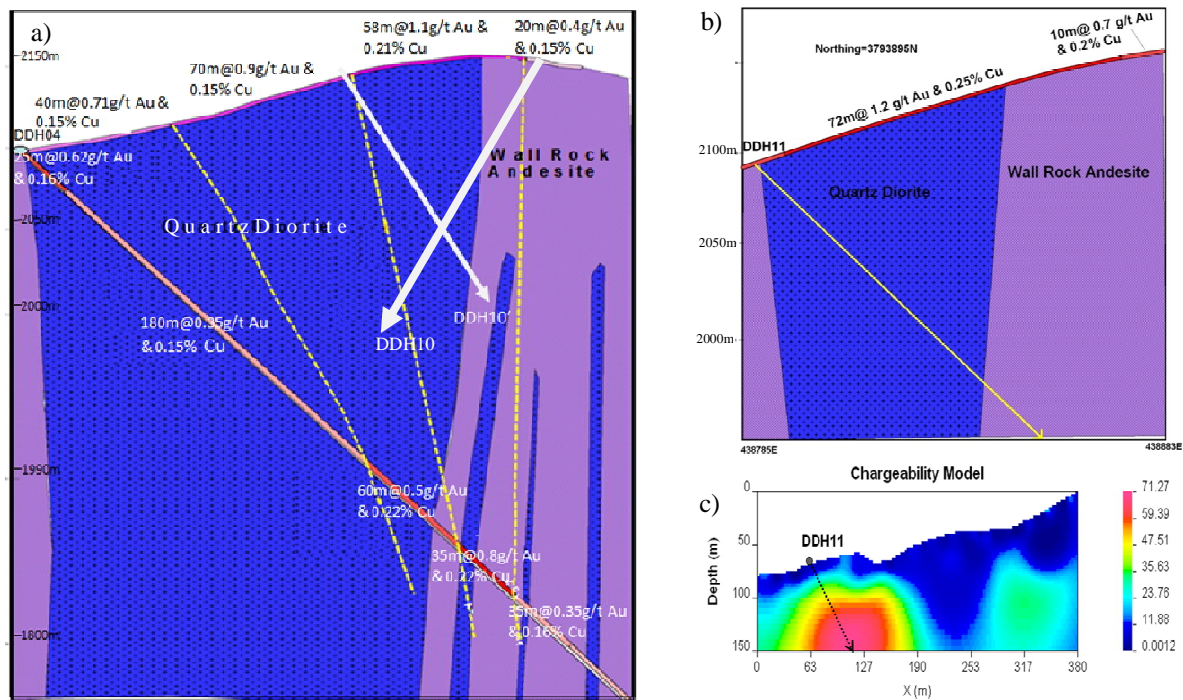


مقطع عرضی زمین‌شناسی ترانشه TR05 و گمانه حفاری DDH04 در شکل a-6-6 نمایش داده شده است. مقادیر بالای غلظت Au و Cu در ترانشه‌ها با مقدار غلظت‌ها در گمانه متناظر می‌باشد. بخشی از مقادیر غلظت بالای Au و Cu در ترانشه TR05 و گمانه DDH04 در محدوده اطراف توده گرانودیوریت پورفیری و در مرز بین سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری و سنگ میزبان آندزیتی متناظر می‌باشند. محدوده آنومال مغناطیسی که از اواسط ترانشه شروع می‌گردد همرا با آن مقادیر طلا و مس هم در سنگ‌های QDP بالا می‌رود اما در آندزیت‌ها اینگونه نیست. با توجه به شدت آنومالی‌های Au و Cu در این محدوده، که آنومالی مغناطیسی بالا را نشان می‌دهد و جهت به دست آوردن اطلاعات از اطراف توده گرانودیوریت پورفیری و تأیید اطلاعات سطحی گمانه DDH10' پیشنهاد گردیده است (شکل a-6-6 و 7-6). این گمانه دارای آزیموت 130 درجه و شیب 75 درجه ارزیابی شده که می‌تواند از کنتاکت سنگ‌های QDP و AND، و توده‌های نفوذی اطلاعاتی به دست آورد. در این منطقه قبلاً گمانه DDH10 پیشنهاد شده (شکل a-6-6 و 8-6) که این گمانه با آزیموت 270 درجه به سمت قسمت‌های میانی‌تر سنگ‌های QDP حفر خواهد شد و از کنتاکت سنگ‌ها اطلاعات چندانی بدست نمی‌دهد.

پروفیل IP/RS به شماره IP06 نیز در داخل محدوده آنومال Au و Cu به منظور آزمایش غلظت‌های مس شدید 0/5% (شکل 3-19) در خاک منطقه طراحی شده است. شارژپذیری ظاهری در پروفیل IP06 مقادیر بالایی را به همراه توده‌ای در عمق 130 متری نشان می‌دهد. همچنین مغناطیس شدید سطحی هم در محدوده اطراف دیده می‌شود. رسوبات آبرفتی این محدوده را که در نزدیک دره واقع شده است پوشانده است (شکل 4-6 و c-6-6) که جهت بررسی این موارد طراحی یک گمانه در این بخش می‌تواند بسیار کارگشا باشد. با توجه به اینکه نمونه‌های خاک در بین سنگ دیواره و مرز آنومالی Au و Cu غلظت بالایی مخصوصاً برای مس دارد و همچنین مغناطیس شدید به موازات گسل در غرب منطقه وجود دارد گمانه DDH11' با آزیموت 40 درجه و شیب 50 درجه جهت تکمیل نتایج پیشنهاد می‌گردد.

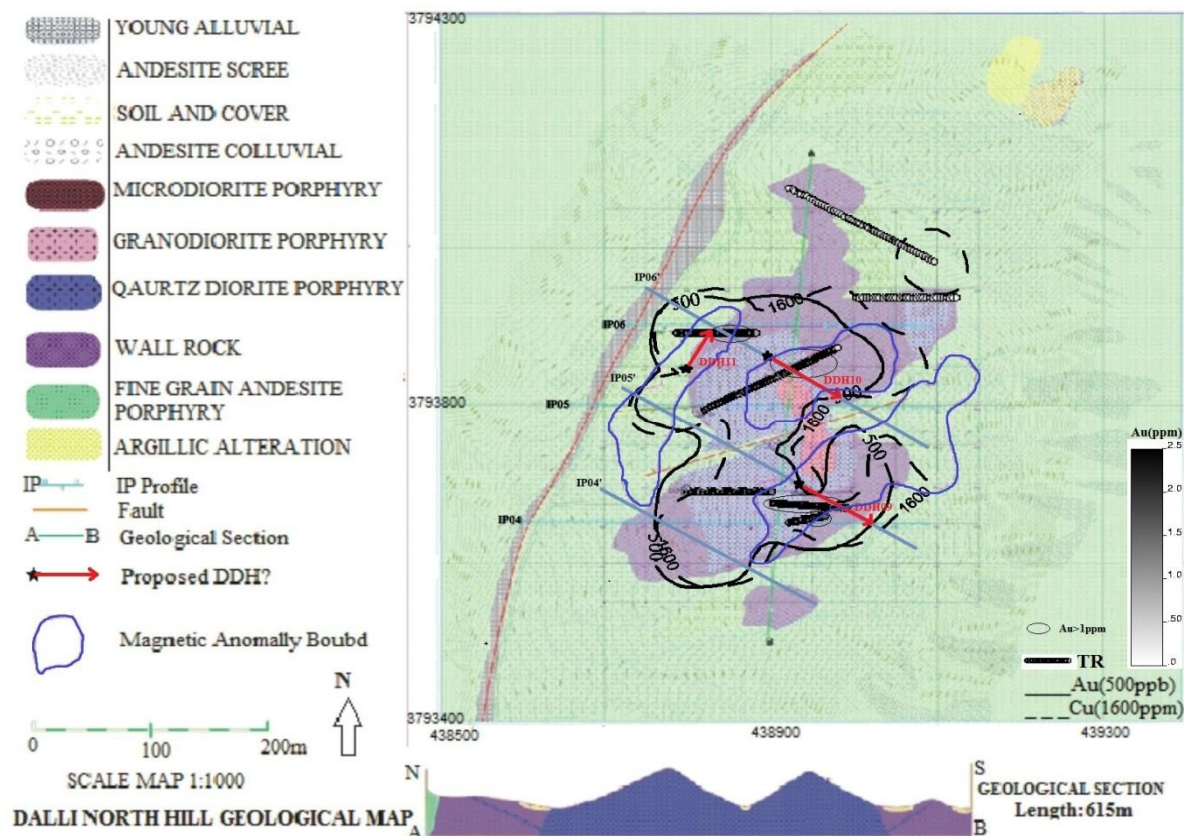


شکل (5-6): مدل شارژپذیری و مقاومت ظاهری پروفیل IP04 به همراه مقطع عرضی زمین‌شناسی شرقی - غربی در امتداد آزمون گمانه DDH03 (Asadi Haroni., 2008).

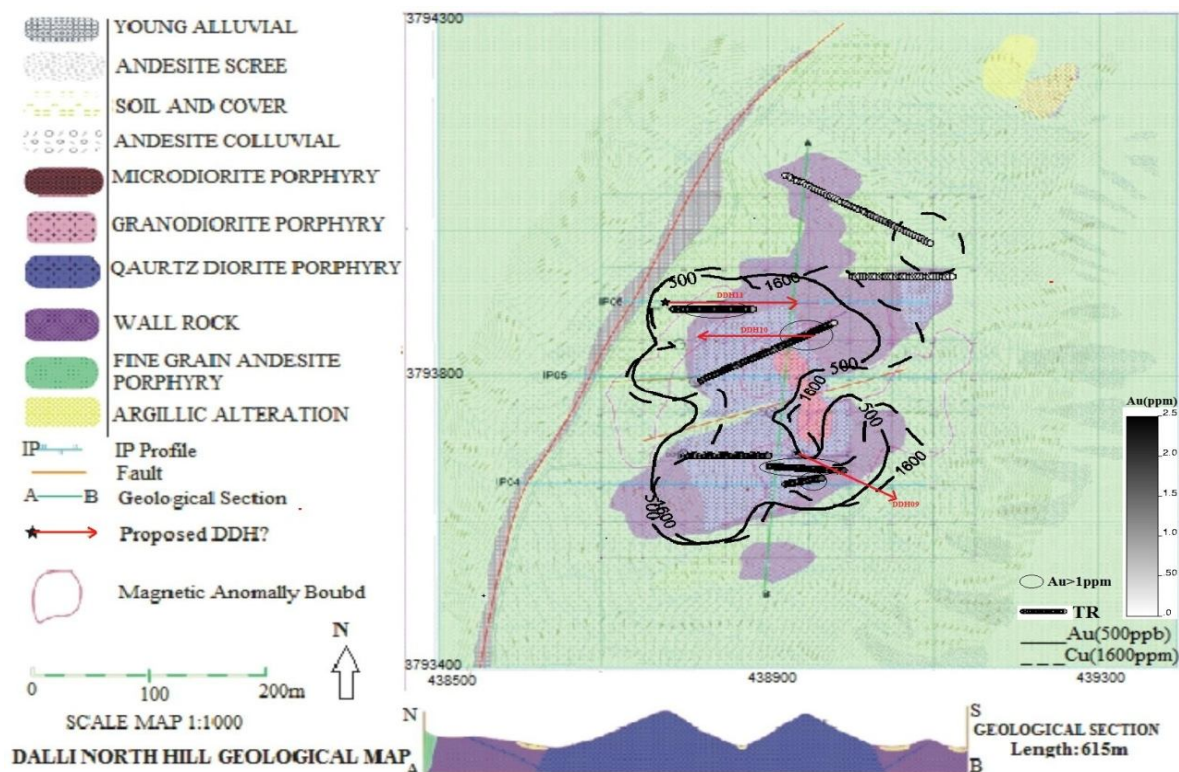


شکل (6-6): (a) مقطع عرضی زمین‌شناسی NE-SW در امتداد آزمون گمانه DDH04، (b) مقطع عرضی زمین‌شناسی غربی - شرقی در امتداد آزمون ترانشه TR06 به همراه پروفیل IP06 و مدل شارژپذیری ظاهری پروفیل IP06.

با توجه به اهمیت فراوان کنتاکت سنگ دیواره آندزیتی با QDP، توده نفوذی گرانودیوریت پورفیری و گسل قطع کننده آن، که توسط مطالعات ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، مغناطیس سنجی و گمانه های حفاری اثبات شدند به نظر می رسد که جهت تکامل پیش بینی ها و حفر گمانه های جدید نیازمند آنالیزهای IP/RS دیگری هستیم که راستای پیشنهاد شده در شکل 6-7 برای آنها بسیار جامع تر از قبل می باشد و تا حدودی عمود بر امتداد کانی سازی هستند این پروفیل ها  $IP04'$ ،  $IP05'$  و  $IP06'$  نام گذاری شده اند که مناطق آنومال شناخته شده توسط نمونه های خاک را در بر گرفته و همچنین از غلظت های بالای ترانسه ها نیز عبور می کنند و همچنین عمود بر راستای آنومالی های مغناطیسی می باشند. در این میان اولویت اول با پروفیل  $IP06'$  (با طول 400m) می باشد، سپس پروفیل  $IP05'$  (با طول 400m) و در نهایت پروفیل  $IP04'$  (با طول 320m) می باشد.



شکل (6-7): موقعیت پروفیل های IP و گمانه های DDH09، DDH10 و DDH11 در منطقه دالی شمالی



شکل (6-8): موقعیت گمانه‌های DDH09، DDH10 و DDH11 پیشنهادی سابق در منطقه دالی شمالی

بر اساس پیشنهادات مطرح شده، اولویت‌بندی عملیات اکتشافی بعدی مطابق زیر می‌باشند:

الف- حفر ترانشه پیشنهادی با مشخصات مطابق جدول 6-1؛

ب- برداشت‌های IP/RS پیشنهادی در منطقه به ترتیب اولویت‌بندی ذکر شده؛

ج- تلفیق اطلاعات اکتشافی و ارزیابی وضعیت گمانه‌های پیشنهادی و سپس حفر گمانه‌های پیشنهادی

با مشخصات موجود در جدول 6-2.

جدول 6-1 خصوصیات ژئومتری ترانشه پیشنهاد شده در منطقه دالی شمالی

	مختصات ابتدای ترانشه	مختصات انتهای ترانشه	طول ترانشه
Proposed Trench	(438850, 3793730)	(438940, 3793860)	158m

جدول 6-2 خصوصیات ژئومتری سه چاه حفاری پیشنهادی در منطقه دالی شمالی

چاه حفاری	X-UTM	Y-UTM	ارتفاع	آزیموت	شیب	عمق	نظریه
DDH09	438908	3793700	2135	130	70	200	آزمایش طلای با عیارهای بسیار بالا در نمونه‌های کانالی ترانسه TR03 در بالای اولین تپه دوقلویی. آزمایش IP (پروفیل IP04) و اثرات مغناطیسی بسیار بالا در این تپه دوقلویی به سمت شرق و در کنتاکت نفوذی کوارتز دیوریت و سنگ دیواره آندزیتی.
DDH10'	438890	3793865	2122	130	70	240	آزمایش طلای با عیارهای بسیار بالا در نمونه‌های کانالی ترانسه TR04 و گمانه DDH04 در دومین تپه دوقلویی و محدوده شمالی توده نفوذی گرانودیوریت پورفیری. آزمایش اثرات مغناطیسی بسیار بالا.
DDH11'	438800	3793850	2086	40	50	160	آزمایش نمونه‌های با عیار بالای خاک در دوگوش این محدوده و برآورد عیارهای نسبتاً بالای طلا و مس ترانسه TR06 از نظر عمقی. آزمایش مقادیر IP (پروفیل IP06) و اثرات مغناطیسی بسیار بالا به موازات گسل و سنگ میزبان.

جدول 6-3 خصوصیات ژئومتری سه چاه حفاری پیشنهادی با مطالعات پیشین در منطقه دالی شمالی

چاه حفاری	X-UTM	Y-UTM	ارتفاع	آزیموت	شیب	عمق	نظریه
DDH09	438908	3793700	2135	130	70	200	آزمایش طلای با عیارهای بسیار بالا در نمونه‌های کانالی ترانسه TR03 در بالای اولین تپه دوقلویی. آزمایش IP (پروفیل IP04) و اثرات مغناطیسی بسیار بالا در این تپه دوقلویی به سمت شرق و در کنتاکت نفوذی کوارتز دیوریت و سنگ دیواره آندزیتی.
DDH10	438970	3793852	2135	270	75	200	آزمایش طلای با عیارهای بسیار بالا در نمونه‌های کانالی در طول ترانسه TR04 در بالای دومین تپه دوقلویی. آزمایش مقادیر IP (پروفیل IP04) و اثرات مغناطیسی بسیار بالا.
DDH11	438794	3793900	2085	90	50	150	آزمایش نمونه‌های کانالی با عیار بسیار بالای طلا و نسبتاً بالای مس در طول ترانسه TR06. آزمایش مقادیر IP (پروفیل IP06) و اثرات مغناطیسی بسیار بالا.

## منابع فارسی

حسنی پاک، ع.، شرف الدین، م. (1382). "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران. 987 ص.

سید رحیمی نیارق، م.م. (1387). پایان نامه کارشناسی ارشد؛ "تعیین آنومالی ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های فراکتالی و آماره فضایی U و مقایسه آنها با نتایج نمودار احتمال در چهار گوشه سقز"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

## منابع لاتین

Asadi Haroni H. (2008), "**First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran**", Technical Report.

Abdi, H. (2007c), "**Discriminant correspondence analysis. In N.J. Salkind (Ed.)**": Encyclopedia of measurement and statistics. Thousand Oaks (CA).

Candela, P.A., Piccoli, P.M., Hedenquist J.W., Thompson J.F.H., Goldfarb R.J. and Richards J.P., (2005), "**Magmatic Processes in the Development of Porphyry-type Ore Systems**", Society of Economic Geologists 100th Anniversary Volume, p. 25-38.

Chambefort I, Dilles JH, Kent AJR. (2008), "**Anhydrite-bearing andesite and dacite as a source for sulfur in magmatic-hydrothermal mineral deposits, Geology**", v. 36; no. 9; p. 719-722.

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.

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.

Cheng Q. (1999), "**Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation**", Journal of Geochemical Exploration 65,175–194.

Cheng Q., Li Q. (2002), "**A fractal concentration–area method for assigning a color palette for image representation**", Computers & Geosciences 28 , 567–575.

