



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

امیر حسین گندمکار<sup>\*</sup>، 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 پی‌جوبی بوته‌گز استان خراسان‌رضوی در ۳۴ کیلومتری شمال تربت‌جام قرار دارد. زمین‌شناسی این منطقه شامل توده‌های دیوریتی، گرانودیوریتی و سینوگرانیتی است که در سنگ‌های دگرگون نفوذ کرده‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های منطقه کمتر از  $SI^{+5} \times 10^{-5}$  بوده و از نوع سری ایلمنیت (احیایی) هستند. این توده‌ها شبه رخشان تا پرآلومینوس بوده و از پتاسیم آهکی قلیایی میانگین تا سری شوشوونیتی متغیرند. 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 متاکوارتز‌آرنايت و نیز درون همین واحد دگرگون دیده می‌شوند و شامل گالن، اسفالریت، کوارتز، کلسیت و جزئی کالکوپیریت، پیریت است. بی‌هنجری از سرب (تا ۲٪)، روی (تا ۲۵٪)، مس (تا ۲۰۳۹ ppm)، نقره (تا ۲۲۶ ppm)، آنتیموان (تا ۳۳۴ ppm) و آرسنیک (تا ۵۳۳ ppm) در پی‌جوبی‌های ژئوشیمیایی به روش خردمنگی 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 بی‌هنجر اصلی است. زون بی‌هنجر اول به صورت یک بی‌هنجر با روند شمال‌غاری- جنوب‌شرقی در محل کانی‌سازی رگهای و منطبق با توپل قدمی و کارهای شدادی است. بررسی‌های کانی‌سازی و ژئوشیمی، گسترش کانی‌سازی سولفیدی را در این بخش نشان می‌دهد. زون بی‌هنجر 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، بی‌هنجری‌های ژئوشیمیایی سرب و روی  $\pm$  مس و بالا بودن مقدار آنتیموان نسبت به بیسموت همراه با گالن نشان می‌دهد که کانی‌سازی ابی‌ترمال دمای پائین است.

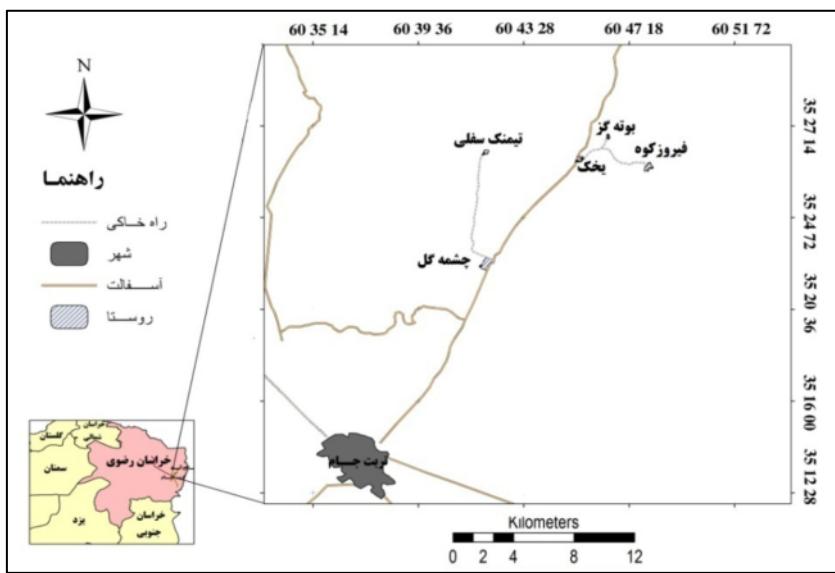
**واژه‌های کلیدی:** کانی‌سازی رگهای؛ سرب و روی؛ بوته‌گز؛ داده‌ای IP/RS

همکاران [۱] بررسی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه را در قالب تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ 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 مظاهر

### مقدمه

منطقه‌ی پی‌جوبی بوته‌گز در استان خراسان‌رضوی، در ۳۴ کیلومتری شمال تربت‌جام و بین طول‌های جغرافیایی  $۴۰^{\circ} ۲۷' ۳۵''$  تا  $۴۷' ۳۳''$  و  $۳۵^{\circ} ۲۸' ۳۵''$  و عرض‌های جغرافیایی  $۵۸' ۵۸''$  تا  $۶۰' ۵۳''$  واقع شده است (شکل ۱). بهروزی و

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۰۸۲۵۱۰، نامبر: 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 پاراژنر، 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 پی‌جویی بوته‌گز می‌باشد.

#### روش بررسی

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

۱- تهیه ۷۲ نمونه مقطع نازک به منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری- دگرسانی.

۲- تهیه 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 Cu, Pb, Zn و Bi 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 Cu, Pb, Zn و Bi در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد.

ماگماتیسم منطقه است که در شمال نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام رخنمون 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 [۵،۶]، 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 پی‌جویی نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریکدره (شمال تربت‌جام) در منطقه بوته‌گز توسط مهندسین مشاور زرنااب اکتشاف [۸] و پی‌جویی نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریکدره (بوته‌گز و انبورتا) توسط مهندسین مشاور معدن آرا [۹]، اشاره کرد. همچنین ۱۱ ترانشه 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 زرنااب اکتشاف انجام شده است [۸]. با همه‌ی اینها، تا کنون نقشه‌ی زمین‌شناسی و دگرسانی دقیقی از منطقه تهیه نشده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس مناسب، با تأکید بر شناسایی و جدایش

گیاهی یافت شده در سازند میانکوهی، بخشی از این سازند را می‌توان با سازند شمشک هم ارز دانست. همراه این شیل‌های سیاره‌نگ، میان‌لایه‌های نازکی از سیلیستون و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز جای گرفته است. ضخامت ظاهری این سازند بیشتر از ۸۰۰ متر به نظر می‌رسد ولی با توجه به عوامل زمین ساختی (راندگی) و چین‌خوردگی، ضخامت واقعی از ۵۰۰ متر فراتر نیست [۱۰]. واحدهای سازند میانکوهی در گستره‌ی موردن بررسی شامل واحد متاکوارتز‌آرایت، واحد متاسب آرکوز و واحد متاسیلیستون است که بیشتر در شمال، مرکز و جنوب منطقه پی‌جوبی مشاهده می‌شوند. بیشترین گسترش به واحد متاکوارتز‌آرایت 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 حدوداً میانگین است. یک توده‌ی نفوذی نیمه عمیق و ۴ توده‌ی نفوذی درونی است و شامل بیوتیت هورنبلند گرانوپوریت، هورنبلند بیوتیت گرانوپوریت، هورنبلند دیوریت، بیوتیت سینوگرانیت و بیوتیت گرانوپوریت پورفیری هستند (شکل ۲). دو توده‌ی بیوتیت گرانوپوریت پورفیری و بیوتیت سینوگرانیت بیشترین وسعت را در منطقه پی‌جوبی دارند. توده نفوذی نیمه عمیق بیوتیت گرانوپوریت پورفیری در قسمت‌های میانی و شرقی منطقه حضور دارد. بافت این توده‌ی پورفیری شامل فنوکریستهای اولیه پتاسیم فلدسپار، پلازیوکلاز، 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-ایدیومورفیک‌دانه دار و دارای ترکیبی از فنوکریستهای اولیه پلازیوکلاز، 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 گرانوپوریت در بخش‌های مرکزی منطقه رخنمون دارد و کانی‌سازی رگه‌ای

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- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت  $1/3$  کیلومتر مربع.

