

## پی جویی مس به روش ژئوشیمی آبراهه‌ای در منطقه خاتون آباد (واقع در ورقه یکصدهزارم هشترود)

رضا نوری\*<sup>۱</sup>، محمد رضا جعفری<sup>۲</sup>، فرانک فیضی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- استادیار، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۳- استادیار، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

(\*عهده دار مکاتبات- reza\_noor2002@yahoo.com)

### چکیده

گستره مورد مطالعه در جنوب خاوری استان آذربایجان شرقی واقع شده و در زون ارومیه-دختر قرار گرفته است. از لحاظ ساختمانی این منطقه متعلق به زون میانه بوده و امتداد آن شمال باختری جنوب خاوری می‌باشد. از لحاظ سنگ شناسی، لیتولوژی این زون عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری ائوسن هستند که توسط سنگ‌های نفوذی متأثر و مورد نفوذ واقع شده‌اند. در پی بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده، ۲ محدوده قباق تپه و قره آجاج که در شمال باختر و جنوب خاور منطقه جای گرفته‌اند، از مقادیر قابل توجه عناصر مس، تنگستن و مولیبدن برخوردار می‌باشند. این آنومالی‌ها انطباق بسیار خوبی با روند نفوذی‌ها و استوک‌های پورفیری در محدوده دارند. مقادیر این عناصر نیز نتایج نسبتاً مشابهی با نمونه‌های مینرالیزه برداشت شده در محدوده دارند. بطوری‌که مقادیر حد آنومالی‌ها برای مس از ۱۲۰ گرم در تن تا ۳/۶ درصد بوده است که در خور توجه و حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به اینکه اکسیداسیون سطحی باعث ایجاد زون‌های غنی از کانی‌های ثانوی آهن‌دار در محدوده بخصوص بر روی استوک‌های داسیت پورفیری مینرالیزه شده است، احتمال حضور غنی‌شدگی یا زون سوپرژن در عمق وجود دارد که شرایط کانی‌سازی هیپوژن تا حدودی بهتر خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** مس، ژئوشیمی آبراهه‌ای، خاتون آباد.

### ۱- مقدمه

در اکتشافات مقدماتی، بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای یکی از روش‌های نمونه‌برداری اصلی هستند که به طور گسترده برای توصیف ژئوشیمیایی حوضه آبریز و همچنین مجزا کردن مناطق دارای ژئوشیمی غیرعادی به کار می‌روند (Cheng and et al., 2007). منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در جنوب خاوری استان آذربایجان شرقی و در برکه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (هشترود (سراسکند) با مختصات جغرافیایی ۲۲' ۳۷° تا ۲۵' ۳۷° عرض شمالی و ۱۸' ۴۷° تا ۲۸' ۴۷° طول خاوری واقع شده است.

از نظر ساختمانی مجموعه‌ای که بین گسل تبریز و گسل اصلی زاگرس قرار می‌گیرند به سه مجموعه با روند مشابه قابل تقسیم هستند. در جنوب خاور گسل تبریز، ادامه زون ارومیه دختر قرار دارد که از همدان تا تبریز و سپس جلفا و آرات ادامه پیدا می‌کند. سن ولکانیک‌های این مجموعه بیشتر مربوط به ائوسن بالایی و میوسن در نظر گرفته شده است در حالی‌که در سمت نیمه جنوب خاوری ارومیه-دختر سن غالب ائوسن است (Moinevaziri, 2009). در محدوده خاتون‌آباد کل واحدهای سنگی ولکانیکی می‌باشند که یکسری گسل و

شکستگی در راستای غالب تقریباً خاوری- باختری (EW) آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده‌اند. روند کلی توزیع شکستگی‌ها NW-SE است که بخصوص در نیمه شمالی محدوده خاتون‌آباد با قسمت‌های دگرسان شده همپوشانی دارند. یک گسل اصلی با روند خاوری- باختری از جنوب محدوده عبور می‌کند. اما یک دسته گسل اصلی نیز با روند NW-SE از باختر روستای قره‌آقاج از این دسته گسل‌ها جدا می‌شوند که دره‌های عمیقی را پدید آورده است. در امتداد این دسته از گسل‌ها، توده‌های نفوذی عمیق تا ساب‌ولکانیکی نفوذ کرده‌اند. گسل‌های فرعی که با روند حدودی NE-SW به موازات هم قرار گرفته‌اند، در واقع شاخه‌های فرعی گسل‌های اصلی هستند که به صورت امتداد لغز رفتار کرده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد فضا سازی گسل‌ها برای نفوذ توده‌ها و سیالات مؤثر واقع شده است.

