



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی IP/RS منطقه‌ی پی‌جویی بوته‌گز، استان خراسان رضوی

امیر حسین گندمکار*، آزاده ملکزاده شفارودی، محمدرضا حیدریان شهری

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۱/۳/۷، نسخه نهایی: ۹۱/۴/۲۷)

چکیده: منطقه‌ی پی‌جویی بوته‌گز استان خراسان رضوی در ۳۴ کیلومتری شمال تربت‌جام قرار دارد. زمین‌شناسی این منطقه شامل توده‌های دیوریتی، گرانودیوریتی و سینوگرانیته است که در سنگ‌های دگرگون نفوذ کرده‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های منطقه کمتر از $SI \times 10^{-5}$ بوده و از نوع سری ایلمنیت (احیایی) هستند. این توده‌ها شبه رخشان تا پرآلومینوس بوده و از پتاسیم آهکی قلیایی میانگین تا سری شوشونیتی متغیرند. ۴ نوع دگرسانی در منطقه شناسایی شدند که عبارتند از: پروپلیتیک، سرسیتیک، سیلیسی و کربناتی-کانی‌سازی سیلیسی به شکل رگه‌ای با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شیب N60E است که در مرز بین توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با متاکوارتزآرنایت و نیز درون همین واحد دگرگون دیده می‌شوند و شامل گالن، اسفالریت، کوارتز، کلسیت و جزئی کالکوپیریت، پیریت است. بی‌هنجاری‌هایی از سرب (۹٪ تا ۲۰٪)، روی (۲٪ تا ۵٪)، مس (تا ۷۰۳۹ ppm)، نقره (تا ۲۲۶ ppm)، آنتیموان (تا ۳۳۴ ppm) و آرسنیک (تا ۵۳۳ ppm) در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی مشاهده می‌شود که به زون کانی‌سازی رگه‌ای وابسته است. بررسی‌های IP/RS در ۹ نیمرخ به روش دوقطبی-دوقطبی عمود بر راستای کانی‌سازی نشان دهنده‌ی دو زون بی‌هنجار اصلی است. زون بی‌هنجار اول به صورت یک بی‌هنجار با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی در محل کانی‌سازی رگه‌ای و منطبق با تونل قدیمی و کارهای شدادی است. بررسی‌های کانی‌سازی و ژئوشیمی، گسترش کانی‌سازی سولفیدی را در این بخش نشان می‌دهد. زون بی‌هنجار دوم به صورت یک گستره‌ی نسبتاً کوچک در شمال‌شرقی منطقه دیده می‌شود. گسترش کانی‌سازی به سمت شمال و شمال‌شرقی منطقه بوده و به سمت جنوب‌شرقی قطع می‌شود که به گسل موجود در آن ناحیه وابسته است. ترکیب کانی‌شناسی، شکل کانی‌سازی، انواع دگرسانی و گسترش آن‌ها، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی سرب و روی $\pm$ مس و بالا بودن مقدار آنتیموان نسبت به بیسموت همراه با گالن نشان می‌دهد که کانی‌سازی اپی‌ترمال دمای پائین است.

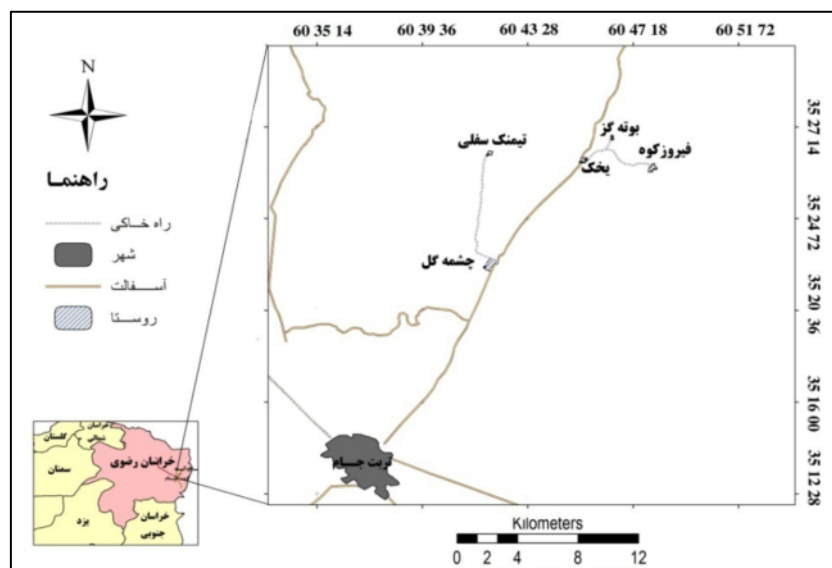
واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی رگه‌ای؛ سرب و روی؛ بوته‌گز؛ داده‌های IP/RS

مقدمه

همکاران [۱] بررسی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه را در قالب تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تربت‌جام به سرانجام رساندند. نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ این منطقه نیز به نام تربت‌جام توسط علوی نائینی [۲] تهیه شده است. مجموعه‌ی توده‌ی گرانیتوئیدی تربت‌جام مهمترین مظهر

منطقه‌ی پی‌جویی بوته‌گز در استان خراسان رضوی، در ۳۴ کیلومتری شمال تربت‌جام و بین طول‌های جغرافیایی ۴۰° ۲۷' ۳۵" تا ۳۵° ۲۸' ۳۳" و عرض‌های جغرافیایی ۵۸° ۴۷' ۶۰" تا ۶۰° ۴۷' ۵۳" واقع شده است (شکل ۱). به‌روزی و

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۰۸۲۵۱۰، نمابر: ۰۵۱۱۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: AH.Gandomkar@gmail.com



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به گستره پی‌جویی بوته‌گز.

توده‌های نفوذی و ژئوشیمی آن‌ها، و نقشه‌ی دگرسانی، بررسی‌های دنباله‌ی پاراژنز، کانی‌سازی و ژئوشیمی، و وابستگی آن با دگرسانی و نیز تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی به روش IP/RS با بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در منطقه پی-جویی بوته‌گز می‌باشد.

روش بررسی

بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این ناحیه شامل مراحل زیرند:

۱- تهیه‌ی ۷۲ نمونه مقطع نازک به منظور بررسی‌های سنگ نگاری-دگرسانی.

۲- تهیه‌ی و بررسی ۱۵ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی به منظور بررسی‌های دگرسانی-کانی‌سازی.

۳- برداشت ۲۲ نمونه خرده سنگی، خردایش و نرمایش آنها به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی از سطح و آنالیز آن‌ها به روش AAS برای چهار عنصر Bi و Zn، Pb و Cu در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد. همچنین ۳۰ نمونه به وسیله‌ی شرکت معدن آرا به روش ICP در آزمایشگاه زر کاوان البرز [۹] تجزیه و تفسیر شده‌اند.

۴- برداشت ۵ نمونه رسوب‌های رودخانه‌ای، خردایش و نرمایش آن‌ها به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و آنالیز آن‌ها به روش AAS برای چهار عنصر Bi و Zn، Pb و Cu در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد.

ماگماتیسم منطقه است که در شمال نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام رخمون دارد. آثار متعددی از کانی‌سازی در مرز مجموعه توده‌های گرانیتوئیدی تربت‌جام و واحدهای دگرگون شده اطراف آن و نیز در گسل‌های موجود در داخل توده‌های نفوذی یا سنگ‌های رسوبی دگرگون شده دیده می‌شوند که از آن جمله می‌توان به منطقه‌ی پی‌جویی طلای فیروزکوه [۳]، مس-طلای تاریک‌دره [۴، ۵]، سرب و روی بوته‌گز [۶] و مس انبورتا [۷] اشاره کرد. در منطقه‌ی مورد بررسی فعالیت‌های معدنی قدیمی شامل تونل استخراجی و نیز چند حفره‌ی استخراجی شدادی دیده می‌شود که در گذشته از این بخش سرب استخراج می‌شد. از بررسی‌های اخیر نیز می‌توان به پی-جویی نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریک‌دره (شمال تربت-جام) در منطقه بوته‌گز توسط مهندسین مشاور زرناب اکتشاف [۸] و پی‌جویی نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریک‌دره (بوته‌گز و انبورتا) توسط مهندسین مشاور معدن آرا [۹]، اشاره کرد. همچنین ۱۱ ترانше به‌وسیله‌ی شرکت معدن آرا حفر شده و ۳۲ نمونه برای تجزیه عنصری در منطقه‌ی پی‌جویی بوته‌گز به وسیله‌ی این شرکت آنالیز شدند. همچنین بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش IP/RS در منطقه انبورتا-بوته‌گز توسط مهندسین مشاور زرناب اکتشاف انجام شده است [۸]. با همه‌ی اینها، تا کنون نقشه‌ی زمین‌شناسی و دگرسانی دقیقی از منطقه تهیه نشده است. هدف از این پژوهش تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس مناسب، با تاکید بر شناسایی و جدایش

۵- انتخاب ۷ نمونه از ۵ توده‌ی نفوذی منطقه که حداقل دگرسانی را دارند و آماده سازی و آنالیز آن‌ها برای اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی به روش XRF در دانشگاه فردوسی مشهد. دستگاه XRF مورد استفاده مدل فیلیپس و از نوع X UniQII بوده و استانداردهای دستگاه از سازمان زمین‌شناسی کانادا تهیه شده‌اند.

۶- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای ۸۰ نمونه از توده‌های نفوذی به وسیله‌ی پذیرفتاری سنج مدل GMS-2 ساخت شرکت سینترکس کانادا و متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد بوده است.

۷- تهیه نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۱/۳ کیلومتر مربع.

۸- تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی به روش IP/RS با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی.