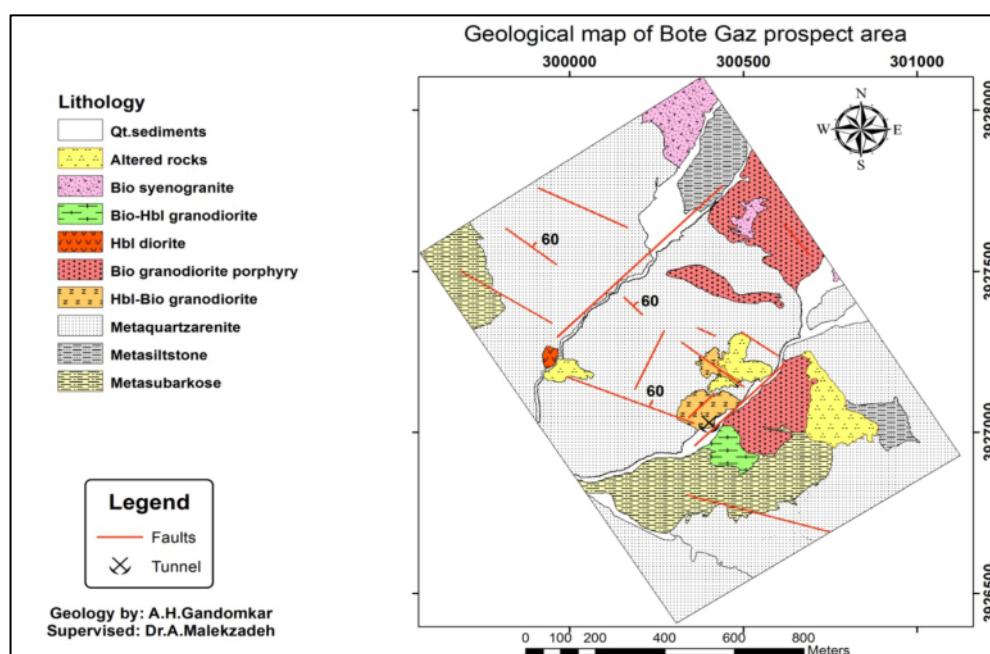
۸- تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی به روش IP/RS با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی.

### زمین‌شناسی

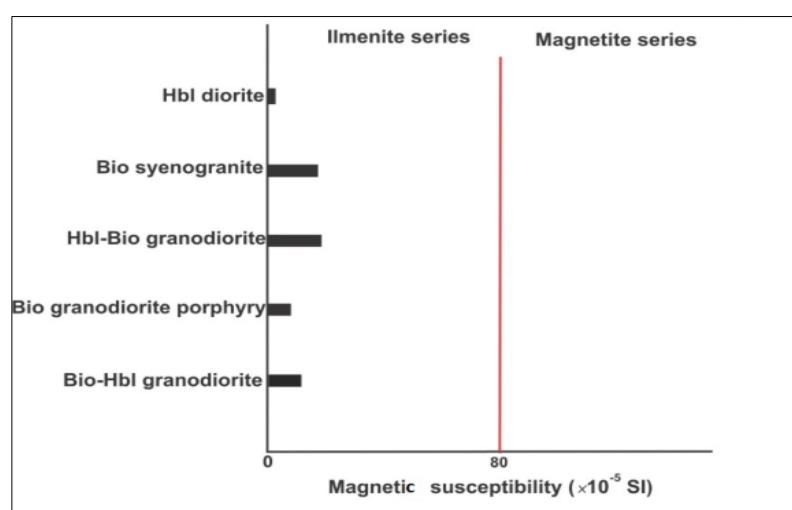
این منطقه از نگاه کانی‌زایی در راستای کمریند فلززایی بینالود و در مرز زون‌های ساختاری ایران مرکزی و کپه‌داغ قرار دارد. منطقه‌ی پی‌جوبی بوته‌گز از نظر زمین‌شناسی در گوشی شمال شرقی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰ تربت جام قرار می‌گیرد [۲]. توده‌های گرانیت‌ویتدی تربت جام با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی بخش وسیعی از شمال نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ تربت جام را دربرمی‌گیرد. سنگ میزان این توده‌ها، شیل‌های ذغال‌دار، سیلیستون و ماسه‌سنگ دگرگون شده تا حد رخساره‌ی شیست سبز است. با توجه به اینکه توده‌ی گرانیتی به وسیله‌ی کنگلومرای قاعده سازند کشف‌رود (JK) با سن باژو‌سین 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 باژو‌سین 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 حدوداً (شکل ۲). سازند دگرگون شده میانکوه قدمی‌ترین واحد زمین‌شناسی در گستره‌ی موردن بررسی است و از دو بخش زیرین (دربردارنده 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

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 مagmaی 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. توده‌ی هورنبلند بیوتیت گرانوڈیوریت در بخش جنوبی منطقه با دگرسانی سیلیسی و سرسیتیک و به مقدار کمی پروپلیتیک حضور دارد. توده‌ی هورنبلند دیوریت دارای گستردنگی سطحی کمی در بخش غربی منطقه پی‌جوبی است. این توده به صورت سرسیتیک دگرسان شده است (شکل ۲).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی پی‌جوبی بوته‌گز.



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

گرانودیوریت(Bt-38) همگی از نوع شبه درخشان هستند و توده‌ی نفوذی بیوتیت سینوگرانیت (Bt-50,Bt-46) در گستره‌ی شبه درخشان قرار می‌گیرد (شکل ۵). مقدار  $K_2O$  نمونه‌ها از  $1_{/}^{10}4$  تا  $4_{/}^{7}9$  متغیر است. براساس نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor) [۱۴] نمونه‌ها در سری آهکی-قلیایی با پاتاسیم متوسط تا سری شوشوونیتی قرار می‌گیرند(شکل ۶). توده‌ی نفوذی بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (Bt-3) در سری آهکی-قلیایی، توده‌ی نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت (Bt-38,Bt-32)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (Bt-48) و بیوتیت سینوگرانیت (Bt-46) در سری آهکی قلیایی با پاتاسیم بالا و بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (Bt-51) و بیوتیت سینوگرانیت در سری شوشوونیتی 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 صحرابی و آزمایشگاهی ۴ گونه دگرسانی در منطقه‌ی مورد بررسی شناسایی شده‌اند (شکل ۷) که عبارتند از: ۱) پروپیلتیک، ۲) سرسیتیک، ۳) سیلیسی و ۴) کربناتی-سیلیسی.

#### ژئوشیمی توده‌های نفوذی

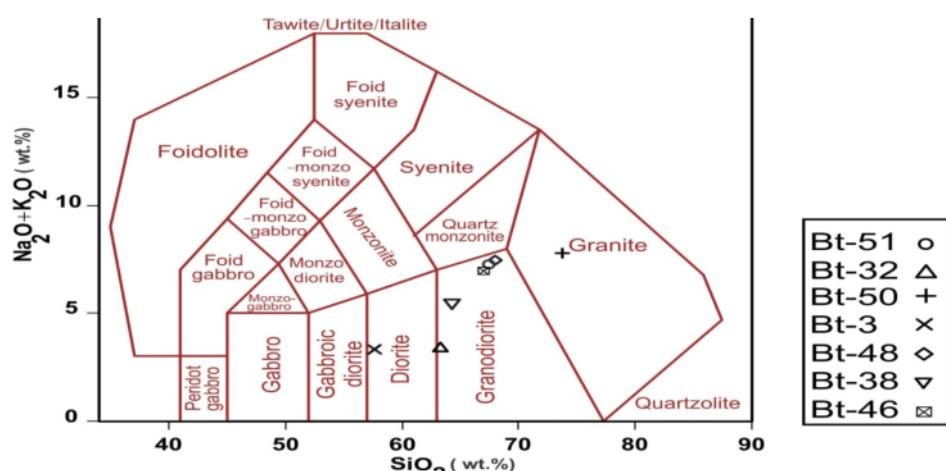
به منظور تعیین ژئوشیمی توده‌های نفوذی در این منطقه، ۷ نمونه از نمونه‌های کاملاً تازه و نا‌دگرسان از ۵ توده نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت (BT-32، BT-38)، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (BT-3)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-48)، بیوتیت گرانودیوریت پورفیری (BT-51) و بیوتیت سینوگرانودیوریت (BT-46)، انتخاب و به وسیله‌ی شرکت طیف کانساران 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 ۵۶,۶٪ تا ۷۰,۴٪ 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 گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت قرار می‌گیرند. همچنین این نمونه‌ها در نمودار  $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$  سبب بسته شده در (Shand)  $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + k_2O)$  [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

جدول ۱ نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی توده‌های نفوذی منطقه‌ی بی‌جویی بوته‌گز تربت جام (بر حسب درصد).