گستره منطقه مورد مطالعه در شمال باختر ایران جای داشته و از دیدگاه تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان میانه است، ولی از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران (اشتوکلین ۱۹۶۸)، این ناحیه بخشی از ارومیه- دختر دانسته شده است.

در زون میانه اغلب واحدهای لیتولوژیکی سن ائوسن (واحدهای E11b, E2t, E2b, E3ta) دارند و واحدهای مربوط به الیگوسن (Omr) و کوارترنری (Q3 و Qal) نیز در این محدوده مشاهده شده است (Lescuyer J. L., Riou, 1976).

## ۲- روش کار

- بررسی منطقه مورد مطالعه بر پایه دانسته‌های پیشین
- عملیات مربوط به برداشت ۴۸۹ نمونه آبراه‌های، ۱۵ نمونه کانی سنگین و ۱۷ نمونه از زون‌های مینرالیزه
- ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه Als Cemex کانادا
- محاسبه خطای آنالیز
- بررسی نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی
- بررسی نتایج حاصل از مطالعات کانی سنگین و مینرالیزه
- ارزیابی مطالعات و معرفی مناطق امیدبخش

## ۳- طراحی شبکه نمونه‌برداری و عملیات صحرائی مربوط به برداشت نمونه‌ها

به منظور اجرای مطالعات در محدوده خاتون‌آباد، قبل از طراحی شبکه نمونه‌برداری اقدام به جمع‌آوری اطلاعات پیشین و رقومی سازی آن‌ها گردید.

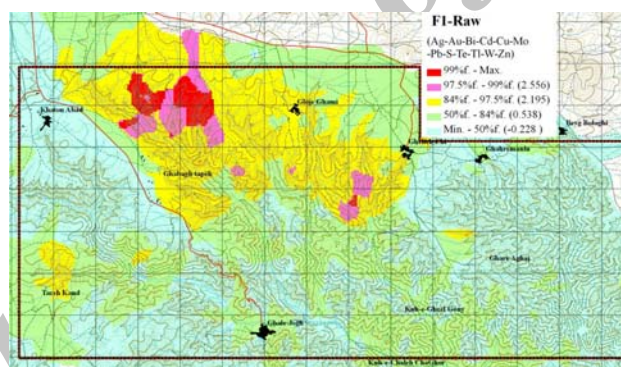
طراحی شبکه نمونه‌برداری این مطالعه طوری صورت می‌گیرد که نمونه‌های این منطقه حداکثر سازگاری را با عواملی نظیر چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، تکتونیک و نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی گذشته را دارا باشد (حاج ملاعلی و همکاران، ۱۳۸۹). در طراحی نمونه‌ها، چگالی نمونه‌برداری در اطراف توده‌های نفوذی و خروجی و نواحی مجاور آن‌ها (کنتاکت‌ها)، نواحی اطراف گسل‌ها و تقاطع آن‌ها، زون‌های دگرسان شده بعد از ماگمایی و مناطقی که در بخش فوقانی توده‌های نفوذی و غیر عمیق قرار دارند (این توده‌ها روی نقشه ژئوفیزیک هوایی مشخص می‌شوند) به علت پتانسیل معدنی محتمل، از مقدار بالاتری برخوردار می‌باشند.

عملیات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با برداشت تعداد ۴۸۹ نمونه ژئوشیمیایی با سایز (۶۰-) مش و همچنین ۱۵ نمونه کانی سنگین و ۱۷ نمونه از زون‌های مینرالیزه صورت پذیرفت. نمونه‌های ژئوشیمیایی پس از آماده‌سازی در دانه‌بندی (۲۰۰-) مش به منظور آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه Als Cemex کانادا ارسال و برای ۴۲ عنصر آنالیز گردیدند. همچنین نمونه‌های کانی سنگین نیز پس از انجام مراحل آماده

سازی در راستای شناسایی کانی‌های با اهمیت مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفتند (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۸).