- Clayton V. Deutsch., Andre G. Journel. (1998), "**GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**", New York- Oxford, OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- Cooke David.R., Tosdal Richard.M., Chamberlain Claire.M and Deyell Cari.L. (2006), "**Alkalic porphyry and epithermal deposits - A view from outside the Macquarie Arc**".
- Cooke, D. R. , Wilson, A. J., House, M. J., Wolfe, R. C., Walshe, J. L., Lickford V. and 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 54, (445 – 463).
- Defant M.J. And Drummond M.S. (1990), "**Derivation of some modern arc magmas by partial melting of young subducted lithosphere**", Nature 347 , pp. 662–665.
- Dilles JH, Einaudi Mt, Proffett JM, et al. (2000), "**Overview of the Yerington porphyry copper district:magmatic to non magmatic sources of hydrothermal fluids: Their flow path and alteration effects on rocks and Cu- .Mo-Fe-Au ores**". society of Economic Geologists Guidebook 32: 55-66.
- Edward H. Isaaks, R. Mohan Srivastava. (1989), "**Applied Geostatistics**", New York- Oxford, Oxford University Press.
- Everitt B. S. ,Landau S. And Leese M. ( 2001), "**Cluster Analysis**", Arnold Publishers, London, fourth edition.
- Ford A., Blenkinsop T.G. (2008), "**Combining fractal analysis of mineral deposit clustering with weights of evidence to evaluate patterns of mineralization: Application to copper deposits of the Mount Isa Inlier, NW Queensland, Australia**", Ore Geology Reviews 33,435–450.
- Gao, Y.F., Hou, Z.Q., Wei, R.H., (2003), "**Post-collisional adakitic porphyries in Tibet: geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic constraints on partial melting of oceanic lithosphere and crust–mantle interaction**". Acta Geologica Sinica 77, 123–135.
- Gillian Gruen, Christoph A. Heinrich and Kim Schroeder.(2010), "**The Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit. II. Vein Geometry and Ore Shell Formation by Pressure-Driven Rock Extension**" ,conomic Geology.2010; 105: 69-90.

- Goovaerts .P. (2009), "**AUTO-IK:A2D indicator kriging program for the automated non-parametric modeling of local uncertainty in earth sciences**", Computers & Geosciences 35,1255–1270.
- Greenacre, M.J. (2007), "**Correspondence analysis in practice**", (2nd Edition). Boca Raton (FL): Chapman & Hall/CRC.
- Hamilton WB, Myers WB. (1967), "**The Nature of Batholits.U.S. Geological Survey Professional**". Paper 554-C,30 pp.
- 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, 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 28,409–422.
- Hezarkhani, A., (2006b), "**Petrology of the intrusive rocks within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran**", Journal of Asian Earth Sciences 27, 326–340.
- Hezarkhani, A., Williams-Jones, A.E., Gammons, C.H., (1999), "**Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran**", Mineralium Deposita 34, 770–783.
- Hildreth w,moorbath S. (1998), "**Crustal contributions arc magmatism in the Andes of central Chile**".Contribution to Mineralogy and Petrology 98:455-489.
- Hongjin Ji , Youngzheng Zhu , Xisheng Wu. (1995), "**Correspondence Cluster Analysis and its Application in Exploation Geochemistry**", Journal of Geochemical Exploration, Vol.55, p.137-144.
- Hongjin Ji, Daoming Zeng, Yanxiang Shi , Yangang Wu , Xisheng Wu. (2007), "**Semi-hierarchical correspondence cluster analysis and regional geochemical pattern recognition**", Journal of Geochemical Exploration 93, 109–119.



- Hou, Z.Q., Gao, Y.F., Qu, X.M., Rui, Z.Y., Mo, X.X. (2004), "**Origin of adakitic intrusions generated during mid-Miocene east–west extension in South Tibet**". *Earth and Planetary Science Letters* 220, 139–155.
- Hou, Z.Q., Yang, Z.M., Qu, X.M., Rui, Z.Y., Meng, X.J., Gao, Y.F. (2009), "**The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen**". *Ore Geology Reviews* 36, 25–51.
- Huseyin Y. (2003), "**Exploration at the Kusayiri Au (Cu) prospect and its implications for porphyry-related mineralization in western Turkey**". *Journal of Geochemical Exploration* 77 (2003) 133–150.
- Jahangiri, A. (2007) "**Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications**". *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 433–447.
- Kamenetsky, V. S., Wolfe, R. C., Eggins, S. M., Terrence P. Mernagh and Evgeniy Bastrakov. (1999), "**Volatile exsolution at the Dinkidi Cu-Au porphyry deposit, Philippines: A melt-inclusion record of the initial ore-forming process**", *Geology*; 27;691-694.
- Kesler Stephen E. ,Chryssoulis Stephen L. ,Simon Grigore. (2002), "**Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate**", *Ore Geology Reviews* 21,103–124.
- Kroll, T., Muller, D., Seifert, T., Herzig, P.M., Schneider, A., (2002), "**Petrology and geochemistry of the shoshonite-hosted Skouries porphyry Cu–Au deposit, Chalkidiki, Greece**". *Mineralium Deposita* 37, 137– 144.
- L´opez-Granados F, Jurado-Exp´osito M, Pe˜na-Barrag´an J.M., Garc´ia-Torres L. (2005), "**Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties**", *Europ. J. Agronomy* 23, 279–289.
- Mandelbrot, B.B. (1983), "**The Fractal Geometry of Nature**". W.H.Freeman, San Francisco, CA, 468 pp. (updated and augmented edition).
- Pourhosseini, F. (1981), "**Petrogenesis of Iranian Plutons: a Study of the Natanz and Bazman Intrusive Complexes: Ph.D thesis**", University of Cambridge, 315p.

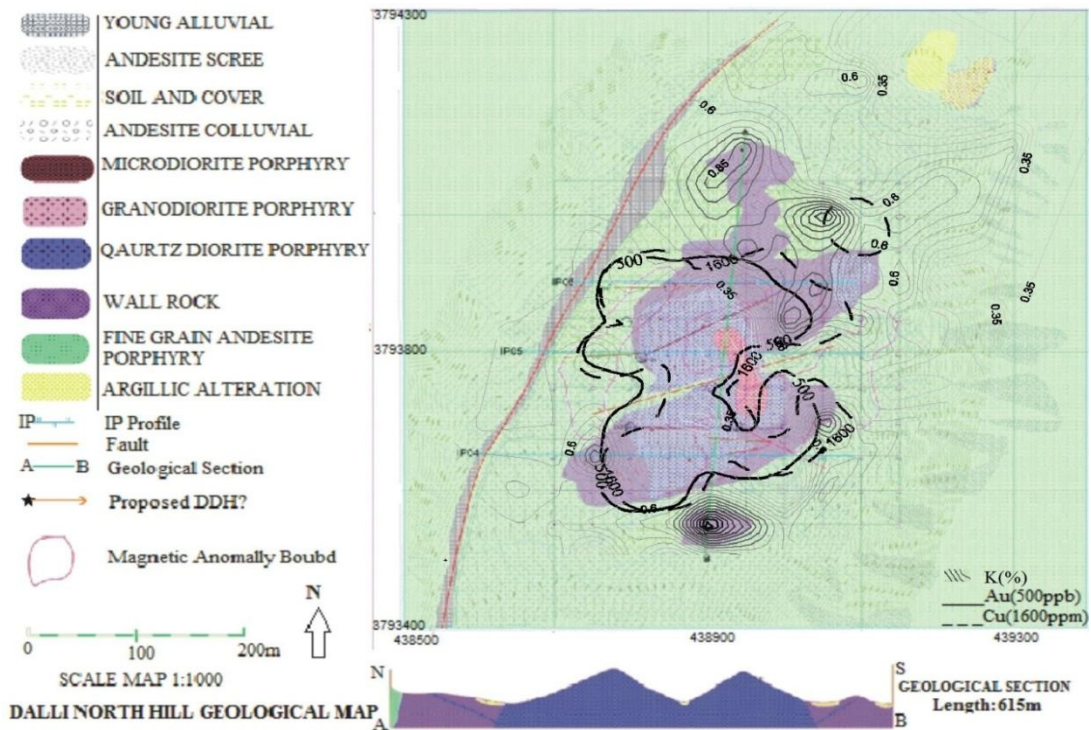
- Qu, X.-M., Hou, Z.-Q., Zaw, Khin, Li, Y.-G., (2007), "**The characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: evidence from preliminary geochemical and geochronological results**". *Ore Geology Reviews* 31, 205–223.
- R. Ghavami-Riabi , M.M. Seyedrahimi-Niaraq a, R. Khalokakaie a, M.R. Hazareh. (2010), "**U-spatial statistic data modeled on a probability diagram for investigation of mineralization phases and exploration of shear zone gold deposits**", *Journal of Geochemical Exploration* 104, 27–33.
- Reglia Ch, Rosenthaler L,Huggenberger P. (2004), "**GEOSSAV: a simulation tool for subsurface applications**", *Computers & Geosciences* 30, 221–238.
- Richard M. Tosdal, John H. Dillers and David R. Cooke. (2009), "**From source to sinks in auriferous magmatic-Hydrothermal porphyry and epithermal deposits**" ; *Elements*, vol 5, No 5,pp 289-295.
- Richards JP. (2009), "**Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere**", *Geology* 37:247-250.
- Romesburg H.C. (1984), "**Cluster analysisfor researchers**", Lifetime Learning Publications, Belmont, CA.
- Sajona, F.G., Maury, R.C., Pubellier, M., Leterrier, J., Bellon, H., Cotton, J., (2000), "**Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a post-collision setting, central Mindanao (Philippines)**". *Lithos* 54, 173– 206.
- Seedorff E,Dilles JH,Proffett JM, Einaudi MT,et al (2005), "**Porphyry-related deposit: Characteristics and origin of hypogene features**". *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, pp 251-298.
- 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* 44, 265–283.

- Stanley, C.R. and Sinclair, A.J. (1998), "**Comparison of Probability Plots and The Gap statistic in selection of Threshold of Exploration Geochemistry Data**"; Journal of Geochemical Exploration; 32;PP.355-357.
- Stocklin, J., Burke, C., Drake, C. (Eds.), (1974), "**Possible ancient continental margins in Iran**". Geology of Continental Margins. Springer-Verlag, New York, pp. 873–877.
- Sumfleth K., Duttmann R. (2008), "**Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators**", *ecologic al indicators* 8, 485 – 501.
- Vadim S. Kamenetsky, Rohan C. Wolfe, Stephen M. Eggins, Terrence P. Mernagh and Evgeniy Bastrakov. (1999), "**Volatile exsolution at the Dinkidi Cu-Au porphyry deposit, Philippines: A melt-inclusion record of the initial ore-forming process**", *Geology* ;27;691-694.
- Wang Huizan, Zhang Ren,Liu Kefeng. (2008), "**Improved Kriging Interpolation Based on Support Vector Machine and Its Application in Oceanic Missing Data Recovery**", International Conference on Computer Science and Software Engineering.
- Wang, Q., Zhao, Z.-H., Jian, P., Xu, J.F., Bao, Z.W., Ma, J.L., (2004a), "**SHRIMP zircon geochronology and Nd–Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries**". *Acta Petrologica Sinica* 20, 315–324 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., Zhao, Z.-H., Xu, J.-F., Bai, Z.H., Wang, J.-X., Liu, C.-Z. (2004b), "**The geochemical comparison between the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks in southeastern Hubei: (delaminated) lower crustal melting and the genesis of porphyry copper deposit**", *Acta Petrologica Sinica* 20, 351–360 (in Chinese with English abstract).
- Weiqliang Li, Simon E. Jackson, Norman J. Pearson, Stuart Graham. (2010), "**Copper isotopic zonation in the Northparkes porphyry Cu–Au deposit, SE Australia**", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74,4078–4096.
- Wilson A, Cooke D and Thompson John. (2002)," **Alkalic and high-K calc-alkalic porphyry Au-Cu deposits:A summary**".....:51-55.

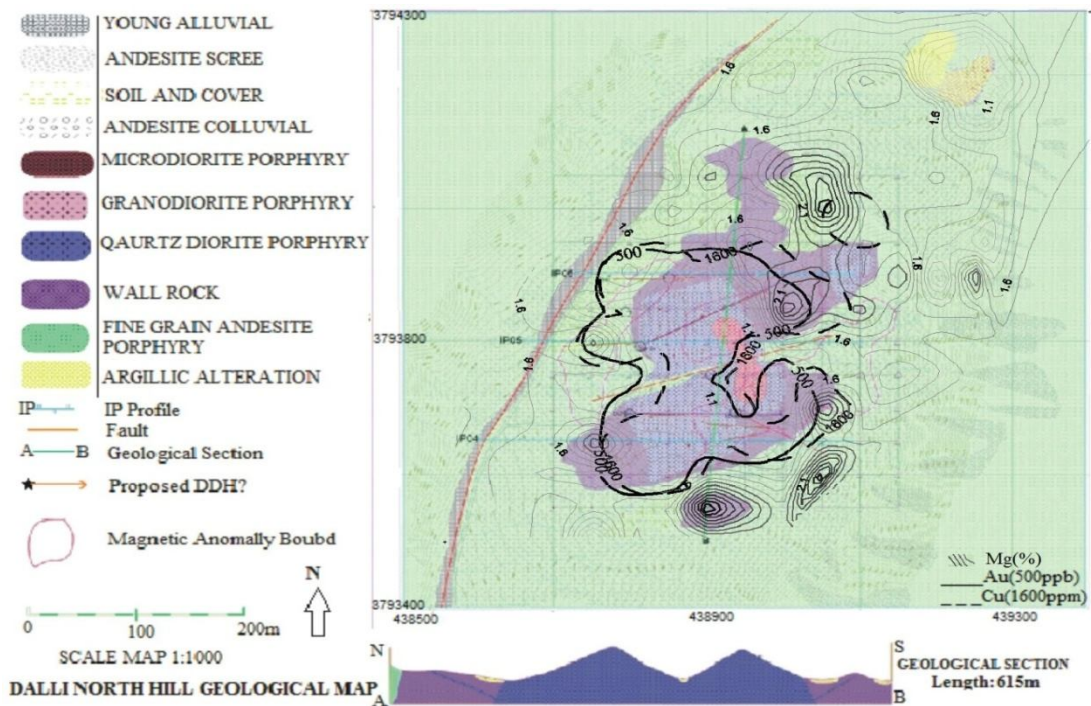
- Xiaoming Qu, Zengqian Hou, Youguo Li. (2004), "**Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau**", *Lithos* 74,131– 148.
- Yang, Z.M., Hou, Z.Q., White, N.C., Chang, Z.S., Li, Z.Q., Song, Y.C., (2009), "**Geology of the post-collisional porphyry copper–molybdenum deposit at Qulong, Tibet**". *Ore Geology Reviews* 36, 133–159.
- Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M., Reynolds, P.H. (2007), " **$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of alteration and petrogenesis of porphyry copper-related granitoids in the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad area, central Iran**". *Exploration and Mining Geology* 16, 11–24.
- Zengqian Hou , Hongrui Zhang , Xiaofei Pan , Zhiming Yang. (2010), "**Porphyry Cu (–Mo–Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: Examples from the eastern Tethyan metallogenic domain**" , *Ore Geology Reviews* xxx ,xxx–xxx.

پیوست‌ها

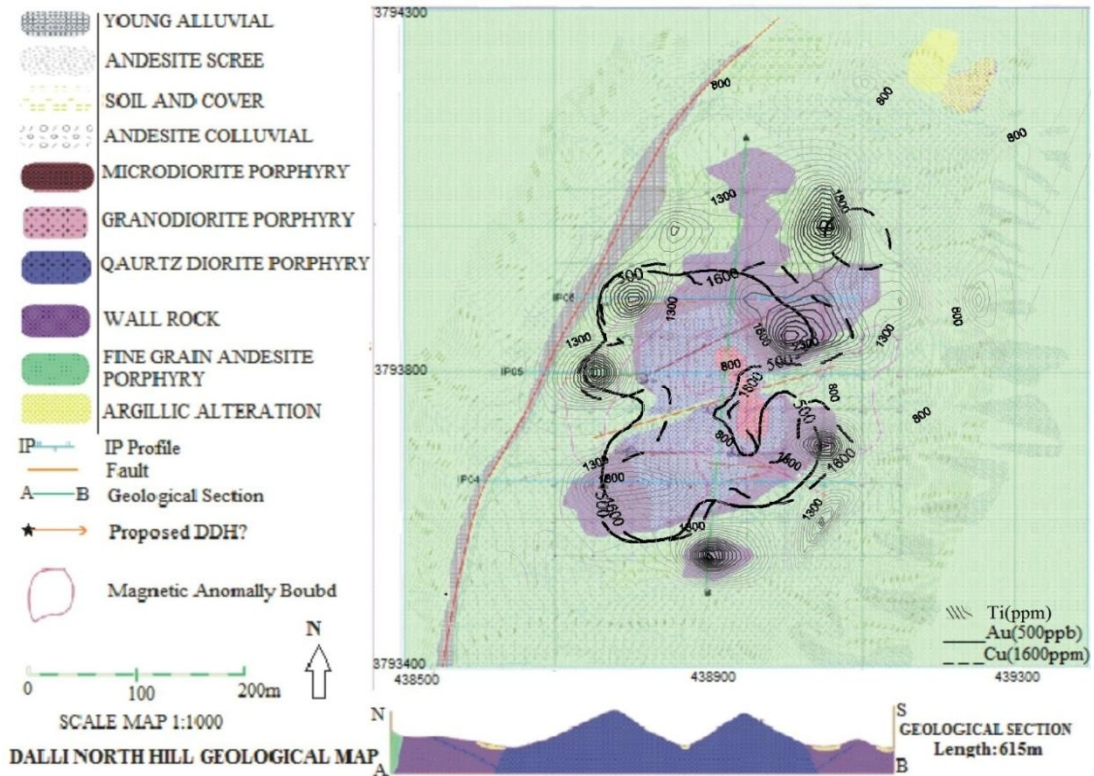
پیوست الف - (اشکال مربوط به فصل سوم)