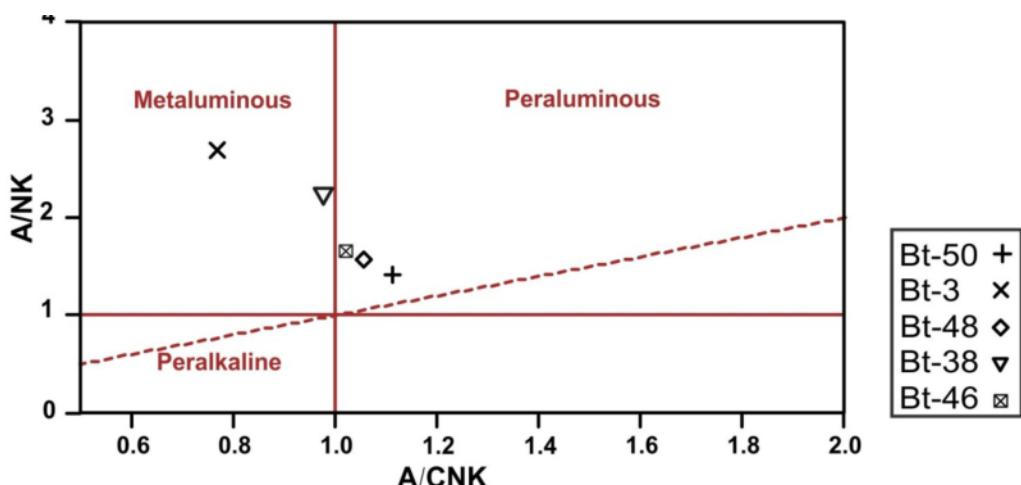
Wt%	Bt-46	Bt-38	Bt-48	Bt-3	Bt-50	Bt-32	Bt-51
X	۳۰۰۷۶۷	۳۰۰۴۲۰	۳۰۰۶۶۸	۳۰۰۵۰۹	۳۰۰۵۱۳	۳۰۰۳۳۹	۳۰۰۴۳۵
Y	۳۹۲۷۴۹۷	۳۹۲۷۱۹۲	۳۹۲۷۵۳۳	۳۹۲۶۹۳۴	۳۹۲۷۶۱۸	۳۹۲۷۰۴۲	۳۹۲۷۷۰۱
Rock name	بیوتیت سینوگرانودیوریت	هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت گرانودیوریت	بیوتیت گرانودیوریت پورفیری	بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت	بیوتیت سینوگرانودیوریت	هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت پورفیری	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 بوته‌گز تربت‌جام (بر حسب ppm).

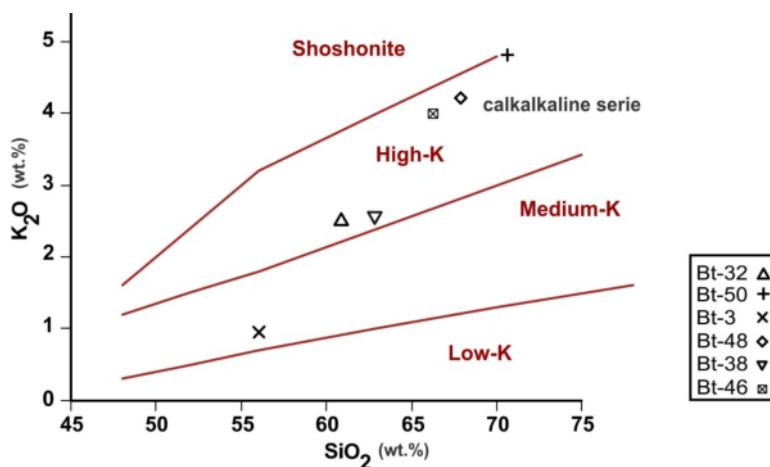
ppm	Bt-46	Bt-38	Bt-48	Bt-3	Bt-50	Bt-32	Bt-51
X	۳۰۰۷۶۷	۳۰۰۴۲۰	۳۰۰۶۶۸	۳۰۰۵۰۹	۳۰۰۵۱۳	۳۰۰۳۳۹	۳۰۰۴۳۵
Y	۳۹۲۷۴۹۷	۳۹۲۷۱۹۱	۳۹۲۷۵۳۳	۳۹۲۶۹۳۴	۳۹۲۷۶۱۸	۳۹۲۷۰۴۲	۳۹۲۷۷۰۱
V	۵۳	۱۱۶	۴۳	۱۸۳	۳۷	۱۰	۴۳
Cr	۲۹	۶۱	۳۹	۱۲۸	۲۹	۱۸	۴۰
Co	۹	۱۶	۸	۲۳	۷	۲	۸
Ni	۲۰	۲۱	۱۵	۲۸	۲۲	۱۶	۱۸
Cu	۱۸	۵۵	۱۴	۲۸	۲۲	۷	۱۸
Rb	۱۹۹	۹۲	۱۶۸	۵۴	۱۸۶	۸۲	۱۷۳
Sr	۳۲۲	۳۱۰	۲۷۵	۳۸۳	۲۶۴	۲۲۳	۳۰۳
Zr	۱۷۷	۱۵۶	۱۷۰	۸۵	۱۶۴	۴	۱۶۹
La	۱۰۰	۴۲	۶۳	۲۳	۵۱	n.d.	۴۳
Ce	۱۵۲	۹۳	۹۰	۹۴	۷۵	n.d.	۷۵
Ba	۱۲۰۱	۱۴۴۴	۱۲۸۶	۷۹۵	۲۴۴۱	۸۵۷	۱۲۴۰



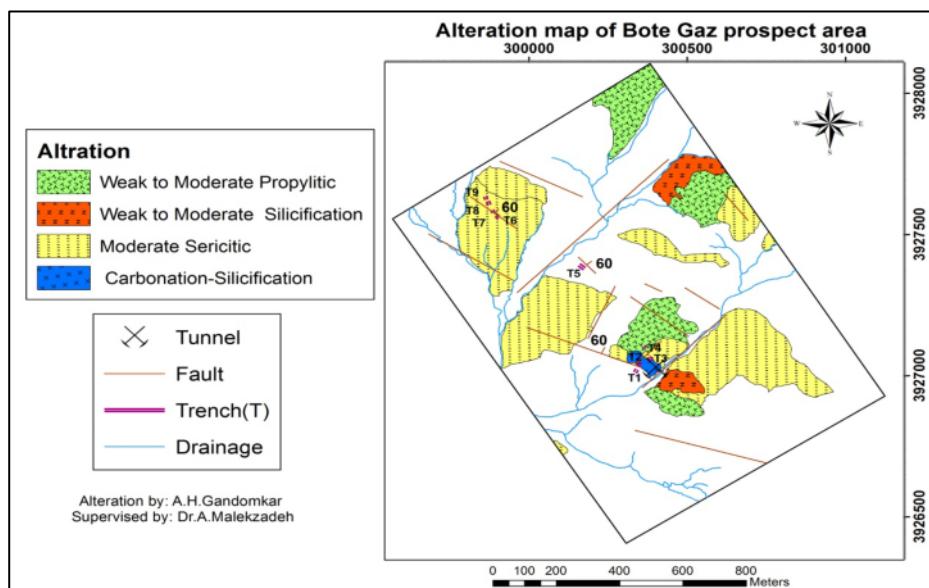
شکل ۴ نمودار نامگذاری سنگ‌های آذرین با استفاده از نسبت کاتیون‌ها [۱۲]. نمونه‌های بوته‌گز در گستره‌ی دبوریت تا گرانیت قرار می‌گیرند.



شکل ۵ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی جویی بوته‌گز در نمودار تعیین شاخص آلومنیوم 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 برگرفته است (شکل ۷). این دگرسانی بیشتر در سنگ‌های بیوتیت گرانوپلیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت گرانوپلیوریت 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. انباشت‌های 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 (۴۵-۴۰ درصد)، کلسیت (۲۵-۲۰ درصد) و کلریت (۵-۳ درصد) است که همراه با کانی‌های سولفیدی در رگه دیده می‌شوند. واحد هورنبلند بیوتیت گرانوپلیوریت در مجاورت رگه نیز تحت تاثیر دگرسانی کربناتی و سیلیسی قرار گرفته است. کانی‌های ثانویه آن کوارتز کربناتی و سیلیسی قرار گرفته است. کانی‌های ثانویه آن کوارتز (۱۵-۱۰ درصد) و کلسیت (۲۰ تا ۱۵ درصد) است. سرسیت به مقدار جزئی (۲-۳ درصد) حضور دارد و کانی‌های فرومیزین اندکی به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده (کمتر از درصد ۲٪ است. در این توده پلاژیوکلاز به کربنات تبدیل شده‌اند).

