

# تفسیر و کاربرد اکتشافی داده‌های تجزیه Enzyme Leach<sup>SM</sup> در کانسار چندفلزی آی قله‌سی، جنوب‌خاوری تکاب

محسن شیرخانی<sup>۱</sup>، مجید قادری<sup>۲\*</sup>، نعمت‌اله رشیدزاد عمران<sup>۱</sup> و رامین محمدی نیایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup> بخش اکتشاف، شرکت معدنکاران انگوران، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۴/۰۴

## چکیده

کانسار چندفلزی (Poly metallic) آی قله‌سی در ۳۰ کیلومتری جنوب‌خاوری تکاب و در زون ساختاری ارومیه- دختر قرار گرفته است. برای انجام تجزیه Enzyme Leach<sup>SM</sup> در این کانسار، ۷۷۳ نمونه از افق B خاک برداشت و بر پایه نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها، شش ناهنجاری اکسیداسیونی A-F مشخص شد. پنج محدوده ناهنجاری به‌عنوان اهداف حفاری مشخص شده‌اند، در صورتی که ناهنجاری C برای حفاری مناسب بوده، زیرا توده‌های مدفون بدون غنی‌شدگی روی است. ناهنجاری‌های B و D، دارای مقادیر بالای روی هستند. علت بالا بودن روی در ناهنجاری D، برونزدهای کانی‌سازی روی و وجود باطله‌های معدنی در سطح است. به نظر می‌رسد ناهنجاری‌های B و E بر روی مناطق کانی‌سازی شده مدفون (در ژرفای کم) قرار گرفته‌اند. ناهنجاری‌های A، C و F دارای مقدار بسیار کمی روی هستند. ناهنجاری A ممکن است بر روی یک زون پنهان کانی‌سازی روی قرار گرفته باشد که در ژرفای زیادی مدفون شده است، به همین دلیل یکی از اولویت‌های حفاری است. ناهنجاری F برای حفاری مناسب نیست، زیرا به نظر می‌رسد که این زون کانی‌سازی بسیار باریک باشد.

**کلیدواژه‌ها:** آتزم لیچ، ناهنجاری اکسیداسیونی، آی قله‌سی، تکاب.

\*نویسنده مسئول: مجید قادری

## ۱- مقدمه

کانسار چندفلزی آی قله‌سی با مشخصات جغرافیایی ۴۷° ۱۸' تا ۴۷° ۲۲' طول خاوری و ۳۶° ۱۷' تا ۳۶° ۲۳' عرض شمالی، در ۳۰ کیلومتری جنوب‌خاوری تکاب و بخش شمال‌باختری زون ارومیه- دختر قرار گرفته است (شکل ۱). این کانسار در شمال روستای آی قله‌سی و در واحدهای رسوبی الیگومیوسن که توسط گنبد نیمه‌ژرف داسیتی پلیوسن مورد هجوم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است (حیدری، ۱۳۷۶). بخش عمده کانه‌زایی در طول گسلی نرمال با روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر، به طول بیش از ۱ کیلومتر و عرض بین ۲ تا ۱۰ متر مشاهده می‌شود (شکل ۲).

## ۲- زمین‌شناسی

بر پایه نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ آی قله‌سی (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۵)، قدیمی‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه را سنگ‌های دگرگون شده کرتاسه با ترکیب فیلیت، اسلیت و شیست تشکیل داده‌اند (شکل ۲). توده‌ای نفوذی با ترکیب مسکویت‌گرانیت به سن پس از ائوسن در شمال‌خاور روستای آی قله‌سی به درون واحد دگرگون‌شده کرتاسه نفوذ کرده است که در بخش حاشیه جنوب‌باختری خود پگماتیتی شده است (شکل ۳). عمده‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه، توالی رسوبی الیگومیوسن است که از سیلتستون، ماسه سنگ و سنگ آهک با میان‌لایه‌های نازک کنگلومرایی تشکیل شده است و سنگ درون‌گیر ماده معدنی است (شکل ۳). فعالیت ماگمایی در پلیوسن با تشکیل آندزیت‌بازالت، داسیت و ریوداسیت توف قطه‌سنگی (Lithic tuff) ادامه پیدا کرده که نفوذ گنبد نیمه‌ژرف داسیتی به درون توالی رسوبی الیگومیوسن باعث ایجاد دگرسانی‌های مختلف و کانه‌زایی سرب، روی، نقره (و عناصر همراه) شده است (شکل ۴). در نهایت برونزد چشمه‌های فعال گوگردساز و تراورتنی عهد حاضر در شمال‌باختر روستای آی قله‌سی، نشانگر وجود محیط زمین‌گرمایی (Geothermal) فعال در منطقه است.

## ۳- کلیات روش

تجزیه Enzyme Leach<sup>SM</sup> روشی است برای اکتشاف کانسارهای مدفون در زیر سطح زمین تا ژرفای بیش از یک کیلومتر. در این روش اکتشافی با نمونه‌برداری از افق B خاک (و یا حتی سنگ بستر) و تجزیه نمونه‌ها به روش Enhanced ICP-MS، الگوهای پراکندگی عناصر مرتبط با توده‌های نفوذی مدفون، شامل کانسارهای زیرسطحی مشخص می‌شود (شکل ۵). این الگوها در پاسخ به فعالیت سلول‌های الکتروشیمیایی (توده‌های مدفون) فعالی به‌وجود می‌آیند که به‌وسیله اکسایش و اکسایش زیستی خود تقویت می‌شوند (Clark, 1993; Hill, 2002).

هنگامی که یک توده نفوذی، الکترون‌ها را به سطح زمین گسیل می‌دارد، یک دودکش (pipe) به‌طور عمودی بر روی آن توده تشکیل می‌شود. مواد فرار شامل عناصر سری اکسایش، که در حدفاصل محیط اکسایش-احیا تشکیل شده‌اند، به‌طور عمودی در طول و خارج از محدوده دودکش به سمت بالا حرکت می‌کنند. وقتی مواد فرار به سطح زمین می‌رسند، بخشی از آنها درون اکسیدهای بی‌شکل (Amorph) (به‌طور عمده اکسیدهای آهن و منگنز) که سطح ذرات سیلت و ماسه را پوشانده‌اند، به دام می‌افتند (شکل ۶) و باعث تشکیل هاله‌ها در اطراف پخش مرکزی می‌شوند (Clark et al., 2000). فعالیت دوباره توده باعث پراکندگی دوباره بعضی عناصر (که در حال حاضر در سطح وجود دارند) به درون هاله‌ها و زون‌های تهی‌شدگی می‌شود. بعضی عناصر نیز به‌طور مستقیم در بالای توده‌ها یا گسل‌ها، ناهنجاری تشکیل می‌دهند. اصطلاح ناهنجاری اکسایش به ترکیب این الگوها اشاره می‌کند. الگوهای ناهنجاری اکسایش به‌وسیله هاله‌های اکسایشی که دست‌کم دارای بخشی از عناصر سری اکسایش، مثل کلر، برم، ید، مولیبدن، آرسنیک، آنتیموان، تنگستن، رنیم، وانادیم، سلنیم، تلوریم، اورانیم و توریم هستند، مشخص می‌شوند (Clark, 1997). در جایی که سلول‌های الکتروشیمیایی بزرگ (توده‌های نفوذی) وجود دارند، بعضی یا تمام فلزات، عناصر خاکی کمیاب، عناصر سنگ‌دوست (Lithophile)، فلزات قیمتی و عناصر گروه پلاتین، به داخل هاله‌های اکسایشی مهاجرت خواهند کرد. هاله‌های اکسایشی به‌طور عمده نامتقارن هستند؛ افزون بر این، در جایی که یک سلول

ناهنجاری B وجود دارد که در این نقطه نه تنها روی، سرب و کادمیم، بلکه مس و منگنز نیز با روندهای شمال-شمال‌خاوری افزایش دارند.