#### ۴- نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی

در ابتدا داده‌ها پس از ورود به محیط نرم افزارهای Excle و Spss مورد پردازش‌های آماری قرار گرفتند به طوری که در ابتدا پارامترهای آماری داده‌های خام، هیستوگرام و منحنی تجمعی عناصر مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله پتانسیل احتمالی هر یک از متغیرها در سطح منطقه با تکیه بر داده‌های خام مشخص گردید. در پی تعبیر و تفسیر داده‌های خام، به دلیل اشکالاتی که داده‌های خارج از رده در ادامه پردازش ایجاد می‌کنند، این مقادیر توسط تلفیقی از روش‌های آماری (نمودارهای جعبه‌ای) و روش مبتنی بر تجربه کارشناسی مورد شناسایی قرار گرفت و سپس به دلیل آنکه یکی از شروط اصلی در مطالعات آماری و به ویژه پردازش‌های چند متغیره، نرمال بودن جامعه مورد بررسی است اقدام به نرمال‌سازی توابع عناصر گردید. ضمن آنکه سعی گردید تا حتی الامکان لطمه‌ای به ماهیت اصلی داده‌ها وارد نشود. در مرحله بعد مطالعات آماری دو متغیره و چند متغیره بر روی توابع عناصر صورت پذیرفت به طوری که ابتدا به بررسی آماری همبستگی داده‌های ژئوشیمیایی به روش اسپیرمن پرداخته شد. در مرحله بعدی به جهت شناسایی هرچه بهتر ارتباط ژنتیکی بین عناصر از روش تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به عامل‌ها استفاده گردید و مولفه‌های اصلی انتخاب و نقشه ناهنجاری‌های فاکتوری ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. در این بین فاکتور اول از لحاظ کانی‌سازی حایز اهمیت می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه فاکتور اول منطقه مورد مطالعه در رسوبات آبراهه‌ای

نتایج بدست آمده از این مطالعات (ضرایب همبستگی پیرسون) دلالت بر آن دارد که در منطقه مورد مطالعه نزدیکترین ردیاب مس، عنصر W می‌باشد که ضریب همبستگی بین این عنصر با عنصر مس در حد نسبتاً بالایی می‌باشد ( $r = 0.68$ ) و پس از آن عناصر Bi, Cd, Mo, Te, Zn از همبستگی‌های نسبتاً خوبی با عنصر مس برخوردار می‌باشند. عنصر Mo نیز بیشترین همبستگی را با عناصر W با ضریب همبستگی  $0.83$  و Bi با ضریب همبستگی  $0.76$  دارا می‌باشد. عناصر Cd, Cu, Pb S, Te, Tl نیز از ضرایب همبستگی نسبتاً بالایی با عنصر مولیبدن برخوردار می‌باشند. بر اساس ضریب همبستگی پیرسون همبستگی Cu, Mo در منطقه در حد نسبتاً بالایی می‌باشد. عنصر طلا نیز با ضریب همبستگی متوسطی در حد  $0.5$  با عناصر Cu, Mo, Pb, Te, Tl, W, S ارتباط است.

ماتریس همبستگی اسپیرمن می‌توان به نتایج زیر رسید:

نزدیک‌ترین ردیاب مس در منطقه مورد مطالعه عناصر W و Sn می‌باشند که دارای ضریب همبستگی متوسط ( $r = 0.56$ ) می‌باشند. این عنصر سپس با عناصر Mn, P و Te همبستگی دارد. عنصر Mo همبستگی نسبتاً خوبی با عناصر W, Bi, Pb, S, Te, Tl و برخوردار است و بیشترین ضریب همبستگی آن با عنصر W می‌باشد که در حد بالایی است ( $r = 0.8$ ) بر اساس ضرایب همبستگی اسپیرمن عناصر Mo و Cu از ضریب همبستگی متوسطی برخوردارند. عنصر طلا نیز با عناصر W, Tl, Mo, Pb, Rb, S, Te همبستگی دارد. ارتباط نسبتاً خوب پاراژنزی بین عناصر Zn, Au, W, Bi, Cu, Mo, Pb, Rb, Te, Tl در منطقه مورد مطالعه می‌تواند دلالت بر وجود احتمالی کانی‌سازی پورفیری داشته باشد. این تحلیل دلالت بر آن دارد که برای کشف مناطق مستعد برای کانسارهای پورفیری می‌توان علاوه بر مجموعه عناصر Cu-Mo بر گروه‌های Au, W, Zn, Tl, Mo, Pb, Bi, Cd و Au-Tl-Bi- روابطی نیز در نظر گرفت که عناصر Mo, Cu با عناصر W, Bi رابطه از نوع تناسب مستقیم (همبستگی مثبت) دارد (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۸).