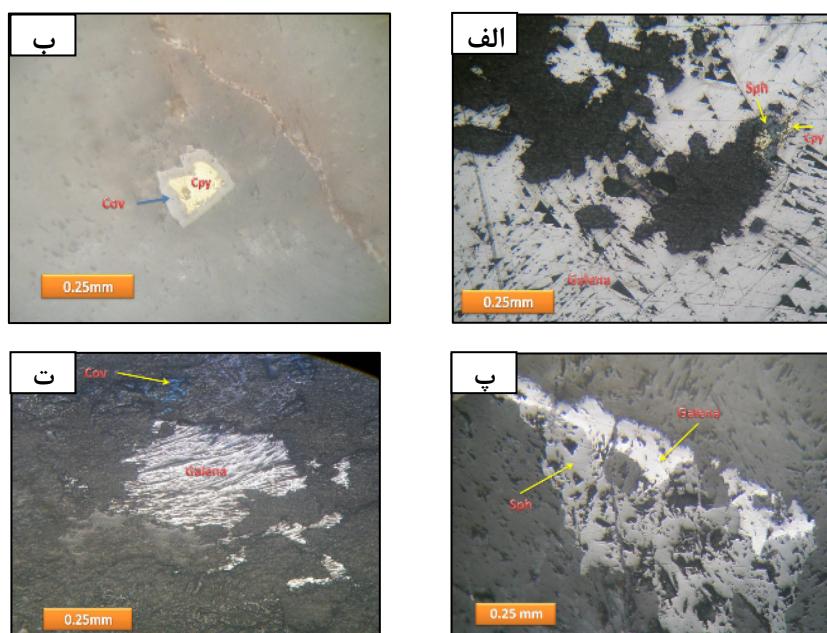
منطقه، شمال غربی-جنوب شرقی و شیب آن N60E است. ضخامت رگهها از ۴۰ سانتی متر تا ۱ متر در قسمت هایی از تونل و کارهای شدادی متغیر بوده است. کانی سازی منطقه به دو شکل رگهای و گاهی افشار در حریم گسلها دیده می شود. دگرسانی های سیلیسی و کربناتی همراه با رگهای کانی سازی دیده می شود. کانی های اولیه شامل گالن (۵-۱۰٪)، گوارتز (۴۰-۴۵٪)، میلیمتر)، اسفالریت (۷-۵٪)، کالکوپیریت (۴۰-۴۵٪)، کلیست (۲۰-۲۵٪)، پاریت (۳-۵٪)، کالکوپیریت (۴-۳٪) تا ۲۵٪ میلیمتر) و پیریت (۳-۲٪ تا ۱۵ میلیمتر) و کانی های ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و کوولیت است (شکل ۸). کانی سازی افشار به مقدار جزئی با دانه های شکل دار، نیمه شکل دار و بی شکل پیریت (۱-۲٪)، کالکوپیریت (۲-۳٪) و کمی گالن (کمتر از ۱٪) در توده های هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت به همراه دگرسانی سیلیسی و کربناتی در حریم رگهای اصلی دیده می شود. شکل (۹) دنبالهای پاراژنزی و رابطه زمانی کانی های فلزی درون زا و حاصل از دگرسانی و نیز کانی های ثانویه را نشان می دهد. پیریت و کالکوپیریت از اولین کانی های سولفیدی تشکیل شده در رگه هستند. گالن و اسفالریت نسبتاً همزمان تشکیل شده و پس از پیریت و کالکوپیریت به وجود آمدند (شکل ۹).

(۳) دگرسانی پروپیلیتیک: این دگرسانی بیشتر در مرکز، بخش های شرقی و شمال شرقی و در میان توده های درونی بیوتیت سینو گرانیت و هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت دیده می شود (شکل ۷). شدت این دگرسانی در بخش های مختلف متفاوت بوده و مهمترین کانی این زون کلریت است که از دگرسانی بیوتیت ها و هورنبلندها شکل گرفته است. مقدار آن از ۵ تا ۲۰ درصد متغیر است که همراه آن مقدار کمی سرسیت نیز دیده می شود.

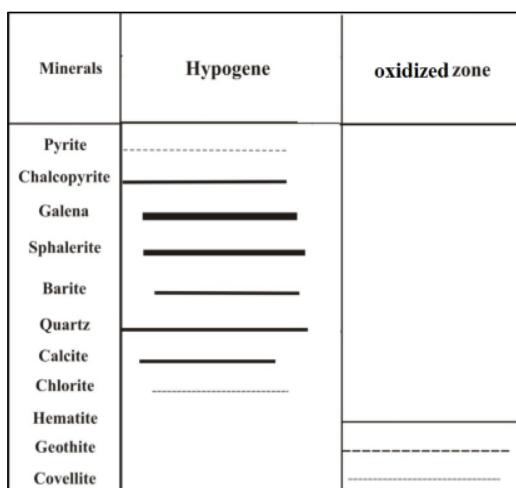
(۴) دگرسانی سیلیسی: زون سیلیسی در بخش های مرکزی و شرقی منطقه قرار دارد (شکل ۷). کانی اصلی این دگرسانی کوارتز ثانویه (۲۰-۲۵٪ درصد) است و مقدار جزئی سرسیت نیز دیده می شود. این زون بیشتر در واحد نیمه عمیق بیوتیت گرانودیوریت پوروفیری دیده می شود.

#### کانی سازی

وجود کنده کاری های قدیمی، تونل استخراجی و چند حفره استخراجی نشان دهنده ی قدمت فعالیت معدن کاری در منطقه بوته گز است. کانی سازی منطقه از نوع رگهای اس. زون های گسلی دارای کانی سازی در مرز توده های هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت با متا کوارتز آرنايت و داخل واحد متا کوارتز آرنايت دیده می شوند. روند کلی کانی سازی در زون گسلی در این



شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی از کانی سازی ها در منطقه پی جویی بوته گز (نور PPL). (گالن: Galen، اسفالریت: Galen، کالکوپیریت: Cpy و کوولیت: Cov) کانی سازی گالن، اسفالریت و کالکوپیریت. (ب) کالکوپیریت در حال تبدیل به کوولیت. (پ) کانی سازی گالن، کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده. (ت) کانی سازی رگچه ای از اسفالریت و اندکی گالن.



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

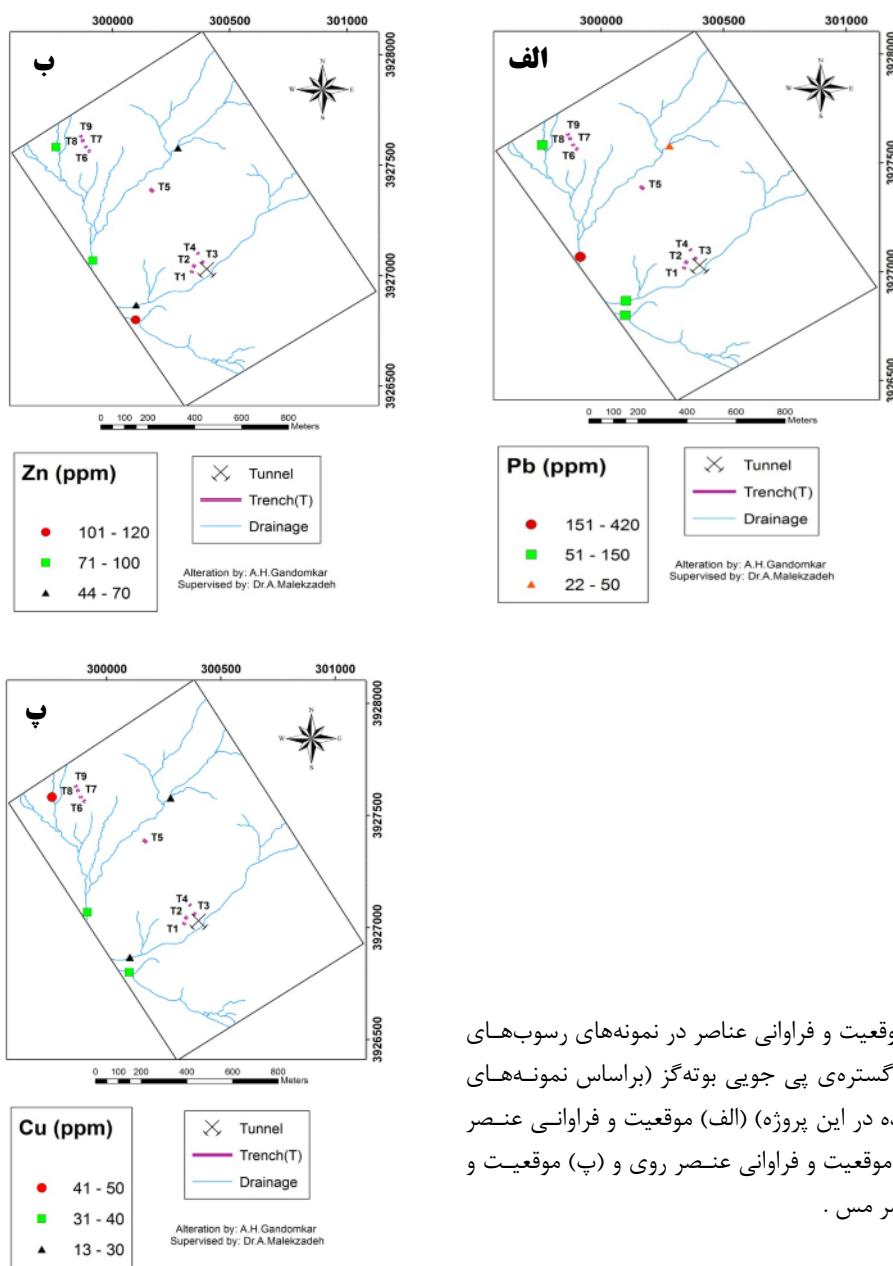
آبراهه غربی منطقه به میزان ۴۲۰ ppm و کمترین مقدار آن ۲۲ ppm وابسته به آبراهه‌ی شمال شرقی منطقه به میزان ۲۲ ppm است (شکل ۱۰-الف). مقدار بالای سرب در آبراهه‌ی غربی به کانی‌سازی رگه‌ای در بالادست و محل تراشه‌ها وابسته است. دامنه‌ی تغییرات روی بین ۴۴ ppm تا ۱۲۰ ppm بوده، و بیشترین مقدار این عنصر در آبراهه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

