



وزارت صنعت، معدن، تجارت  
سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

عنوان:

گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ايجستان

شماره برگه:

۷۶۵۹

تهیه کننده / تهیه کنندگان:

الف. ر. عاشوری، م. ح. کریم پور، س. سادات

سال تولید:

1386

## گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

## برگه شماره ۷۶۵۹ - بجستان

## موقعیت جغرافیایی و ریخت شناسی

منطقه مورد نظر در مختصات  $34^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  عرض شمالی و  $58^{\circ}$  تا  $30^{\circ}$  طول خاوری واقع شده است. از نظر تقسیمات کشوری، این محدوده در جنوب باختر استان خراسان رضوی و در حریم شهرستانهای فردوس و گناباد قرار گرفته است. جهت دسترسی به بخشهای مختلف منطقه افزون بر مسیر اصلی مشهد- فیض آباد- بجستان، از راههای فرعی متعددی که در سطح منطقه پراکنده هستند، می توان بهره گرفت.

وضعیت ناهمواریها در محدوده مورد مطالعه به گونه ای است که از سمت جنوب و جنوب خاور به سمت شمال و شمال باختر از شدت ارتفاعات کاسته می شود. بیشترین ارتفاع از سطح دریا در جنوب خاور منطقه با ۱۷۲۲ متر در جنوب روستای علی آباد واقع گردیده است و کمترین آن در شمال باختر روستای سردق در باختر منطقه حدود ۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. در میان واحدهای عمده توپوگرافیک، نواحی پست و هموار یا با شیب کم از گسترش به نسبت قابل توجهی برخوردارند و بیش از نیمی از منطقه را در بر می گیرند. نواحی کوهستانی و به نسبت پرشیب، با روند شمال خاور - جنوب باختر بیشتر در نیمه جنوبی پهنه مورد مطالعه واقع شده اند. در خاور و جنوب خاور شهر بجستان رشته کوه کمرسفید واقع گردیده که بخش عمده آن را سنگهای آذرین تشکیل می دهد. در دیگر مناطق ورقه بجستان، ارتفاعات صخره ساز بیشتر سنگهای کربناته هستند و کوههای چهار قله، پشت کوه، کوه کمر بزرگ، کوه قراول و کوه چاه چول از مهمترین ارتفاعات این منطقه بشمار می روند.

تغییرات دما در منطقه بین  $32^{\circ}$  تا  $38^{\circ}$  درجه سانتی گراد در تیرماه و حدود  $1^{\circ}$  تا  $1/5^{\circ}$  درجه سانتی گراد در دی ماه است و بندرت به زیر صفر می رسد. همچنین حداکثر بارندگی حدود ۲۱ میلیمتر در شبانه روز در بهمن ماه و حداکثر سرعت وزش باد حدود ۱۳ متر بر ثانیه بویژه در اوایل بهار گزارش شده است. متوسط درجه حرارت سالانه، متوسط بارندگی و ضریب خشکی حاصله، وجود اقلیم خشک را در این منطقه نشان می دهد. با توجه به شرایط اقلیمی، جریانهای سطحی آب در منطقه قابل توجه نبوده و منابع آبی بیشتر از نوع قنات و گاه چاه است. به غیر از باغات انار اطراف شهر بجستان و مزارع زعفران کاری و گاه پسته کاری و... در مجموع منطقه از نظر پوشش گیاهی بویژه رویش درختان بسیار فقیر است.

## چینه شناسی

به استثنا مجموعه دگرگونی، واحد MCS کربونیفر؟، که در جنوب خاوری ورقه رخنمون دارد کهن ترین واحد سنگی شناخته شده منطقه، سازند سردر است که رخنمون محدودی از آن در کوه قراول در شمال بجستان قابل مشاهده است. دیگر سازند متعلق به پالئوزوئیک در ورقه بجستان سازند جمال است. از واحدهای چینه ای مربوط به مزوزوئیک میتوان به واحدهای چینه سنگی  $K_1^2$ ،  $K_2^2$  و  $K_3^2$  اشاره نمود. سنگهای مربوط به ترشیری حاصل تکاپوهای ماگمایی است که بصورت سنگهای آذرین بیرونی و درونی در منطقه برونزد دارند. رسوبات مربوط به کواترنری شامل آبرفتهای رودخانه ای، پهنه های نمکی رسی و ماسه های بادی است.

## پالئوزوئیک

واحدهای سنگی منسوب به پالئوزوئیک در منطقه مورد مطالعه شامل سازندهای سردر، کربونیفر، و جمال، پرمین، است.

**واحد Cs سازند سردر**

رخنمون سازند سردر در کوه قراول واقع در شمال بجنستان دیده می‌شود. این واحد در این ناحیه از شیل‌های سبز خاکستری رنگ با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی به رنگ قهوه‌ای تا خاکستری مایل به سفید تشکیل یافته است. فسیل قابل توجهی از این توالی به دست نیامده است. انتساب این مجموعه به سازند سردر به دلیل تشابه سنگ شناسی و واقع شدن در زیر سازند جمال است. ضخامت این واحد حدود ۱۴۰ متر است.