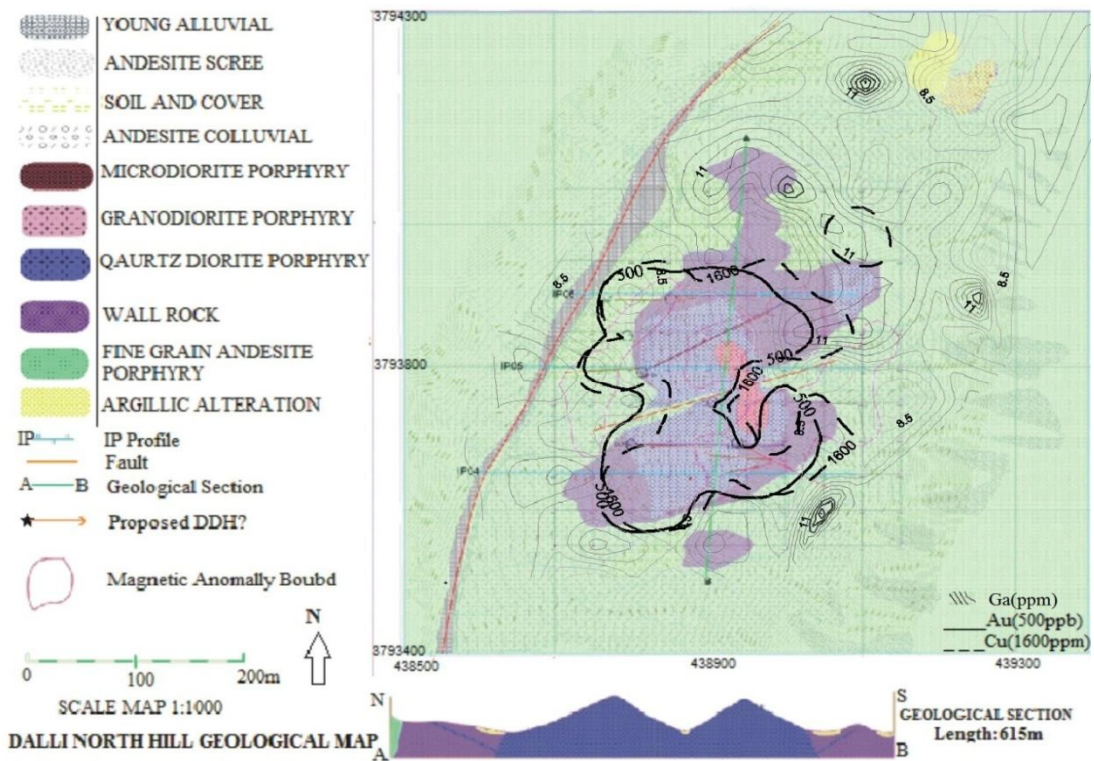
شکل (الف- 1) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر K در منطقه دالی شمالی



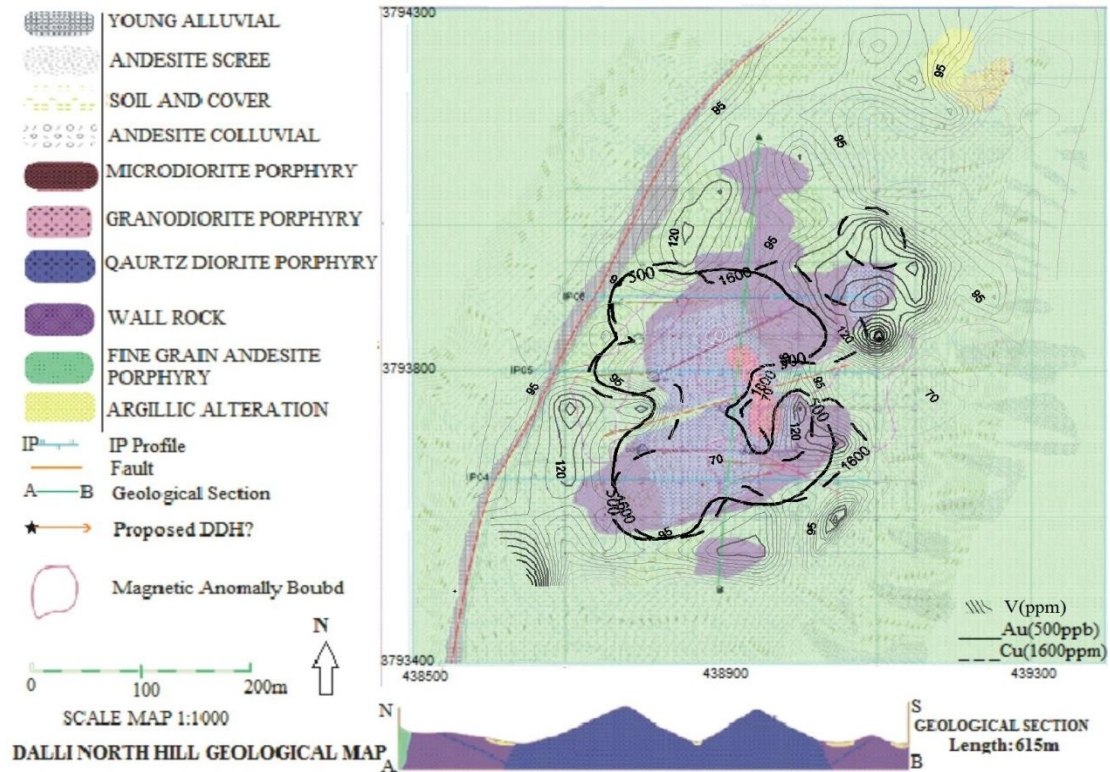
شکل (الف- 2) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Mg در منطقه دالی شمالی



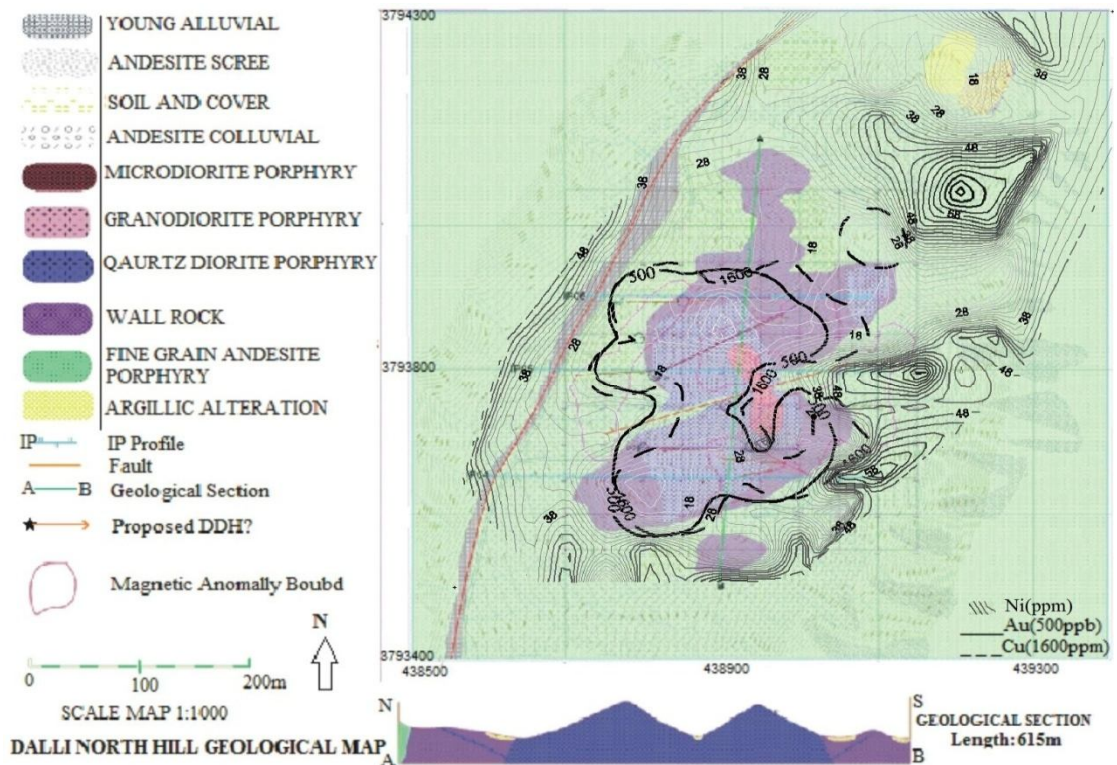
شکل (الف- 3) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Ti در منطقه دالی شمالی



شکل (الف- 4) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Ga در منطقه دالی شمالی

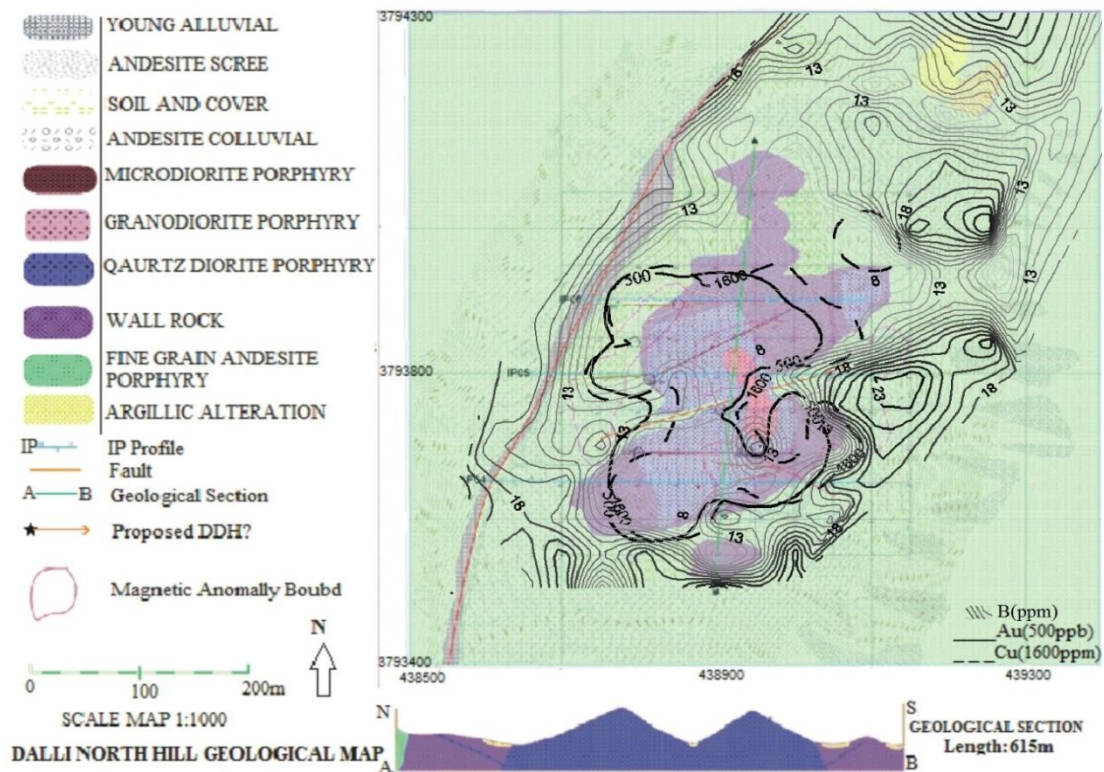


شکل (الف - 5) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر V در منطقه دالی شمالی

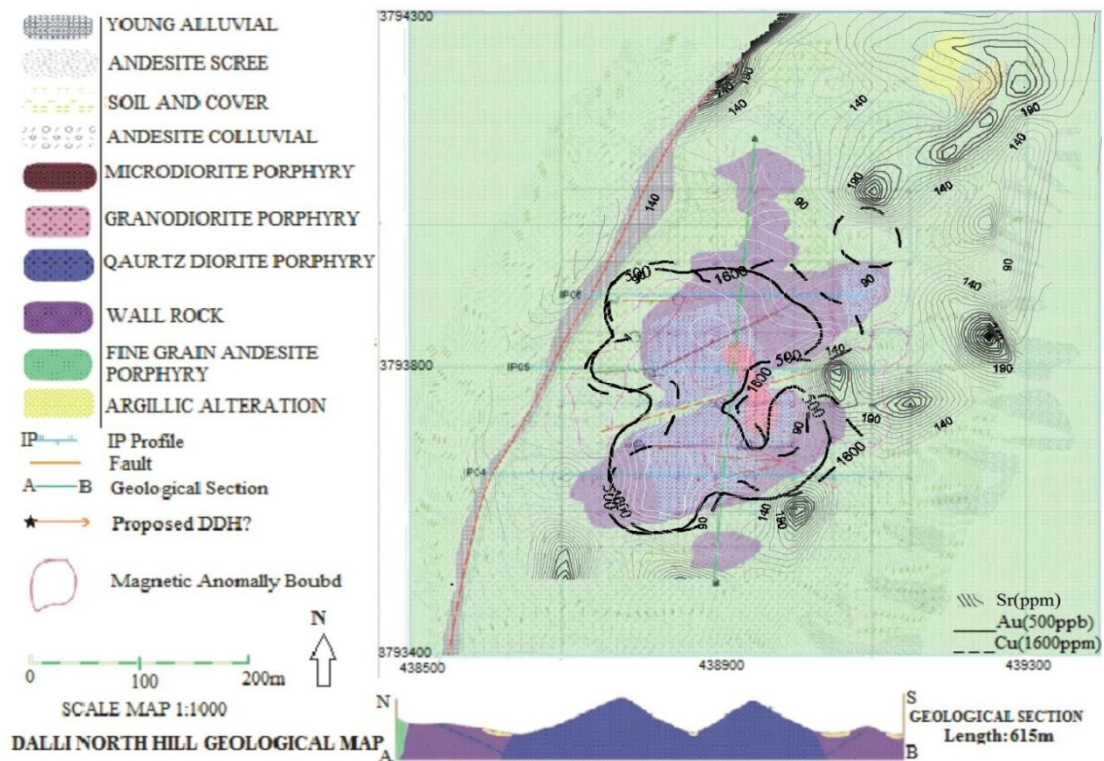


شکل (الف - 6) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Ni در منطقه دالی شمالی

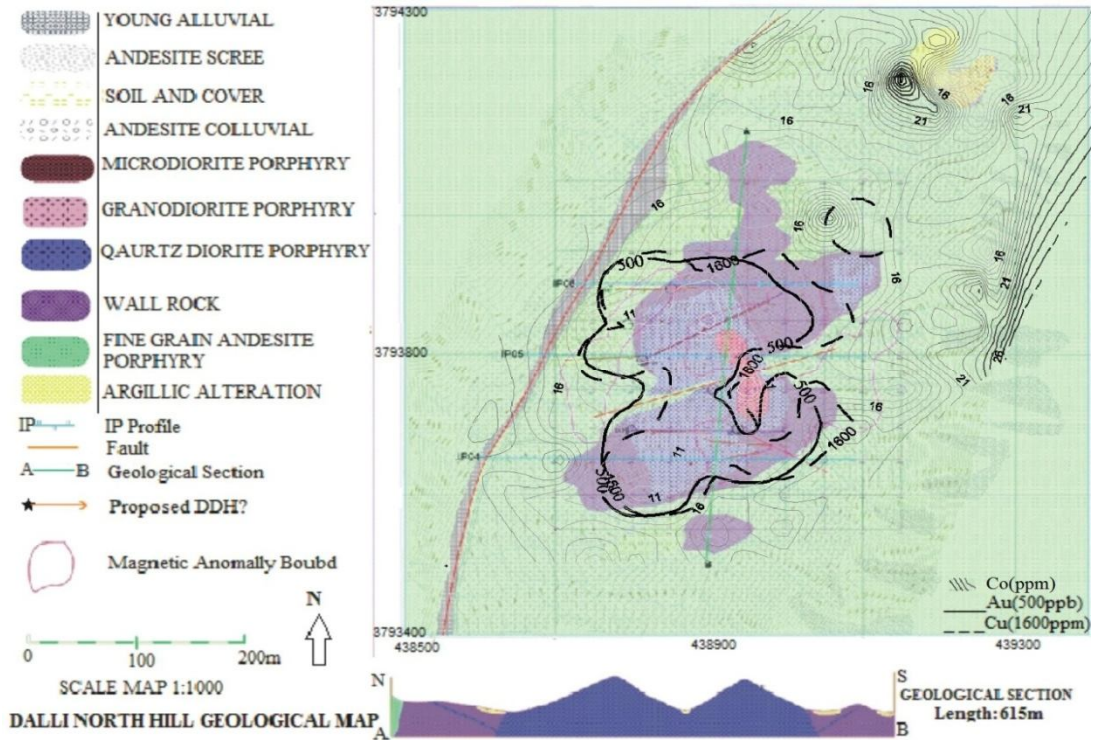




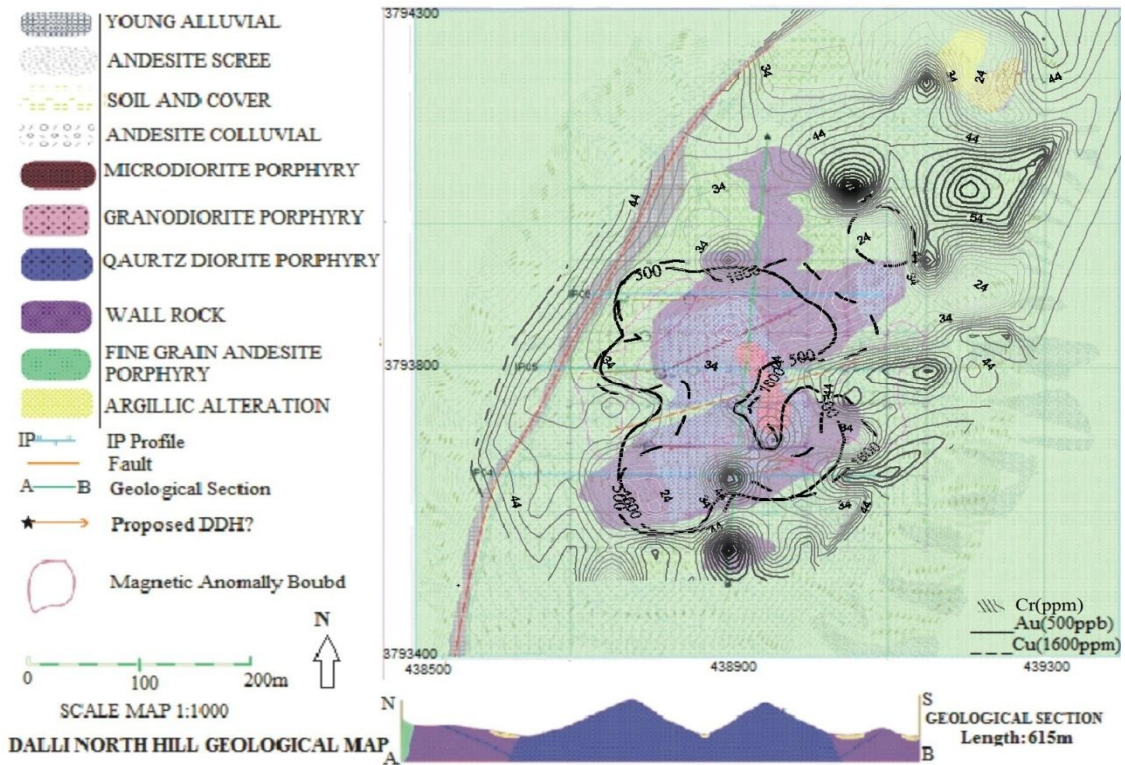
شکل (الف - 7) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر B در منطقه دالی شمالی