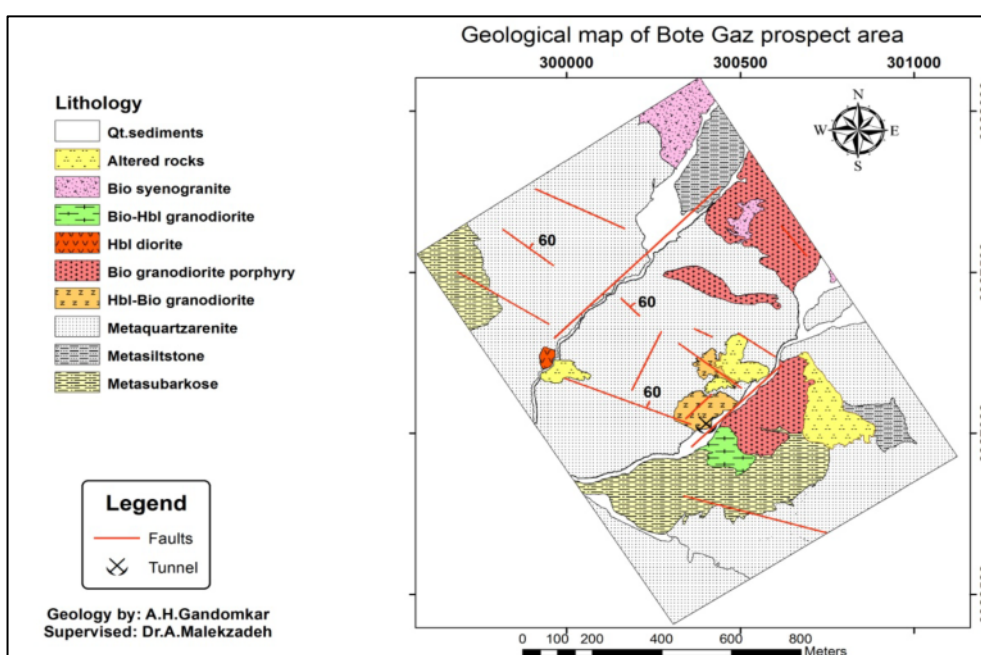
زمین‌شناسی

این منطقه از نگاه کانی‌زایی در راستای کمربند فلززایی بینالود و در مرز زون‌های ساختاری ایران مرکزی و کپه‌داغ قرار دارد. منطقه‌ی پی جویی بوته‌گر از نظر زمین‌شناسی در گوشه‌ی شمال شرقی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام قرار می‌گیرد [۲]. توده‌های گرانیتوئیدی تربت جام با روند شمال غربی- جنوب شرقی بخش وسیعی از شمال نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام را دربرمی‌گیرد. سنگ میزبان این توده‌ها، شیل‌های ذغال‌دار، سیلتستون و ماسه‌سنگ دگرگون شده تا حد رخساره‌ی شیبست سبز است. با توجه به اینکه توده‌ی گرانیتی به وسیله‌ی کنگلومرای قاعده سازند کشف‌رود (JK) با سن بازوسین زیرین به گونه‌ی دگرشیب پوشیده شده و خود نیز به درون سازند میانکوه نفوذ کرده است، بنابراین سن آن را باید پس از نورین و پیش از بازوسین زیرین در نظر گرفت [۱۰]. براساس بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی دو نوع واحد سنگی در منطقه شناسایی شدند که عبارتند از: شیل و ماسه سنگ‌های دگرگون شده و توده‌های نفوذی حدواسط (شکل ۲). سازند دگرگون شده میان‌کوهی قدیمی‌ترین واحد زمین‌شناسی در گستره‌ی مورد بررسی است و از دو بخش زیرین (دربدارنده‌ی لایه‌های ذغال‌دار) و بخش بالایی (تنها از شیل) تشکیل شده است. سن این سازند را با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و فسیل‌های موجود در شیل‌ها، نورین تا رسین زیرین در نظر می‌گیرند [۱۰]. با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و فسیل‌های

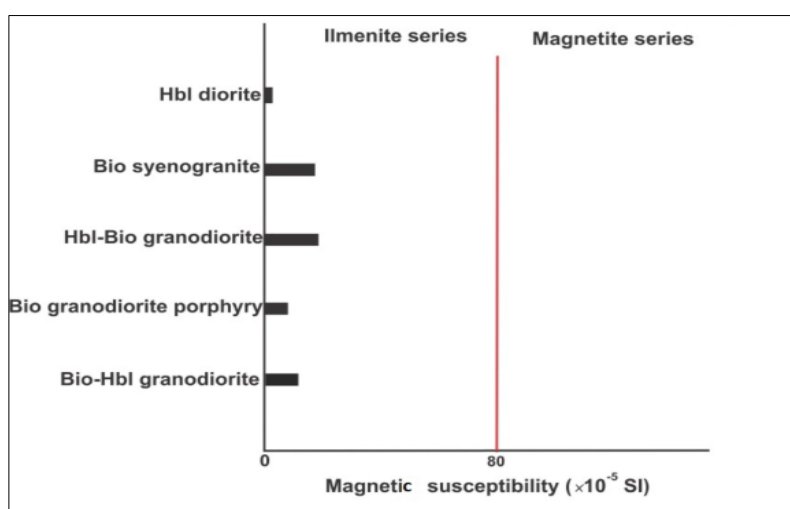
گیاهی یافت شده در سازند میانکوهی، بخشی از این سازند را می‌توان با سازند شمشک هم ارز دانست. همراه این شیل‌های سیاه‌رنگ، میان‌لایه‌های نازکی از سیلتستون و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز جای گرفته است. ضخامت ظاهری این سازند بیشتر از ۸۰۰ متر به نظر می‌رسد ولی با توجه به عوامل زمین‌ساختی (رانندگی) و چین‌خوردگی، ضخامت واقعی از ۵۰۰ متر فراتر نیست [۱۰]. واحدهای سازند میان‌کوهی در گستره‌ی مورد بررسی شامل واحد متاکوارتزآرنایت، واحد متاساب آرکوز و واحد متاسیلتستون است که بیشتر در شمال، مرکز و جنوب منطقه پی‌جویی مشاهده می‌شوند. بیشترین گسترش به واحد متاکوارتزآرنایت و شیل وابسته است (شکل ۲). توده‌های نفوذی بیشتر در قسمت‌های شرقی و مرکزی رخنمون دارند (شکل ۲). در مجموع ۵ توده‌ی نفوذی مختلف در منطقه تفکیک شدند که ترکیب همه آن‌ها حدواسط است. یک توده‌ی نفوذی نیمه عمیق و ۴ توده‌ی نفوذی درونی است و شامل بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت، پورفیری هستند (شکل ۲). دو توده‌ی بیوتیت گرانودیوریت پورفیری و بیوتیت سینوگرانیت بیشترین وسعت را در منطقه پی‌جویی دارند. توده نفوذی نیمه عمیق بیوتیت گرانودیوریت پورفیری در قسمت‌های میانی و شرقی منطقه حضور دارد. بافت این توده‌ی پورفیری و شامل فنوکریست‌های اولیه پتاسیم فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های ثانویه سرسیت، کوارتز ثانویه و به مقدار جزئی اکسید آهن است. این واحد دارای دگرسانی سرسیتیک و سیلیسی متوسط و در برخی مناطق دارای دگرسانی پروپلیتیک ضعیف‌اند. توده‌های نفوذی درونی در بخش‌های شرقی، مرکزی و به صورت جزئی در غرب منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). این توده‌ها دارای بافت هیپ-ایدیومورفیک دانه دار و دارای ترکیبی از فنوکریست‌های اولیه پلاژیوکلاز، کوارتز، پتاسیم فلدسپار، بیوتیت و هورنبلند و کانی‌های ثانویه سرسیت، کوارتز ثانویه، کلریت، کربنات و به مقدار جزئی اکسید آهن‌اند. این توده‌ها دارای دگرسانی‌های کربناتی، سیلیسی، سرسیتیک و پروپلیتیک هستند. توده‌ی بیوتیت سینوگرانیت در بخش‌های شمال شرقی و شرقی منطقه رخنمون دارد و دارای دگرسانی ضعیف تا متوسط پروپلیتیک و سرسیتیک است. توده‌ی بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت در بخش‌های مرکزی منطقه رخنمون دارد و کانی‌سازی رگه‌ای

خصوصیت مغناطیسی سنگ با اندازه‌گیری مقدار پذیرفتاری مغناطیسی آن مشخص می‌شود. ایشی هارا [۱۱] مقدار پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای سری مگنتیت یا اکسیدان را (به علت حضور کانی مگنتیت در این سنگ‌ها) بیش از $SI \times 10^{-5} 80$ و میزان پذیرفتاری مغناطیسی سری ایلمنیت یا احیایی را کمتر از این مقدار می‌داند. پذیرفتاری توده‌های منطقه کمتر از $SI \times 10^{-5} 5$ است. بنابراین از نظر سری ماگمایی سنگ‌های منطقه از نوع سری ایلمنیت (احیایی) هستند (شکل ۳).

سرب و روی منطقه در مرز این واحد با متاکوارتزآرنایت پدید آمده است. دگرسانی شدید کربناتی، سرسیتیک و سیلیسی در این توده دیده می‌شود و احتمال دارد که خود بخشی از سنگ خاستگاه محلول کانه‌دار باشد. توده ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت در بخش جنوبی منطقه با دگرسانی سیلیسی و سرسیتیک و به مقدار کمی پروپلیتیک حضور دارد. توده ی هورنبلند دیوریت دارای گستردگی سطحی کمی در بخش غربی منطقه پی‌جویی است. این توده به‌صورت سرسیتیک دگرسان شده است (شکل ۲).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه ی پی‌جویی بوته‌گز.



شکل ۳ نمودار نتایج حاصل از اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی.

ژئوشیمی توده‌های نفوذی

به منظور تعیین ژئوشیمی توده‌های نفوذی در این منطقه، ۷ نمونه از نمونه‌های کاملاً تازه و نا دگرسان از ۵ توده نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت (BT-32، BT-38)، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (BT-3)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-48)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-51) و بیوتیت سینوگرانودیوریت (BT-46، BT-50)، انتخاب و به وسیله شرکت طیف کانسارن بینالود خردایش، نرمایش و تبدیل به قرص شده و در آزمایشگاه XRF دانشگاه فردوسی مشهد برای اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی آنالیز شدند. نتایج این آنالیز در جدول (۱) و (۲) آمده‌اند. مقدار SiO_2 توده‌ها از ۵۶/۶۷ تا ۷۰/۴۸ متغیر است (جدول ۱). برای نامگذاری سنگ‌ها براساس اکسیدهای اصلی، از نمودار نامگذاری سنگ‌های آذرین درونی (Middlemost) [۱۲] استفاده شده است (شکل ۴). توده‌های منطقه در گستره‌ی گرانی، گرانودیوریت و دیوریت قرار می‌گیرند. همچنین این نمونه‌ها در نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ نسبت به $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Shand) [۱۳]، ماهیت شبه درخشان تا پرآلومینوس نشان می‌دهند (شکل ۵). توده‌های نفوذی بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-51)، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (BT-3) و هورنبلند بیوتیت

گرانودیوریت (BT-38) همگی از نوع شبه درخشان هستند و توده‌ی نفوذی بیوتیت سینوگرانی (BT-46، BT-50) در گستره‌ی شبه درخشان قرار می‌گیرد (شکل ۵). مقدار K_2O نمونه‌ها از ۱/۰۴ تا ۴/۷۹ متغیر است. براساس نمودار SiO_2 (Peccerillo and Taylor) [۱۴] نمونه‌ها در سری آهکی-قلیایی با پتاسیم متوسط تا سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶). توده‌ی نفوذی بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (BT-3) در سری آهکی-قلیایی، توده‌ی نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت (BT-32، BT-38)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-48) و بیوتیت سینوگرانی (BT-46) در سری آهکی قلیایی با پتاسیم بالا و بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-51) و بیوتیت سینوگرانی در سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶).

دگرسانی

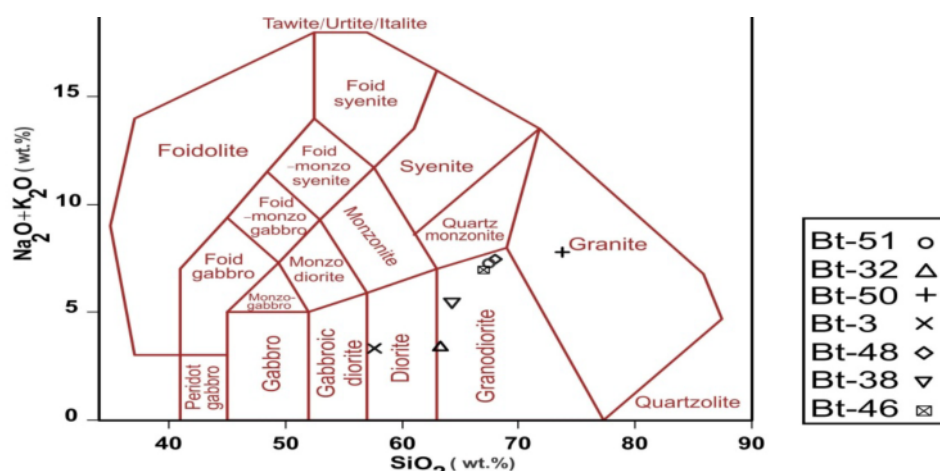
دگرسانی‌ها غالباً درون واحدهای نفوذی، در برخوردگاه توده‌های نفوذی با واحد شیل و ماسه‌سنگ دگرگون شده و حاشیه گسل‌ها رخ داده‌اند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی ۴ گونه دگرسانی در منطقه‌ی مورد بررسی شناسایی شده‌اند (شکل ۷) که عبارتند از: (۱) پروپلیتیک، (۲) سرسیتیک، (۳) سیلیسی و (۴) کربناتی-سیلیسی.