**واحد Pz سازند جمال**

لایه‌های مربوط به سازند جمال در ارتفاعات شمالی بجنستان، کوه قراول، رخنمون دارند. در این منطقه، این سازند با یک سری لایه آهکی متوسط لایه به رنگ خاکستری آغاز می‌شود و بر روی آنها واحدهای آهکی - دولومیتی قهوه‌ای رنگ قرار می‌گیرند. ضخامت این مجموعه حدود ۱۷۰ متر است که توسط رگه‌های کلسیتی ثانویه در جهات مختلف قطع شده‌اند. گرچه کارهای قبلی حاکی از وجود فسیل قابل توجه در این لایه‌ها است اما تنها برخی پوسته‌های ارگانیکی نامشخص و ساقه‌های کرینوئیدی دیده می‌شود. در عین حال وجود فرامینیفرهای

*Cribrogenina sp.*, *Globivalvulina sp.*, *Millerella sp.*, *Agathamina sp.*, *Hemigordius sp.*, *limacamina sp.*, *Pseudofusulina sp.*

بیانگر سن پرمین برای این مجموعه است.

در شمال خاوری روستای سوسناری و شمال باختری آبادی چهار طاق نیز واحدی رخنمون دارد که در کارهای گذشته به سنگهای آتشفشانی نسبت داده شده است. این در حالی است که واحد یاد شده یک واحد رسوبی است که از پائین به بالا به ترتیب شامل بخشهای زیر است:

لایه‌های ماسه سنگی - کوارتزیتی قهوه‌ای تا خاکستری.

لایه‌های آهکی خاکستری رنگ نازک لایه تا متوسط لایه با میان لایه‌های چرتی و بین لایه‌هایی به ظاهر شیلی قرمز رنگ با ضخامت کمتر از ۱۰ سانتی متر.

لایه‌های آهکی - دولومیتی قهوه‌ای رنگ متوسط لایه فوقانی.

کل مجموعه فوق، همانند کوه قراول، در جهات مختلف توسط رگه‌های کلسیتی و سیلیسی قطع شده است و عاری از فسیل خاص و قابل ذکری است. تنها در یکی از بین لایه‌های به ظاهر شیلی قرمز رنگ، آثاری شبیه ساقه کرینوئید دیده شد که قابل نمونه برداری نبود. با توجه به شباهت سنگ شناسی واحد رسوبی فوق، این احتمال وجود دارد که مجموعه یاد شده قابل انطباق با واحدهای رسوبی تشکیل دهنده کوه قراول در شمال بجنستان باشد.

**مزوزوئیک**

واحدهای سنگی منسوب به مزوزوئیک با توجه به شواهد فسیلی بیشتر مربوط به کرتاسه پسین هستند و شامل سنگ آهک، سنگ آهک ماسه‌ای، کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و آهکهای ضخیم لایه هستند که به سه واحد  $K^2_1$ ،  $K^2_2$  و  $K^3_2$  تفکیک گردیده‌اند.

**واحدهای سنگی کرتاسه پسین****واحد  $K^2_1$  کرتاسه پسین**

این واحد در شمال روستای سوسناری، بی بی غیبی، رخنمون دارد. در این منطقه، واحد یاد شده بیشتر شامل آهک و آهک‌های ماسه‌ای فسیل دار است. در این مجموعه سنگی فسیلهای فراوانی از دوکفه‌ای‌ها به خصوص هیپوریت و فسیل‌های خارپوستان و سفالوپودها دیده می‌شود. واحدهای یاد شده به شدت گسله بوده و توالی سنگ شناسی آن بهم ریخته است.

**واحد  $K^2_2$  کرتاسه پسین**

واحد  $K^2_2$  شامل لایه‌های کنگلومرائی - ماسه سنگی در قاعده و آهک‌های با لایه‌بندی منظم و مارن در بخش فوقانی است که بهترین رخنمون آن در دامنه شمالی کوه چاه چول واقع است. در این منطقه واحد  $K^2_2$  به صورت دگرشیب و با کنگلومرائی قاعده‌ای، بر روی واحدهای اسلیتی زرد و سبز رنگ منسوب به واحد mcs قرار گرفته است. این بخش

کنگومرانی که دارای تناوب‌هایی با ماسه سنگهای قرمز رنگ است، در مجموع ضخامتی بین ۳۰ تا ۷۰ متر دارد که به سمت باختر کوه چاه چول، ضخامت آن افزایش می‌یابد. قطعات تشکیل دهنده کنگومرای یاد شده را قلوهای آهکی، ماسه سنگی، کوارتزیتی و چرتی با اندازه‌های در حد میلی متر تا حدود ۲۰ سانتی متر تشکیل می‌دهد که توسط یک سیمان ماسه‌ای قرمز رنگ به هم متصل شده‌اند.