غنی‌شدگی شدیدی از عنصر روی در ناهنجاری E وجود دارد. فلزات پایه دیگر شامل سرب، مس، کادمیم و عناصر سنگ‌دوست (لیتوفیل) سزیم و منگنز همراه با عناصر سری اکسایش تلوریم، آنتیموان، طلا و آرسنیک در این ناهنجاری خطی با روند شمال‌خاوری، غنی‌شدگی چشمگیری نشان می‌دهند. نیکل غنی‌شدگی ضعیفی در هاله اطراف ناهنجاری E دارد.

میزان روی موجود در ناهنجاری‌های A و F بسیار پایین‌تر از ناهنجاری‌های B، D و E است، بنابراین به نظر می‌رسد کانی‌سازی روی در این دو ناهنجاری در زرف‌های بیشتری صورت گرفته است. در ناهنجاری F، علاوه بر روی، فلزاتی همچون سرب، مس، کادمیم، تالیم و عناصر سری اکسایش تنگستن، غنی‌شدگی خطی دارند. فلزات در طول ناهنجاری F دارای منطقه‌بندی هستند، برای مثال سرب در بخش جنوب‌باختری گسترش خوبی دارد، در صورتی که مس و روی در بخش‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری و تالیم در بخش مرکزی ناهنجاری F گسترش دارند (Hill, 2002). روی به همراه سرب، مس، کادمیم، تالیم، نیکل و قلع در هاله‌های اطراف ناهنجاری A پراکنده شده‌اند. بر خلاف ناهنجاری‌های B، D، E و F، ناهنجاری A فاقد غنی‌شدگی خطی فلزات پایه‌ای است که به وسیله هاله‌های اکسایشی احاطه می‌شوند. قلع و نیکل در هاله‌های اطراف ناهنجاری C غنی‌شدگی دارند. در مورد نیکل، هاله به بهترین نحو به وسیله تپی‌شدگی نیکل در بخش مرکزی مشخص می‌شود. غنی‌شدگی مشخصی از دیگر فلزات پایه در این ناهنجاری وجود ندارد (شکل ۷-۵).

#### ۶- عناصر سری اکسایش

هاله‌های اکسایشی در ناهنجاری‌های A و B، یعنی در جایی که عناصر سری اکسایش طلا، آرسنیک و آنتیموان در هاله‌های بی‌شکل و غیرممتد پراکنده شده‌اند، گسترش دارند. این نوع هاله‌ها، شاخص ناهنجاری‌های اکسایشی است و گسل و شکستگی‌هایی را منعکس می‌نماید که عناصر مزبور از آن مجرا عبور کرده‌اند (Clark et al., 2000; Gale et al., 2004).

آرسنیک، طلا، آنتیموان و تلوریم در ناهنجاری‌های D و E به شکل خطی، دارای غنی‌شدگی هستند (شکل ۸-الف، ج و د). برم و کلر به شکل هاله‌ای در ناهنجاری B غنی‌شدگی دارند. هاله کلر دارای انحراف کمی به سمت جنوب‌خاوری است که نشان می‌دهد توده کانی‌سازی شده زرفی ممکن است در اینجا وجود داشته باشد. ید نیز در ناهنجاری‌های B و C پراکنده شده است. جیوه به صورت هاله‌هایی در ناهنجاری‌های A و C و بخش مرکزی ناهنجاری‌های B و D وجود دارد. رنیم با روندی شمالی همراه با ناهنجاری A و نزدیک به مرکز ناهنجاری F وجود دارد.

تنگستن به شدت در هاله‌های غیرممتدی در ناهنجاری A و به صورت خطی در ناهنجاری F گسترش دارد. این روند خطی تنگستن نسبت به روند فلزات پایه در این ناهنجاری، کمی مایل به سمت شمال است (شکل ۸-و). وانادیم در هاله‌هایی در ناهنجاری‌های A، B، D و E غنی‌شدگی دارد (شکل ۸-ه). پراکنده‌گی این عنصر می‌تواند بیانگر چندین مرز ساختاری و زمین‌ساختی در زیر سطح باشد. وجود قلع، تنگستن و وانادیم در اطراف ناهنجاری‌های A، C و F ممکن است نشانگر وجود توده نفوذی مدفون در اطراف این ناهنجاری‌ها و جنوب زون کانه‌زایی باشد.

#### ۷- عناصر سنگ‌دوست

پراکنده‌گی عناصر سنگ‌دوست مانند منگنز، سزیم و استراتسیم به وسیله نقاط مثبت و منفی و همچنین روندهای خطی باریکی مشخص شده است. این گروه از عناصر،

اکسایشی قوی در زیر سطح وجود دارد، بیشتر هاله‌های متداخل به وجود می‌آید که تفسیر آن بسیار مشکل است.

اهمیت روش بالا در سال‌های اخیر با کشف ذخایر نفت و گاز (Clark & Hill, 2000) و کانسارهای مختلف از جمله طلا و نقره تپ ای‌تریما در کانادا و مکزیک (Gale et al., 2004)، مس پورفیری در آریزونا، عناصر گروه پلاتین در وایومینگ و الماس در استرالیا (Eccles, 1998) بیشتر نمایان می‌شود. برای شناسایی و اکتشاف کانسارهای مختلف، عناصر متفاوتی بررسی می‌شوند. به عنوان مثال، برای اکتشاف کانسارهای مس پورفیری، از ترکیب نتایج عناصر رنیم (که بیشتر، هاله‌هایی بر روی حاشیه کانسارهای مس پورفیری تشکیل می‌دهد)، تالیم (برای مشخص کردن استوک‌های زیرسطحی)، نیوبیم (برای تعیین موقعیت ساختارهای ژرف زمین‌شناسی، مانند گسل‌های ژرف) و مس استفاده می‌شود. برای شناسایی کانسارهای عناصر گروه پلاتین از عناصر پلاتین، کبالت، اسیم و سزیم و برای شناسایی کانسارهای الماس، بیشتر از الگوی پراکنده‌گی لاتانیم (که بیشتر، هاله‌هایی بر روی توده‌های مدفون فوق پتاسیمی تشکیل می‌دهد)، استفاده می‌شود (Activation Laboratories website: www.enzymeleach.com).

#### ۴- شبکه نمونه‌برداری و عناصر مورد بررسی

برای انجام تجزیه<sup>Enzyme Leach</sup> در محدوده معدنی آی‌قله‌سی، ۷۲۳ نمونه از افق B خاک با هزینه شرکت معدنکاران انگوران و توسط شرکت کانادایی WGM برداشت شده است. نمونه‌برداری‌ها به فاصله ۵۰ متر از هم و در طول ۲۰ خط پیمایش با امتداد شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، عمود بر روند زون کانه‌زایی صورت گرفته است. در بخش‌های شمالی شبکه، یعنی اطراف و شمال زون اصلی کانی‌سازی (در مجاورت ساختمان قدیمی معدن) فاصله بین نقاط پیمایش ۱۰۰ متر است، در صورتی که در بقیه نقاط شبکه، این فاصله ۲۰۰ متر است (شکل ۲).