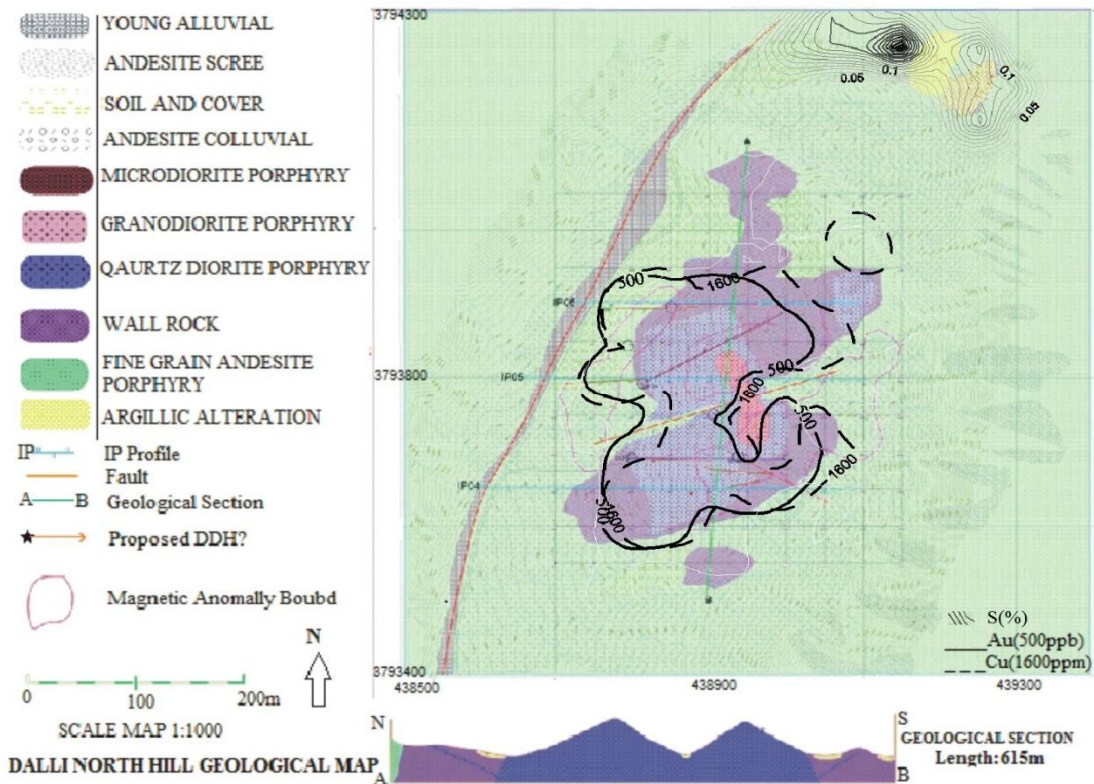
شکل (الف - 8) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Sr در منطقه دالی شمالی



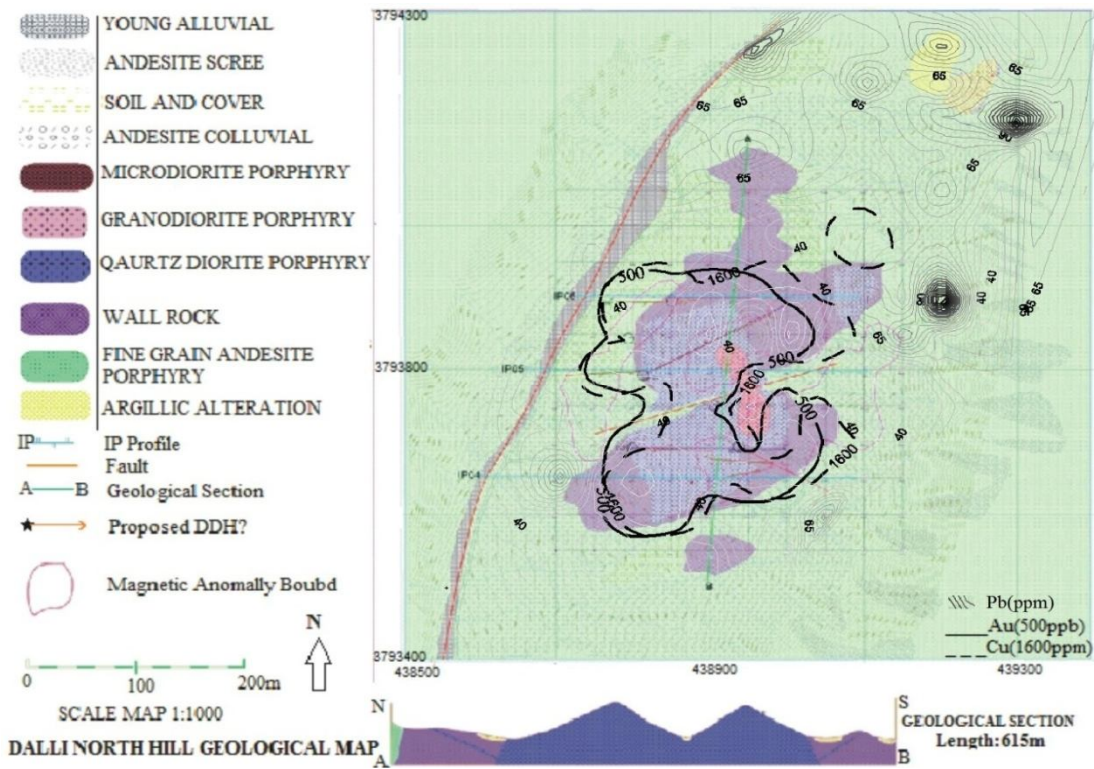
شکل (الف- 9) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Co در منطقه دالی شمالی



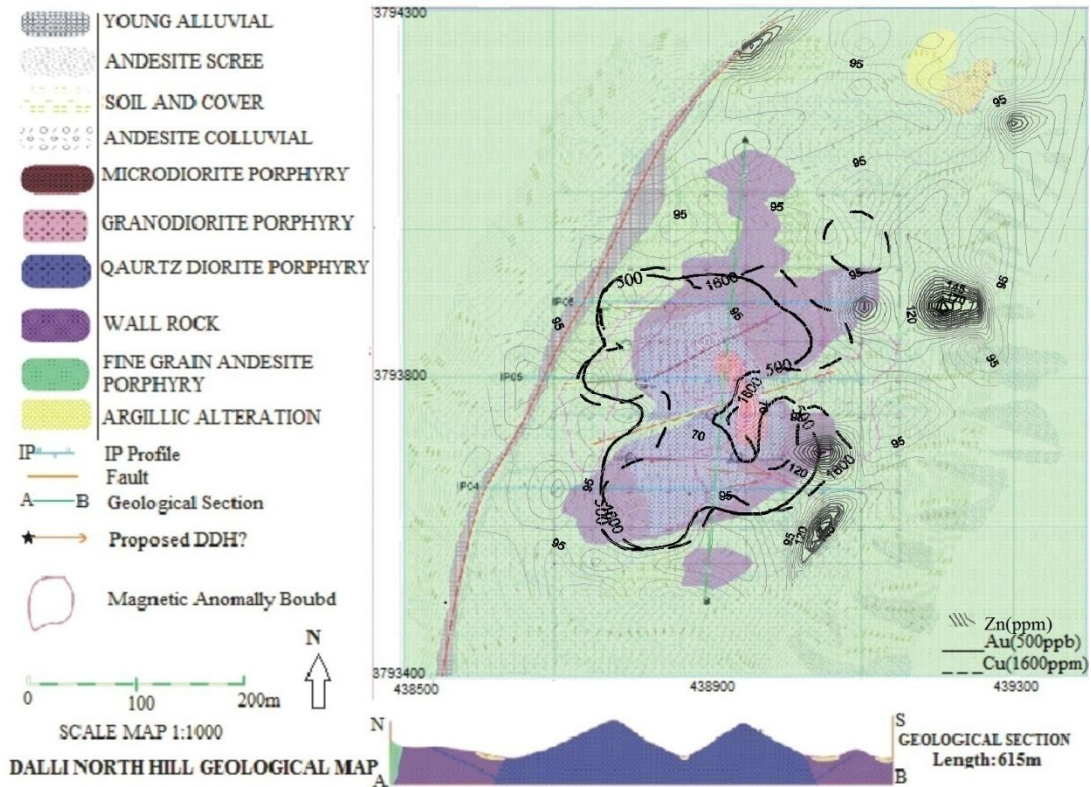
شکل (الف- 10) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Cr در منطقه دالی شمالی



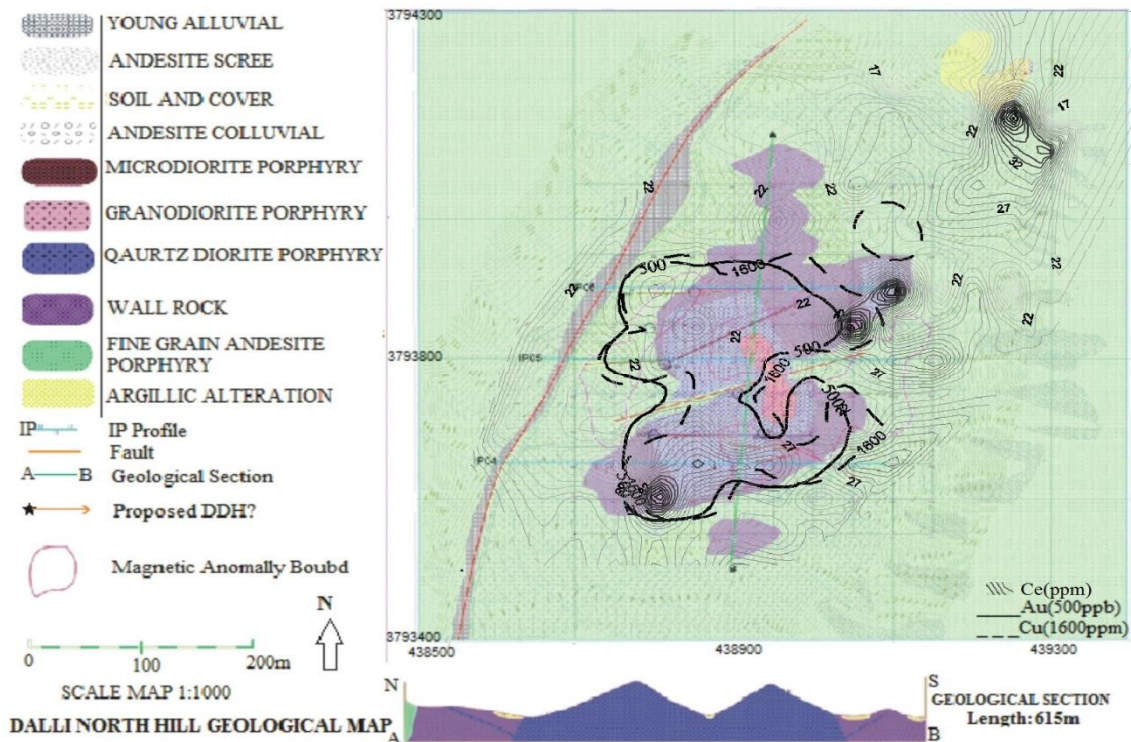
شکل (الف - 11) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر S در منطقه دالی شمالی



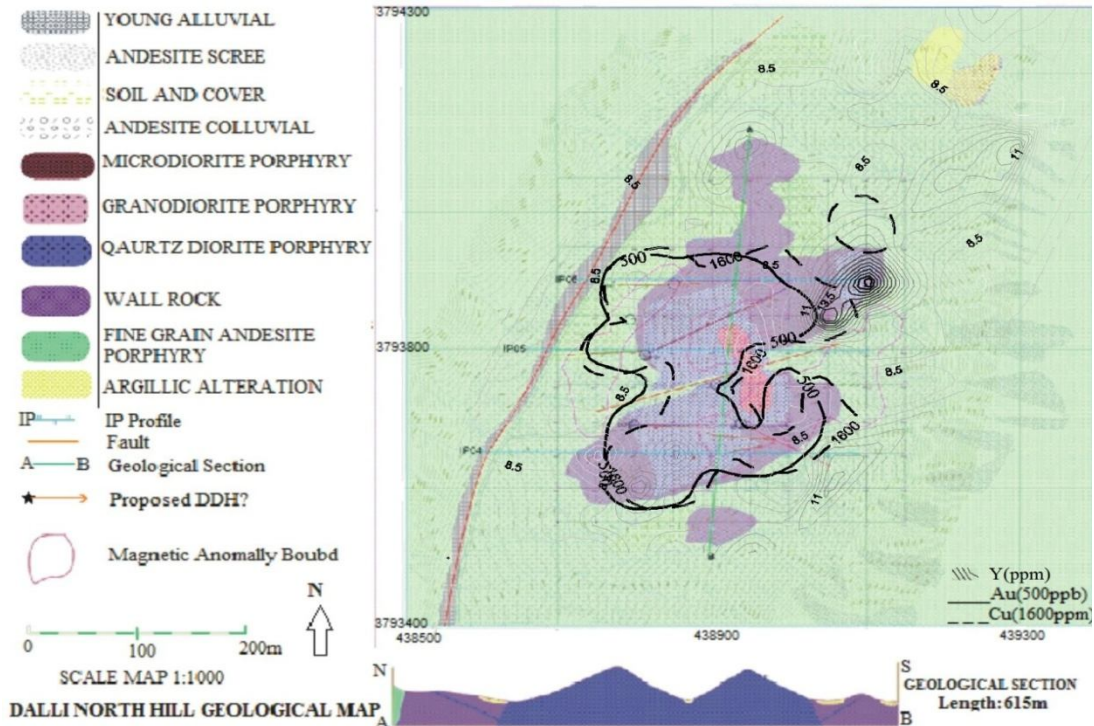
شکل (الف - 12) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Pb در منطقه دالی شمالی



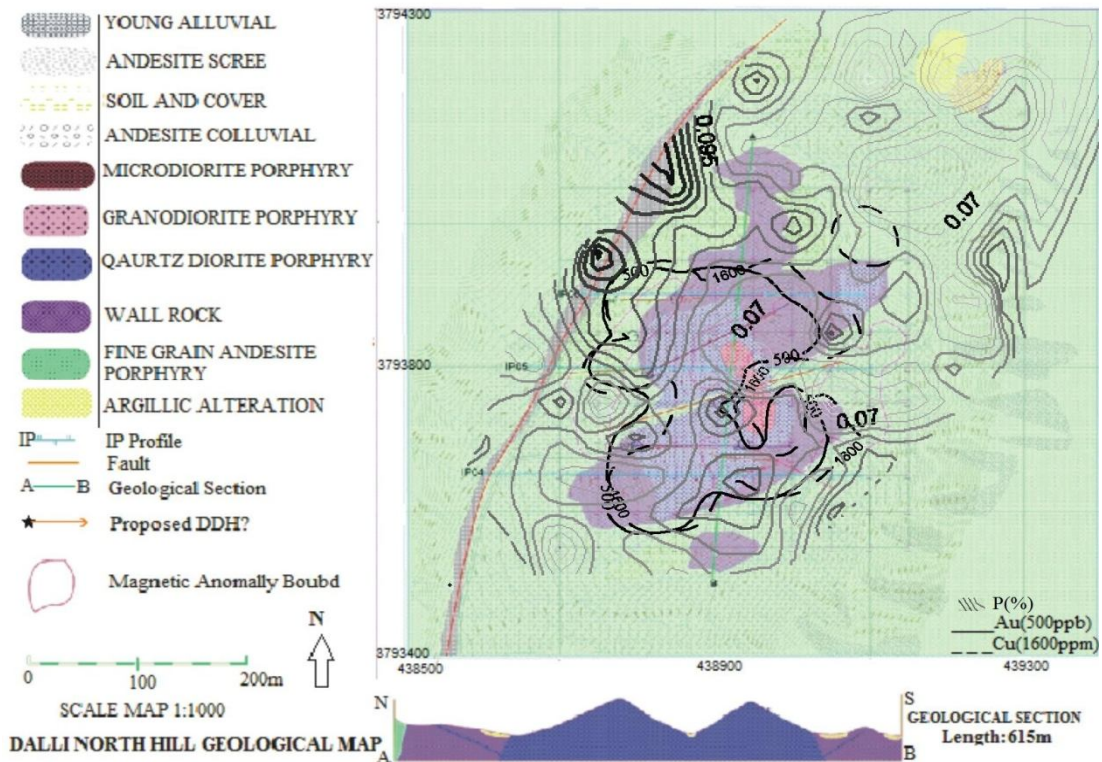
شکل (الف- 13) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Zn در منطقه دالی شمالی



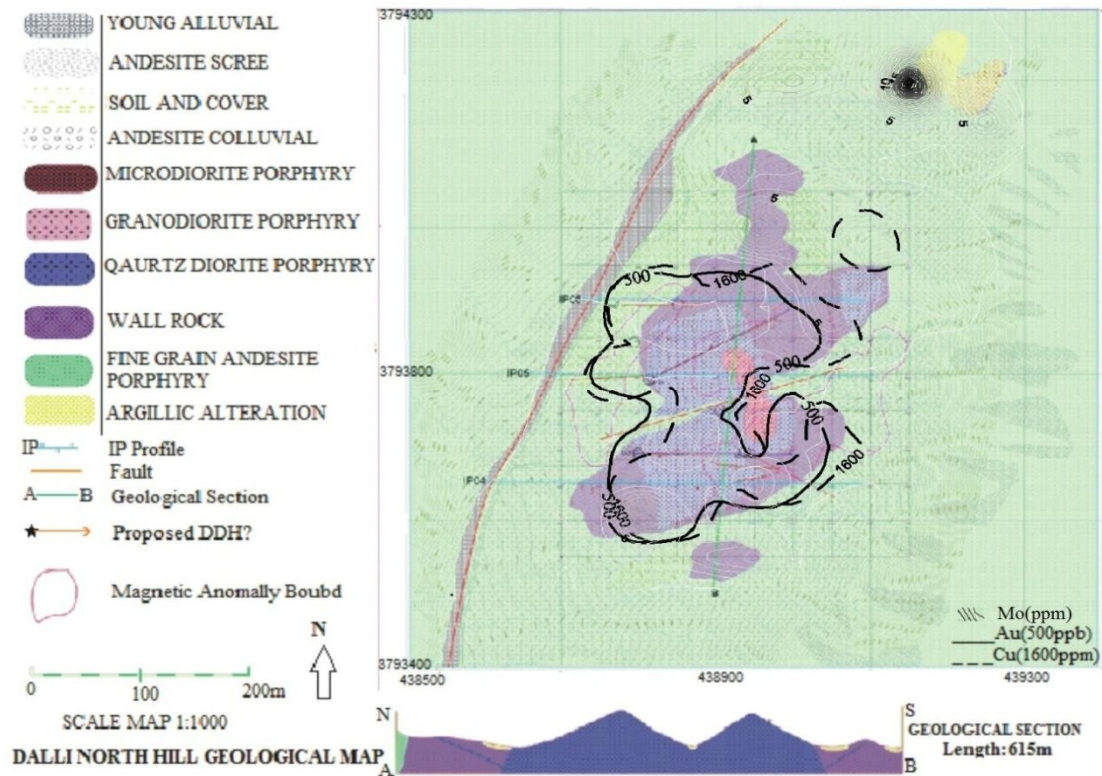
شکل (الف- 14) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Ce در منطقه دالی شمالی