جدول ۱ نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی جویی بوته‌گز تربت‌جام (برحسب درصد).

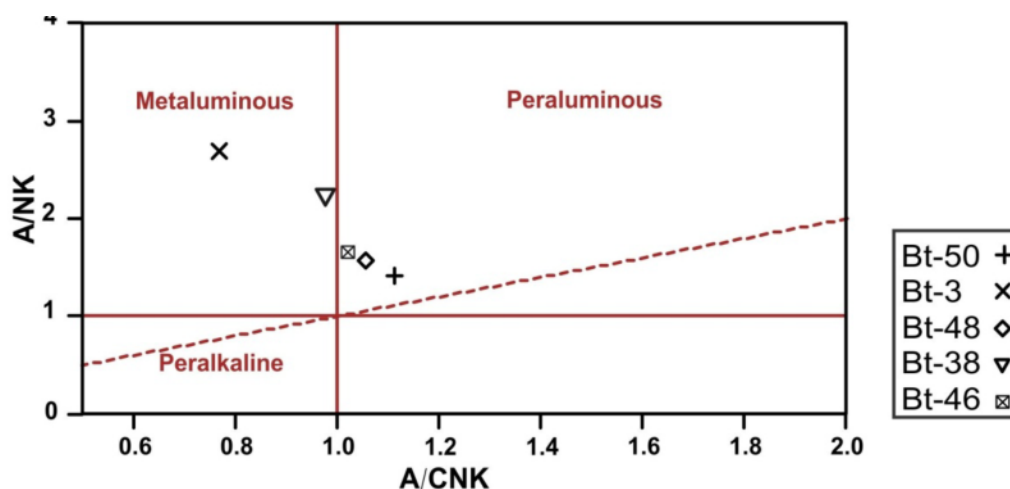
Wt%	Bt-46	Bt-38	Bt-48	Bt-3	Bt-50	Bt-32	Bt-51
X	۳۰۰۷۶۷	۳۰۰۴۲۰	۳۰۰۶۶۸	۳۰۰۵۰۹	۳۰۰۵۱۳	۳۰۰۳۳۹	۳۰۰۴۳۵
Y	۳۹۲۷۴۹۷	۳۹۲۷۱۹۲	۳۹۲۷۵۳۳	۳۹۲۶۹۳۴	۳۹۲۷۶۱۸	۳۹۲۷۰۴۲	۳۹۲۷۷۰۱
Rock name	بیوتیت سینوگرانودیوریت	هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت	بیوتیت گرانودیوریت پورفیری	بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت	بیوتیت سینوگرانودیوریت	هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت	بیوتیت گرانودیوریت پورفیری
SiO_2	۶۶/۰۵	۶۳/۱۳	۶۷/۲۸	۵۶/۶۷	۷۰/۴۸	۶۱/۵۴	۶۶/۹۱
TiO_2	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۸۶	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۳۳
Al_2O_3	۱۵/۵۷	۱۴/۲۹	۱۵/۱۵	۱۴/۰۷	۱۳/۸۷	۵/۱	۱۴/۶۴
TFeO	۵/۰۲	۹/۲۴	۵/۳۸	۱۱/۲۱	۳/۶۴	۰/۸	۵/۴۸
MnO	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۵
MgO	۰/۶۸	۲/۲۶	۰/۶۲	۵/۰۲	۰/۶	۰/۳۴	۰/۸۳
CaO	۳/۳۲	۴/۳۷	۲/۴۶	۷/۱۵	۱/۴۱	۲۵/۷۷	۳/۳۳
Na_2O	۲/۹۷	۲/۱۸	۳/۲۹	۲/۳۵	۲/۹۱	۰/۶۶	۲/۷۴
K_2O	۴/۰۱	۲/۷۳	۴/۱۴	۱/۰۴	۴/۷۹	۲/۶۹	۴/۵۵
P_2O_5	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱
Total	۹۸/۲۵	۹۹	۹۸/۸	۹۸/۸۳	۹۸/۱۱	۹۷/۲۳	۹۸/۹۶

جدول ۲ برخی از عناصر جزئی و کمیاب در توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی جویی بوت‌گ‌ز تربت‌جام (بر حسب ppm).

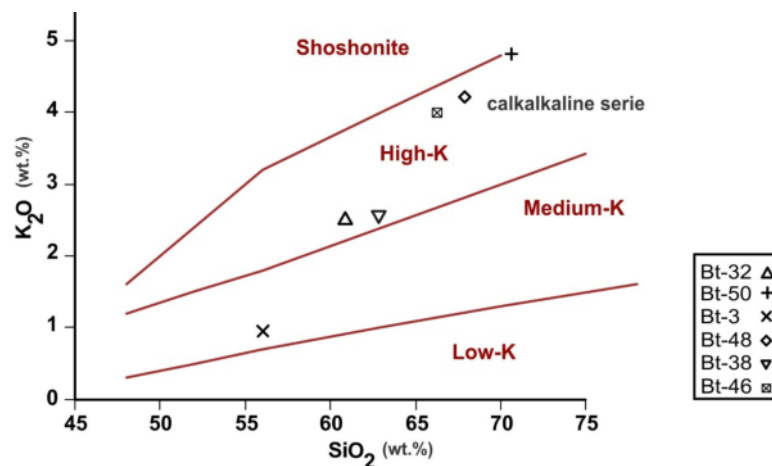
ppm	Bt-46	Bt-38	Bt-48	Bt-3	Bt-50	Bt-32	Bt-51
X	۳۰۰۷۶۷	۳۰۰۴۲۰	۳۰۰۶۶۸	۳۰۰۵۰۹	۳۰۰۵۱۳	۳۰۰۳۳۹	۳۰۰۴۳۵
Y	۳۹۲۷۴۹۷	۳۹۲۷۱۹۱	۳۹۲۷۵۳۳	۳۹۲۶۹۳۴	۳۹۲۷۶۱۸	۳۹۲۷۰۴۲	۳۹۲۷۷۰۱
V	۵۳	۱۱۶	۴۳	۱۸۳	۳۷	۱۰	۴۳
Cr	۳۹	۶۱	۳۹	۱۲۸	۲۹	۱۸	۴۰
Co	۹	۱۶	۸	۲۳	۷	۲	۸
Ni	۲۰	۲۱	۱۵	۲۸	۲۲	۱۶	۱۸
Cu	۱۸	۵۵	۱۴	۲۸	۲۲	۷	۱۸
Rb	۱۹۹	۹۲	۱۶۸	۵۴	۱۸۶	۸۲	۱۷۳
Sr	۳۲۲	۳۱۰	۲۷۵	۲۸۳	۲۶۴	۲۳۳	۳۰۳
Zr	۱۷۷	۱۵۶	۱۷۰	۸۵	۱۶۴	۴	۱۶۹
La	۱۰۰	۴۲	۶۳	۳۳	۵۱	n.d	۴۳
Ce	۱۵۲	۹۳	۹۰	۹۴	۷۵	n.d	۷۵
Ba	۱۲۰۱	۱۴۴۴	۱۲۸۶	۷۹۵	۲۴۴۱	۸۵۷	۱۲۴۰



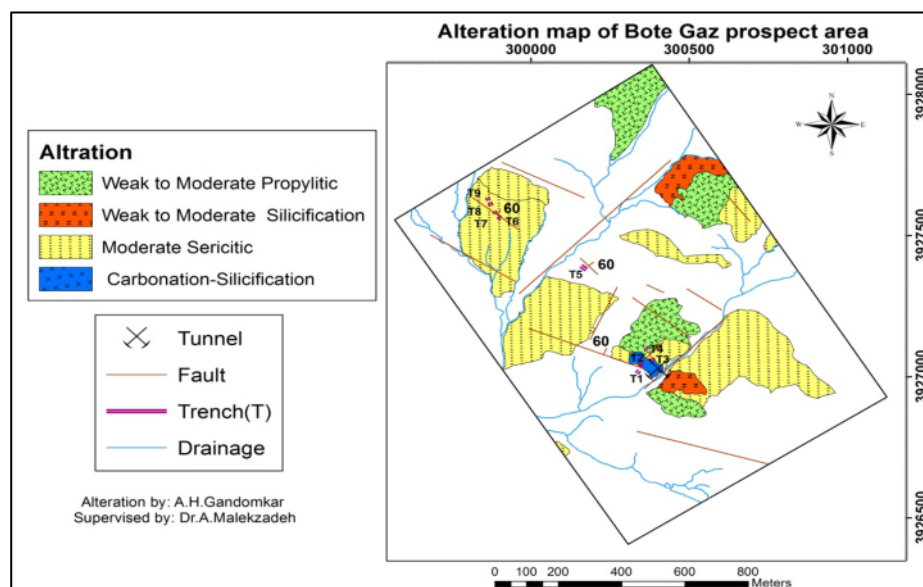
شکل ۴ نمودار نامگذاری سنگ‌های آذرین با استفاده از نسبت کاتیون‌ها [۱۲]. نمونه‌های بوت‌گ‌ز در گستره‌ی دیوریت تا گرانیت قرار می‌گیرند.



شکل ۵ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی جویی بوت‌گ‌ز در نمودار تعیین شاخص آلومینیوم سنگ‌های آذرین [۱۳].



شکل ۶ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی جویی بوته‌گز در نمودار تعیین شاخص پتاسیم سنگ‌های آذرین [۱۴].



شکل ۷ نقشه دگرسانی منطقه‌ی پی جویی بوته‌گز.

۲) دگرسانی سرسیتیک: دگرسانی غالب در منطقه از نوع سرسیتیک متوسط بوده که گسترش زیادی از گستره را در بر گرفته است (شکل ۷). این دگرسانی بیشتر در سنگ‌های بیوتیت گرانودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت و به مقدار کم در بیوتیت سینوگرانیت دیده می‌شود. مهمترین کانی این زون کانی سرسیت (۱۰-۱۵ درصد) بوده که از دگرسانی پلاژیوکلازها و پتاسیم فلدسپارها به وجود آمده است. درصد کمی کانی کلریت نیز در سنگ‌ها دیده می‌شود. انباشت-های کوچکی از کوارتز ریز بلور ثانویه در متن سنگ نیز مشاهده می‌شوند.

۱) دگرسانی کربناتی-سیلیسی: این دگرسانی در محل رگه‌ی اصلی کانی‌سازی در محل تونل قدیمی دیده می‌شود (شکل ۷). کانی‌های اصلی این دگرسانی کوارتز ثانویه (۴۰-۴۵ درصد)، کلسیت (۲۰-۲۵ درصد) و باریت (۳-۵ درصد) است که همراه با کانی‌های سولفیدی در رگه دیده می‌شوند. واحد هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت در مجاورت رگه نیز تحت تاثیر دگرسانی کربناتی و سیلیسی قرار گرفته است. کانی‌های ثانویه آن کوارتز (۱۰-۱۵ درصد) و کلسیت (۱۵ تا ۲۰ درصد) است. سرسیت به مقدار جزئی (۲-۳ درصد) حضور دارد و کانی‌های فرومنیزین اندکی به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده (کمتر از ۲ درصد) است. در این توده پلاژیوکلاز به کربنات تبدیل شده‌اند.