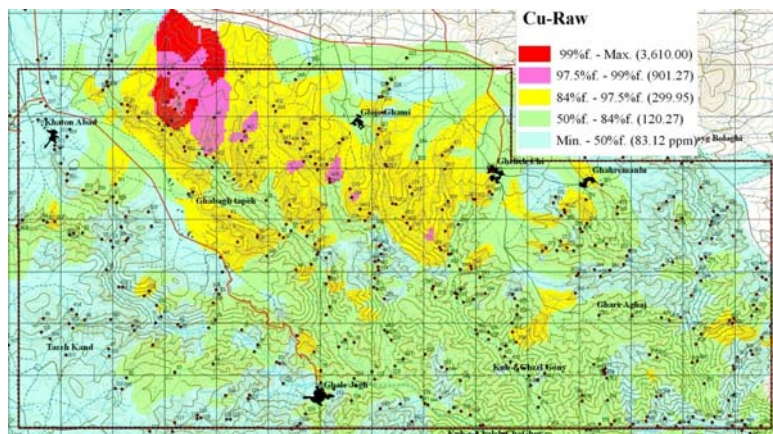
##### ۵- نتایج حاصل از مطالعات کانی سنگین و مینرالیزه

به منظور درک هر چه بهتر موقعیت مکانی و نحوه انتشار کانی‌های کانسار ساز در کل گستره منطقه مورد مطالعه اقدام به ترسیم نقشه کانی سنگین با استفاده از روش‌های رایانه‌ای و بررسی‌های آماری گردید. با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده، کانی‌های با اهمیتی نظیر پیریت، گوتیت، شلیت، همتایت، لیمونیت و نیز منیتیت و پیریت اکسیده به ثبت رسیده است.

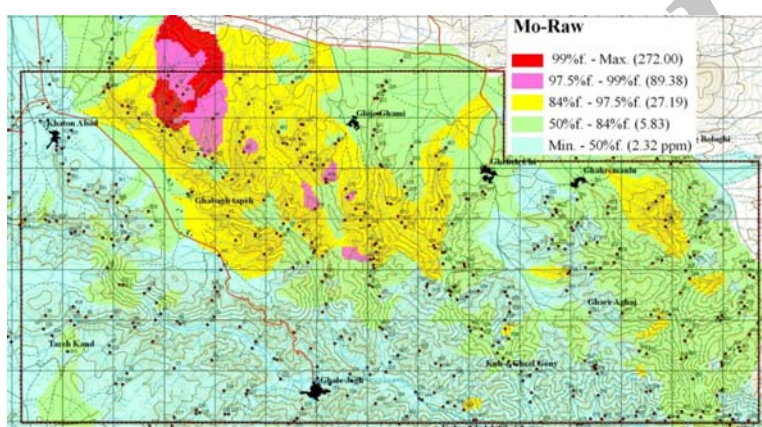
بیشترین پتانسیل کانی‌سازی در نمونه‌های مینرالیزه متعلق به عنصر مس می‌باشد. عناصر منگنز و روی در مکان‌های بعدی قرار می‌گیرند.

##### ۶- نتیجه گیری

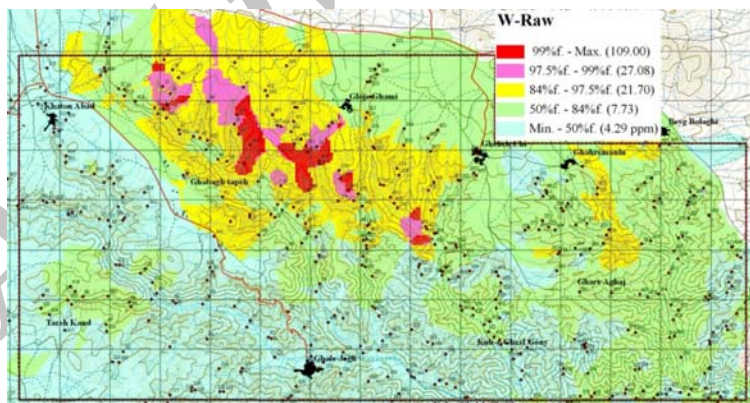
- \* با توجه به مطالعات ژئوشیمی آبراه‌ای در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ عناصر Cu, Mo, W, Bi, Zn, Te و Pb آنومالی‌های کاملاً منطبق بر هم نشان داده‌اند (شکل‌های ۲ تا ۴).
- \* این آنومالی‌ها از جنوب باختر قلیش‌چی با روند شمال باختر با پهنای حدود ۲ تا ۳ کیلومتر ادامه پیدا کرده‌اند.
- \* این آنومالی‌ها انطباق بسیار خوبی با روند نفوذی‌ها و استوک‌های پورفیری در محدوده دارند (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۸).
- \* مقادیر این عناصر نیز نتایج نسبتاً مشابهی با نمونه‌های مینرالیزه برداشت شده در محدوده دارند.
- \* مقادیر حد این آنومالی‌ها برای مس از ۱۲۰ گرم در تن تا ۳/۶ درصد گزارش شده است.
- \* حد شروع آنومالی (۸۴٪ > مقادیر) برای عناصر W, Mo, Zn به ترتیب ۵/۸، ۷/۷ و ۱۳۶ گرم در تن بوده و حداکثر مقدار آن‌ها نیز به ۲۷۲، ۱۰۹ و ۶۶۶ گرم در تن می‌رسد که این مقادیر برای رسوبات آبراه‌ای غنی‌شدگی بسیار خوب و بالایی به نظر می‌رسند.
- \* همچنین مجموعه عناصر ذکر شده در فاکتور اول به همراه Au, Ag, Cd, S و چند عنصر دیگر مشخص شده‌اند.
- \* در مورد طلا نیز می‌توان گفت که این عنصر همراهی ضعیفی چه از نظر توزیع و چه از نظر مقدار با این کانی‌سازی‌ها دارد.