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 به دست آورد. از آنجا که هدف از برداشت نمونه رسوب رودخانه‌ای به دست 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 گسترده‌ی 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 ۲۲ ppm تا ۴۲۰ ppm بوده است. بیشترین مقدار این عنصر در

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

Sample	Longitude	Latitude	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Pb(ppm)
Btr1	۳۰۰.۹۸	۳۹۲۶۸.۰۰	۳۱	۱۰.۷	۸۲
Btr2	۲۹۹.۹۱۵	۳۹۲۷۰.۶۸	۳۷	۷۸	۴۱۹
Btr3	۳۰۰.۲۷۹	۳۹۲۷۵.۷۸	۱۲	۴۳	۲۱
Btr4	۳۰۰.۱۰۱	۳۹۲۶۸.۶۷	۲۵	۶۵	۸۴
Btr5	۲۹۹.۷۵۹	۳۹۲۷۵.۸۲	۴۸	۹۸	۵۳



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

حضور گالن است (جدول ۵ و شکل ۵ و شکل ۱۱). همچنین بی‌هنجری‌های بالایی از این عنصر در تونل و ترانشه‌ی شماره ۱ و ۲ (تا ۳/۸ 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 شماره‌ی 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 ۷/۰ درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه شماره‌ی ۴ است (جدول ۵ و شکل ۱۳).

#### پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

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

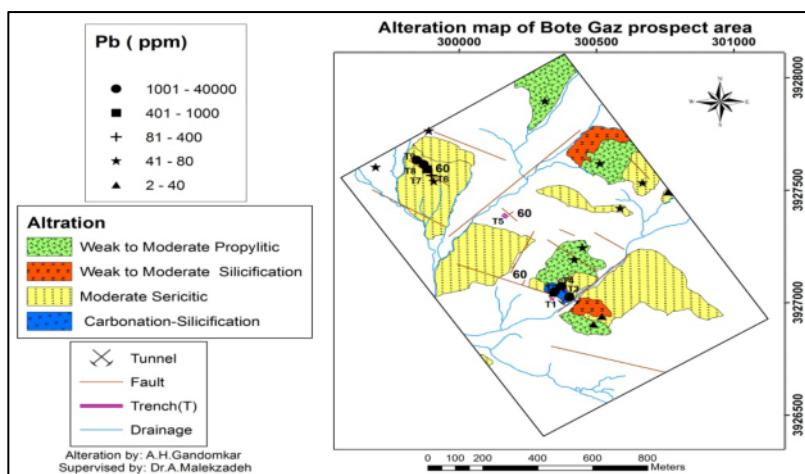
**سرب:** گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۲ ppm تا بیش از ۸ درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه‌ی شماره ۷ و کانی‌سازی رگه‌ای (۸/۶ درصد) است که دلیل آن

جدول ۴ نتایج آنالیز نمونه‌های خردمندی (Chip composite) به روش جذب اتمی (A.A).

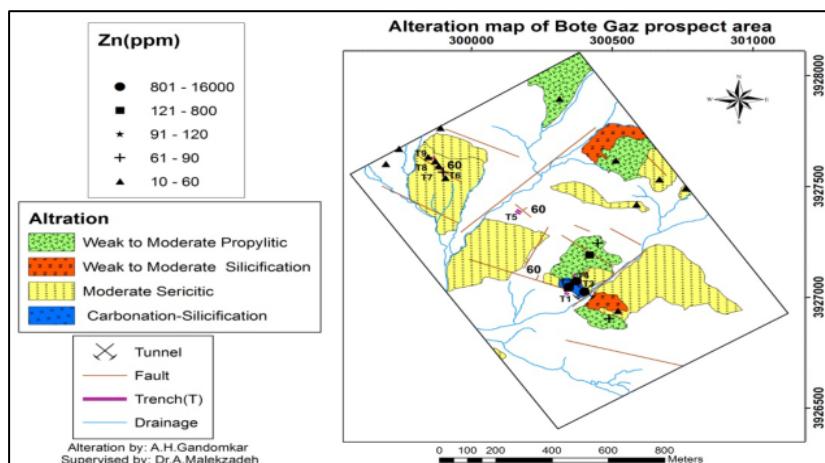
Sampel	X	Y	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Bi(ppm)
Btc1	۳۰۰۴۹.	۳۹۲۶۹۰۴	۲۴	۶۸	۵۸	۳<
Btc2	۳۰۰۵۲۰	۳۹۲۶۹۳۹	۲۹	۴۷	۱۲۹	۳<
Btc3	۲۹۹۸۷۷	۳۹۲۷۷۸۳	۴۴	۲۸	۴	۳<
Btc4	۳۰۰۳۳۹	۳۹۲۷۰۴۲	۵۵	۱۰۷	۶۷	۳<
Btc5	۳۰۰۳۴۹	۳۹۲۷۰۴۹	۷۰...	۳۱۵	۱۱۵	۳<
Btc6	۳۰۰۳۴۴	۳۹۲۷۰۴۲	۲	۶۵۴	۴۴۹	۳<
Btc7	۳۰۰۳۷۴	۳۹۲۷۰۷۳	۱۱۰	۸۱۷	۶۴	۳<
Btc8	۳۰۰۴۲۰	۳۹۲۷۱۹۱	۶۷	۱۹۲	۷۲	۳<
Btc9	۳۰۰۴۵	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	۷۲	۲۷	۲۴	۳<
Btc14	۳۰۰۳۱۳	۳۹۲۸۷۹۶	۶۷	۴۵	۹	۳<
Btc15	۳۰۰۴۰۲	۳۹۲۷۰۲۴	۳۰...	۱۶...	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	۱۶۰	۴۴	۱۲۱	۳<
Btc20	۲۹۹۸۴۷	۳۹۲۷۶۳۴	۴۰...	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].