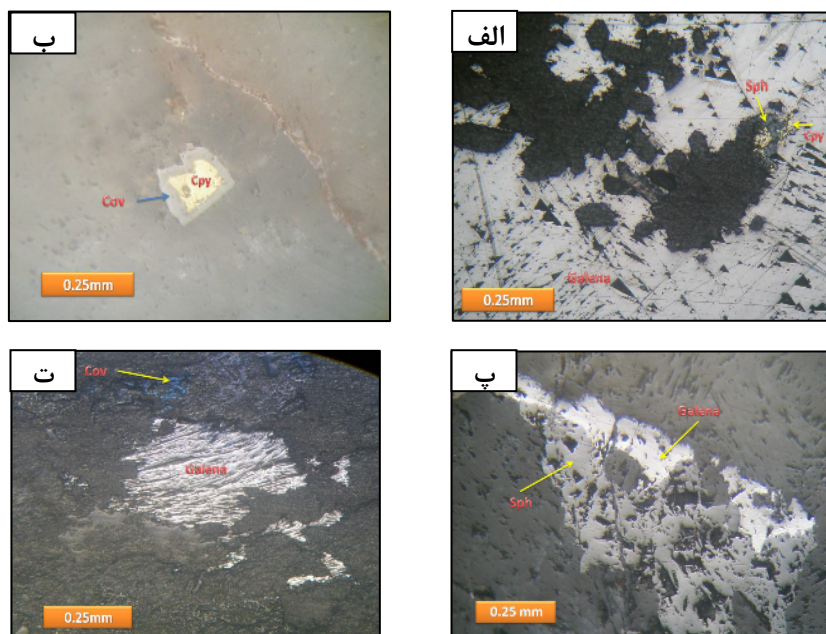
منطقه، شمال غربی - جنوب شرقی و شیب آن N60E است. ضخامت رگه‌ها از ۴۰ سانتی متر تا ۱ متر در قسمت‌هایی از تونل و کارهای شدادی متغیر بوده است. کانی‌سازی منطقه به دو شکل رگه‌ای و گاهی افشان در حریم گسل‌ها دیده می‌شود. دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی همراه با رگه‌ی کانی‌سازی دیده می‌شود. کانی‌های اولیه شامل گالن (۵-۱۰٪ تا اندازه ۴ میلیمتر)، اسفالریت (۵-۷٪ تا ۳ میلیمتر)، کوارتز (۴۰-۴۵٪)، کلیست (۲۰-۲۵٪)، باریت (۳-۵٪)، کالکوپیریت (۳-۴٪ تا ۲/۵ میلیمتر) و پیریت (۲-۳٪ تا ۱/۵ میلیمتر) و کانی‌های ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و کوولیت است (شکل ۸). کانی‌سازی افشان به مقدار جزئی با دانه‌های شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل پیریت (۱-۲٪)، کالکوپیریت (۲-۳٪) و کمی گالن (کمتر از ۱٪) در توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت به همراه دگرسانی سیلیسی و کربناتی در حریم رگه‌ی اصلی دیده می‌شود. شکل (۹) دنباله‌ی پارژنزی و رابطه زمانی کانی‌های فلزی درون‌زا و حاصل از دگرسانی و نیز کانی‌های ثانویه را نشان می‌دهد. پیریت و کالکوپیریت از اولین کانی‌های سولفیدی تشکیل شده در رگه هستند. گالن و اسفالریت نسبتاً همزمان تشکیل شده و پس از پیریت و کالکوپیریت به وجود آمده‌اند (شکل ۹).

۳) دگرسانی پروپیلیتیک: این دگرسانی بیشتر در مرکز، بخش‌های شرقی و شمال شرقی و در میان توده‌های درونی بیوتیت سینوگرانیت و هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت دیده می‌شود (شکل ۷). شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت بوده و مهمترین کانی این زون کلریت است که از دگرسانی بیوتیت‌ها و هورنبلندها شکل گرفته است. مقدار آن از ۵ تا ۲۰ درصد متغیر است که همراه آن مقدار کمی سرسیت نیز دیده می‌شود.

۴) دگرسانی سیلیسی: زون سیلیسی در بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه قرار دارد (شکل ۷). کانی اصلی این دگرسانی کوارتز ثانویه (۲۰-۲۵ درصد) است و مقدار جزئی سرسیت نیز دیده می‌شود. این زون بیشتر در واحد نیمه عمیق بیوتیت گرانودیوریت پورفیری دیده می‌شود.

کانی‌سازی

وجود کنده کاری‌های قدیمی، تونل استخراجی و چند حفره استخراجی نشان دهنده‌ی قدمت فعالیت معدن کاری در منطقه بوته‌گز است. کانی‌سازی منطقه از نوع رگه‌ای است. زون‌های گسلی دارای کانی‌سازی در مرز توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با متاکوارتزآرنایت و داخل واحد متاکوارتزآرنایت دیده می‌شوند. روند کلی کانی‌سازی در زون گسلی در این



شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی‌ها در منطقه‌ی پی جویی بوته‌گز (نور PPL). (گالن: Galen، اسفالریت: Sph، کالکوپیریت: Cpy و کوولیت: Cov). (الف) کانی‌سازی گالن، اسفالریت و کالکوپیریت. (ب) کالکوپیریت در حال تبدیل به کوولیت. (پ) کانی‌سازی گالن، کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده. (ت) کانی‌سازی رگه‌ای از اسفالریت و اندکی گالن.

Minerals	Hypogene	oxidized zone
Pyrite	-----	
Chalcopyrite	=====	
Galena	=====	
Sphalerite	=====	
Barite	=====	
Quartz	=====	
Calcite	=====	
Chlorite	-----	
Hematite		=====
Goethite		-----
Covellite		-----

شکل ۹ نمودار دنباله‌ی پاراژنز کانی‌سازی منطقه‌ی پی جویی بوته گز.

پی جویی ژئوشیمیایی

به منظور ارزیابی منطقه از نظر پتانسیل اقتصادی فلزات پایه، پی جویی‌های ژئوشیمیایی به دو روش در منطقه تعریف شد:

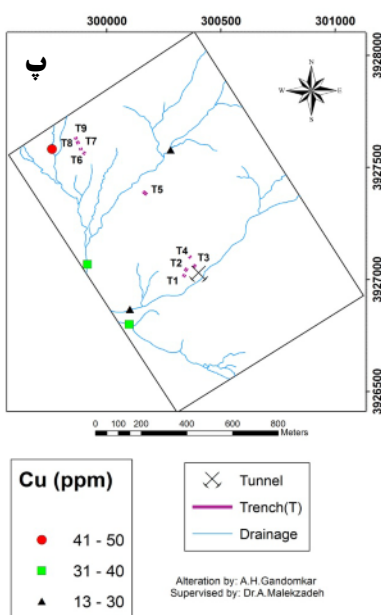
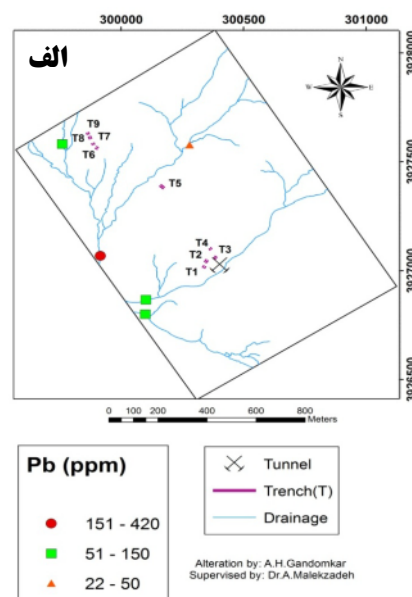
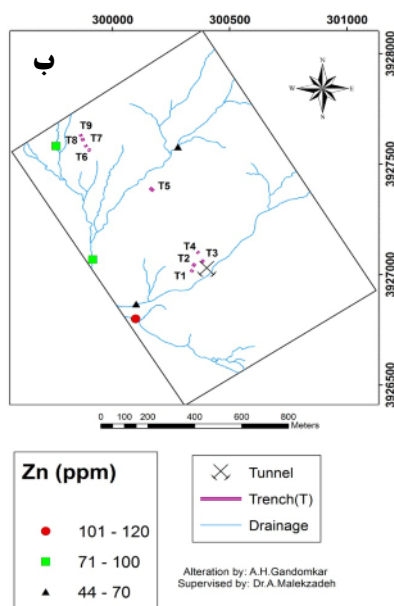
پی جویی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای رسوب‌های رودخانه‌ای

به منظور برداشت نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای اولین مسئله مهم مکان برداشت نمونه است. باید بدانیم که نمونه رسوب رودخانه‌ای از کجا و به چه منظور برداشت می‌شود تا بتوان با کمترین تعداد نمونه‌برداری بهترین نتیجه را از منطقه به‌دست آورد. از آنجا که هدف از برداشت نمونه رسوب رودخانه‌ای به‌دست آوردن اطلاعات ژئوشیمیایی از واحدهای بالا دست آبراهه‌ی مورد نظر است، نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای باید از آبراهه‌های اصلی منطقه و با فاصله و تعداد مناسب برداشت شوند. برداشت نمونه رسوب رودخانه‌ای باید طوری باشد که حتی‌الامکان کل گستره‌ی پی جویی را پوشش دهد. به این منظور از منطقه‌ی مورد بررسی تعداد ۵ نمونه رسوب رودخانه‌ای برداشت شدند (جدول ۳). دامنه‌ی تغییرات سرب بین ppm ۲۲ تا ۴۲۰ بوده است. بیشترین مقدار این عنصر در

آبراهه غربی منطقه به میزان ppm ۴۲۰ و کمترین مقدار آن وابسته به آبراهه‌ی شمال شرقی منطقه به میزان ppm ۲۲ است (شکل ۱۰-الف). مقدار بالای سرب در آبراهه‌ی غربی به کانی‌سازی رگه‌ای در بالادست و محل ترانشه‌ها وابسته است. دامنه‌ی تغییرات روی بین ppm ۴۴ تا ppm ۱۲۰ بوده، و بیشترین مقدار این عنصر در آبراهه جنوب‌غربی منطقه به میزان ppm ۱۲۰ و کمترین مقدار آن مربوط به آبراهه شمال شرقی منطقه به میزان ppm ۴۴ است. بالاترین مقدار احتمالاً به توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با دگرسانی سرسیتیک و سیلیسی وابسته است. (شکل ۱۰-ب). دامنه‌ی تغییرات مس بین ppm ۱۳ تا ppm ۵۰ است. بیشترین مقدار این عنصر در آبراهه شمال‌غربی منطقه به میزان ppm ۵۰ و کمترین مقدار آن به آبراهه‌ی شمال شرقی منطقه به میزان ppm ۱۳ وابسته است. مقدار بالای این عنصر در آبراهه‌ی شمال‌غربی به کانی‌سازی مس در منطقه‌ی انبورتا در شمال منطقه بوته‌گز مربوط می‌شود (شکل ۱۰-پ) [۹].

جدول ۳ نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای به روش جذب اتمی (A.A).