شکل ۲: نقشه آنومالی ژئوشیمی مس در رسوبات آبراه‌های



شکل ۳: نقشه آنومالی ژئوشیمی مولیبدن در رسوبات آبراه‌های

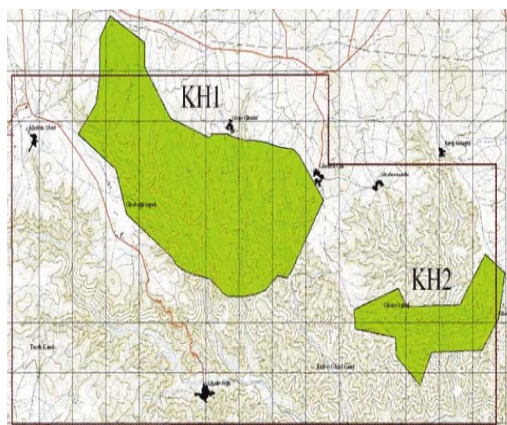


شکل ۴: نقشه آنومالی ژئوشیمی تنگستن در رسوبات آبراه‌های

## ۷- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل شده از مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی‌های کنترل ناهنجاری محدوده‌های آنومالی قباق تپه (KH1) و قره آغاج (KH2) حائز اهمیت به جهت استمرار فعالیت‌های اکتشافی شناخته شدند (شکل ۵) و کارهای اکتشافی ذیل جهت ادامه مطالعات پیشنهاد می‌گردد.

- تهیه نقشه زمین شناسی و آلتراسیون‌ها با وسعت ۲۴ کیلومتر مربع در مقیاس ۱:۵۰۰۰
- تهیه نقشه مقدماتی از طریق فتوژئولوژی مقدماتی و جدایش واحدهای سنگی
- انجام پیمایش‌های به صورت عمود بر واحدهای ساختاری به منظور شناخت و تفکیک واحدهای سنگ چینه‌ای، ولکانیکی، نفوذی و دگرگونی
- شناخت عناصر تکتونیکی به منظور تعیین نحوه کنترل کانی سازی
- حفر گمانه و ترانشه به حجم ۱۵۰ متر مکعب
- برداشت ترانشه‌های بامقیاس ۱:۱۰۰ و اخذ ۵۰ نمونه مینرالیزه و ترسیم برش‌های زمین‌شناسی - معدنی



شکل ۵: نقشه آنومالی ژئوشیمی تنگستن در رسوبات آبراهه‌ای

## ۸- سپاسگزاری

قدردان حمایت‌های فراوان و با ارزش شرکت ملی صنایع مس ایران و مهندسین مشاور کاوشگران هستیم چراکه بدون توجه آنها، این امر میسر نمی‌گشت.

## ۹- منابع

۱. حاج ملاعلی، ا.؛ فرهانی، گ. و جعفری، م.ر.، ۱۳۸۹، نشانه‌هایی از کانی سازی طلا در منطقه ضیاءآباد به روش اکتشافات ژئوشیمیایی (واقع در ورقه یکصد هزارم آوج)، نخستین گردهمایی و همایش ملی بررسی دستاوردهای پژوهشگران علوم زمین ایران، تهران، ایران.
۲. مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۸، اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در منطقه خاتون آباد، شرکت ملی صنایع مس ایران.
۳. مهندسین مشاور زرناب اکتشاف (محل همکاری نگارنده در هنگام انجام پروژه)، ۱۳۸۸، مطالعات زمین شناسی و آلتراسیون محدوده خاتون آباد، شرکت ملی صنایع مس ایران.
4. Cheng, Q. and et al., 2007, Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales.
5. Moinevaziri A. H., 2009, Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in Northwestern Iran, Journal of Geodynamics 47.
6. Lescuyer J. L. and Riou R., 1976, Geologie de la region de Mianeh (Azerbaijan), Contribution de l'etude du Volcanisme tertiaire de l'Iran, these presentee a L'universite scientifique et medical Grenoble.