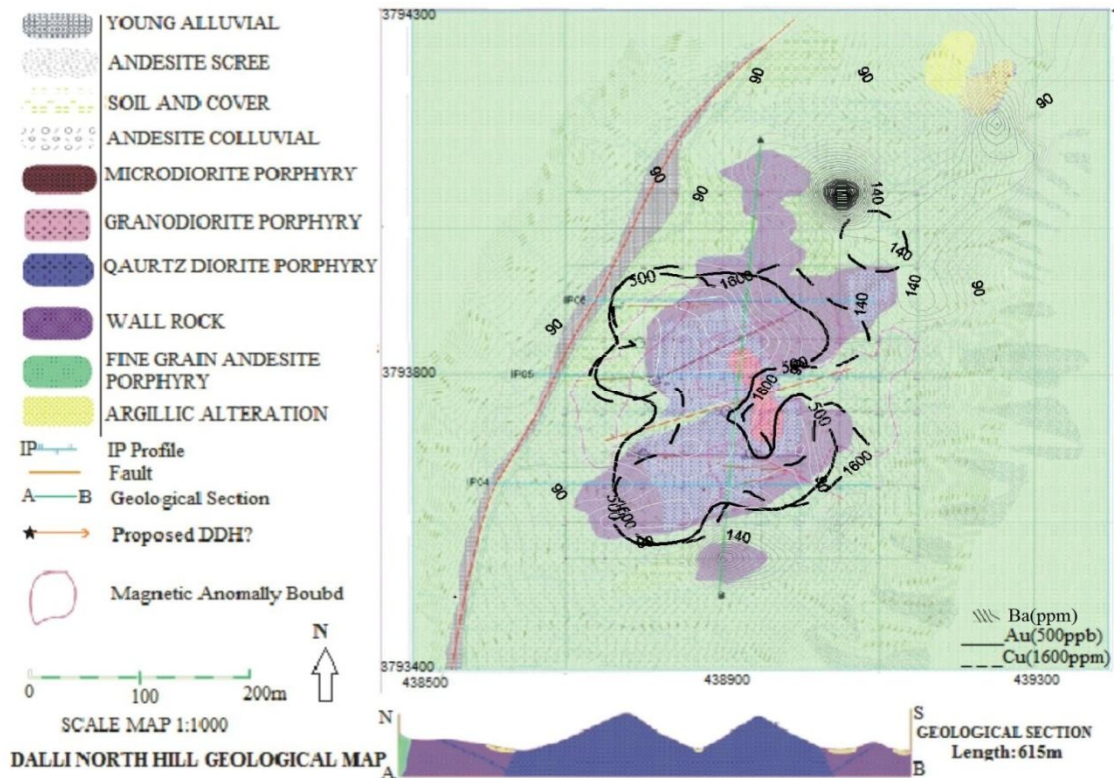
شکل (الف - 15) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Y در منطقه دالی شمالی



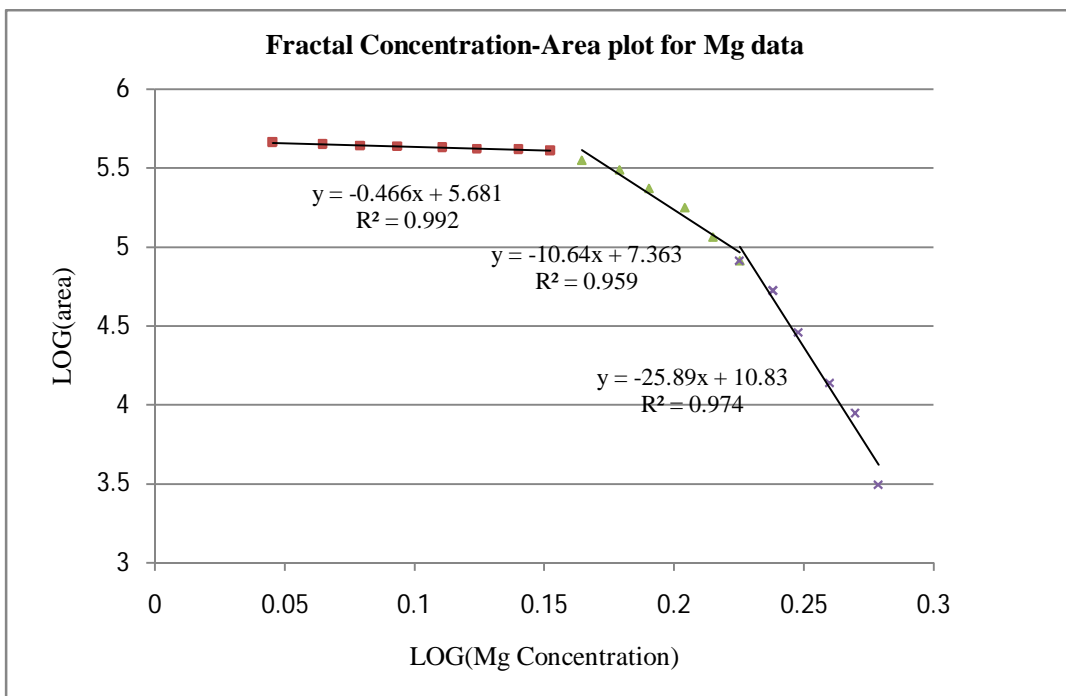
شکل (الف - 16) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر P در منطقه دالی شمالی



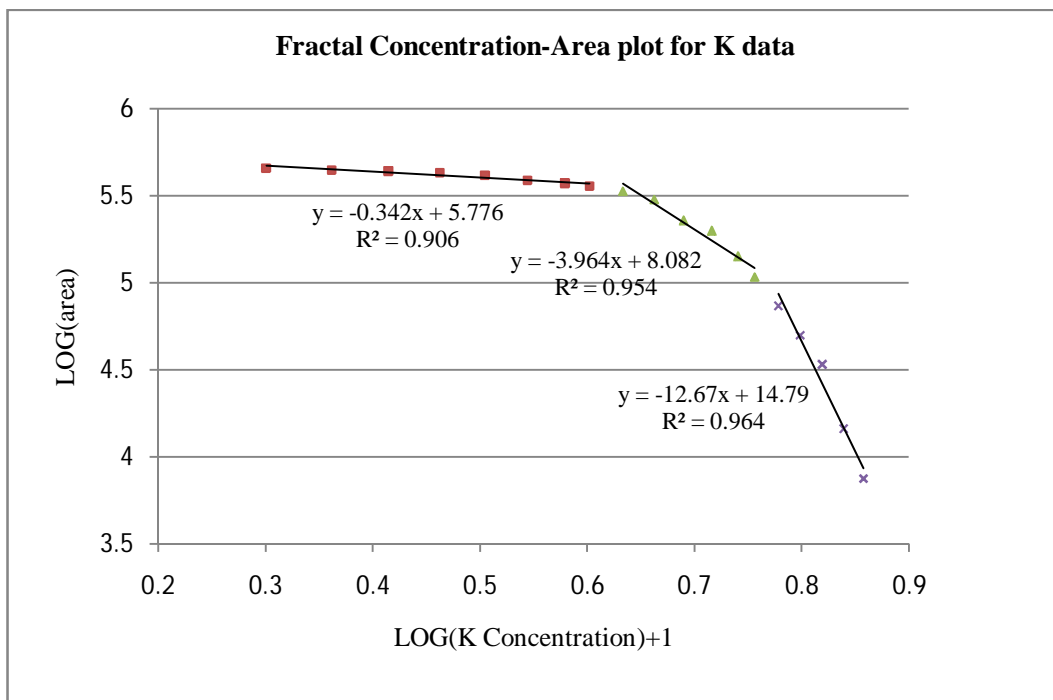
شکل (الف - 17) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Mo در منطقه دالی شمالی



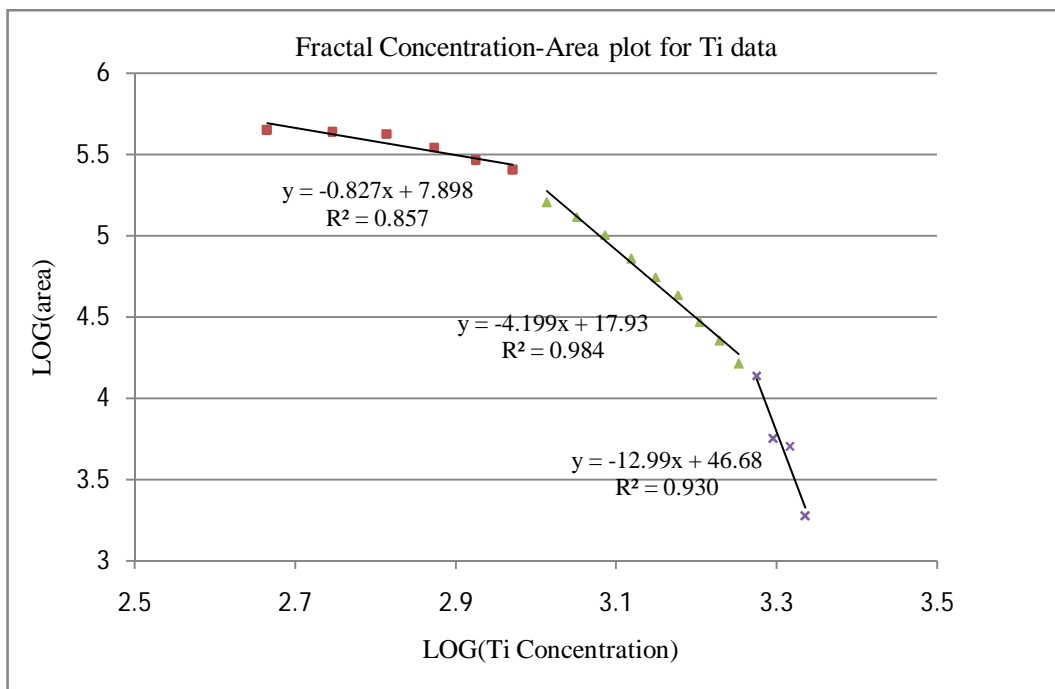
شکل (الف - 18) تغییرات غلظت (خطوط کانتور) عنصر Ba در منطقه دالی شمالی



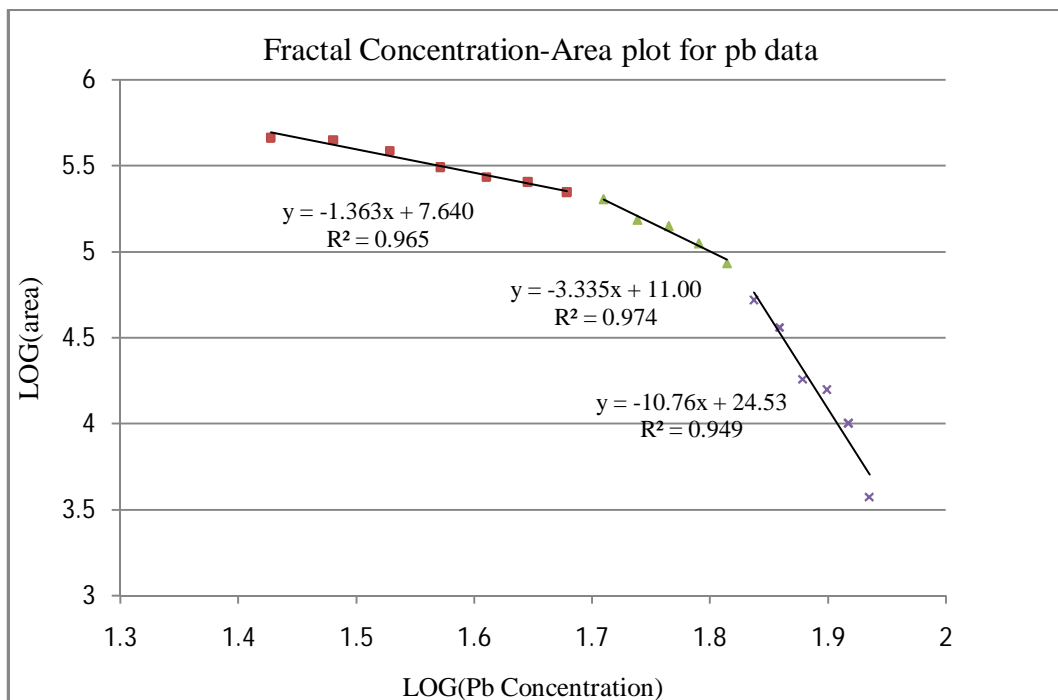
شکل (الف- 19) نمودار غلظت - مساحت عنصر Mg برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 1/43 و 1/7)



شکل (الف- 20) نمودار غلظت - مساحت عنصر K برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 0/415 و 0/56)

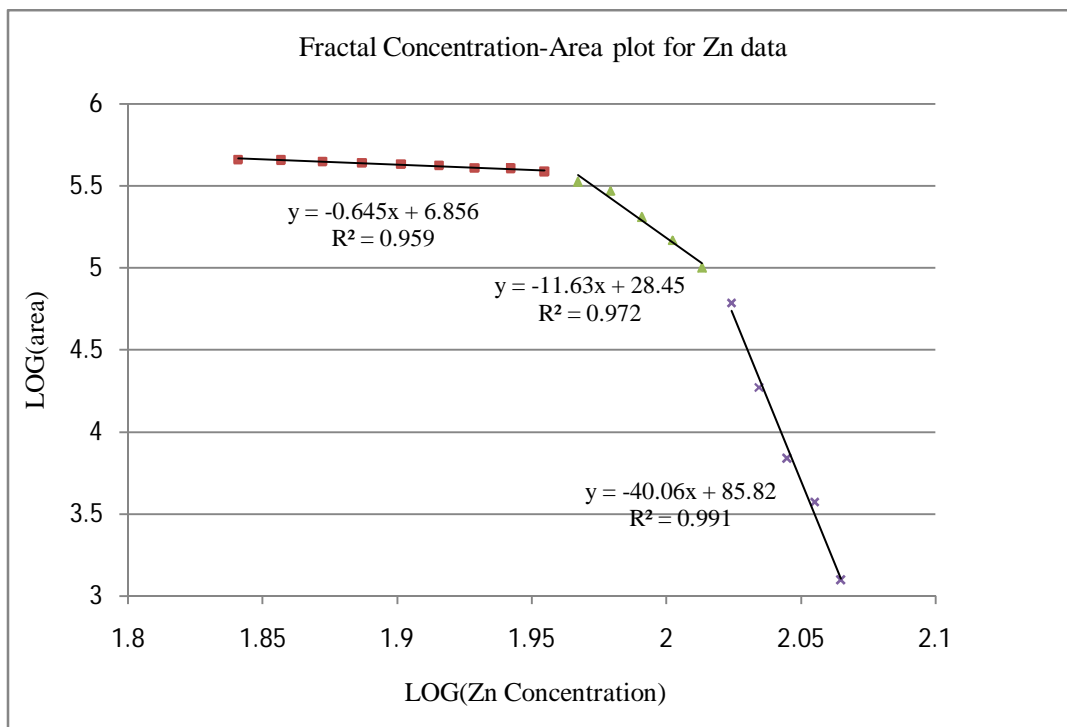


شکل (الف- 21) نمودار غلظت - مساحت عنصر Ti برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 1000 و 1800)

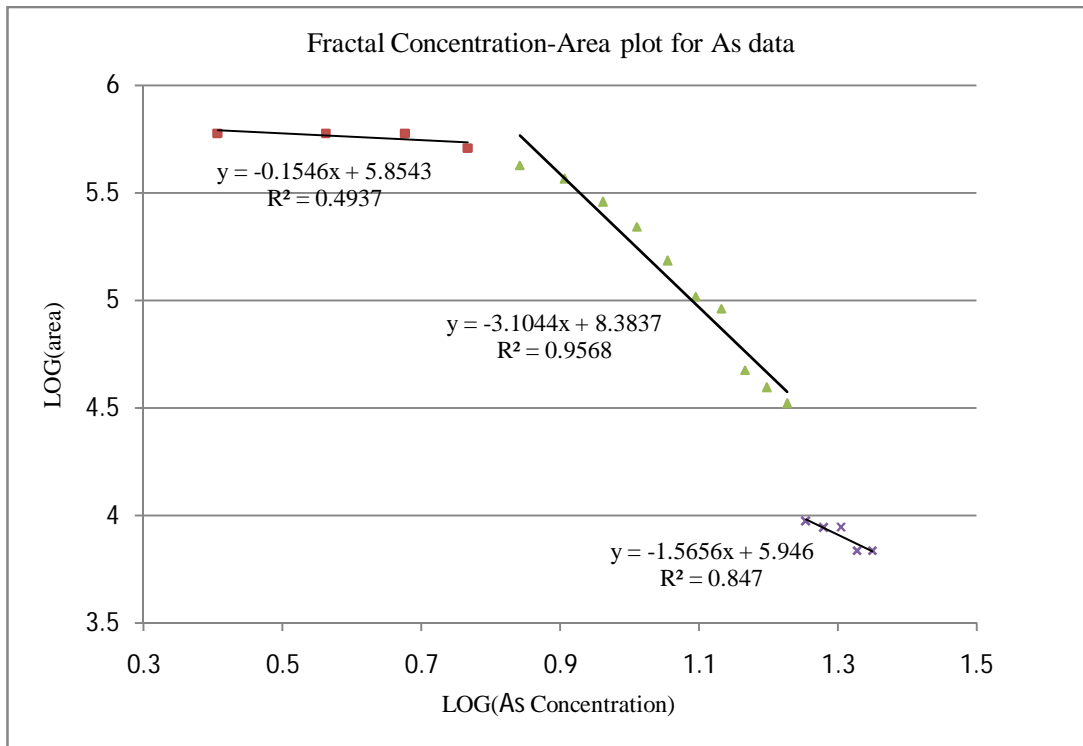


شکل (الف- 22) نمودار غلظت - مساحت عنصر Pb برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 50 و 66)