برای بالا بردن دقت تجزیه، ابتدا نمونه‌ها به صورت selective leach انتخاب و سپس به روش Enhanced ICP-MS در Activation Laboratories, Ontario, Canada تجزیه شدند. بر پایه نمونه‌برداری بالا، شش ناهنجاری A تا F مشخص شدند (Hill, 2002). جدول ۱ فهرست عناصری است که به طور متفاوت در ناهنجاری‌های A تا F پراکنده شده‌اند. ناهنجاری‌های بالا بیشتر به وسیله فلزات پایه و عناصر سری اکسایش ایجاد شده‌اند، گرچه وجود مقدار کمی از عناصر سنگ‌دوست و PGE و الگوهای متفاوتی را همراه با بعضی ناهنجاری‌ها به وجود می‌آورد.

در محدوده آی‌قله‌سی، علاوه بر مطالعه یاد شده، روش ژئوفیزیکی IP نیز مورد استفاده قرار گرفته که بر اساس آن، موقعیت نقاط دارای ناهنجاری بالای IP توسط شرکت معدنکاران انگوران در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

#### ۵- فلزات پایه

عنصر روی در پنج ناهنجاری A، B، D، E و F غنی‌شدگی مشخصی دارد و بیشترین غنی‌شدگی آن مربوط به ناهنجاری D است که منطبق بر معدن متروکه آی‌قله‌سی است (شکل ۷-الف). غنی‌شدگی روی در این ناهنجاری به گسترش کارهای معدنی در نیمه جنوب‌باختری و پهنه دگرسانی در سطح نیمه شمال‌خاوری ارتباط دارد (کوزه‌کنانی و همکاران، ۱۳۶۸). نزدیک به مرکز ناهنجاری D، با روندی شمالی، میزان روی همراه با سرب، کادمیم و طلا افزایش چشمگیری دارد. افزایش قابل توجه عناصر کانه‌ساز در زیر سطح، ممکن است نشانگر محل تقاطع ساختارها، مانند گسل‌های زیرسطحی باشد (Williams, 2002). ناهنجاری C فاقد مقدار قابل توجهی روی است (شکل ۷-ب، د). ناهنجاری خطی مشابه دیگری نزدیک به مرکز

در انتها با بررسی برخی عناصر در طول دو مقطع عرضی 'A-A' و 'B-B' (شکل های ۱۰ و ۱۱) مشخص شد که عناصر سرب، روی، مس، طلا، نقره، کادمیم، جیوه، آرسنیک و آنتیموان در طول زون اصلی کانه‌زایی دارای بیشترین غنی‌شدگی هستند، در صورتی که میزان تنگستن و وانادیم با دور شدن از زون کانه‌زایی افزایش می‌یابد.

#### ۱۰- نتیجه‌گیری

بالا بودن مقدار روی، سرب و مس در ناهنجاری‌های A، B، D و E به همراه نتایج حاصل از روش ژئوفیزیکی IP نشان می‌دهد که حفاری در هر یک از این ناهنجاری‌ها ممکن است نتیجه‌بخش باشد.

وجود لاتنانیم همراه با عناصری مثل استرانسیم و قلع در ناهنجاری C بیانگر آن است که توده‌ای نفوذی در ژرفای این ناهنجاری وجود دارد. به علت نبود مقدار قابل توجهی روی و دیگر فلزات پایه در این ناهنجاری، ناهنجاری C به‌عنوان هدفی برای حفاری توصیه نمی‌شود، با این حال این امر به بررسی بیشتری نیازمند است. به علت استحصال روی در گذشته همراه با نتایج تجزیه Enzyme Leach، برای ناهنجاری D به‌عنوان اصلی‌ترین هدف اکتشافی، حفاری توصیه می‌شود. این داده‌ها نشان می‌دهد که مرز کانی‌سازی روی می‌تواند در امتداد کارهای معدنی قدیمی (N35E)، بویژه در انتهای شمالی باشد (شکل ۱۰).

ناهنجاری‌های B و E می‌توانند تا جنوب‌باختری ناهنجاری D، یعنی ادامه‌گسترش ناهنجاری D، در نظر گرفته شوند که برای هر یک، بررسی بیشتر ضروری به‌نظر می‌رسد. ناهنجاری B ممکن است زون کانی‌سازی شده گسترده‌ای را نشان دهد که به‌وسیله ساختارهایی با روند شمال-شمال‌خاور، مشابه ناهنجاری D، کنترل می‌شود. ناهنجاری E به خوبی درک نشده است، زیرا موقعیت آن نزدیک حاشیه شبکه نمونه‌برداری است. با این وجود، مقادیر بالای روی و روند یکسان آن با جهت کانی‌سازی اصلی، از دلایلی است که اهمیت این ناهنجاری را مشخص می‌نماید (Hill, 2002).

ناهنجاری A با توجه به داشتن مقدار قابل توجهی روی و هاله‌های اکسایشی قوی، جلب توجه می‌کند. وجود منطقه‌بندی در هاله‌های اکسایشی نسبت به یکدیگر، نشانگر وجود یک سلول اکسایشی قوی است. برای مثال، هاله‌های طلا و آرسنیک از نظر شعاع گسترش، تفاوت کمی دارند. اگرچه میزان روی در این ناهنجاری بسیار پایین‌تر از ناهنجاری‌های B، D و E است، با این حال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا با توجه به وجود عناصر طلا، نقره، آرسنیک و آنتیموان در سطح، این ناهنجاری می‌تواند نشانگر پهنه گسترده‌ای از کانی‌سازی روی در ژرفای بیشتر باشد.

ناهنجاری F ممکن است یا یک زون به نسبت باریک کانی‌سازی روی یا شیب زیاد، مشابه رگه‌های سیلیسی-سولفیدی زون اصلی کانی‌سازی باشد و یا به احتمال یک گسل کانی‌سازی نشده که کانی‌سازی روی را در زیر زمین قطع کرده است. این ناهنجاری در اولویت اکتشافی قرار نمی‌گیرد.

مثال موردی کانسار چندفلزی آی‌قله‌سی، نشان می‌دهد تجزیه Enzyme Leach می‌تواند در اکتشاف کانسارهای مدفون در زیر سطح زمین تا ژرفای بیش از یک کیلومتر بسیار راهگشا باشد. در این روش اکتشافی، با نمونه‌برداری از افق B خاک (و یا حتی سنگ بستر) و تجزیه نمونه‌ها به روش Enhanced ICP-MS، الگوهای پراکندگی عناصر مرتبط با توده‌های نفوذی مدفون، شامل کانسارهای زیرسطحی مشخص می‌شود. این الگوها در پاسخ به فعالیت سلول‌های الکتروشیمیایی (توده‌های مدفون) فعالی به‌وجود می‌آیند که به‌وسیله اکسایش و اکسایش زیستی (بیواکسیداسیون) خود تقویت می‌شوند. وقتی مواد فرار به سطح زمین می‌رسند،

بیشتر بر پایه تغییرات زیرسطحی در سنگ‌شناسی، میزان زمینه متغیری دارند. عناصر سنگ‌دوست همچنین می‌توانند گسل‌هایی را نشان دهند که ممکن است به‌وسیله دیگر عناصر نشان داده نشوند (Hill, 2002). برای درک بهتر ساختارهای زیرسطحی و ارتباط این ساختارها با کانه‌زایی، پراکندگی صفحه‌ای این عناصر بر پراکندگی عنصر روی قرار داده شده است (شکل ۹-الف). بر پایه شکل ۹-الف، روند خطی برخی از عناصر سنگ‌دوست کاملاً با پهنه کانه‌زایی منطبق است.