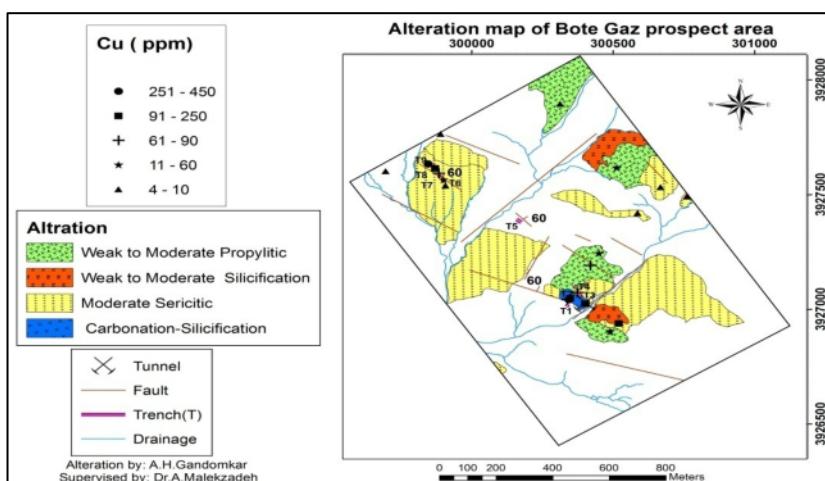
Sampel	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Ag(ppm)	Sb(ppm)	As(ppm)	Bi(ppm)
Bot-Ton-2	۶۹۸۰۰	۱۹۵	۵۱	۲۲۶	۳۳۴	۲۸۱	۳
Ton-1-1	۵۷۸۸۴	۴۳۴۷	۹۵۶	۸۵	۱۲۷	۱۱	۰,۴
Ton-1-4	۸۶۹۴۹	۲۵۰۲	۸۱۴	۱۱۳	۲۲۷	۱۱	۰,۲
Ton-1-5	۲۳۹۶	۵۵۵	۹۶	۱	۵	۵۵	۰,۲
TON-2-8	۹۰۸۸	۳۷۱	۱۴	۵	۱۸	۶۱	۰,۲
TR-2-4	۵۴۸۶	۲۹۴۶	۱۴	۳	۲۰	۵۳۳	۰,۲
Ton-2-10	۵۸۷۶۱	۲۰۷	۱۱۳۰	۳۰	۱۲۱	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	۰,۲
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	۲۲۱۶	۲۲۴۳	۱۳۱	۳	۶	۳۷	۰,۲
TR-4-A-2	۲۲۰۸۷	۲۵۰۲۲	۴۲۲۹	۳۰	۴۳	۱۳	۰,۲
TR-4-A-3	۳۱۷	۲۰۰۵۵	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	۰,۲	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 پی‌جویی بوته‌گز (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 بوته‌گز (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 پی‌جویی بوته‌گز (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 منتهی‌الیه شمال‌غربی گستره و با راستای شمال‌شرقی-جنوب‌غربی 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 شمال‌شرقی-جنوب‌غرب عبارتند از بیوپتیت سینوگرانیت، متاکوارتز آرنایت، 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 شارژبندی از ۵ میلی‌ولت بر ولت شروع به افزایش نموده و تا ۱۵ میلی‌ولت بر ولت در فاصله ۳۲۰ متری می‌رسد. این زون بارپذیر به صورت شیبدار در راستای تقریباً شمال‌شرقی-جنوب‌غربی 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 دیگر مشاهده می‌شود که به سمت عمق بارپذیری آن همانند زون قبلی افزایش داشته و در جهت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی به صورت متقطع نسبت به زون اول قرار دارد. (شکل ۱۴). براساس شبه مقطع RS موقعیت نسبی این زون بی‌亨جاری 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 بیوپتیت گرانوودیوریت پورفیری، متاکوارتز آرنایت و سنگ‌های بشدت دگرسان شده می‌باشد (شکل ۱۴). این گستره دارای سرسیتیک دگرسان است (شکل ۱۵). در این شبه مقطع بارپذیری گستره تغییرات شارژبیلیتی از ۳/۵ تا بیش از ۱۸/۵ میلی‌ولت بر ولت متغير است. در شبه مقطع RS گستره تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی از ۴۰ تا ۶۰۰ اهم متر متغير است (شکل ۱۷). در شبه مقطع IP DD-6 (شکل ۱۶) در بیشتر بخش‌ها میزان بارپذیری پائین است. این موضوع حکایت از گسترش کم کانی‌سازی سولفیدی در راستای این شبه بخش‌ها عدم حضور کانی‌سازی سولفیدی در 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

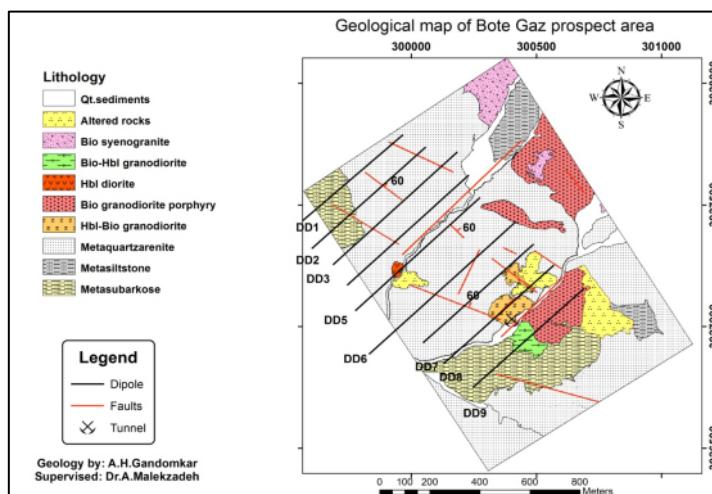
نقره و آنتیموان: بیشترین مقدار این عناصر در محل کانی‌سازی رگه‌ای است. گستره‌ی تغییرات عنصر نقره از ۰/۱ ppm تا ۰/۲۶ ppm و گستره‌ی تغییرات آنتیموان از ۱ ppm تا ۳/۴ ppm متغير است (جدول ۵). آرسنیک: گستره‌ی تغییرات این عنصر از ۸ ppm تا ۵/۳ ppm است. بیشترین مقدار این عنصر در محل ترانشه ۲ است (جدول ۵). بیسموت: مقدار این عنصر در کلیه نمونه‌ها کمتر از ۳ ppm است (جدول‌های ۴ و ۵).

### تفسیر داده‌های IP/RS

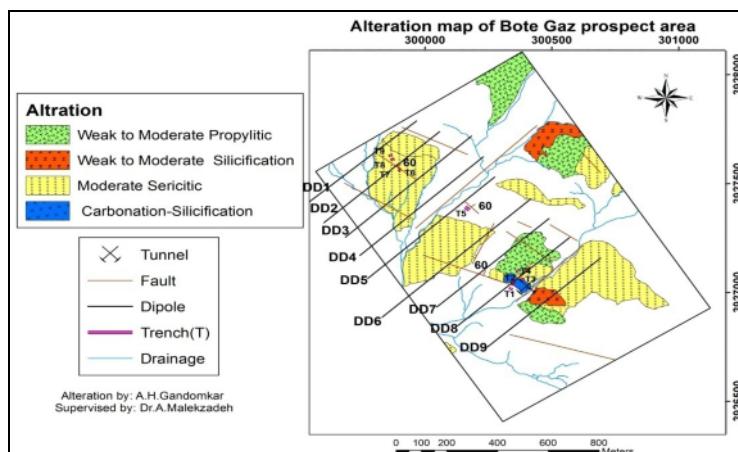
امروزه به علت پنهان بودن ذخایر معدنی به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در پی‌جویی ضروری است. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مناسب می‌تواند در کاهش هزینه‌های پی‌جویی و کسب اطلاعات مهم در مورد ساختارهای زمین‌شناسی در اعمق زمین و کشف مناطق امید بخش و مناسب برای حفاری سودمند باشد. در دو مرحله از پی‌جویی مواد معدنی می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیکی استفاده که نخستین، مرحله‌ی استفاده از اطلاعات ژئوفیزیکی هواپی برای یافتن محل پی‌هنجاریهای است. مرحله‌ی 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 موقوفیت مقدار ذخیره کانسار را برآورد کرد. روش IP/RS در پی‌جویی محل، گسترش و عمق کانی‌سازی سولفیدی در کانسارهای مختلف، مانند کانسار طلای توسرک در تانزانیا [۱۵]، المپیکدم [۱۶]، و ماسیوسولفید بنامبرا در استرالیا [۱۷]، سرب و روی زی چنگ در چین [۱۸]، مس رسوی 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 (انبورتا-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.