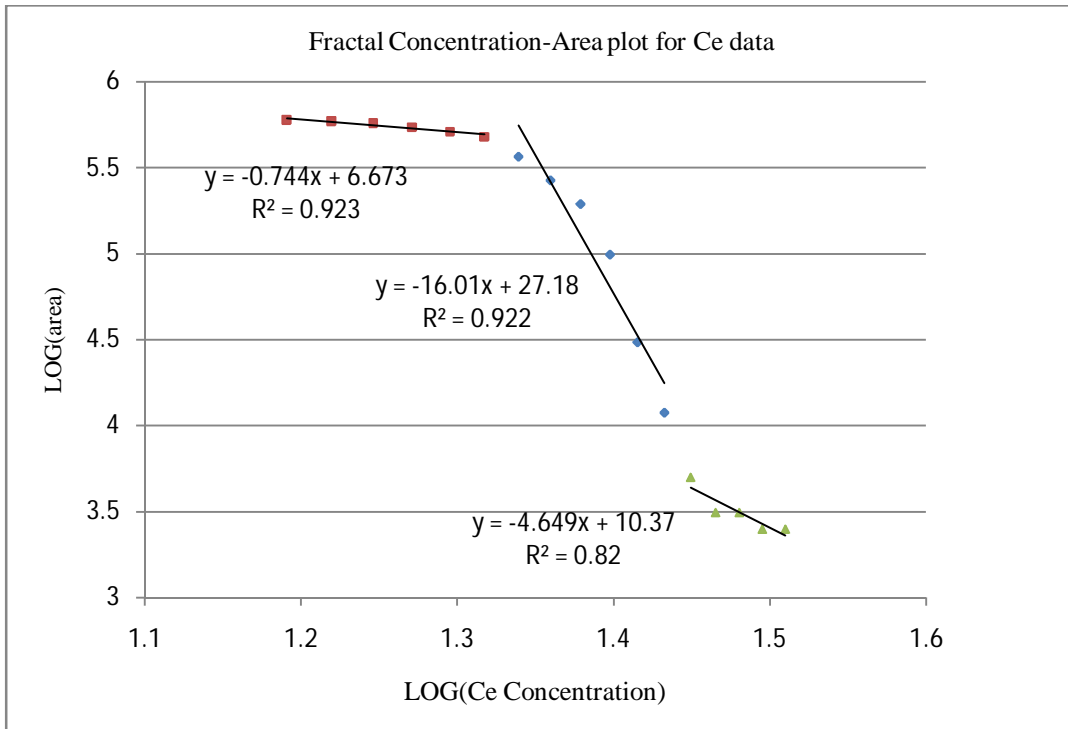




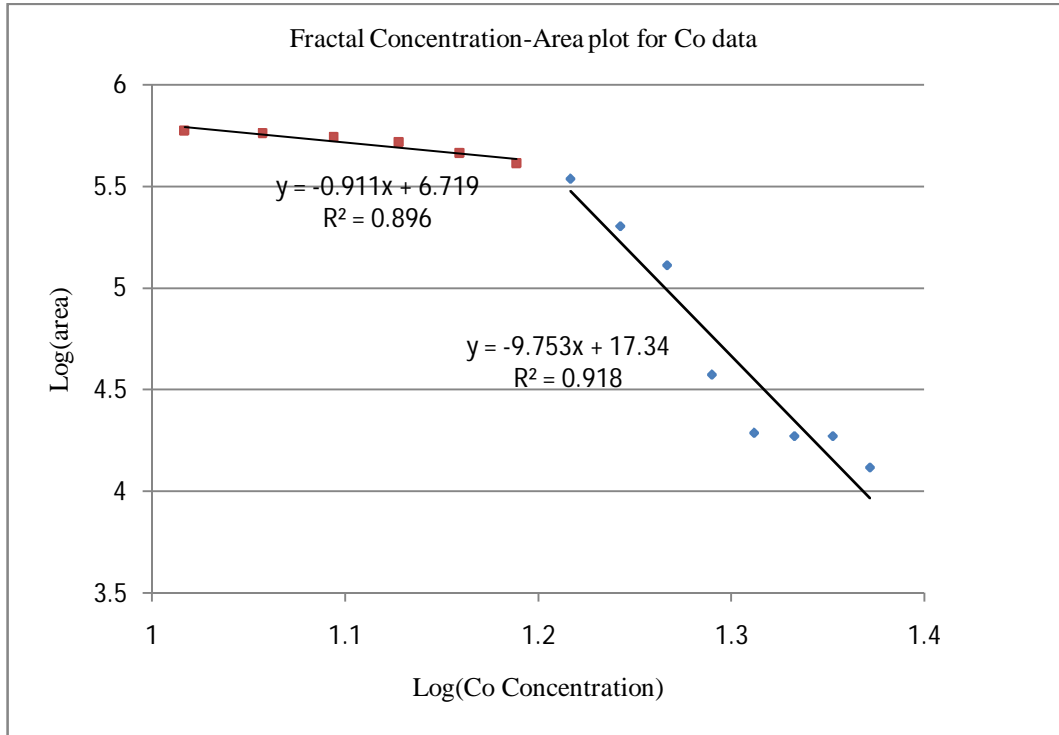
شکل (الف- 23) نمودار غلظت - مساحت عنصر Zn بر حسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 91 و 104)



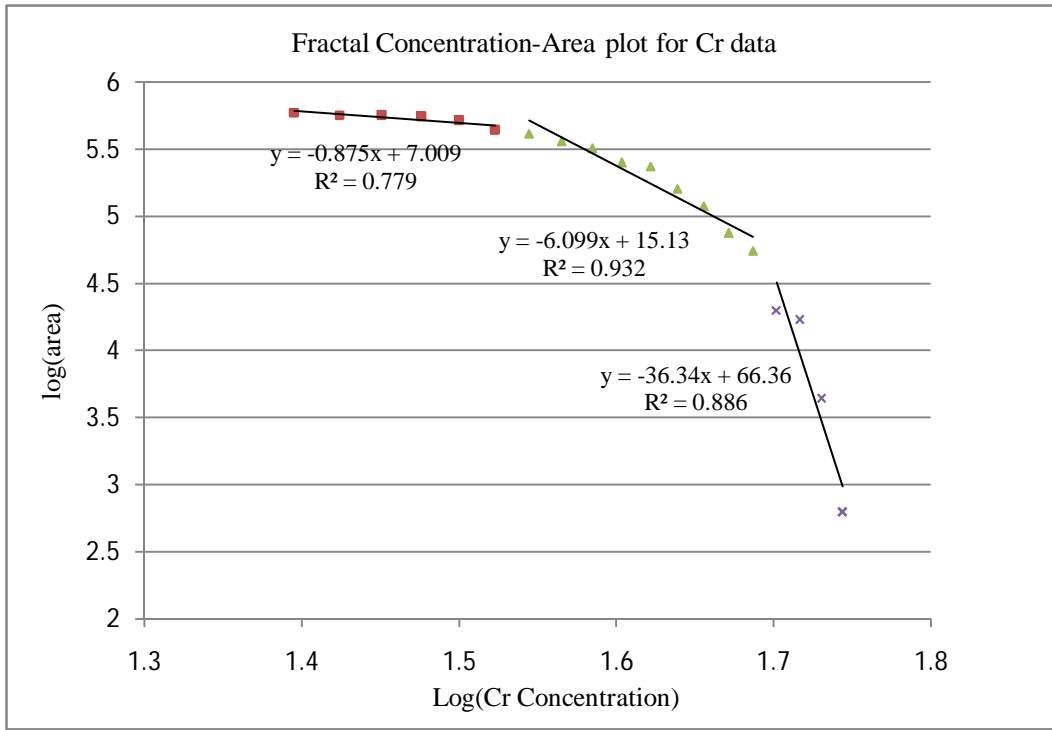
شکل (الف- 24) نمودار غلظت - مساحت عنصر As بر حسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 5/4 و 17/4)



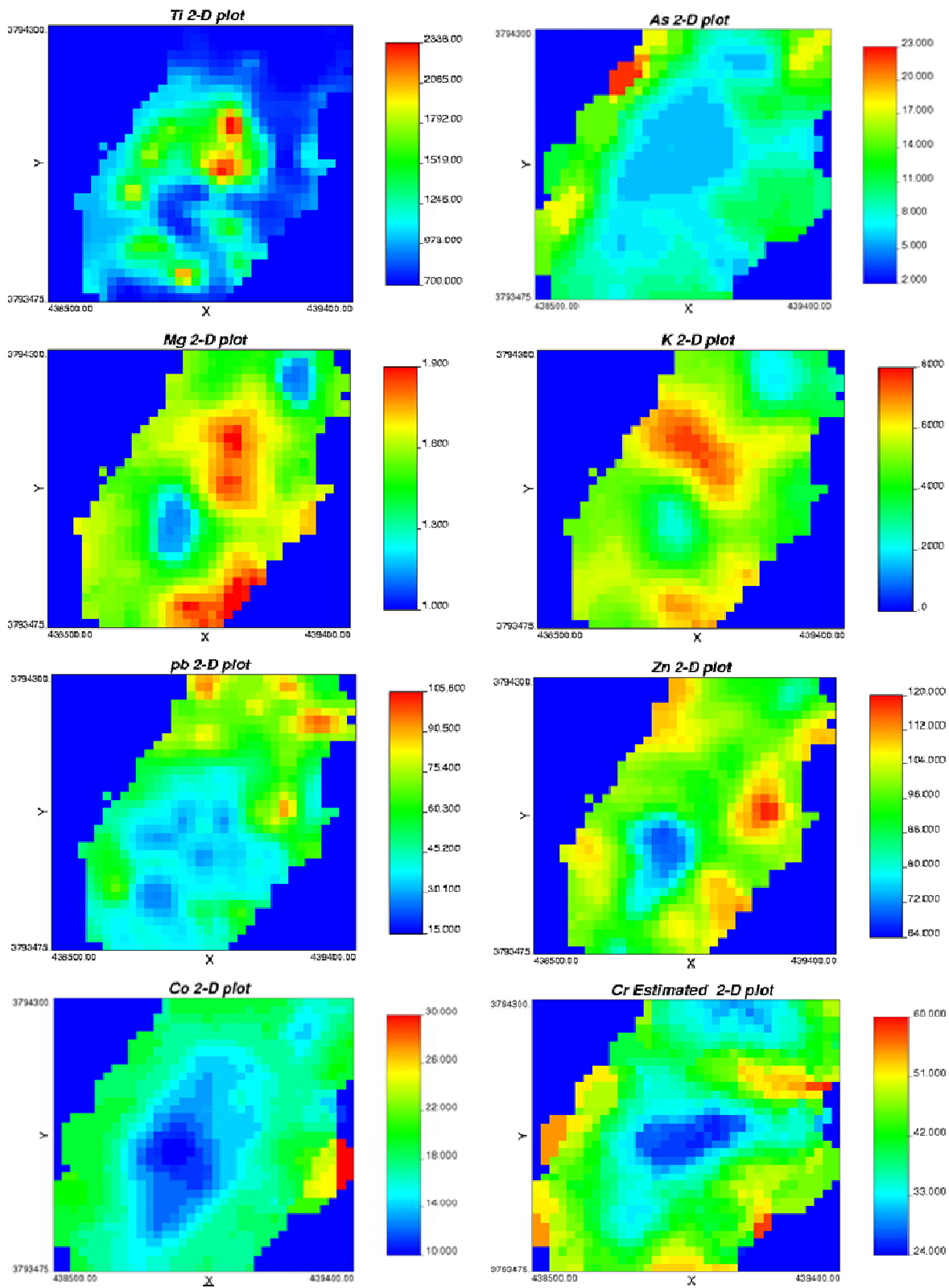
شکل (الف - 25) نمودار غلظت - مساحت عنصر Ce برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 21 و 27/6)



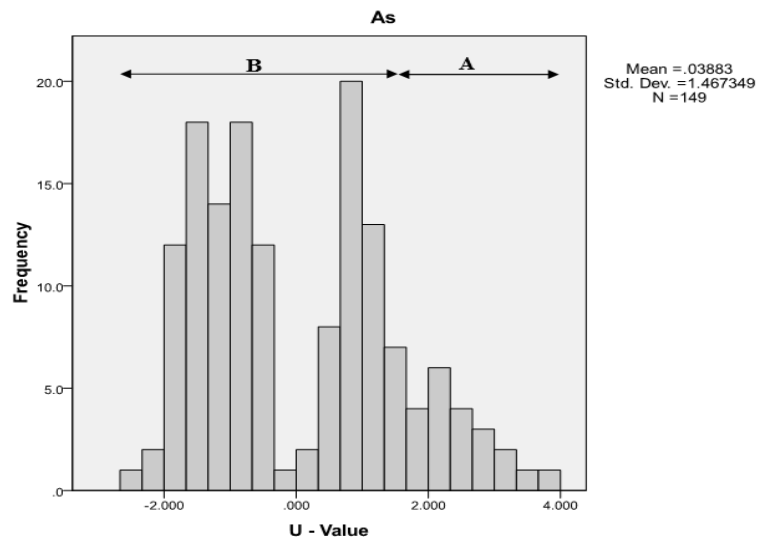
شکل (الف - 26) نمودار غلظت - مساحت عنصر Co برحسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 16 و 21)



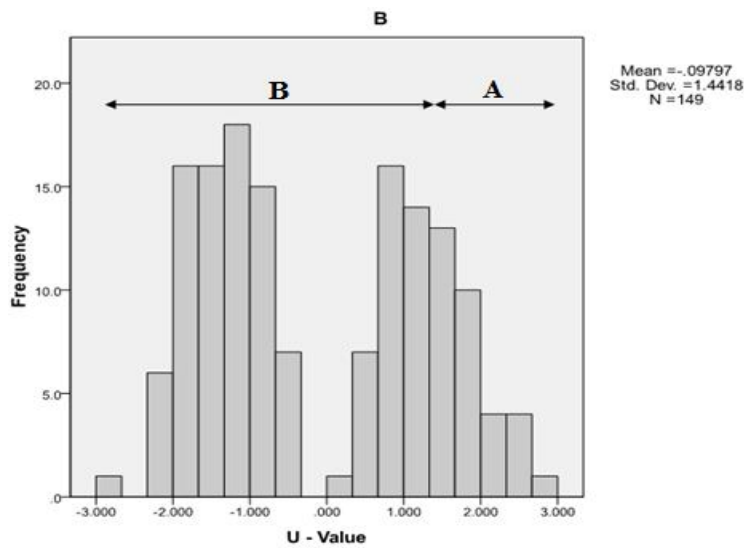
شکل (الف- 27) نمودار غلظت - مساحت عنصر Cr بر حسب ppm (مقدار حدود جدایش برابر 34/2 و 49/5)



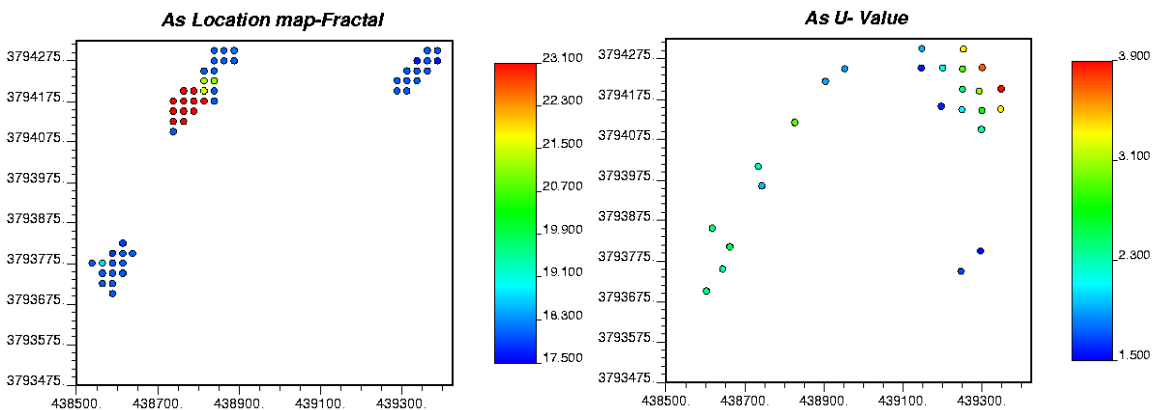
شکل (الف- 28) محدوده های آنومال مشخص شده بوسیله تخمین برای عناصر Ti-As-K-Mg-Pb-Zn-Co-Cr



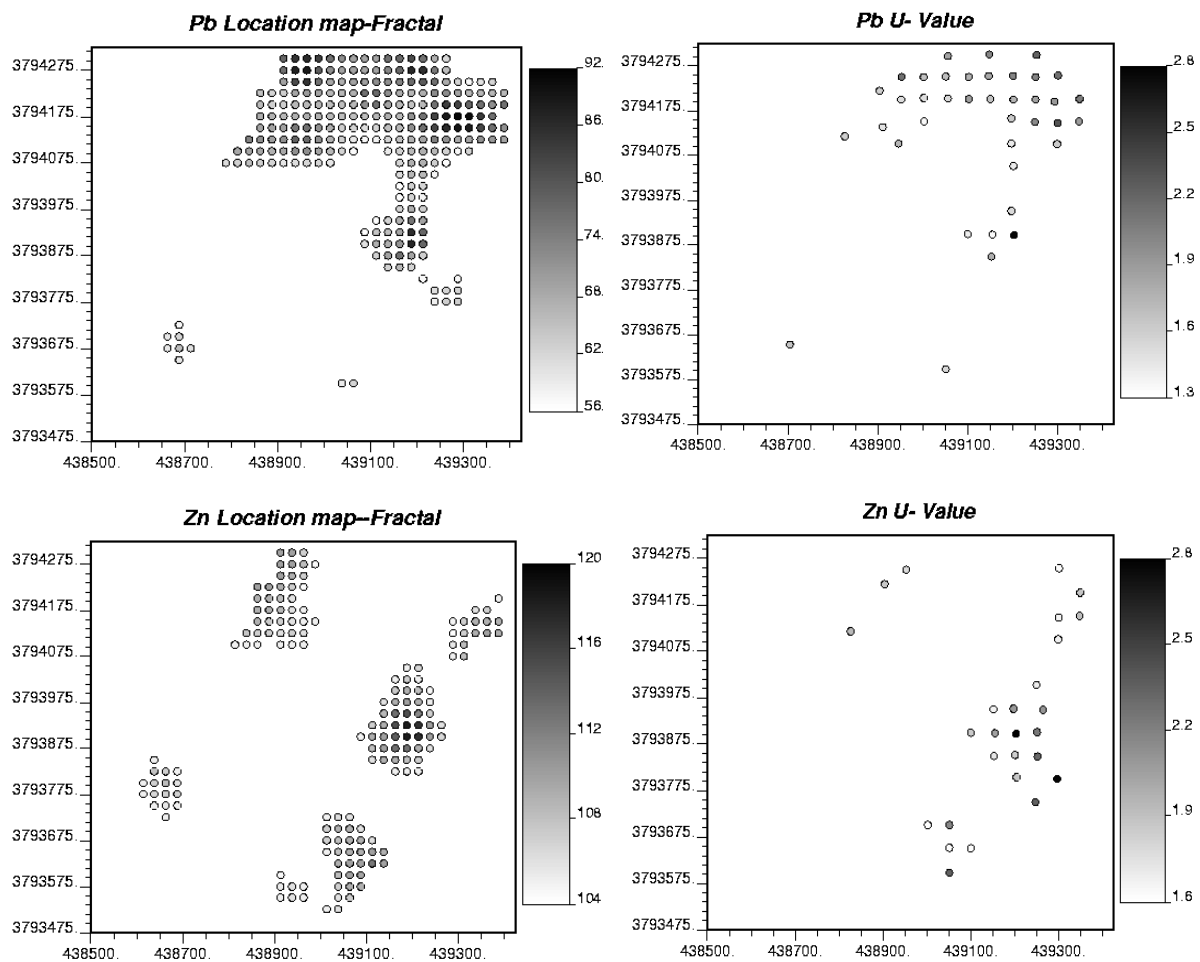
شکل (الف - 29) توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر As ( $\bar{U}+S=1/45$ ). (A) جامعه آنومالی، (B) جامعه زمینه