علاوه بر عناصر سنگ‌دوست بالا، به‌وسیله عنصر تالیوم می‌توان جهت حرکت آپوفیزهای خارج شده از توده نفوذی را مشخص نمود. با توجه به شکل ۹-ب، آپوفیزهای خارج شده از توده نفوذی مدفون (اطراف ناهنجاری C)، دارای جهت شمال‌باختری و عمود بر روند زون کانه‌زایی هستند.

#### A- عناصر مقاوم به هوازدگی

عناصر مقاوم به هوازدگی (High Field Strength Elements) مانند زیرکیم، هافنیم، نیوبیم، تالیوم، قلع و مولیبدن، به دلیل نسبت بالاتر مقدار بار به اندازه (charge/size)، رفتار ژئوشیمیایی متمایزی از خود نشان می‌دهند که به‌طور مشخص با گروه‌های عنصری دیگر تفاوت دارد. ویژگی‌های این عناصر، از آنها ردیاب‌های ژئوشیمیایی مهمی در تشخیص برخی پدیده‌ها از جمله فرایندهای زون فرورانش، سازوکارهای تشکیل سیارات و موازنه جرمی در تفریق اولیه زمین‌ساختی ساخته است. پیشرفت‌های اخیر در تجهیزات آزمایشگاهی، فرصت‌های جدیدی برای اندازه‌گیری غلظت HFSE و ترکیب ایزوتوپی آنها فراهم آورده است. کاربردهای جدید شامل موارد ذیل است: ۱- استفاده از نسبت‌های HFSE مانند نسبت نیوبیم به تالیوم و زیرکن به هافنیم به عنوان ردیاب‌های زمین‌شناسی؛ ۲- استفاده از ایزوتوپ‌های HFSE در زیرکن به‌عنوان ردیاب برای تعیین میزان رشد پوسته؛ ۳- دماسنجی HFSE (Thermometry) مانند تیتانیوم در زیرکن و زیرکیم در روتیل؛ ۴- کاربرد در تعدادی از سامانه‌های رادیوآکتیو موجود و از بین رفته مانند لوتسیم-هافنیم، هافنیم-تنگستن و نیوبیم-زیرکیم برای طیف وسیعی از مشکلات زمین‌شناسی و کیهان‌شناختی.

در کانسار آی‌قله‌سی، عناصر بالا، الگوری مشخصی را شکل نمی‌دهند. بعضی از آنها مانند زیرکیم و تیتانیوم به مقدار کم در بعضی ناهنجاری‌های حوزه اکسیدان غنی‌شدگی دارند، ولی پراکندگی آنها مشخص نیست. زیرکیم معمولاً در هاله‌های اکسایشی در بالای توده مدفون به‌صورت زون‌های تهی شده کوچک قابل مشاهده است.

#### ۹- عناصر خاکی کمیاب

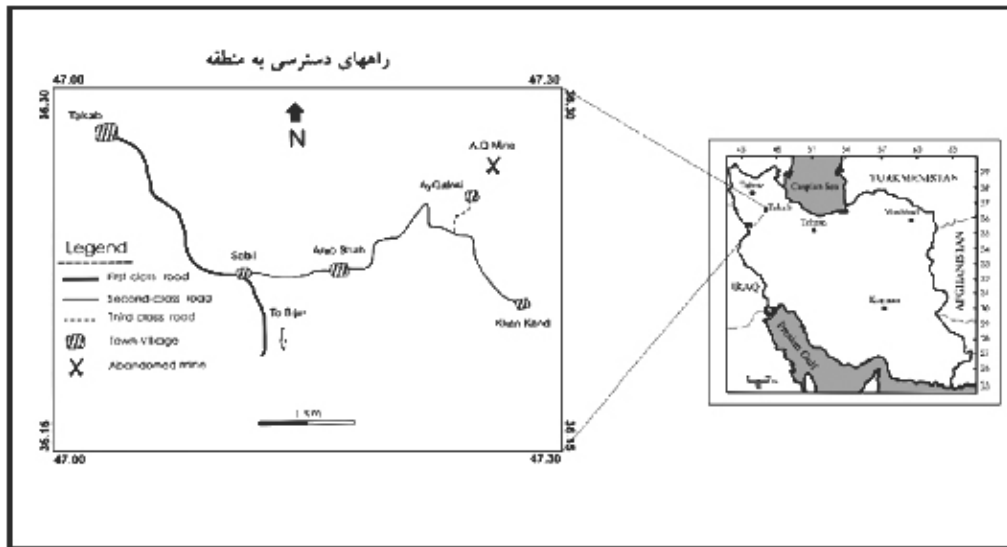
عناصر خاکی کمیاب از عناصری با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ (لاتنانیم تا لوتسیم) تشکیل شده‌اند. علاوه بر این عناصر، عنصر ایتربیم (Y) با شعاع یونی مشابه با هولیم (Ho) جزو عناصر خاکی کمیاب در نظر گرفته می‌شود. این عناصر به سه گروه اصلی زیر تقسیم می‌شوند: ۱- عناصر خاکی کمیاب سنگین با عدد اتمی بالا (HREE)؛ ۲- عناصر خاکی کمیاب متوسط با عدد اتمی متوسط (MREE) از ساماریم (Sm) تا هولیم (Ho)؛ ۳- عناصر خاکی کمیاب سبک با عدد اتمی پایین (LREE)، که از سه گروه یاد شده، عناصر خاکی کمیاب سبک و سنگین کاربرد بیشتری دارند (Rollinson, 1993).

عناصر خاکی کمیاب تمایلی به غنی‌شدگی در ناهنجاری‌های A، B، D و E و F ندارند. تنها لاتنانیم در هاله‌ای اکسایشی در ناهنجاری C غنی‌شدگی دارد، اما عناصر خاکی کمیاب سنگین‌تر در این ناهنجاری وجود ندارند. اندازه‌گیری نسبت‌هایی مانند  $Eu/Eu^*$  و  $La/Ye$  نشانگر هاله اکسایشی در ناهنجاری C است و نشان می‌دهد که این ویژگی ژئوشیمیایی، به‌وسیله توده نفوذی مدفون ایجاد یا کنترل شده است.

گروه پلاتین به داخل هاله‌های اکسایشی مهاجرت خواهد کرد.  
**سپتاکزآوری**

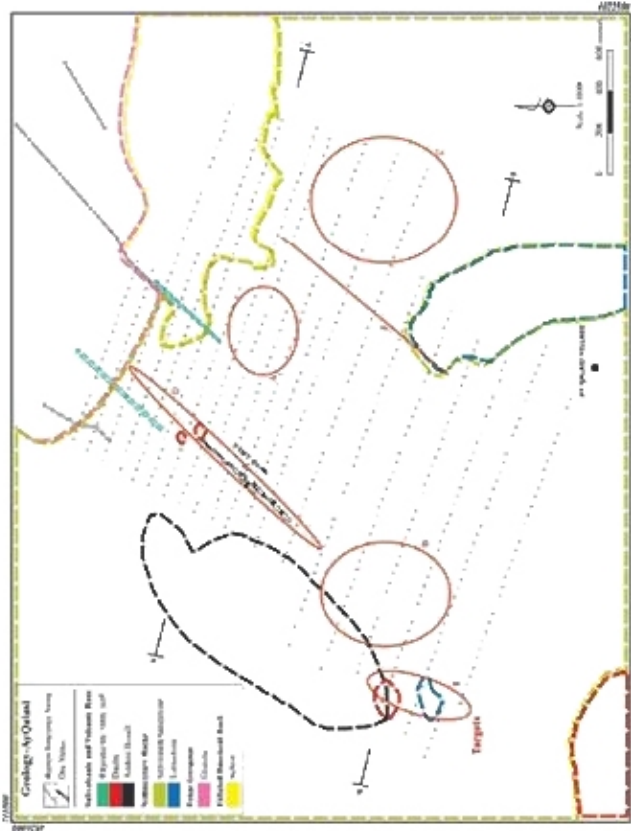
از مسئولان و کارشناسان محترم شرکت معدنکاران انگوران به‌دلیل ارائه تسهیلات و امکانات برای انجام این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