Sample	Longitude	Latitude	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Pb(ppm)
Btr1	۳۰۰۰۹۸	۳۹۲۶۸۰۰	۳۱	۱۰۷	۸۲
Btr2	۲۹۹۹۱۵	۳۹۲۷۰۶۸	۳۷	۷۸	۴۱۹
Btr3	۳۰۰۲۷۹	۳۹۲۷۵۷۸	۱۲	۴۳	۲۱
Btr4	۳۰۰۱۰۱	۳۹۲۶۸۶۷	۲۵	۶۵	۸۴
Btr5	۲۹۹۷۵۹	۳۹۲۷۵۸۲	۴۸	۹۸	۵۳



شکل ۱۰ موقعیت و فراوانی عناصر در نمونه‌های رسوب‌های رودخانه‌ای گستره‌ی پی جویی بوته‌گز (براساس نمونه‌های برداشت شده در این پروژه) (الف) موقعیت و فراوانی عنصر سرب، (ب) موقعیت و فراوانی عنصر روی و (پ) موقعیت و فراوانی عنصر مس.

پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

به منظور پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی، ۲۲ نمونه از محل‌های کانی‌سازی، رگه‌ی کانی‌سازی، ترانشه و دگرسان برداشت شدند (جدول ۴). همچنین ۳۲ نمونه ژئوشیمیایی توسط شرکت مهندسین مشاور پیوند معدن آرا [۹] برداشت شدند و به روش ICP-OES در آزمایشگاه زر کاوان البرز [۸] آنالیز و نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده‌اند.

سرب: گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۲ ppm تا بیش از ۸ درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه‌ی شماره ۷ و کانی‌سازی رگه‌ای (۸/۶ درصد) است که دلیل آن

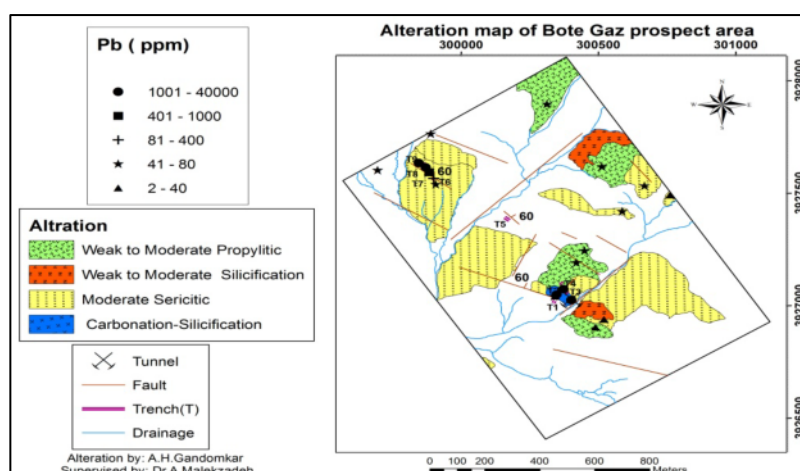
حضور گالن است (جدول ۵ و شکل ۱۱). همچنین بی‌هنجاری‌های بالایی از این عنصر در تونل و ترانشه‌ی شماره ۲۱ (تا ۸/۳ درصد) دیده می‌شود (جدول ۵). **روی:** گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۱۰ ppm تا ۲/۵ درصد است. بیشترین مقدار این عنصر در بخش مرکزی منطقه در محل ترانشه شماره ۴ به میزان ۲/۵ درصد است که ناشی از حضور کانی اسفالریت است (جدول ۵ و شکل ۱۲). **مس:** گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۴ ppm تا بیش از ۰/۷ درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه شماره ۴ است (جدول ۵ و شکل ۱۳).

جدول ۴ نتایج آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی (Chip composite) به‌روش جذب اتمی (A.A).

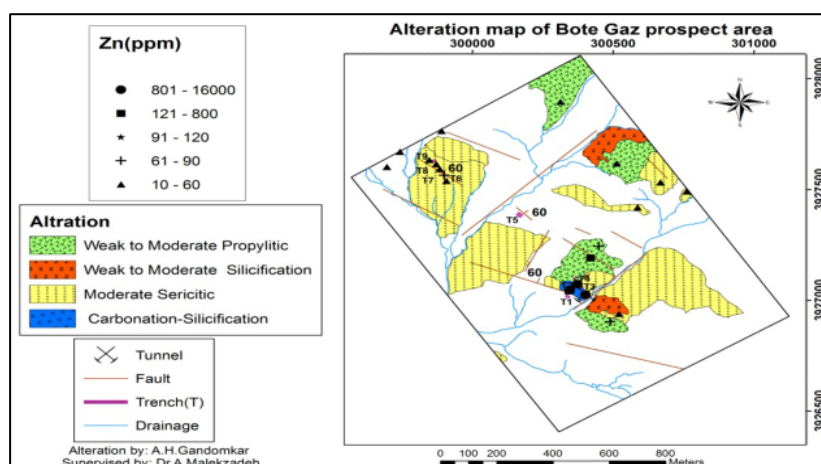
Sampel	X	Y	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Bi(ppm)
Btc1	۳۰۰۴۹۰	۳۹۲۶۹۰۴	۳۴	۶۸	۵۸	۳<
Btc2	۳۰۰۵۲۰	۳۹۲۶۹۳۹	۳۹	۴۷	۱۲۹	۳<
Btc3	۲۹۹۸۷۷	۳۹۲۷۷۸۳	۴۴	۲۸	۴	۳<
Btc4	۳۰۰۳۳۹	۳۹۲۷۰۴۲	۵۵	۱۰۷	۶۷	۳<
Btc5	۳۰۰۳۴۹	۳۹۲۷۰۴۹	۷۰۰۰	۳۱۵	۱۱۵	۳<
Btc6	۳۰۰۳۴۴	۳۹۲۷۰۴۲	۲	۶۵۴	۴۴۹	۳<
Btc7	۳۰۰۳۷۴	۳۹۲۷۰۷۳	۱۱۰۰	۸۱۷	۶۴	۳<
Btc8	۳۰۰۴۲۰	۳۹۲۷۱۹۱	۶۷	۱۹۲	۷۴	۳<
Btc9	۳۰۰۴۵۰	۳۹۲۷۲۴۴	۶۲	۷۱	۳۷	۳<
Btc10	۳۰۰۵۸۷	۳۹۲۷۴۱۹	۴۲	۱۱	۴	۳<
Btc11	۳۰۰۷۶۷	۳۹۲۷۴۹۷	۳۹	۳۰	۵	۳<
Btc12	۳۰۰۶۶۸	۳۹۲۷۵۳۳	۴۲	۲۵	۹	۳<
Btc13	۳۰۰۵۱۳	۳۹۲۷۶۱۸	۷۴	۳۷	۲۴	۳<
Btc14	۳۰۰۳۱۳	۳۹۲۸۷۹۶	۶۷	۴۵	۹	۳<
Btc15	۳۰۰۴۰۲	۳۹۲۷۰۲۴	۳۰۰۰	۱۶۰۰۰	۱۴۷	۳<
Btc16	۲۹۹۹۰۸	۳۹۲۷۵۳۹	۴۱	۱۰	۴	۳<
Btc17	۲۹۹۹۰۱	۳۹۲۷۵۶۵	۱۴۲	۸۶	۵۱	۳<
Btc18	۲۹۹۸۸۴	۳۹۲۷۵۹۳	۵۳۰	۷۳	۸۷	۳<
Btc19	۲۹۹۸۷۲	۳۹۲۷۶۱۵	۱۶۰۰	۴۴	۱۲۱	۳<
Btc20	۲۹۹۸۴۷	۳۹۲۷۶۳۴	۴۰۰۰۰	۲۰	۷۲۹	۳<
Btc21	۲۹۹۶۹۷	۳۹۲۷۶۰۲	۵۶	۱۳	۵	۳<
Btc22	۲۹۹۹۷۳	۳۹۲۷۶۸۴	۷۹	۱۰	۶	۳<

جدول ۵ نتایج آنالیز نمونه‌های سنگ به روش ICP-OES [۹].

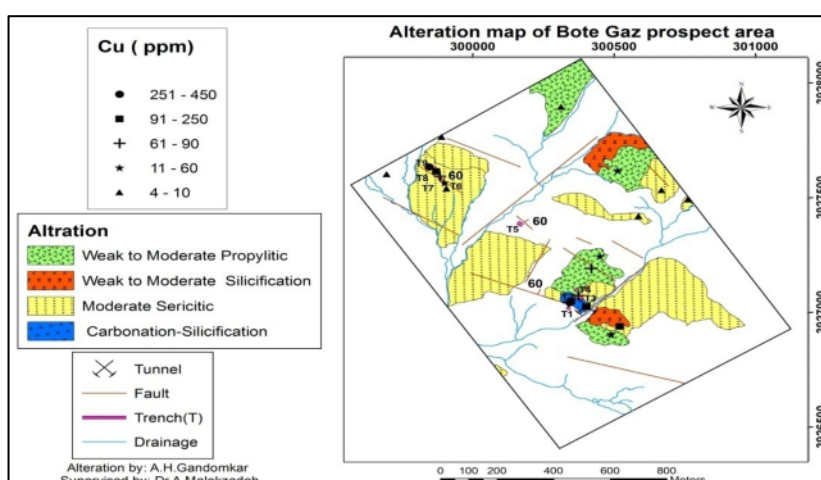
Sampel	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Ag(ppm)	Sb(ppm)	As(ppm)	Bi(ppm)
Bot-Ton-2	۶۹۸۰۰	۱۹۵	۵۱	۲۲۶	۳۳۴	۲۸۱	۳
Ton-1-1	۶۷۸۸۴	۴۳۴۷	۹۵۶	۸۵	۱۲۷	۱۱	۰٫۴
Ton-1-4	۸۶۹۴۹	۲۵۰۲	۸۱۴	۱۱۳	۲۲۷	۱۱	۰٫۲
Ton-1-5	۲۳۹۶	۵۵۵	۹۶	۱	۵	۵۵	۰٫۲
TON-2-8	۹۰۸۸	۳۷۱	۱۴	۵	۱۸	۶۱	۰٫۲
TR-2-4	۵۴۸۶	۲۹۴۶	۱۴	۳	۲۰	۵۳۳	۰٫۲
Ton-2-10	۵۸۷۶۱	۲۰۷	۱۱۳۰	۳۰	۱۲۱	۲۴	۰٫۲
Ton-2-16	۸۳۸۳۵	۶۰۴	۲۷	۱۱۳	۲۱۶	۳۶۳	۰٫۲
Ton-2-17	۷۳۶۸۳	۴۸۴	۴۰۹	۹۰	۱۸۷	۵۵	۰٫۲
Ton-3-1	۴۰۸۱۸	۲۲۷	۶۰	۲۴	۱۰۹	۲۸	۰٫۲
TR-1-1	۴۱۰۳۶	۱۲۰۸	۲۳	۵۶	۳۱۰	۱۷۵	۰٫۲
TR-1-2	۸۳۷۹۰	۲۲۶	۲۹	۶۰	۱۲۱	۳۹۰	۰٫۲
TR-1-3	۳۰۱	۵۱	۱۳۷	۰٫۱	۳	۱۰	۰٫۲
TR-1-4	۱۴۲	۹۲	۱۲۲	۰٫۱	۲۲	۲۲	۰٫۳
TR-1-5	۹۸	۸۱	۲۹۰	۰٫۱	۲	۱۰	۰٫۲
TR-2-2	۳۵۳	۲۵	۶۳	۰٫۱	۱	۱۵	۰٫۲
TR-2-3	۳۳۳۶	۷۶	۲۵۲	۳	۸	۵۹	۰٫۲
TR-4-A-1	۳۳۱۶	۳۴۴۳	۱۳۱	۳	۶	۳۷	۰٫۲
TR-4-A-2	۲۴۰۸۷	۲۵۰۲۳	۴۲۲۹	۳۰	۴۳	۱۳	۰٫۲
TR-4-A-3	۳۱۷	۲۰۵۵	۵۰	۹	۳	۶۷	۰٫۲
TR-4-B-2	۹۵۹۵	۱۳۶۴۷	۷۰۳۹	۱۱	۱۶	۲۳	۰٫۲
TR-4-B-3	۷۱۵	۸۳۹	۱۲۱	۶	۰٫۳	۳۰	۰٫۲
Bon-TR-6-3	۲۷۶	۱۱۳	۵۹	۰٫۱	۲	۳۸	۰٫۲
TR-7-1	۸۷۵۹۹	۸۹	۴۳۱۳	۱۷۹	۲۳۰	۲۳	۰٫۲
TR-7-3	۵۷۰۸۵	۳۷	۱۱۳۲	۳۵	۷۸	۵۴	۰٫۲
TR-8-1	۲۲۲	۱۳۲	۲۶	۰٫۱	۱	۲۲	۰٫۲
TR-8-2	۱۰۱	۹۸	۴۸	۰٫۱	۱	۹	۰٫۲
TR-8-3	۱۳۵	۹۸	۴۸	۰٫۱	۱	۸	۰٫۲
TR-9-3	۳۰۳	۲۶۵	۱۴۹	۰٫۱	۲۲	۲۲	۰٫۲
Bot-89-06	۶۸۶۶۱	۵۴	۴۷۳۷	۶۰	۱۰۱	۱۲	۰٫۲