شکل (الف - 30) توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر B ( $\bar{U}+S=1/33$ ). (A) جامعه آنومالی، (B) جامعه زمینه

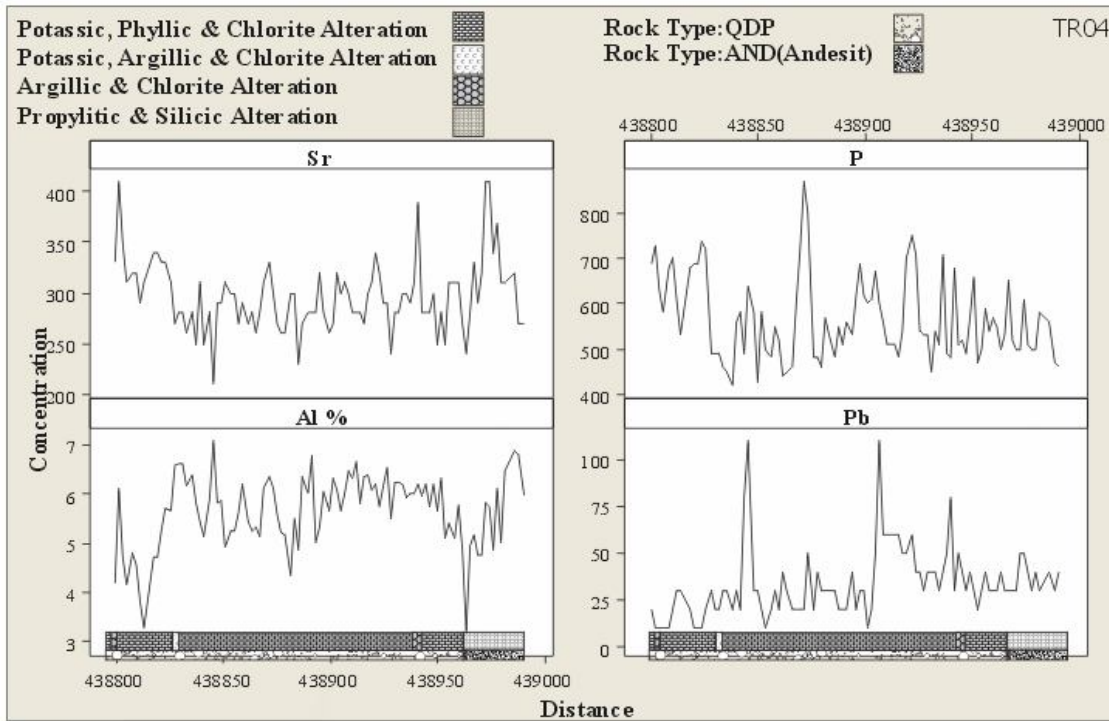


شکل (الف - 31) مقایسه آنومالی‌های حاصل از روش فراکتالی و آماره فضایی U برای عناصر Fe و Au

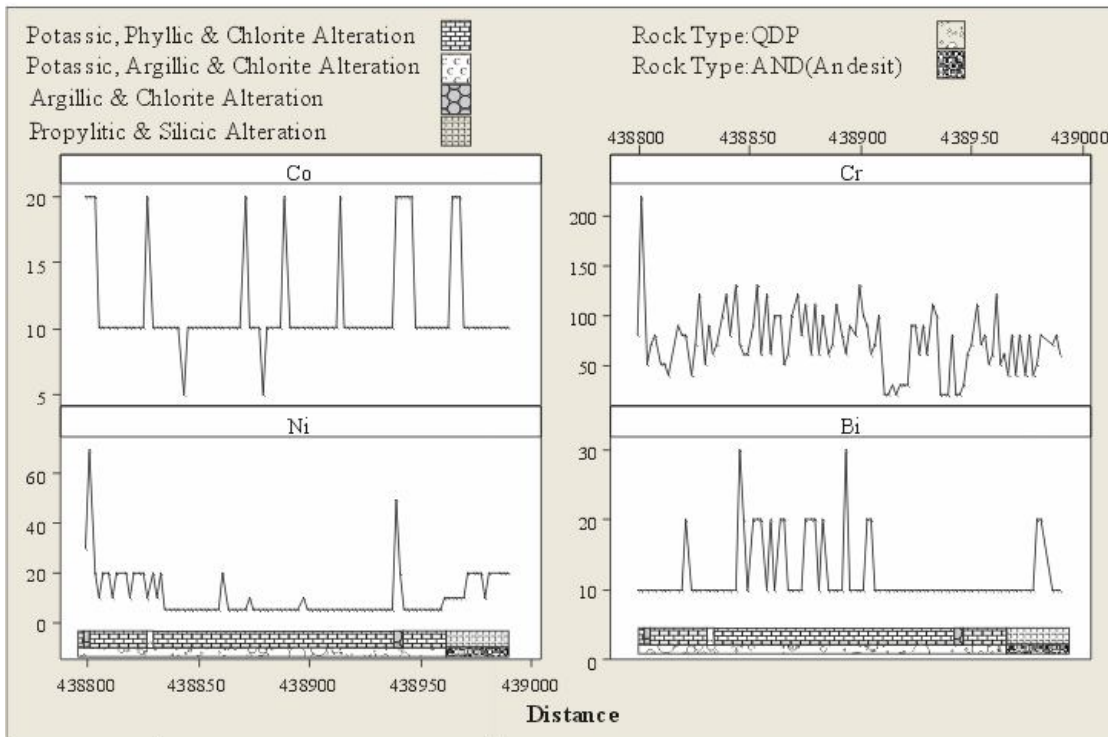


شکل (الف- 32) مقایسه آنومالی Pb و Zn مشخص شده توسط روش فراکتالی با روش آماره U

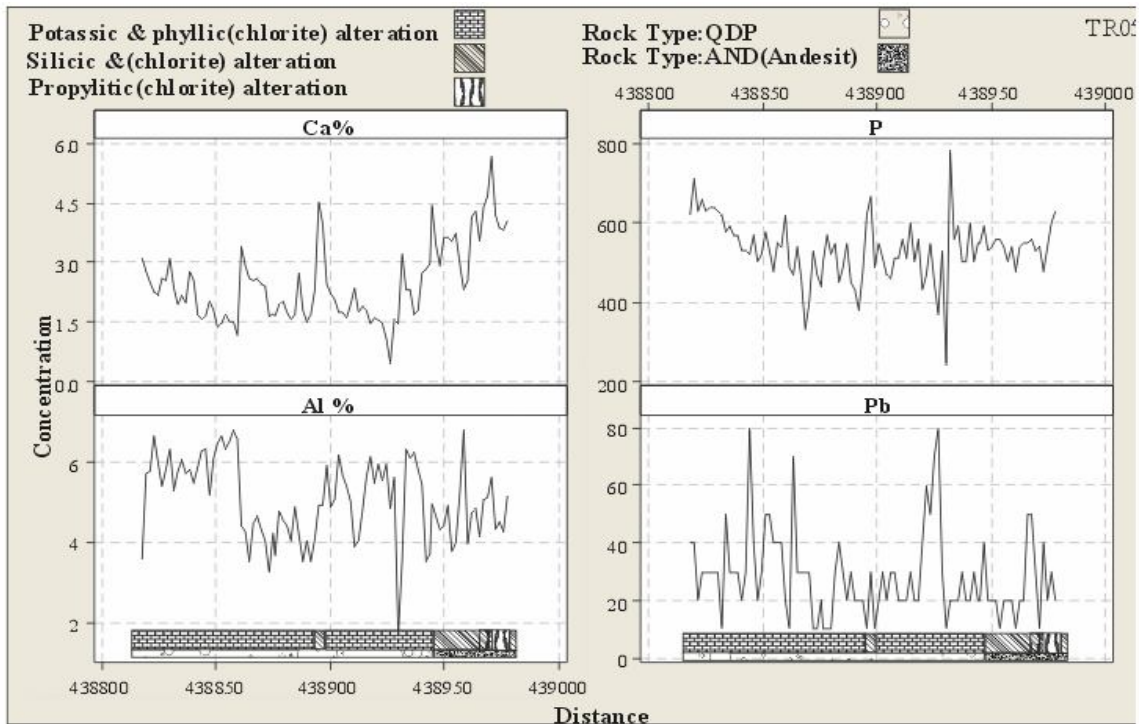
پیوست ب - (اشکال مربوط به فصل پنجم)



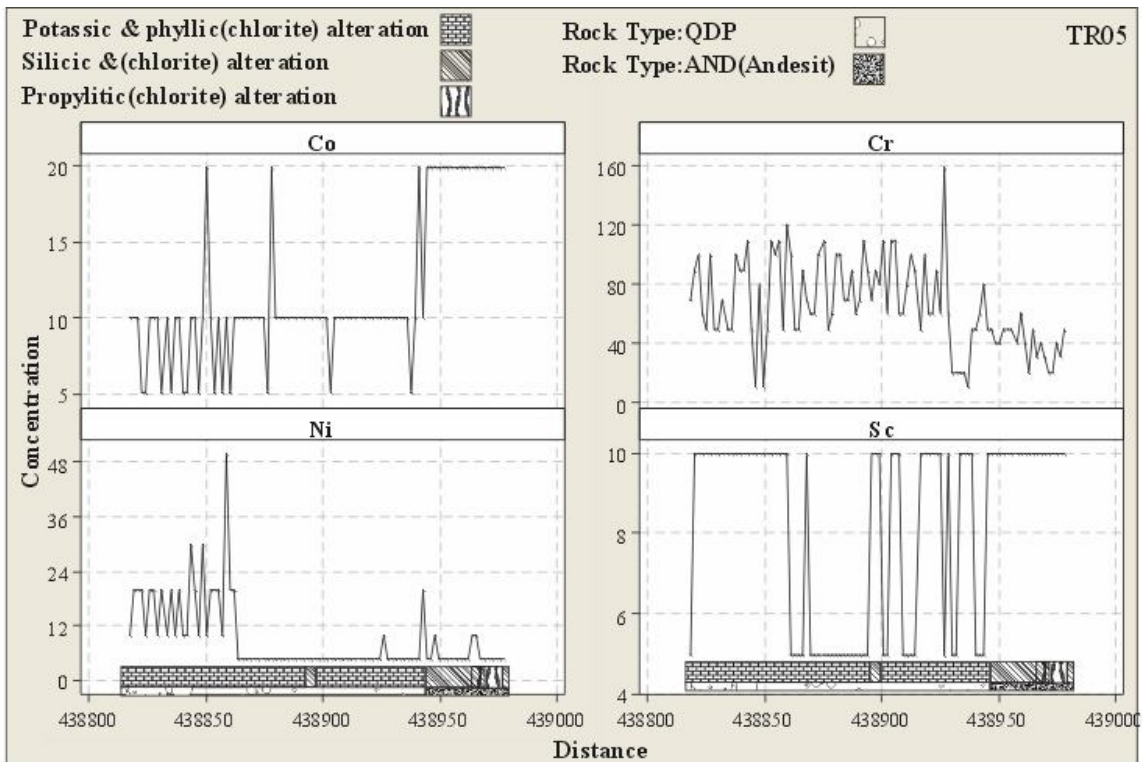
شکل (ب- 1) تغییرات غلظت عناصر Sr، P، Al، Pb در طول ترانشه TR04