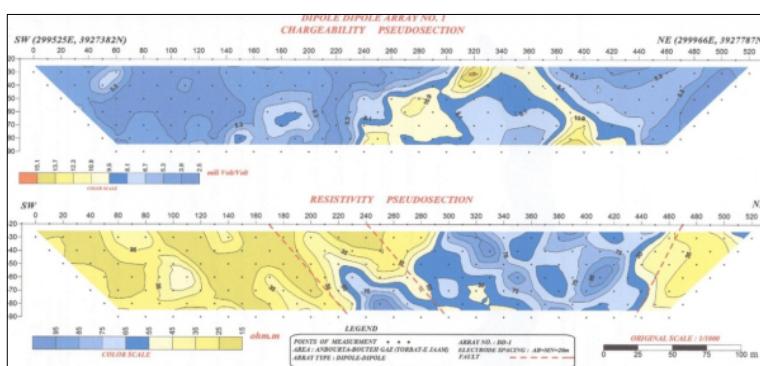
RS ۷۰ متر مشاهده می‌شود (شکل ۱۷). براساس شبیه مقطع این زون بی‌هنگاری IP همخوانی نسبتاً خوبی با یک گستره با مقاومت ویژه کم دارد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی عملکرد دو گسل در حوالی ایستگاه‌های ۳۸۰ و ۵۹۰، باعث جدایش یک



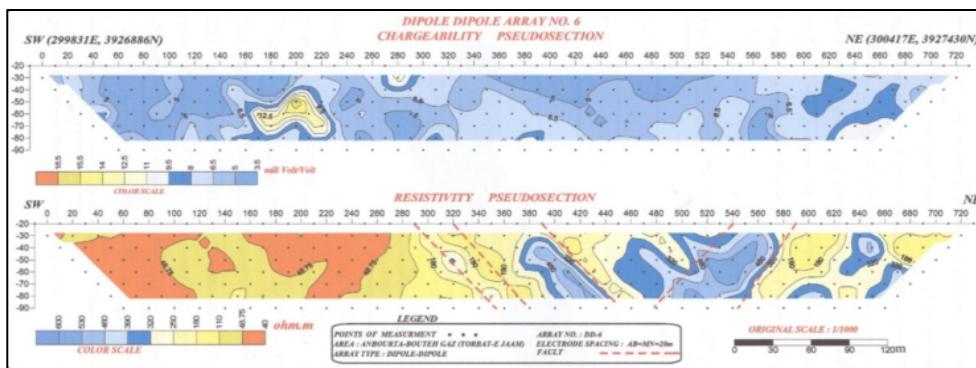
شکل ۱۴ موقعیت شبیه مقطع‌ها روی نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی پی جویی بوته‌گز.



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



شکل ۱۶ نقشه‌ی شبیه مقطع قطبش القابی و مقاومت ویژه الکتریکی برای شبیه مقطع دوقطبی شماره‌ی یک (DD-1).



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

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

#### شبه مقطع هشت (DD-8)

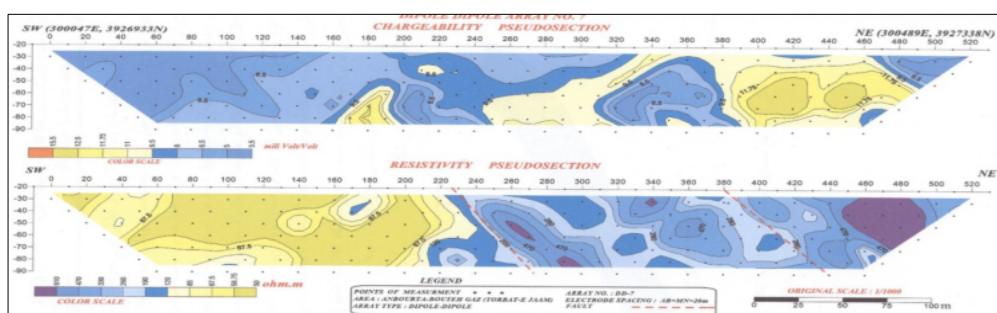
بررسی این شبه مقطع به طول ۶۰۰ متر و در راستای شمال-شرقی-جنوب‌غربی انجام شد و در راستای آن در ۱۸۸ نقطه قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری انجام شدند. این شبه مقطع همخوانی خوبی با تونل استخراجی قدیمی و کارهای شدادی دارد. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی در راستای این شبه مقطع هورنبلندر بیوتیت گرانوودیوریت و متاکوارتزآرنايت و سنگ‌های بشدت دگرسان دیده می‌شود. این گستره دارای سرسیتیک، کربناتی و سیلیسی دگرسان در قسمتهای مرکزی و پروپلیتیک در بخش‌های شرقی است. در شبه مقطع بارپذیری دو بی‌هنجری 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 بی‌هنجری بارپذیری می‌تواند معرف رگمه‌های معدنی مشاهده شده در تونل باشد. براساس شبه مقطع RS IP ۲۱۰ باعث جدایش یافت و به سمت ایستگاه‌های اطلاعات زمین‌شناسی عملکرد دو گسل در حوالی ایستگاه IP شده است. زون بی‌هنجری 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 بی‌هنجری 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-

#### شبه مقطع هفت (DD-7)

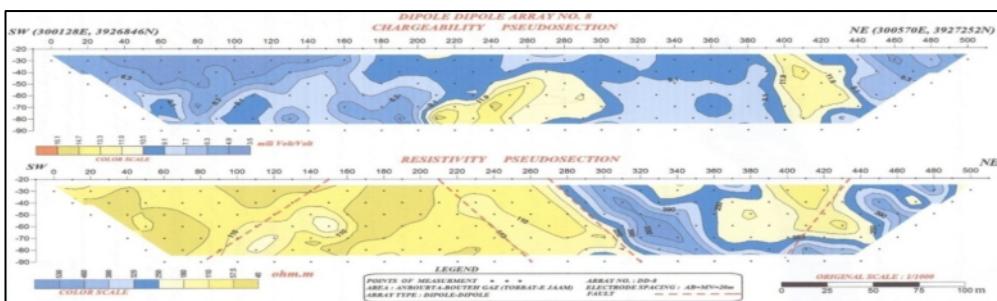
این شبه مقطع به طول ۷۰۰ متر اجرا شده است. در راستای این شبه مقطع ۱۹۶ نقطه قطبش القایی و مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده است. براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی در راستای این شبه مقطع هورنبلندر بیوتیت گرانوودیوریت و متاکوارتزآرنايت و سنگ‌های به شدت دگرسان شده رخمنون دارند (شکل ۱۴). این گستره دارای سرسیتیک دگرسان 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 بی‌هنجر اصلی قابل شناسایی است. زون بی‌هنجر 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 به طوری که در اعمق ۷۰-۶۰ متر به صورت یک زون با شدت IP متوسط تا بالا تبدیل می‌شود. از این عمق به بعد از شدت IP کاسته می‌شود. این زون بی‌هنجری برآش خوبی با توده هورنبلندر بیوتیت گرانوودیوریت دارد که دارای پروپلیتیک و سرسیتیک دگرسان همراه با کانی‌سازی در این ناحیه است (شکل ۱۴). زون بی‌هنجری 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-

بی‌هنگاری مشاهده شده در حوالی تونل پی جویی با میزان پاسخ IP معادل ۲۴ میلی ولت بر ولت روبرو هستیم. زون بی-هنگاری 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-هنگاری IP به سمت جنوب‌شرق با یک گسل برخورد می‌کند. بر این اساس استنباط می‌شود که گسل یاد شده به عنوان محدود کننده حد جنوب‌شرقی بی‌هنگاری عمل کرد باشد (شکل ۲۰).

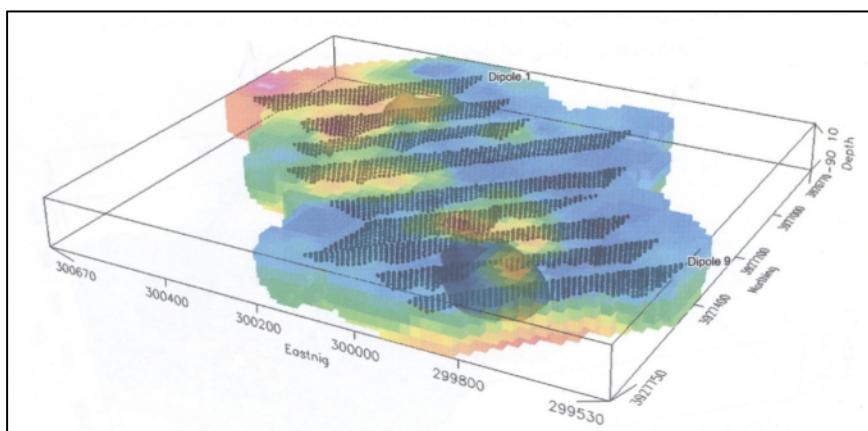
شرقی از بخش‌های مقاومت ویژه کم واقع در سمت جنوب‌غربی شبه مقطع شده است (شکل ۱۹). مدلسازی سه بعدی داده‌های قطبش القایی در مورد داده‌های گستره پی جویی بوته‌گز کمک زیادی به شناخت چگونگی گسترش عمقی و روند تغییرات کانی‌سازی عمقی دارد. براساس شکل (۲۰) به خوبی مشاهده می‌شود که موقعیت زون کانی‌سازی واقع در منتهی الیه 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 ویژه‌ی الکتریکی شبه مقطع دوقطبی شماره‌ی هفت (DD-7) [۸].