بخشی از آنها در درون اکسیدهای بی شکلی که سطح ذرات سیلت و ماسه را پوشانده‌اند، به دام می‌افتد و باعث تشکیل هاله‌ها در اطراف بخش مرکزی می‌شوند. در جایی که سلول‌های الکتروشیمیایی بزرگ (توده‌های نفوذی) وجود دارند، بخشی یا تمام فلزات، عناصر خاکی کمیاب، عناصر سنگ‌دومست، فلزات قیمتی و عناصر



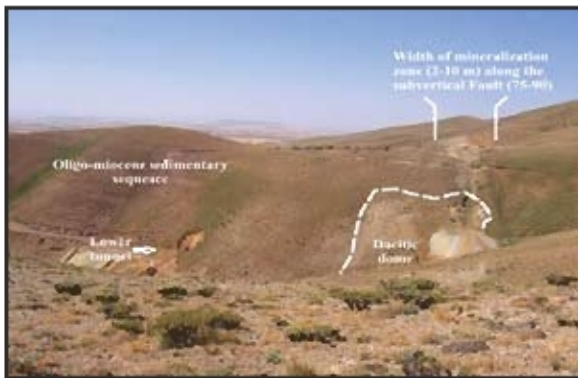
شکل ۱- راه‌های دسترسی به محدوده معدنی آرانکند

جدول ۱- فهرست عناصری که به‌طور متفاوت در ناخنجاری‌های A تا F پراکنده شده‌اند.



شکل ۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی کانسار آرانکند. در این شکل، شبکه نمونه‌برداری، روند زون کانه‌زایی همیری واحدهای سنگ‌شکنشی و موقعیت ناخنجاری‌های مختلف نشان داده شده است.

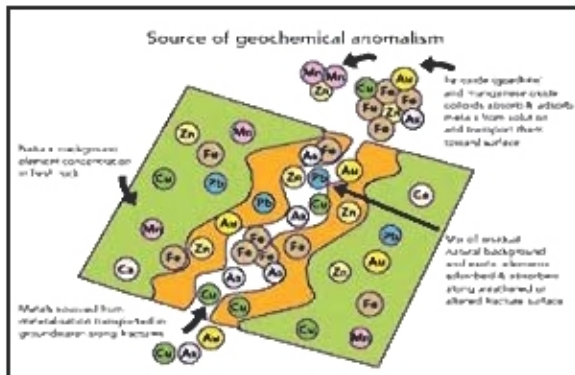
Anomalies					
A	B	C	D	E	F
<b>Metals</b>					
Cd	Cd		Cd	Cd	Cd
Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
Ni	Ni	Ni		Ni	
Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb
Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	
Tl	Tl	Tl	Tl	Tl	Tl
Zn	Zn		Zn	Zn	Zn
<b>Oxidation state</b>					
As	As		As	As	
Au	Au		Au	Au	
Hg	Hg	Hg	Hg		
I	I	I			
Re		Re			Re
Sb	Sb		Sb	Sb	
	Te		Tb	Tb	
V	V		V	V	
W	W				W
<b>Lithophile Elements</b>					
			Cu	Cu	
	Mn	Mn		Mn	
Sr	Sr	Sr			
<b>High Field Strength Elements</b>					
			Zr		
<b>PGE</b>					
Pt					
Ru			Ru	Ru	



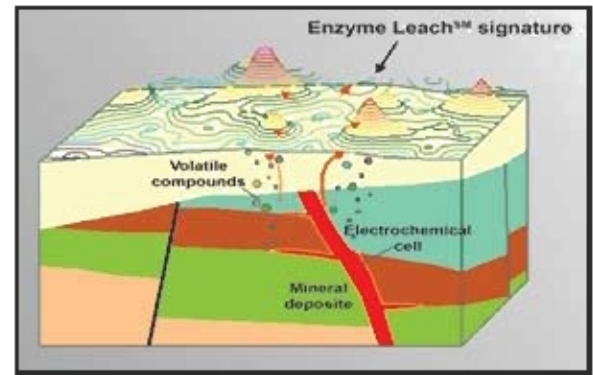
شکل ۲- لوز گنید نیمه ژرف حاصلی به مرور توالی آتشفشانی-وسوی الیگومیوسن و دگرسانی و کانه زایی مرتبط با آن



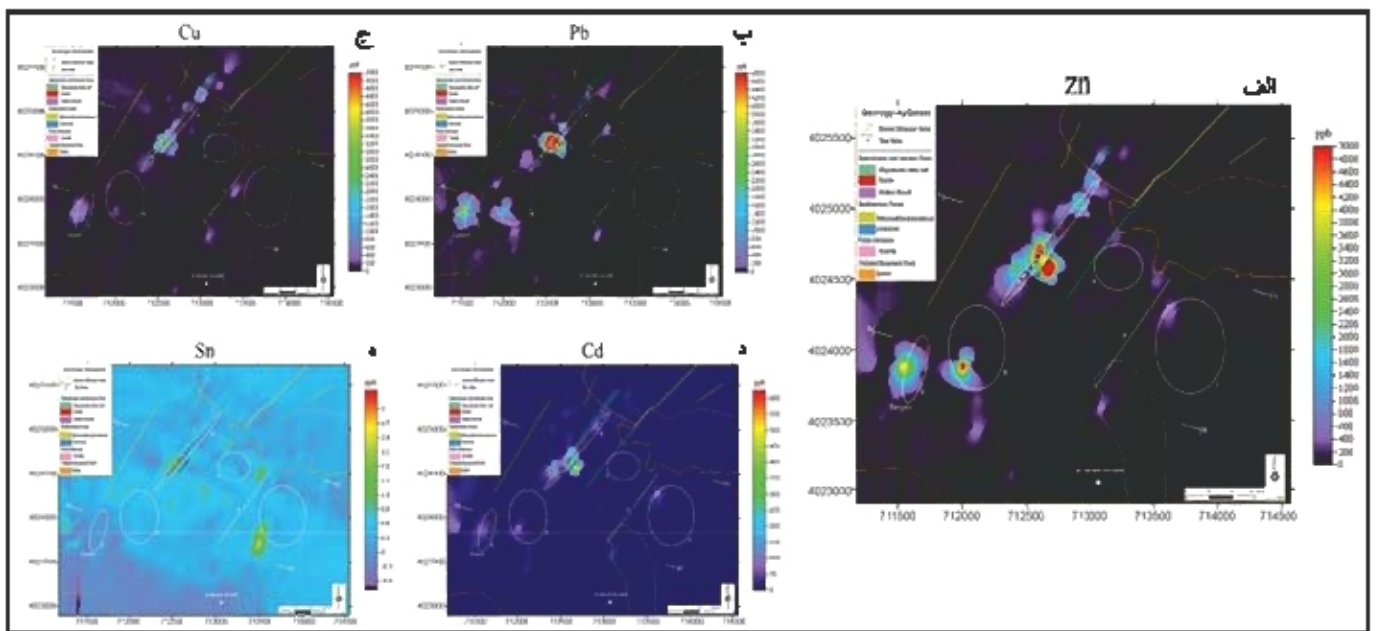
شکل ۳- نمایی کلی از محدوده معدنی آی قلمه سی، روند زون کانه زایی و واحدهای سنگی تشکیل دهنده آن