شکل ۱۱ نقشه ژئوشیمیایی عنصر سرب در منطقه‌ی پی جویی بوت‌گاز (راه‌نما فقط مربوط به نمونه‌های برداشت شده در این پروژه است و موقعیت ترانشه‌ها، تونل و دیگر نمونه‌ها که توسط [۹] از آن برداشت شده مشخص شده است).



شکل ۱۲ نقشه ژئوشیمیایی عنصر روی در منطقه‌ی اکتشافی بوت‌گاز (راه‌نما فقط مربوط به نمونه‌های برداشت شده در این پروژه است و موقعیت ترانشه‌ها، تونل و دیگر نمونه‌ها توسط [۹] از آن برداشت شده).



شکل ۱۳ نقشه ژئوشیمیایی عنصر مس در منطقه‌ی پی جویی بوت‌گاز (راه‌نما فقط مربوط به نمونه‌های برداشت شده در این پروژه است و موقعیت ترانشه‌ها، تونل و دیگر نمونه‌ها که توسط [۹] از آن برداشت شد مشخص شده است).

شبه مقطع یک (DD-1)

این شبه مقطع در منتهی الیه شمال غربی گستره و با راستای شمال شرقی - جنوب غربی به طول ۶۰۰ متر اجرا شده است. در راستای این شبه مقطع، در ۱۹۶ نقطه کمیت قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری شدند. براساس نقشه زمین‌شناسی تهیه شده در منطقه‌ی واحدهای رخنمون یافته در راستای این شبه مقطع از سمت شمال شرقی - جنوب غرب عبارتند از بیوتیت سینوگرانیت، متاکوارتزآرنایت، سنگ‌های به شدت دگرسان و شبه غبارسنگ شدند (شکل ۱۴). این منطقه دارای دگرسانی سرسیتیک متوسط و پروپیلیتیک است (شکل ۱۵). در فاصله‌ی ۳۱۰ متری شارژپذیری از ۵ میلی ولت بر ولت شروع به افزایش نموده و تا ۱۵ میلی ولت بر ولت در فاصله ۳۲۰ متری می‌رسد. این زون بارپذیر به صورت شیب‌دار در راستای تقریباً شمال شرقی - جنوب غربی از سطح تا عمق ۹۰ متر ادامه دارد و به سمت عمق محدود نشده است. از فاصله ۳۲۰ متر تا فاصله ۳۵۰ متری زون بارپذیری دیگری مشاهده می‌شود که به سمت عمق بارپذیری آن همانند زون قبلی افزایش داشته و در جهت شمال غربی - جنوب شرقی به صورت متقاطع نسبت به زون اول قرار دارد. (شکل ۱۴). براساس شبه مقطع RS موقعیت نسبی این زون بی‌هنجاری IP همخوانی خوبی با یک منطقه‌ی با مقاومت ویژه الکتریکی متوسط تا بالا نشان می‌دهد (شکل ۱۶).

شبه مقطع شش (DD-6)

طول این شبه مقطع ۸۰۰ متر است و در راستای آن ۲۷۶ نقطه کمیت قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری شده است. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده در منطقه واحدهای رخنمون یافته در راستای این شبه مقطع بیوتیت گرانودیوریت پورفیری، متاکوارتزآرنایت و سنگ‌های بشدت دگرسان شده می‌باشد (شکل ۱۴). این گستره دارای سرسیتیک دگرسان است (شکل ۱۵). در این شبه مقطع بارپذیری گستره‌ی تغییرات شارژیبلیتی از ۳/۵ تا بیش از ۱۸/۵ میلی ولت بر ولت متغیر است. در شبه مقطع RS گستره‌ی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی از ۴۰ تا ۶۰۰ اهم متر متغیر است (شکل ۱۷). در شبه مقطع IP (DD-6) در بیشتر بخش‌ها میزان بارپذیری پائین است. این موضوع حکایت از گسترش کم کانی‌سازی سولفیدی و یا در بیشتر بخش‌ها عدم حضور کانی‌سازی سولفیدی در راستای این شبه مقطع دارد. در شبه مقطع IP یک زون با پاسخ ضعیف تا متوسط ملاحظه می‌شود. این زون در فاصله‌ی ۱۳۰ تا ۱۶۰ و در فاصله ۱۷۰ تا ۲۳۰ متر و در عمق ۵۰ متر تا

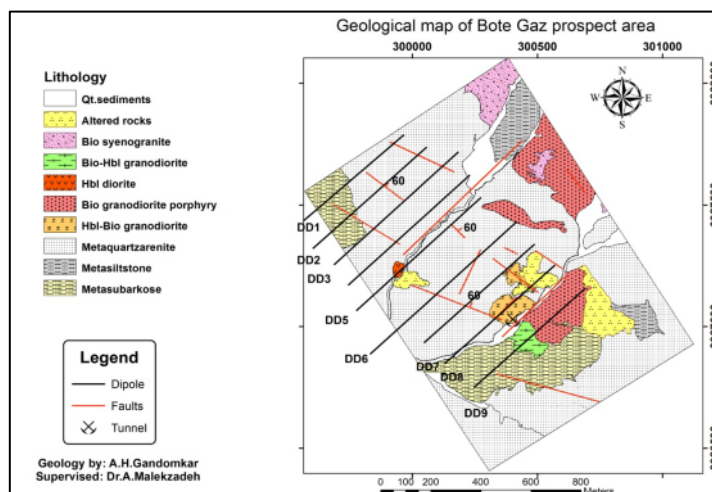
نقره و آنتیموان: بیشترین مقدار این عناصر در محل کانی‌سازی رگه‌ای است. گستره‌ی تغییرات عنصر نقره از ۰/۱ ppm تا ۲۲۶ ppm و گستره‌ی تغییرات آنتیموان از ۱ ppm تا ۳۳۴ ppm متغیر است (جدول ۵). **آرسنیک:** گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۸ ppm تا ۵۳۳ ppm است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه ۲ است (جدول ۵). **بیسموت:** مقدار این عنصر در کلیه نمونه‌ها کمتر از ۳ ppm است (جدول‌های ۴ و ۵).

تفسیر داده‌های IP/RS

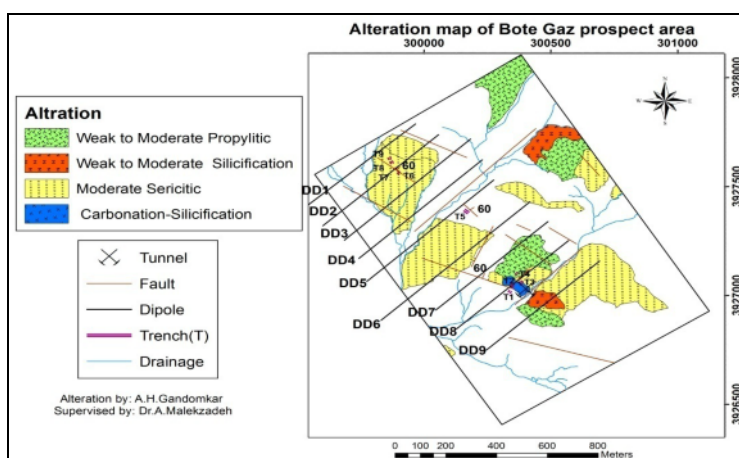
امروزه به علت پنهان بودن ذخایر معدنی به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در پی‌جویی ضروری است. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مناسب می‌تواند در کاهش هزینه‌های پی‌جویی و کسب اطلاعات مهم در مورد ساختارهای زمین‌شناسی در اعماق زمین و کشف مناطق امید بخش و مناسب برای حفاری سودمند باشد. در دو مرحله از پی‌جویی مواد معدنی می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیکی استفاده که نخستین، مرحله‌ی استفاده از اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی برای یافتن محل بی‌هنجاریهاست. مرحله دیگر استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی است. در این مرحله پس از استفاده از مدل‌های زمین‌ساختی، سنگ‌نگاری و دگرسانی، برای یافتن محل دقیق ذخیره‌ی پنهان، شکل، گسترش و عمق آن. بر پایه‌ی اطلاعات ژئوفیزیکی توام با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و ژئوشیمی می‌توان محل مناسب را برای حفاری تعیین و در صورت موفقیت مقدار ذخیره کانسار را برآورد کرد. روش IP/RS در پی‌جویی محل، گسترش و عمق کانی‌سازی سولفیدی در کانسارهای مختلف، مانند کانسار طلای توسکر در تانزانیا [۱۵]، المپیک دم [۱۶]، و ماسیوسولفید بنامبرا در استرالیا [۱۷]، سرب و روی زی چنگ در چین [۱۸]، مس رسوبی آدلاید جنوب استرالیا [۱۹]، منطقه‌ی کالکارو در شمال غربی معدن بروکن هیل و جنوب استرالیا [۲۰] و مس هیل [۲۱] استفاده شده است. شرکت زرناب در پی‌جویی در سال ۱۳۹۰ به منظور بررسی نیمه تفصیلی طلای فیروزکوه (انبور تا - بوته‌گز) و تغییرات سطحی و عمق کانی‌سازی در راستای رگه‌ی کانی‌سازی به برداشت ۹ شبه مقطع دوقطبی - دوقطبی با طول‌های متفاوت اقدام کرده است. شکل‌های (۱۴) و (۱۵) موقعیت این شبه مقطع‌ها را روی نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی نشان می‌دهند [۸]. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این شبه مقطع‌ها، شبه مقطع‌های دوقطبی - دوقطبی (DD-1)، (DD-6)، (DD-7)، (DD-8) دارای اهمیت بیشتری بوده است که به تفسیر این شبه مقطع‌ها می‌پردازیم:

زون با مقاومت ویژه متوسط تا بالا در بخش‌های جنوب‌غربی از بخش‌های با مقاومت ویژه کم تا متوسط در بخش شمال‌شرقی دیواره گسل شده است.