شکل ۱۹ نقشه‌ی شبه مقطع قطبش القایی و مقاومت ویژه‌ی 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 بوته‌گز براساس شبه مقطع دوقطبی-دوقطبی یک تا نه (دید مرکز به سمت شمال غربی) [۸].

مقدار آنتیموان نشان دهندهٔ پائین بودن دما و فشار تشکیل کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی است. مقدار کمتر نقرهٔ IP/RS در ۹ نیم‌رخ به روش دوقطبی-دوقطبی عمود بر راستای کانی‌سازی سولفیدی نشان دهندهٔ دو زون بی‌亨جار اصلی است. زون بی‌亨جار به صورت یک بی‌亨جاری با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و در حوالی نیم‌رخ دوقطبی-دوقطبی DD-6 تا DD8 در برخوردگاه شبهٔ مقطع‌های یاد شده با کانی‌سازی رگه‌ای است. این بی‌亨جاری، 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 گسترهٔ تونل اصلی (حوالی نیم‌رخ دوقطبی-دوقطبی 6-DD) تائید می‌کند. فرآیندهای کانی‌سازی و دگرسانی وابسته به دیواره‌ی گسل باعث ایجاد و گسترش یک گسترهٔ با مقاومت ویژه کم تا متوسط در موقعیت این گسل در بیشتر شبهٔ مقطع‌ها شده است. زون بی‌亨جاری دوم به صورت یک گسترهٔ نسبتاً کوچک در شمال‌شرقی منطقه روی شبهٔ 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، بی‌亨جاری‌های ژئوشیمیایی سرب و روی  $\pm$  مس و بالا بودن مقدار آنتیموان نسبت به بی‌سیمومت 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، آرژیلیک پیشرفت و کوارتزهای حفره‌دار و نیز کانی‌های سولفیدی مثل بورنیت، اناڑیت، کالکوزیت و کوولیت نشان‌دهندهٔ سولفیدی شده پایین محلول است. احتمالاً تودهٔ نفوذی هورنبلند بیوتیت گرانوودیوریت که دارای دگرسانی سیلیسی-کربناتی بوده، کانی‌سازی افسان گالن و پیریت در آن دیده می‌شود و کانی‌سازی رگه‌ای در مرز این توده با ماسهٔ سنگ‌های دگرگون شده شکل گرفته است، در کانی‌سازی منطقه نقش داشته باشد.

#### قدردانی

این پژوهه 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

#### برداشت

توده‌های نفوذی گرانیت‌ویدی دیوریتی تا گرانیتی در شیل و ماسهٔ سنگ‌های دگرگون شده نفوذ کرده‌اند. دامنهٔ پذیرفتاری مغناطیسی توده‌ها از صفر تا  $SI^{+} \times 5$  متغیر است و به توده‌های حدواسط احیایی سری ایلمنیت وابسته‌اند. توده‌های نفوذی کمتر دگرسان منطقه از نوع متا‌آلومینوس تا پرآلومینوس و پتانسیم آهکی-قليایی متوسط تا شوشومنیتی هستند. در منطقه‌ی چهار نوع دگرسانی پروپلیتیک، سرسیتیک، سیلیسی و کربناتی-سیلیسی شناسایی شده‌اند. کانی‌سازی به شکل رگه‌ای و گاهی افسان دیده می‌شود. کانی‌سازی رگه‌ای با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شیب N60E با عرض ۴۰ سانتی‌متر تا ۱ متر دارای کانی‌های اولیه گالن، اسفالریت، کوارتز، کلسیت، کالکوبیریت، پیریت و باریت است. این کانی‌سازی در مرز تودهٔ هورنبلند بیوتیت گرانوودیوریت 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 ۴۲۰ ppm است که به کانی‌سازی رگه‌ای در بالادست و محل ترانشه‌ها وابسته است. بیشترین مقدار عنصر روی در آبراهه جنوب‌غربی منطقه به میزان ۱۲۰ ppm است. بالاترین مقدار احتمالاً به تودهٔ هورنبلند بیوتیت گرانوودیوریت با سرسیتیک و سیلیسی دگرسان وابسته است. بالاترین مقدار عنصر مس در آبراههٔ شمال‌غربی منطقه به میزان ۵۰ ppm مربوط به کانی‌ساری مس در منطقه انبورتا در شمال منطقه بوته‌گز است. بی‌亨جاری‌هایی از عناصر مختلف نظیر سرب (تا ۹ درصد)، روی (تا ۲/۵ درصد)، مس (تا ۰/۷ درصد)، نقره (تا ۰/۲۲۶ ppm) آنتیموان (تا ۰/۳۳۴ ppm) و آرسنیک (تا ۰/۵۳۳ ppm) از طریق آنالیزهای انجام شده به روش پی جویی‌های خردمندی در منطقه مشاهده شدند. بیشترین مقادیر عناصر به زون‌های کانی‌سازی رگه‌ای در محل تونل و ترانشه‌های شماره‌ی ۹۲، ۴۷ وابسته‌اند. جانشینی نقره بجا سرب با توجه به شعاع یونی امکان‌پذیر است؛ اما مقدار این جانشینی به حضور عناصر آنتیموان و بی‌سیمومت بستگی دارد. به نظر مالاخوف [۲۲] نسبت Sb/Bi در گالن نشان دهندهٔ دما و فشار تشکیل کانی‌سازی است، بهطوری‌که نسبت Sb/Bi کمتر از ۰/۶ ppm دما و فشار بالا و بیش از ۱/۳ ppm تا ۶ ppm معرف دما و فشار کم تشکیل کانسار است. مقدار بی‌سیمومت در نمونه‌های تجزیه شده کمتر از ۳ ppm بوده است. عدم حضور بی‌سیمومت و بالا بودن

- [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-alkaline 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 deposite, 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 deposite- 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] Busutil 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 تشرک را داریم.

#### مراجع

- [۱] بهروزی ا، و همکاران، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت جام"، سازمان زمین شناسی کشور سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی شمال-شرق کشور (۱۹۹۳).
- [۲] علوی نائینی م، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ تربت جام"، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی شمال-شرق کشور (۱۳۸۵).
- [۳] قلیچ خانی م، ملکزاده شفارودی آ، و حیدریان شهری م.ر، "زمین شناسی، آلتراسیون، کانی سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۴] خزاعی فریک م، ملکزاده شفارودی آ، و حیدریان شهری م.ر، "زمین شناسی، آلتراسیون، کانی سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی تاریک دره، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۵] رمضانی ف، کریم پور م.ح، ملکزاده شفارودی آ، "زمین- شناسی، آلتراسیون، کانی سازی و ژئوشیمی زیر سطحی اکتشافی تاریک دره، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۶] گندمکار اح، ملکزاده شفارودی آ، و حیدریان شهری م.ر، "التراسیون، کانی سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی بوته گز، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه چمران اهواز (۱۳۹۰).
- [۷] مهندسین مشاوره زرناک اکتشاف، "گزارش نهایی اکتشاف نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریک دره"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۵)، ۱۲۹ ص.
- [۸] مهندسین مشاوره زرناک اکتشاف، "بررسی های ژئوفیزیکی به روشن IP/RS در منطقه انبورتا- بوته گز"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۹۰).
- [۹] مهندسین مشاوره پیوند معدن آرا، "اکتشاف تفصیلی در منطقه انبورتا- بوته گز"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۷).
- [۱۰] افشار حرب علی، "زمین شناسی کپه داغ"، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور (۱۳۷۳)، ۱۲۷۵ ص.