شکل ۴- نحوه جذب عناصر مختلف توسط اکسیدهای آهن (به طور عمده گروتیت) و منگنز از آب های زیر زمینی که فلزات را از حلال شکستگی ها به سطح زمین حمل می کند. (ALS-Chemex, 2002)

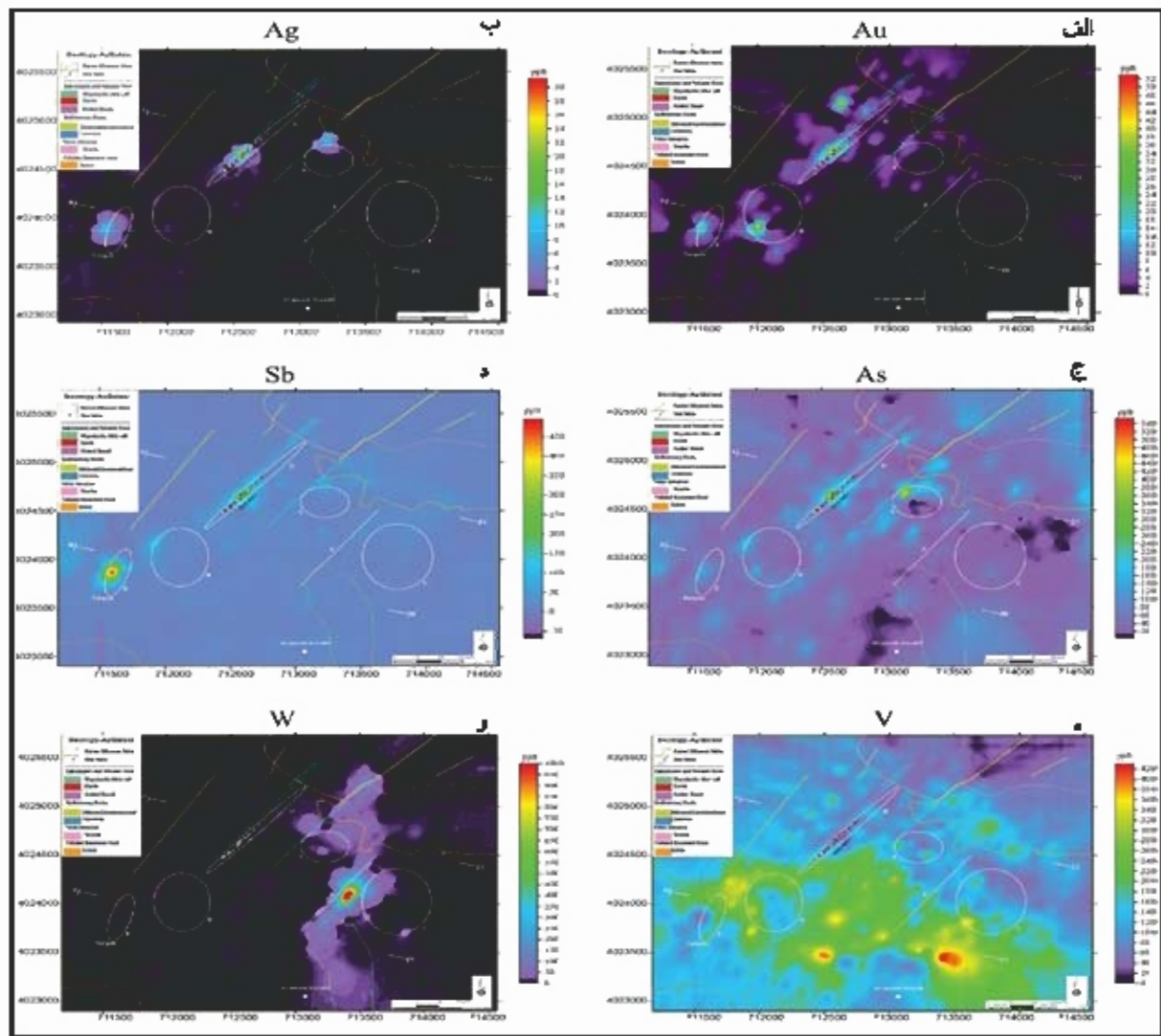


شکل ۵- نحوه تشکیل ناهنجاری های اکسایشی بر اثر فعالیت توده نفوذی معدن (سلول الکتروشیمیایی) که ممکن است دارای کانه زایی نیز باشد. (www.enzymeleach.com)

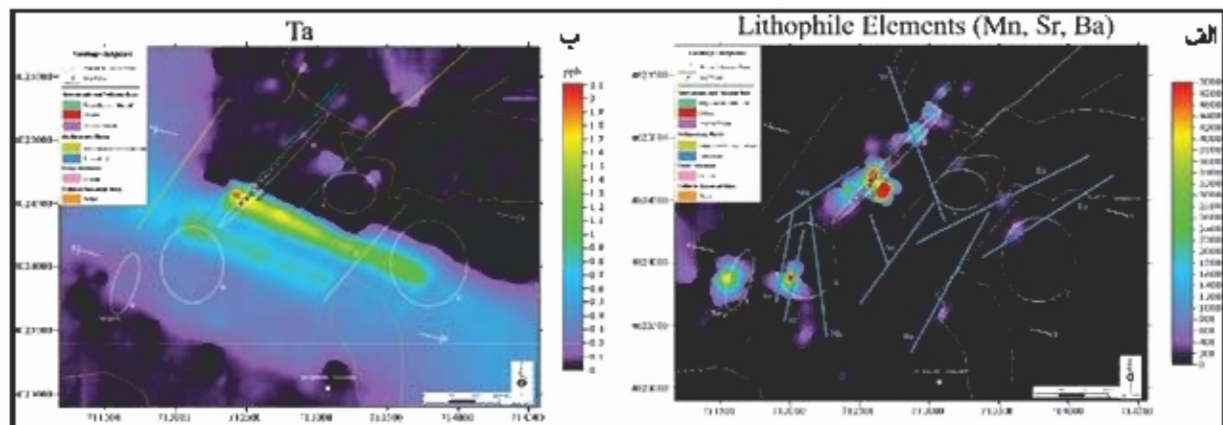


شکل ۶- الف تا ه) پراکنش فلزات در ناهنجاری های A تا E روی سرب، مس و کادمیم دارای بیشترین مقدار در اطراف ناهنجاری های B، D و E هست که منطبق بر زون کانه زایی می باشد. بیشترین مقدار لئوس در اطراف ناهنجاری C وجود دارد که نشانگر وجود توده نفوذی در اطراف این ناهنجاری است.