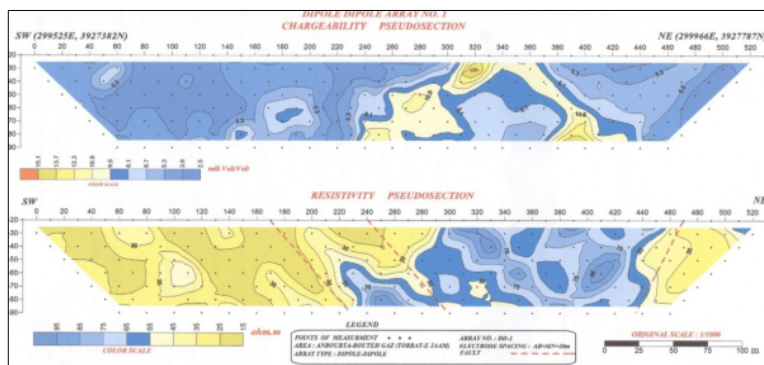
۷۰ متر مشاهده می‌شود (شکل ۱۷). براساس شبه مقطع RS این زون بی‌هنجاری IP همخوانی نسبتاً خوبی با یک گستره با مقاومت ویژه کم دارد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی عملکرد دو گسل در حوالی ایستگاه‌های ۳۸۰ و ۵۹۰، باعث جدایش یک



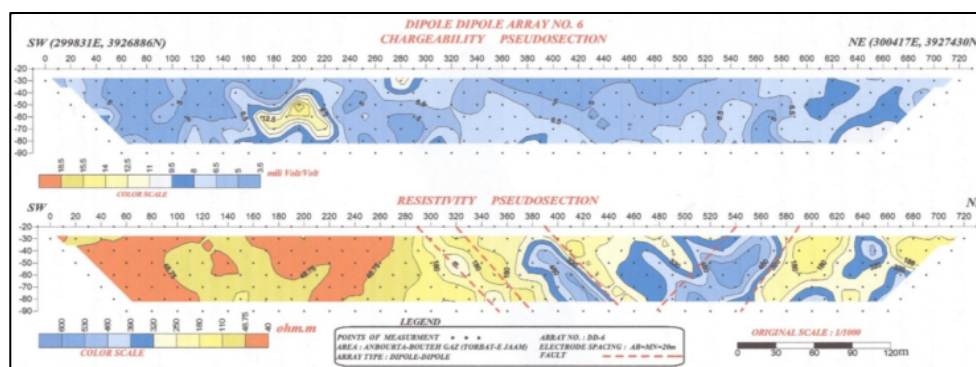
شکل ۱۴ موقعیت شبه مقطع‌ها روی نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی پی جویی بوته‌گز.



شکل ۱۵ موقعیت شبه مقطع‌ها روی نقشه‌ی دگرسانی گستره‌ی پی جویی بوته‌گز.



شکل ۱۶ نقشه‌ی شبه مقطع قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی برای شبه مقطع دوقطبی شماره‌ی یک (DD-1) [۸].



شکل ۱۷ نقشه‌ی شبه مقطع قطبش القایی و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی برای شبه مقطع دوقطبی شماره شش (DD-6) [۸].

شبه مقطع هفت (DD-7)

این شبه مقطع به طول ۷۰۰ متر اجرا شده است. در راستای این شبه مقطع ۱۹۶ نقطه قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری شده است. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی در راستای این شبه مقطع هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت و متاکوارتزآرنایت و سنگ‌های به شدت دگرسان شده رخنمون دارند (شکل ۱۴). این گستره دارای سرسیتیک دگرسان در بخش‌های مرکزی و پروپلیتیک در بخش‌های شرقی است (شکل ۱۵). در این شبه مقطع بارپذیری گستره‌ی تغییرات شارژبیلیتی از ۳/۵ تا بیش از ۱۵/۵ میلی ولت بر ولت متغیر است. در شبه مقطع RS گستره‌ی تغییرات مقاومت ویژه‌ی الکتریکی از ۵۰ تا ۶۱۰ اهم متر متغیر است. در این شبه مقطع IP (DD-7) موقعیت دو زون بی‌هنجار اصلی قابل شناسایی است. زون بی‌هنجار اول که از گسترش نسبی خوبی برخوردار است، بصورت یک گستره با پاسخ IP متوسط در فاصله‌ی ۳۳۰ متر تا ۴۶۰ متر دیده می‌شود که در عمق با یک زون بارپذیری کم به دو بخش تقسیم می‌شود. با افزایش عمق بر شدت نسبی این زون ناهنجاری در قسمت شمال‌شرقی تا حدی افزوده شده به‌طوری که در اعماق ۶۰-۷۰ متر به‌صورت یک زون با شدت IP متوسط تا بالا تبدیل می‌شود. از این عمق به بعد از شدت پاسخ IP کاسته می‌شود. این زون بی‌هنجاری برازش خوبی با توده هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت دارد که دارای پروپلیتیک و سرسیتیک دگرسان همراه با کانی‌سازی در این ناحیه است (شکل ۱۴). زون بی‌هنجاری دیگری در فاصله ۱۸۰ متر تا ۲۰۰ متر بوده و دارای پاسخ IP متوسط است. عمق این زون حدود ۵۵ متر به پائین و به سمت عمق ادامه دارد. براساس شبه مقطع RS و نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده، عملکرد گسل باعث جدایش یک زون با مقاومت ویژه‌ی الکتریکی کم تا متوسط در بخش‌های جنوب‌غربی از بخش‌های با مقاومت ویژه-

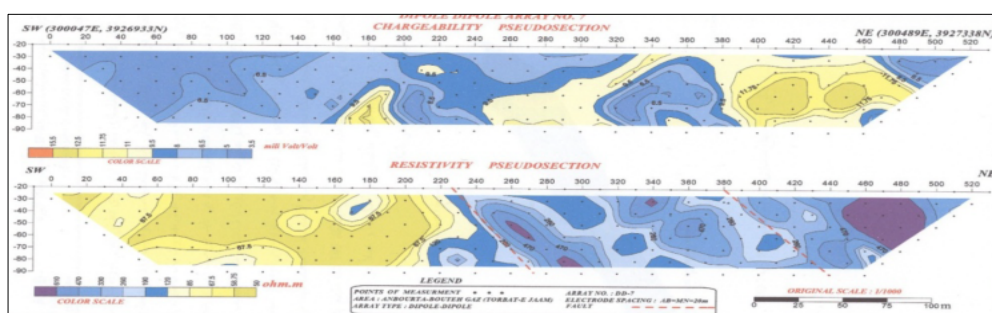
ی الکتریکی متوسط تا بالا در بخش‌های شمال شرقی شده است (شکل ۱۸).

شبه مقطع هشت (DD-8)

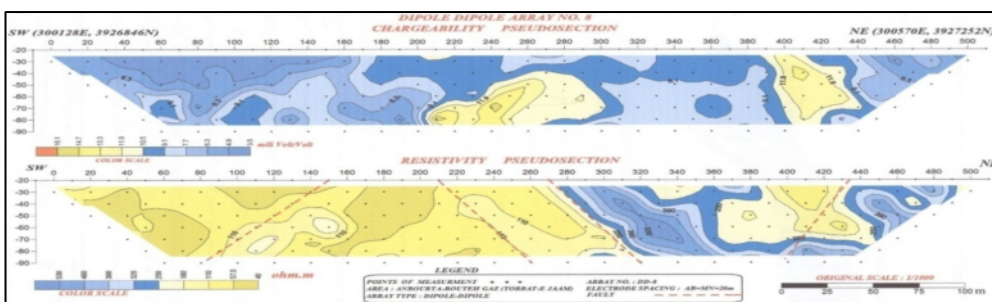
بررسی این شبه مقطع به طول ۶۰۰ متر و در راستای شمال-شرقی- جنوب‌غربی انجام شد و در راستای آن در ۱۸۸ نقطه قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری انجام شدند. این شبه مقطع همخوانی خوبی با تونل استخراجی قدیمی و کارهای شدادی دارد. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی در راستای این شبه مقطع هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت و متاکوارتزآرنایت و سنگ‌های بشدت دگرسان دیده می‌شود. این گستره دارای سرسیتیک، کربناتی و سیلیسی دگرسان در قسمت‌های مرکزی و پرو پلیتیک در بخش‌های شرقی است. در شبه مقطع بارپذیری دو بی‌هنجاری در فاصله‌های ۲۵۰ متر و ۲۹۰ متر و ۳۹۰ متر تا ۴۱۰ متر دیده می‌شود. اولی از عمق حدود ۴۵ متر شروع شده و با شیب به سمت جنوب‌غرب بارپذیری آن افزایش یافته و به سمت عمق ادامه دارد. دومی از سطح شیبی به سمت جنوب‌شرقی داشته ولی در عمق محدود می‌شود. این دو بی‌هنجاری بارپذیری می‌تواند معرف رگه‌های معدنی مشاهده شده در تونل باشد. براساس شبه مقطع RS و اطلاعات زمین‌شناسی عملکرد دو گسل در حوالی ایستگاه‌های ۲۱۰ و ۲۷۰ باعث جدایش و محدود شدن زون بی‌هنجاری IP شده است. زون بی‌هنجاری دوم با شدت متوسط تا ضعیف در حوالی ایستگاه ۴۰۰ است. این زون از گستردگی کمی برخوردار است و در مقایسه با شبه مقطع IP شبه مقطع DD-7 می‌توان گفت که در راستای زون بی‌هنجاری مشاهده شده در منتهی الیه شمال‌شرقی شبه مقطع یاد شده قرار می‌گیرد. براساس شبه مقطع RS عملکرد گسل ایستگاه ۲۷۰ و کانی‌سازی سولفیدی در راستای این گسل باعث جدایش یک زون با مقاومت ویژه‌ی الکتریکی متوسط تا بالا در بخش‌های شمال-

بی‌هنجاری مشاهده شده در حوالی تونل پی جویی با میزان پاسخ IP معادل ۲۴ میلی ولت بر ولت روبرو هستیم. زون بی-هنجاری IP با حرکت از شبه مقطع DD-8 به سمت جنوب-شرقی به طور ناگهانی قطع می‌شود. براساس مشاهدات صحرایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده در منطقه، زون بی-هنجاری IP به سمت جنوب‌شرق با یک گسل برخورد می‌کند. بر این اساس استنباط می‌شود که گسل یاد شده به‌عنوان محدود کننده حد جنوب‌شرقی بی‌هنجاری عمل کرد باشد (شکل ۲۰).