شکل (ب- 2) تغییرات غلظت عناصر Co، Cr، Ni، Bi در طول ترانشه TR04

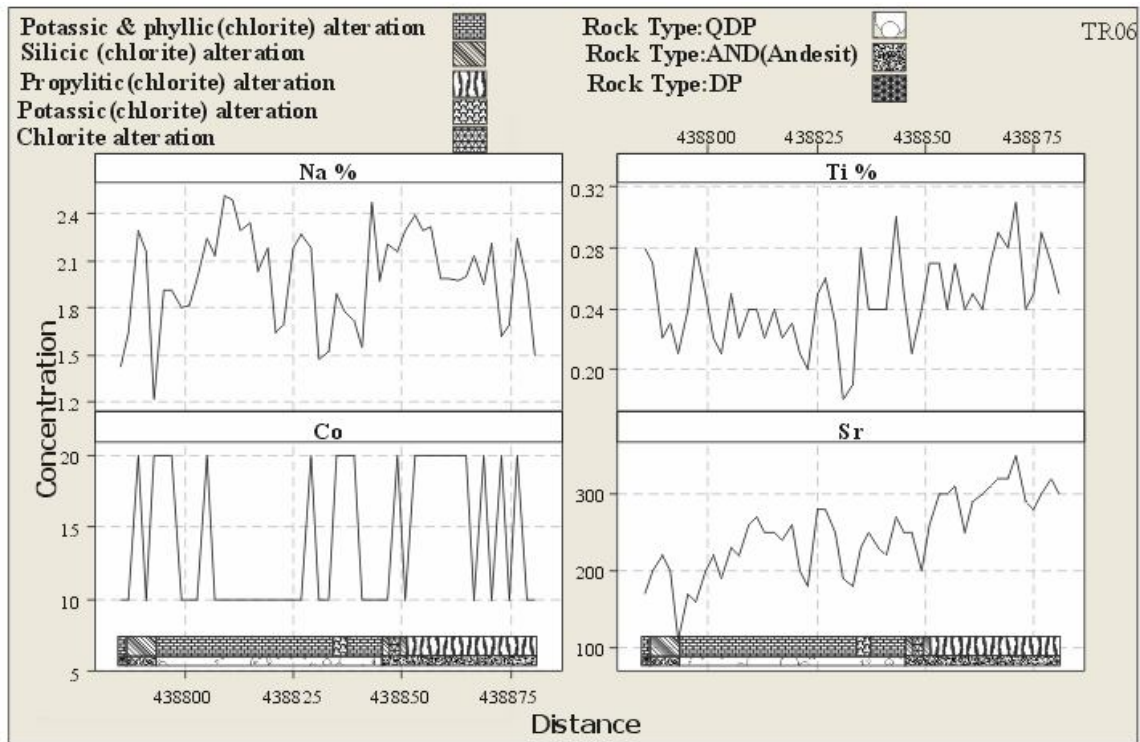


شکل (ب- 3) تغییرات غلظت عناصر Ca, P, Al, Pb در طول ترانسه TR05

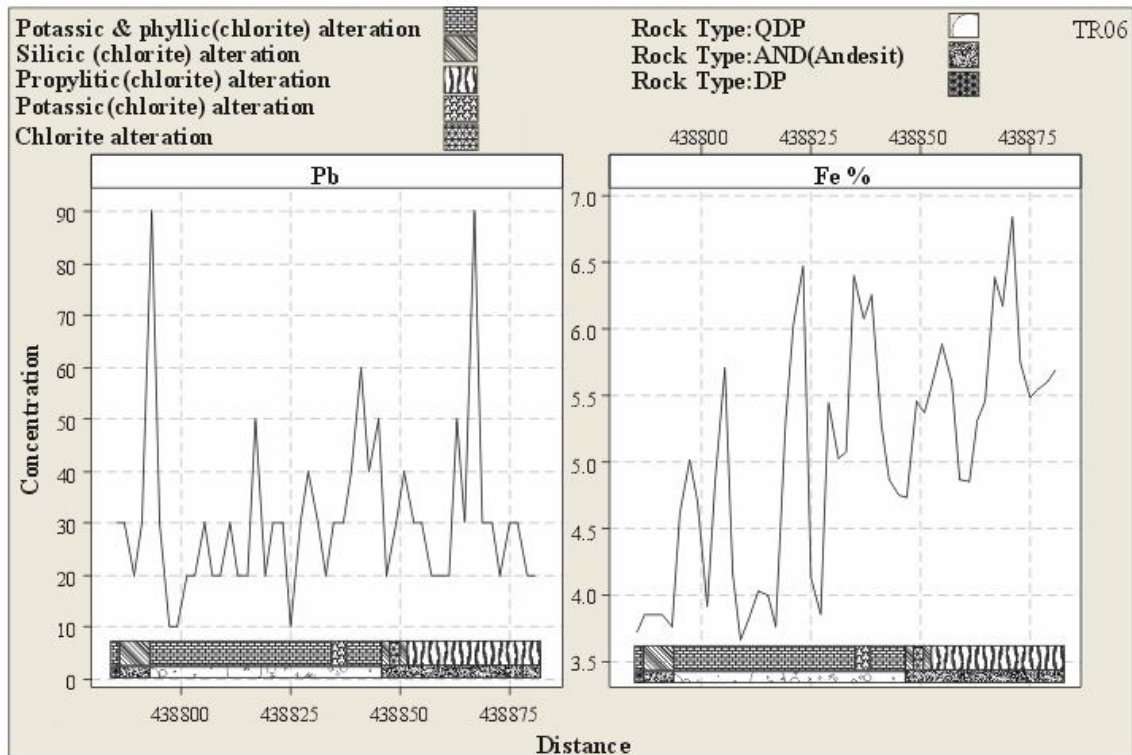


شکل (ب- 4) تغییرات غلظت عناصر Co, Ni, Cr, Sc در طول ترانسه TR05

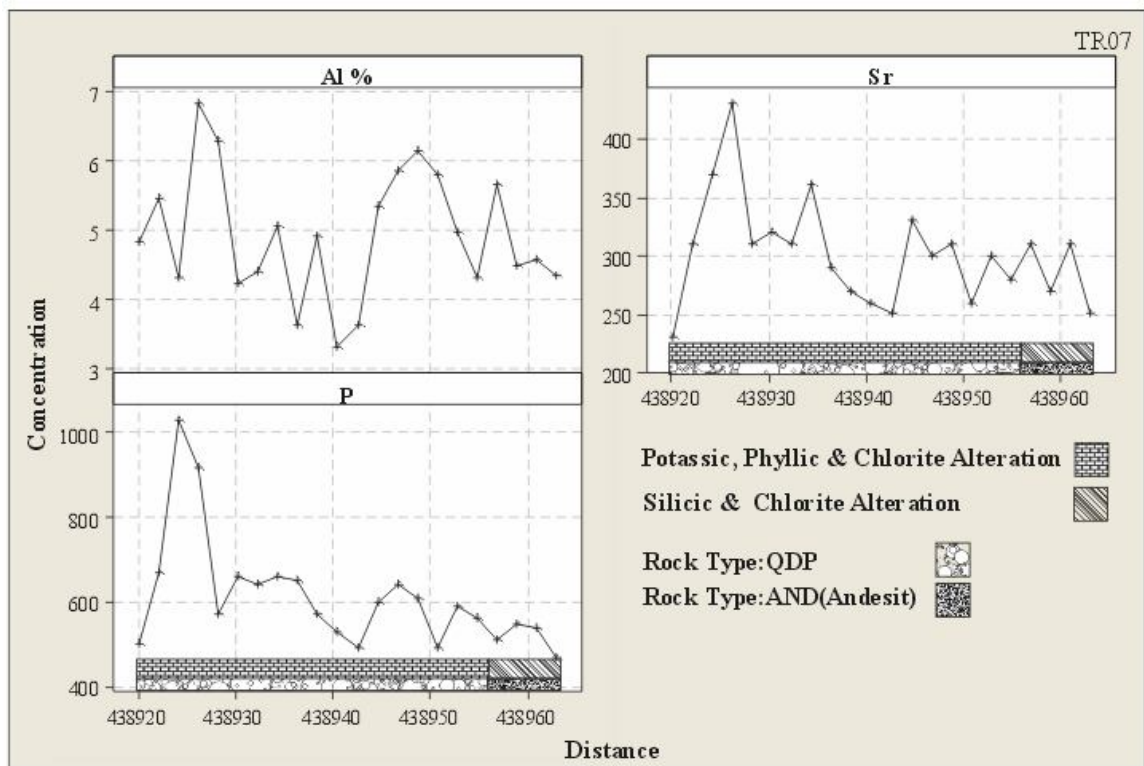




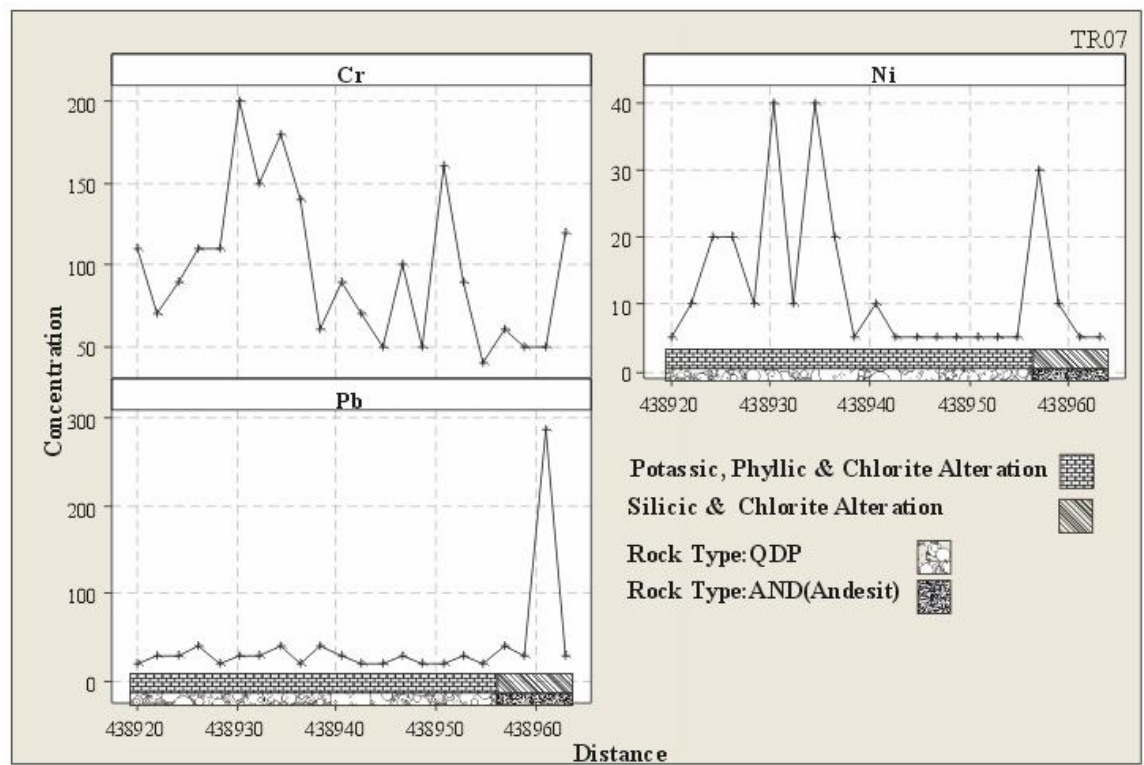
شکل (ب- 5) تغییرات غلظت عناصر Co, Na, Sr, Ti در طول ترانسه TR06



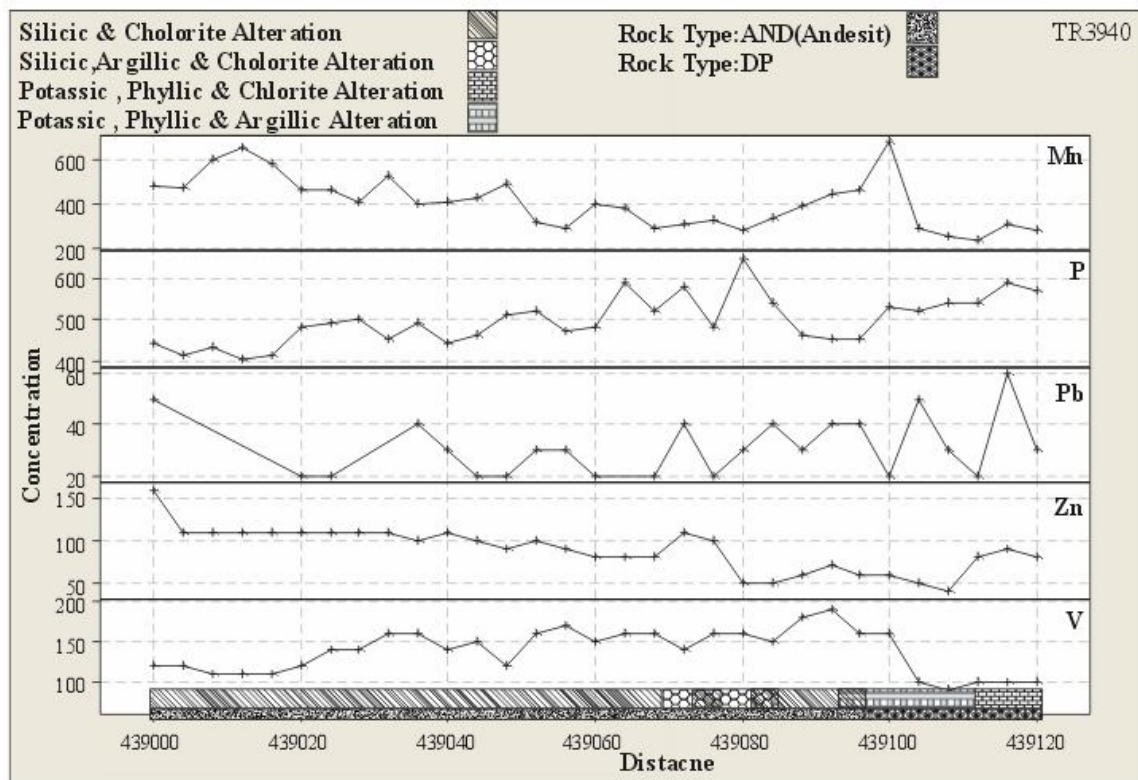
شکل (ب- 6) تغییرات غلظت عناصر Fe, Pb در طول ترانسه TR06



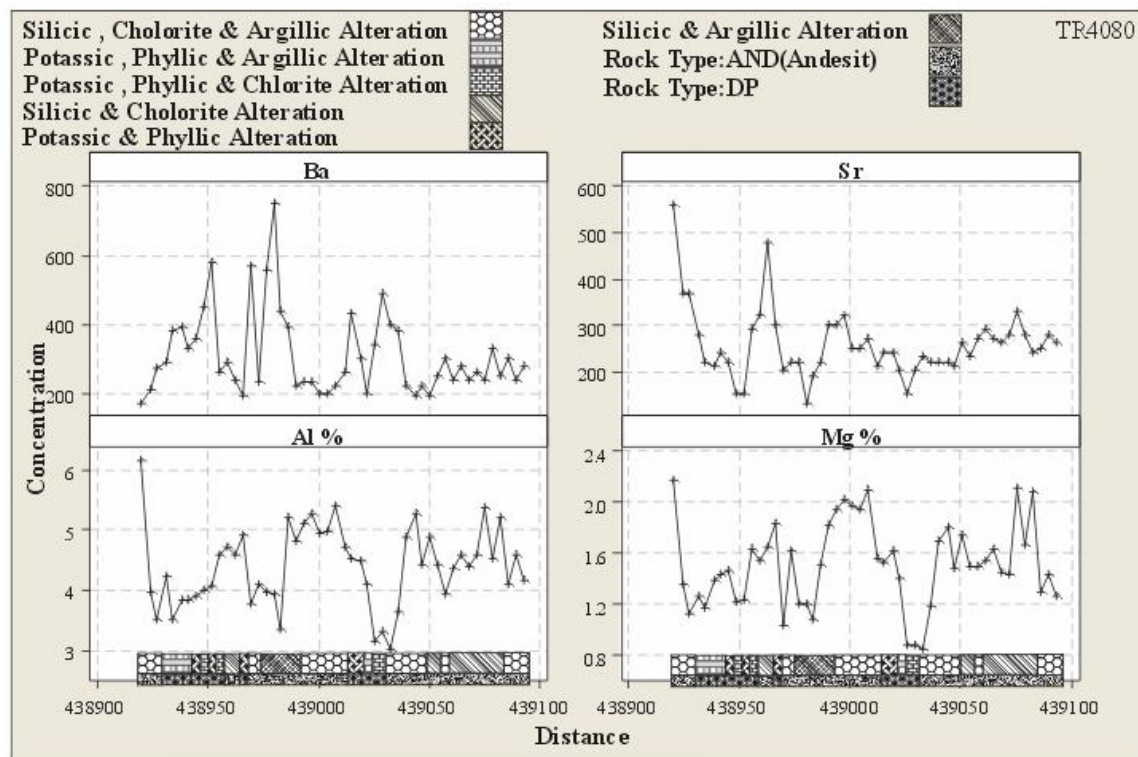
شکل (ب- 7) تغییرات غلظت عناصر Al, Sr, P در طول ترانسه TR07



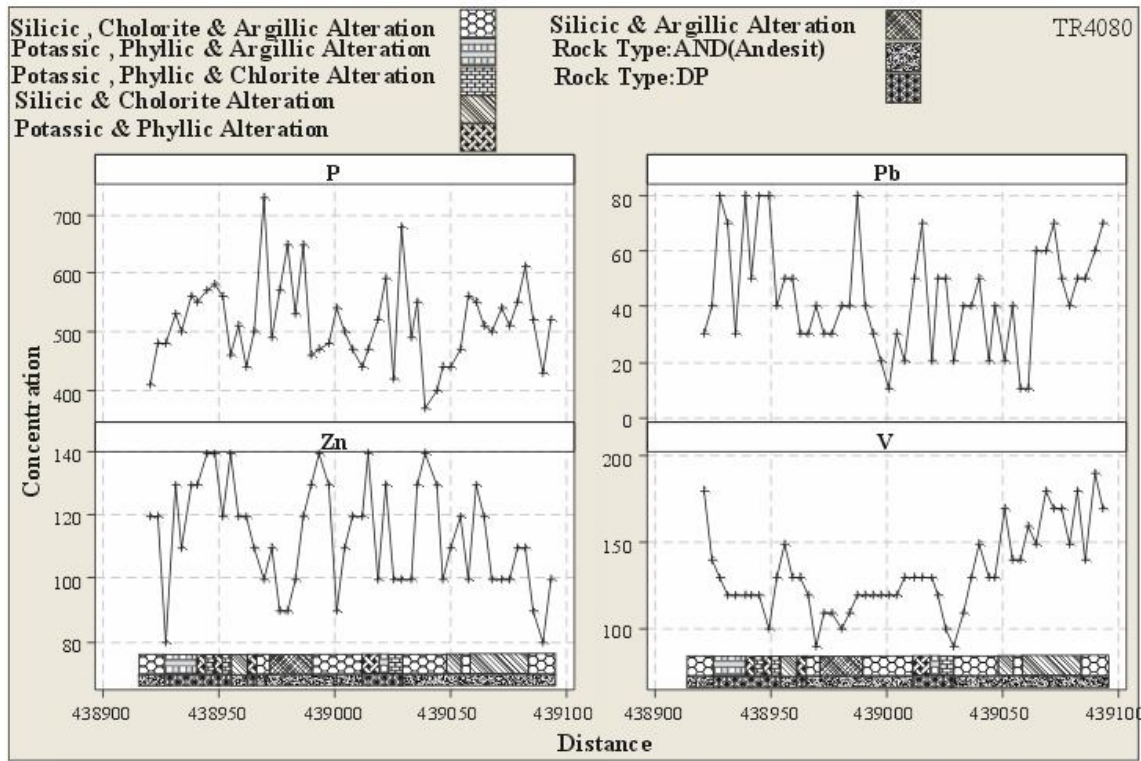
شکل (ب- 8) تغییرات غلظت عناصر Cr, Ni, Pb در طول ترانسه TR07



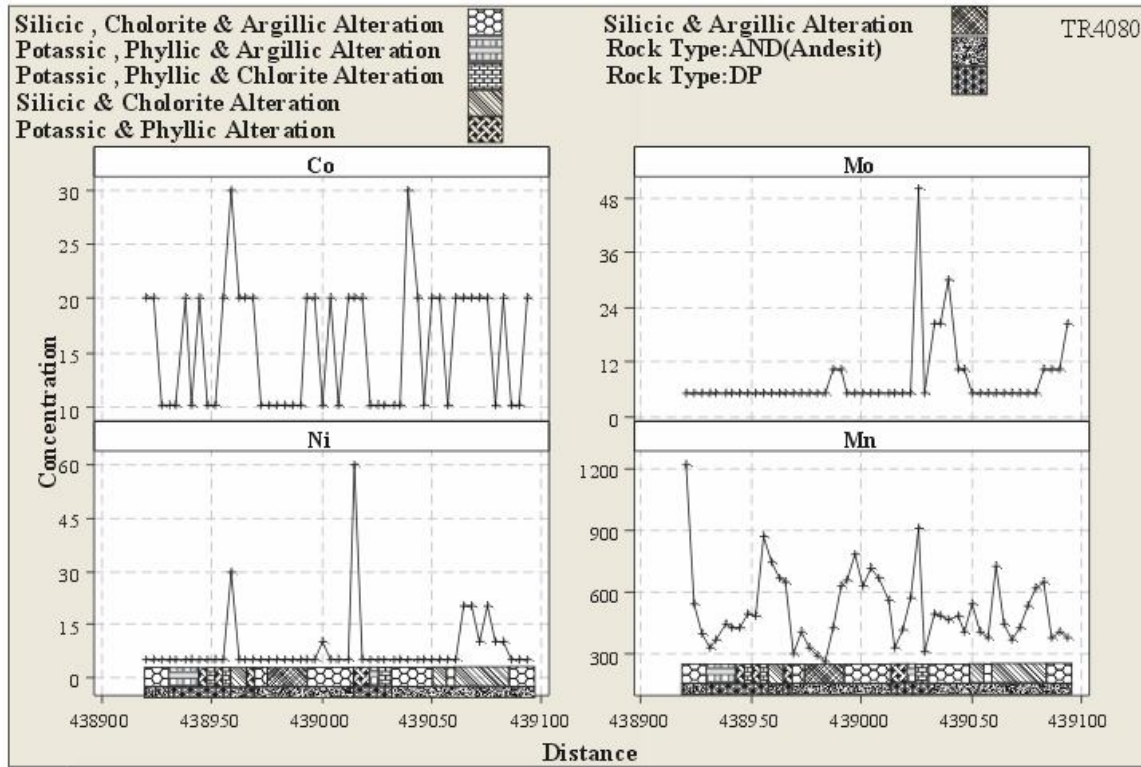
شکل (ب- 9) تغییرات غلظت عناصر P, Pb, Zn, V, Cr در طول ترانشه TR3940



شکل (ب- 10) تغییرات غلظت عناصر Ba, Sr, Al, Mg در طول ترانشه TR4080



شکل (ب- 11) تغییرات غلظت عناصر P, Zn, Pb, V در طول ترانسه TR4080



شکل (ب- 12) تغییرات غلظت عناصر Mn, Ni, Mo, Co در طول ترانسه TR4080

## Abstract

This research is focused on the North-Dalli Cu-Au mineralized area, located in 200Km of SW of Tehran, in central proviene of Iran. In the current research, 165 soil samples were analyzed for 29 elements (Au, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr). A collection of 435 rock samples from exploration treanchs were used to evaluate the geochemical dispersion haloes.

Different exploration geochemistry methods were used to identify the high potential areas in the study area. Correspondence analysis, Fractal geometry, U-spatial statistical method, trend surface analysis, cluster and factor analysis (PCA) were some of the corresponding method, were used in this research. Anomal elements and samples (Cu, Au) were recognized by using correspondence analysis. The anomaly area for the soil samples were identified by using fractal geometry and U-spatial statistic method for Cu (>1600ppm) and Au (>500ppb). Cluster and factor analysis were applied to identify the related elements to the Cu-Au anomaly areas, which are include of Fe, Ti, K, Mg, Ba, V, Ga, Pb,Zn.

According to the results from rock samples, Cu-Au anomaly areas were related to porphyry quartz diorite and dioritic volcanic rocks in NE-SW mineralized zone. A porphyritic Cu mineralization enriched of Au were clarified in the study area. Based on the previous and current research geophysical investigation, exploration drilling and Trenches were clarified the high potential areas and geochemical exploration ratios  $\frac{Ba \times K}{Ca \times Zn}$  were used to recognized the mineralized area in follow up exploration.

**Keywords:** anomaly, threshold, fractal geometry, U special statistic, trend surface, correspondence analysis.



Shahrood University of Technology  
Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics

**Interpretation of secondary lithogeochemical data accompany  
with primary lithogeochemical investigations to control the  
drilling plan.**

By

**Farshad Darabi Golestan**

Under supervision of

**Dr. Reza Ghavami Riabi**

**Dr. Reza Khalo Kakaie**

**A thesis submitted to graduate studies office  
in partial fulfillment of requirement for the degree of**

**Master of Engineering**

**in**

**Mining Engineering**

Jun 2011