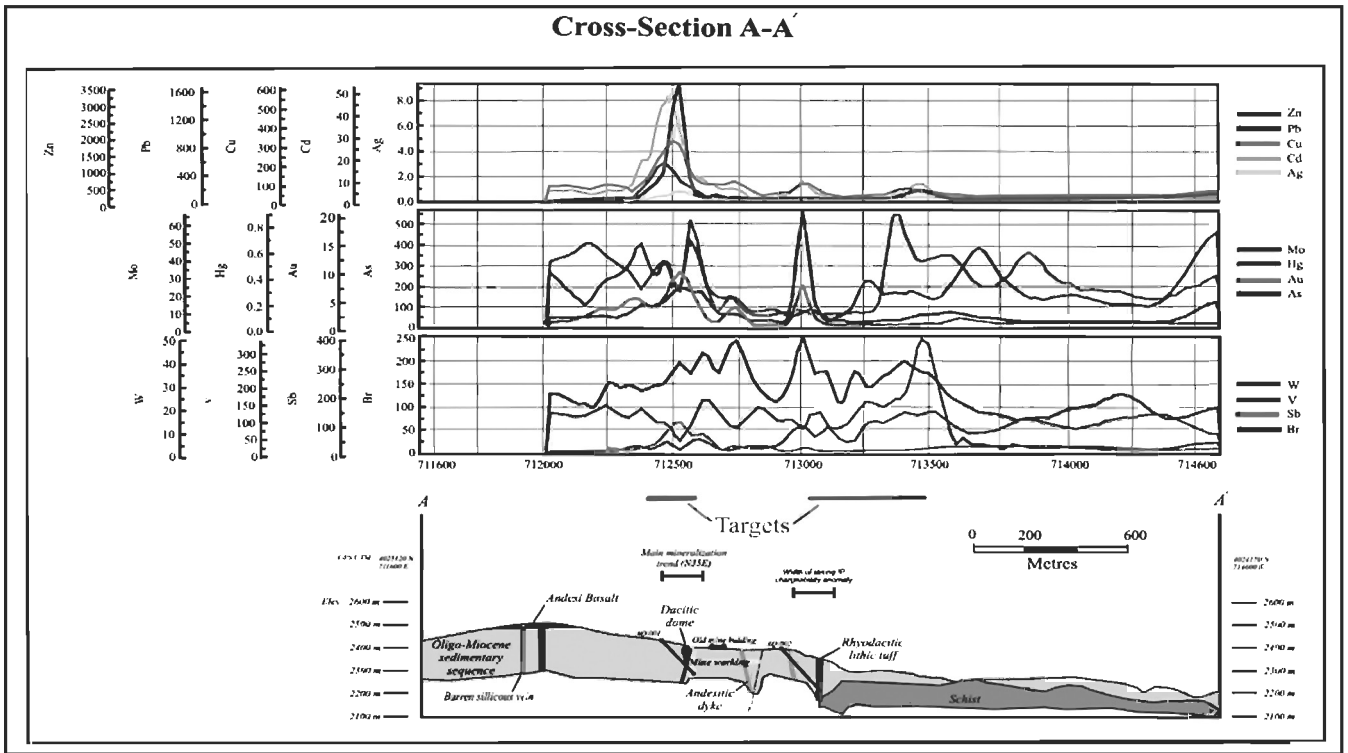




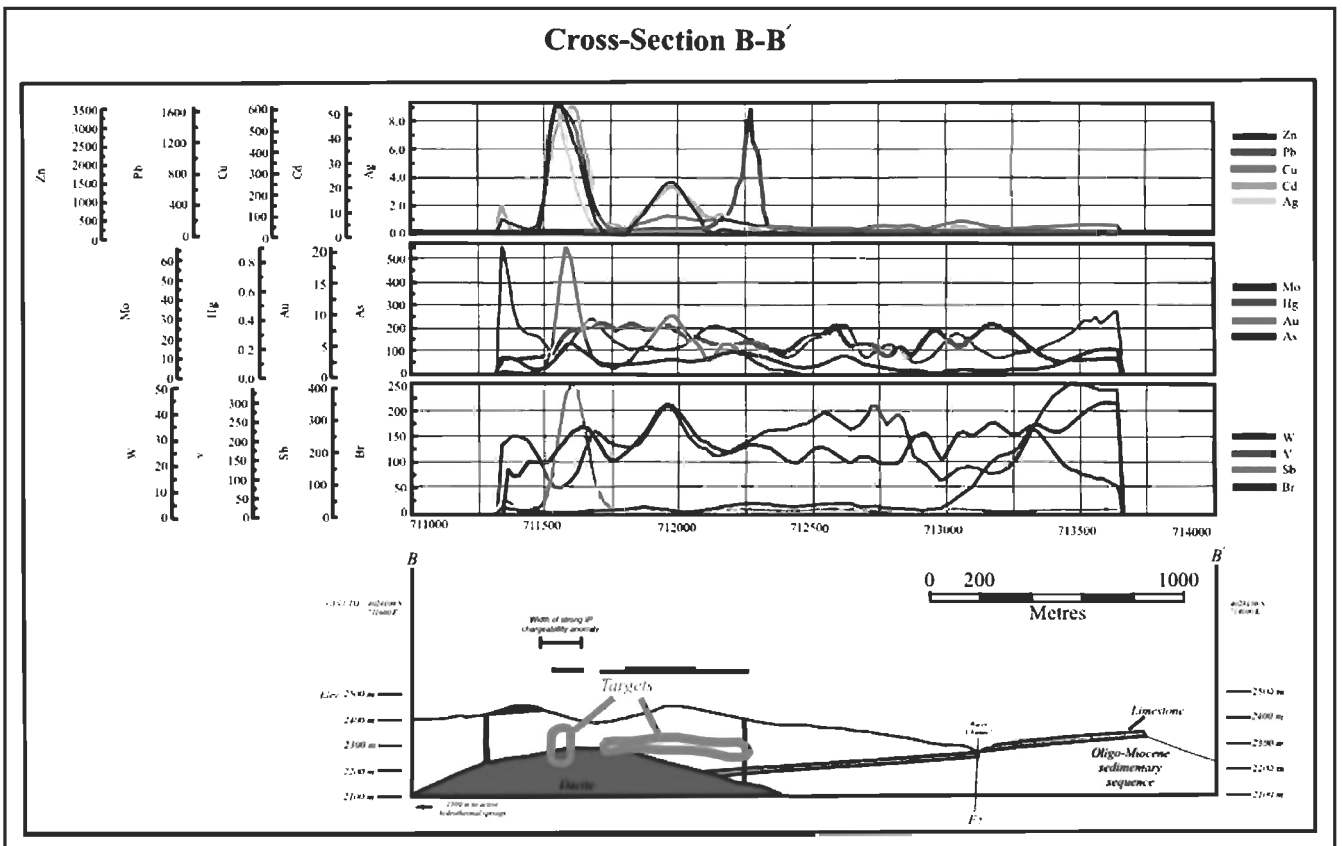
شکل ۸- الف تا و) پراکنندگی عناصر سری اکسیدان در اطراف تانچاری های A تا F ملان لزه، آرسنیکه و آنتیمران علاوه بر این که در اطراف زون کانهزایی و تانچاری های B و D دارای بیشترین مقدار هستند، در اطراف تانچاری A نیز هستی شدگی نشان می دهند که ممکن است نشانگر کانهزایی سرب و روی در زوای بیشتر باشد. هستی شدگی تنگستن و وانادیم همراه با قلع در اطراف تانچاری C نشانگر وجود توده نفوذی مدفون در اطراف این تانچاری است.



شکل ۹- الف) پراکنندگی خطی عناصر سنگدوست (لیتوفیل) در اطراف تانچاری های مختلف که بر روی شکل حاصل از پراکنندگی عنصر روی قرار داده شده است و نشانگر ساختارهای زیرسطحی است. ب) پراکنندگی عنصر تالم که حرکت آپریزهای خارج شده از توده توفوی مدفون را نشان می دهد.