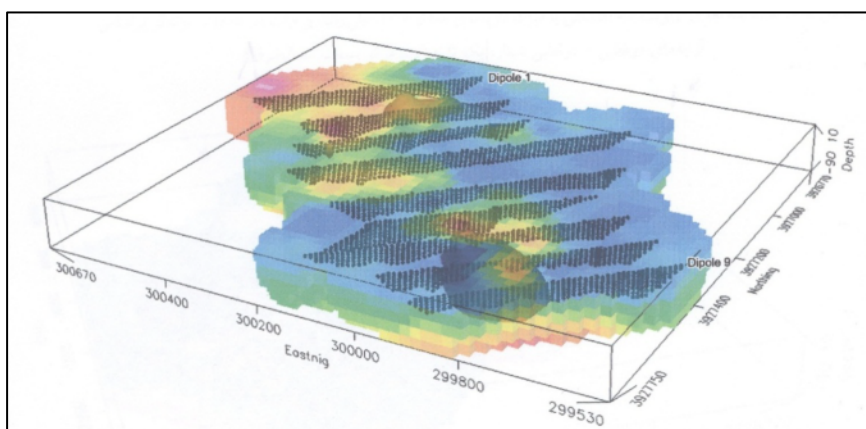
شرقی از بخش‌های مقاومت ویژه کم واقع در سمت جنوب‌غربی شبه مقطع شده است (شکل ۱۹). مدلسازی سه بعدی داده‌های قطبش القایی در مورد داده‌های گستره پی جویی بوت‌گزر کمک زیادی به شناخت چگونگی گسترش عمقی و روند تغییرات کانی‌سازی عمقی دارد. براساس شکل (۲۰) به خوبی مشاهده می‌شود که موقعیت زون کانی‌سازی واقع در منتهی‌الیه شمال‌غربی با میزان پاسخ IP معادل ۱۷/۵ میلی ولت بر ولت حکایت از میزان کانی‌سازی ضعیف‌تر این بخش از گستره در مقایسه با بخش‌های جنوب‌شرقی (گستره تونل اصلی) دارد. در



شکل ۱۸ نقشه‌ی شبه مقطع قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی شبه مقطع دوقطبی شماره‌ی هفت (DD-7) [۸].



شکل ۱۹ نقشه‌ی شبه مقطع قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی شبه مقطع دوقطبی شماره‌ی هشت (DD-8) [۸].



شکل ۲۰ نقشه سه بعدی با میزان بارپذیری ۱۷/۵ میلی ولت بر ولت در گستره‌ی پی جویی بوت‌گزر براساس شبه مقطع دوقطبی-دوقطبی یک تا نه (دید مرکز به سمت شمال غربی) [۸].

برداشت

توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی دیوریتی تا گرانیتی در شیل و ماسه سنگ‌های دگرگون شده نفوذ کرده‌اند. دامنه‌ی پذیرفتاری مغناطیسی توده‌ها از صفر تا $5 \times 10^5 SI$ متغیر است و به توده‌های حدواسط احيایی سری ایلمنیت وابسته‌اند. توده‌های نفوذی کمتر دگرسان منطقه از نوع متاآلومینوس تا پرآلومینوس و پتاسیم آهکی-قلیایی متوسط تا شوشونیتی هستند. در منطقه‌ی چهار نوع دگرسانی پروپلیتیک، سرسیتیک، سیلیسی و کربناتی-سیلیسی شناسایی شده‌اند. کانی‌سازی به شکل رگه‌ای و گاهی افشان دیده می‌شود. کانی‌سازی رگه‌ای با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شیب $N60E$ با عرض 40° سانتی‌متر تا ۱ متر دارای کانی‌های اولیه گالن، اسفالریت، کوارتز، کلسیت، کالکوپیریت، پیریت و باریت است. این کانی‌سازی در مرز توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با متاکوارتزآرنایت و خود این واحد پدید آمده است. براساس نمونه‌های برداشت شده رسوب‌های رودخانه‌ای بیشترین مقدار عنصر سرب در آبراهه غربی منطقه به میزان 420 ppm است که به کانی‌سازی رگه‌ای در بالادست و محل ترانشه‌ها وابسته است. بیشترین مقدار عنصر روی در آبراهه جنوب‌غربی منطقه به میزان 120 ppm است. بالاترین مقدار احتمالاً به توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با سرسیتیک و سیلیسی دگرسان وابسته است. بالاترین مقدار عنصر مس در آبراهه ی شمال‌غربی منطقه به میزان 50 ppm مربوط به کانی‌سازی مس در منطقه انبورتا در شمال منطقه بوته‌گز است. بی‌هنجاری‌هایی از عناصر مختلف نظیر سرب (تا ۹ درصد)، روی (تا ۲/۵ درصد)، مس (تا ۰/۷ درصد)، نقره (تا 226 ppm)، آنتیموان (تا 334 ppm) و آرسنیک (تا 533 ppm) از طریق آنالیزهای انجام شده به روش پی جویی‌های خرده‌سنگی در منطقه مشاهده شدند. بیشترین مقادیر عناصر به زون‌های کانی‌سازی رگه‌ای در محل تونل و ترانشه‌های شماره‌ی ۹۰۲، ۴، ۷ و وابسته‌اند. جانشینی نقره بجای سرب با توجه به شعاع یونی امکان‌پذیر است؛ اما مقدار این جانشینی به حضور عناصر آنتیموان و بیسموت بستگی دارد. به نظر مالاخوف [۲۲] نسبت Sb/Bi در گالن نشان دهنده‌ی دما و فشار تشکیل کانی‌سازی است، به‌طوری‌که نسبت Sb/Bi کمتر از $1/6 \text{ ppm}$ بیانگر دما و فشار بالا و بیش از 6 ppm تا 13 ppm معرف دما و فشار کم تشکیل کانسار است. مقدار بیسموت در نمونه‌های تجزیه شده کمتر از 3 ppm بوده است. عدم حضور بیسموت و بالا بودن

مقدار آنتیموان نشان دهنده‌ی پائین بودن دما و فشار تشکیل کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی است. مقدار کمتر نقره نسبت به آنتیموان همراه با گالن نیز موید آن است. بررسی‌های IP/RS در ۹ نیمرخ به روش دوقطبی-دوقطبی عمود بر راستای کانی‌سازی سولفیدی نشان دهنده دو زون بی‌هنجار اصلی است. زون بی‌هنجار به صورت یک بی‌هنجاری با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و در حوالی نیمرخ دوقطبی DD-6 تا DD-8 و در برخوردگاه شبه مقطع‌های یاد شده با کانی‌سازی رگه‌ای است. این بی‌هنجاری، برازش مکانی خوبی با تونل قدیمی و کارهای شدادی دارد. در این مکان کانی‌سازی به صورت گالن و اسفالریت و همراه با کوارتز و کلسیت است. بررسی‌های کانی‌سازی و ژئوشیمی گسترش کانی‌سازی سولفیدی را در گستره تونل اصلی (حوالی نیمرخ دوقطبی-دوقطبی DD-6 تا DD-8) تأیید می‌کند. فرآیندهای کانی‌سازی و دگرسانی وابسته به دیواره‌ی گسل باعث ایجاد و گسترش یک گستره با مقاومت ویژه کم تا متوسط در موقعیت این گسل در بیشتر شبه مقطع‌ها شده است. زون بی‌هنجاری دوم به صورت یک گستره نسبتاً کوچک در شمال‌شرقی منطقه روی شبه مقطع DD-1 دیده می‌شود. گسترش کانی‌سازی به سمت شمال و شمال‌شرقی منطقه بیشتر و به سمت جنوب-شرقی قطع می‌شود که به گسل موجود در آن ناحیه وابسته است. ترکیب کانی‌شناسی، شکل و حالت کانی‌سازی، انواع دگرسانی و گسترش آن‌ها، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی سرب و روی $\pm$ مس و بالا بودن مقدار آنتیموان نسبت به بیسموت همراه با گالن نشان می‌دهد که کانی‌سازی از نوع ورا گرمایی با دمای پایین است. عدم حضور کانی‌ها و دگرسانی‌های شاخص سولفید بالا مانند زون آلونیتی، آرژلیک پیشرفته و کوارتزهای حفره‌دار و نیز کانی‌های سولفیدی مثل بورنیت، انارژیت، کالکوزیت و کوولیت نشان‌دهنده‌ی سولفیدی شده پایین محلول است. احتمالاً توده‌ی نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت که دارای دگرسانی سیلیسی-کربناتی بوده، کانی‌سازی افشان گالن و پیریت در آن دیده می‌شود و کانی‌سازی رگه‌ای در مرز این توده با ماسه سنگ‌های دگرگون شده شکل گرفته است، در کانی‌سازی منطقه نقش داشته باشد.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۱۸۷۰۵/۳ مورخ ۱۳۹۰/۶/۸ انجام شده است. از سازمان صنعت معدن و تجارت استان خراسان رضوی

- [11] Ishihara S., "The granitoid series and mineralization, Economic Geology", 75 th Anniv, 75(1981) 458-484.
- [12] Middlemost E. A. K., "Naming materials in the magma/igneous rock system", Earth-Sciences Reviews 37(1985) 215-224.
- [13] Shand S. J., "Eruptive Rocks, Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite", New York: Wiley J., & Sons (1943).
- [14] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene calc-alkalin volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern turkey", Contributions to Mineralogy and Petrology, 58(1976) 63-81.
- [15] Karen P., Barry B., "The geophysical response of the tusker gold deposit, Lake Victoria gold fields", Tanzania, (2005).
- [16] Esdale D., J., Pridmore, D. F., Coggen, J. H., Muir, P. M., Williams, P. K., Fritz, F.P., "Olympic Dam deposit- Geophysical case history", 5th ASEG Conference, (1987) 47-49.
- [17] Rajagopalan S., Haydon S.J., "The Benambra volcanic hosted massive sulphide deposits, Geological Survey of Victoria report 119", Australian Society of Exploration geophysicists special publication No 11(1999).
- [18] Guo W., Dentith M., Zhao.Y., "Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield, Gansu Province, China", Exploration Geophysics Vol: 31, (2000) 243-247.
- [19] Dentith M., Stuart R., "Sediment-hosted stratiform copper deposits in the Adelaide Geosyncline, South Australia: Geophysical responses of mineralisation and the mineralised environment", Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits, (2002) 169-195.
- [20] Busuttil S., Law S., "The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia", Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits, (2001) 121-126.
- [21] White R.M.S., Collins S., Denne R., Hee R., Brown P., "A new survey design for 3D IP modelling at Copper hill", Exploration Geophysics, Vol: 32, (2001) 152-155.
- [22] Malakhov A.A., "Bismuth and antimony in galenas and indicators of some conditions of ore formation", Geochemistry International 7, (1968) 1055-1068.

به ویژه جناب آقای مهندس حسین عباس‌نیا به دلیل در اختیار گذاشتن نتایج ژئوشیمی و IP/RS کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [۱] بهروزی ا. و همکاران، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌جام"، سازمان زمین شناسی کشور سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی شمال-شرق کشور (۱۹۹۳).
- [۲] علوی نائینی م.، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام"، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی شمال-شرق کشور (۱۳۸۵).
- [۳] قلیچ‌خانی م.، ملکزاده سفارودی آ. و حیدریان‌شهری م.ر.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت‌جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۴] خزاعی فریک م.، ملکزاده سفارودی آ. و حیدریان‌شهری م.ر.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی تاریک‌دره، شمال شرق تربت‌جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۵] رضائی ف.، کریم‌پور م.ج.، ملکزاده سفارودی آ.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی زیرسطحی اکتشافی تاریک‌دره، شمال شرق تربت‌جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۶] گندمکار ا.ج.، ملکزاده سفارودی آ. و حیدریان‌شهری م.ر.، "آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی بوته‌گز، شمال شرق تربت‌جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۷] مهندسین مشاوره زرناب اکتشاف، "گزارش نهایی اکتشاف نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریک‌دره"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۵)، ۱۲۹ ص.
- [۸] مهندسین مشاوره زرناب اکتشاف، "بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش IP/RS در منطقه انبورتا-بوته‌گز"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۹۰).
- [۹] مهندسین مشاوره پیوند معدن آرا، "اکتشاف تفصیلی در منطقه انبورتا-بوته‌گز"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۷).
- [۱۰] افشار حرب علی، "زمین شناسی کپه‌داغ"، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور (۱۳۷۳)، ۲۷۵ ص.