شکل ۱۰- مقطع عرضی A-A' که در آن واحدهای سنگ‌شناختی، موقعیت نقاط حفاری، میزان و تغییرات ژئوشیمیایی عناصر مختلف، نتایج حاصل از داده‌های IP، مناطق امیدبخش و فعالیت‌های معدنکاری قدیمی نشان داده شده است.



شکل ۱۱- مقطع عرضی B-B' که در آن واحدهای سنگ‌شناختی، میزان و تغییرات ژئوشیمیایی عناصر مختلف، نتایج حاصل از داده‌های IP و مناطق امیدبخش نشان داده شده است.

### کتابنگاری

حیدری، ا.، ۱۳۷۶- گزارش بررسی اولیه توان معدنی در محدوده عرب‌شاه- آی‌قلعه‌سی (تکاب)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 شیرخانی، م.، قادری، م.، رشیدنژاد، ن. و محمدی‌نیایی، ر.، ۱۳۸۵- تفسیر و کاربرد اکتشافی داده‌های آنالیز<sup>SM</sup> Enzyme Leach در کانسار پلی‌متال آی‌قلعه‌سی (جنوب‌شرق تکاب)، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.  
 کوزه‌کنانی، ف.، خوشبو، ا.، عطائی پیرکوهی، ع.، ۱۳۶۸- بازدید از معادن سرب و روی زه‌آباد، آی‌قلعه‌سی، علم‌کندی، پشتوک و انگوران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

### References

- ALS-Chemex, 2002- The regolith, backgrounds, anomalies and partial leachs, Issue 1, available on: [www.alschemex.com](http://www.alschemex.com).  
 Clark, J. R., 1993- Enzyme-induced leaching of B-horizon soils for mineral exploration in areas of glacial overburden. *Trans. Inst. Min. Metal. (Sect. B: Appl. Earth Sci.)*, v. 102, p. B19-B29.  
 Clark, J. R., 1997- Concepts and models for interpretation of Enzyme Leach<sup>SM</sup> data for mineral and petroleum exploration. in: *Enzyme Leach<sup>SM</sup> models, sampling protocol & case histories*, Activation Laboratories Ltd., Ancaster, Ontario, p. 1-62.  
 Clark, J. R. and Hill, G. T., 2000- Structural control of oxidation anomalies above buried mineral bodies, in Cluer, J.K., Price, J.G., Struhsacker, E. M., Hardyman, R.F., and Morris, C.L., eds., *Geology and ore deposits*.  
 Clark, J. R., Tompkins, R., and Hill, G.J. S., 2000- Geochemical soil anomalies associated with hydrocarbon reservoirs located deep within the subsurface. *Geo Canada 2000 Symposium*, Geol. Assoc. Can., Edmonton, May 2000.  
 Eccles, 1998- Ashton Mining Ltd. Kay, Ector and Gareth Diamond Pipes, Merlin area, Northern Territory, Australia, Alberta Geol. Survey, OFR. 1998-01. available on: Activation Laboratories web site: [www.enzymeleach.com](http://www.enzymeleach.com).  
 Gale, G. H., Pawliw, P. and Hill, G. T., 2004 - Enzyme Leach and Terrasol Leach studies of soil at the MacLellan Au-Ag deposit, Lynn Lake, Manitoba; in *Report of Activities 2004*, Manitoba Industry, Economic Development and Mines, Manitoba Geological Survey, p. 92-103.  
 Hill, G.T., 2002- Interpretation of Enzyme Leach<sup>SM</sup> data for the WGM/IZMDC Angouran project, Ay Qalasi Grid 1 soil survey, 16 p.  
 Rollinson, R.H., 1993- *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, 352 pp.  
 Williams, T.M., 2002- Application of Enzyme Leach soil analysis for epithermal gold exploration in the Andes of Ecuador, *Applied Geochemistry*, v. 17, no. 4, p. 367-385.



## Interpretation and Exploratory Application of Enzyme Leach<sup>SM</sup> Data Analysis at AyQalesi Polymetal Deposit, Southeast of Takab

By: M. Shirkhani<sup>1</sup>, M. Ghaderi<sup>1\*</sup>, N. Rashidnejad-Omran<sup>1</sup> & R. Mohammadi-Niaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Exploration Department, Madankaran Angouran Company, Zanjan, Iran

Received: 2007 June 25

Accepted: 2008 July 01

### Abstract

AyQalesi polymetal deposit is located 30 km southeast of Takab in Orumieh-Dokhtar structural zone. For Enzyme Leach<sup>SM</sup> analysis at the deposit, 723 samples were collected from B-horizon soils. Based on the analytical results and data interpretation, six oxidation anomalies, A through F, have been defined. Five of these are recommended as drill targets while one, anomaly C, is not recommended for drilling because it appears to represent a buried intrusion without significant Zn enrichment. Anomalies B, D and E have very high Zn values. For anomaly D, this is because of outcropping Zn mineralization and the presence of mine waste at surface. Anomalies B and E may occur above shallowly buried mineralized zones. Anomalies A, C and F contain much less Zn. Anomaly A may overlie a concealed zone of Zn mineralization that could be buried to a substantial depth. Anomaly F is not recommended for drilling because it appears to be a quite narrow mineralized zone.

**Keywords:** Enzyme Leach, Oxidation anomaly, AyQalesi, Takab.

For Persian Version see pages 3 to 10

\*Corresponding author: M. Ghaderi; E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

## Study of Chemical and Structural Changes and Determination of Temperature in a Progressive Deformation: Evidences from Zarrin Shear Zone, Ardekan

F. Masoudi<sup>1\*</sup>, M. Mohajjel<sup>2</sup> & F. Shaker Ardekani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Department of Geology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

Received: 2007 July 22

Accepted: 2008 January 30

### Abstract

The Zarrin area in the north of Ardekan is the part of Central Iran Zone. Some homogenous parts of Zarrin granite located in the shear zone changed to mylonites and ultramylonites. Microstructural evidence and deformation investigation show that chemical and structural changes occurred during the progressive deformation in mylonites. The most obvious chemical change is the noticeable decrease on Ti, Mg, Fe and P from mylonites to ultramylonites. Silica shows a slight increase in the mylonitic zone with progressive increase in modal quartz, but Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is nearly constant during the mylonitization. Because of decrease on feldspar porphyroclasts and feldspar grains in the matrix, compare to protomylonites, K<sub>2</sub>O decreases in mylonites. However, with relative increase on plagioclase, K-feldspar and epidote in the matrix, Ca, Na and K increase in ultramylonites. As a result of structural changes, quartz grains in weakly deformed protolith and protomylonite show recrystallization and sub grain. In a progressive deformation process, quartz in mylonites and ultramylonites reveals grain boundary migration in recrystallization. During the progressive deformation, K-feldspars become perthitic with fractures and plagioclases show kinking in their twins. With progress in deformation, recrystallization on K-feldspar's margins and twins in plagioclase grains are formed. Based on structural evidence, temperature of 400°C has been estimated for deformation in Zarrin area in protogranites and protomylonites. The temperature continuously increases up to 500°C or more in green schist facies in the mylonites and ultramylonites.

**Key words:** Zarrin Granite, Ardekan, Shear Zone, Deformation

For Persian Version see pages 11 to 16

\*Corresponding author: F. Masoudi; E-mail: f\_masoudi@sbu.ac.ir