کنگومرای یاد شده از لحاظ جورشدگی ضعیف و از لحاظ گردش‌دگی در حد متوسط است. بخش ماسه سنگی موجود هم به رنگ قرمز بوده و گاه حالت میکروکنگومرانی پیدا می‌کند. بر روی این واحدهای آواری قاعده‌ای، لایه‌هایی از ماسه سنگ آهکی و سپس آهک‌های لایه لایه قرار دارد که توسط یک بخش مارنی قرمز تا زرد رنگ به ضخامت حدود ۵ تا ۷ متر پوشیده شده‌اند. این بخش مارنی، به ظاهر پایان بخش سکانس رسوبی واحد  $K^2$  است، بدلیل آنکه خود توسط لایه‌های آهکی خاکستری تا کرم رنگ صخره ساز منسوب به واحد  $K^3$  پوشیده شده است.

#### واحد $K^3$ کرتاسه پسین

این واحد بیشتر شامل سنگ آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای و صخره ساز ریفی به رنگ کرم تا خاکستری است که در برخی نقاط تحت تاثیر محلول‌های غنی از اکسید آهن، به رنگ صورتی تا قرمز درآمده‌اند. واحد یاد شده از لحاظ فسیلی غنی بوده و فسیل هیپوریت، دوکفه‌ای، در آن به وفور دیده می‌شود. برخی دوکفه‌ای‌های دیگر و نیز فسیلهای گاستروپودا در آن دیده می‌شود. افزون بر این وجود فرامینیفراهای:

*Globotruncana canita calcarata*, *Globotruncana*  
*lapparenti*, *Globotruncana bulloides*, *Globotruncana conica*, *Globotruncanita calcarata*, *Calsiphaerula*  
*innominate*, *calcarata oxycon*, *Headbergella*, *Globigerinelloides*, *Marsenolla*

حاکی از سن کرتاسه پسین برای این واحد سنگی است.

از لحاظ سنگ‌شناسی، این واحد در بیشتر مناطق مورد مطالعه شامل سنگ آهک‌های متراکم زرد تا خاکستری با ضخامت حدود ۱۲۰ متر است، این واحد در برخی قسمت‌ها، به آهک‌های ماسه‌ای مارنی به طور محلی تغییر رخساره می‌دهد. واحد  $K^3$  در بیشتر مناطق بر روی واحد آهکی - مارنی بخش فوقانی واحد  $K^2$  قرار می‌گیرد. این تماس بیشتر به صورت گسله و رانده شده است. آثار این راندگی را میتوان به صورت برش گسلی در قاعده واحد  $K^3$  مشاهده کرد.

#### سنوزوئیک

واحدهای سنگی منسوب به سنوزوئیک بطور عمده حاصل تکاپوهای ماگمایی ترشیری است که بصورت سنگهای آذرین بیرونی و درونی در منطقه رخنمون دارند.

#### سنگهای آتشفشانی

##### واحد $T^{ba}$ بازالت - آندزیت

تکاپوهای آتشفشانی با ترکیب بازالت - آندزیت در منطقه‌ای به وسعت  $4 \times 4$  کیلومترمربع به صورت تپه‌های کم ارتفاع در شمال روستای تلخابوند قابل مشاهده است و ضخامت آن به ۱۱۰ متر می‌رسد. ترکیب بیشتر سنگها بازالت - آندزیت است، رنگ سیاه متمایل به سبز دارند و بیشتر به صورت گدازه هستند. بافت این سنگها ریز بلور است و شامل ۴۰-۵۰ درصد پلاژیوکلاز، کمتر از ۵ درصد کوارتز و ۷-۸ درصد کانی اوپیک هستند. دگرسانی از نوع پروپلیتیک قابل مشاهده است.

##### واحد $T^{ve1}$ کنگومرا

روی سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت- بازالت واحد کنگومرایی قرار گرفته است که قطعات آن را بیشتر آندزیت - بازالت تشکیل می‌دهند و بطور خیلی محدود دارای قطعات سنگهای کربناته است. این کنگومرا در شمال روستای تلخابوند رخنمون دارد و ضخامت آن در بعضی مناطق کمتر از ۲۰ متر و حداکثر ۷۵ متر برآورد می‌شود.

**واحد T<sup>ad</sup> آندزیت - داسیت**

بر روی کنگلومرا (T<sup>vc1</sup>) سنگهای آتشفشانی دانه ریز به رنگ قهوه‌ای تیره با ترکیب آندزیت- داسیت قرار دارند. رخنمون واحد آندزیت- داسیتی، در شمال روستای حسن آباد در منطقه‌ای به وسعت ۵×۴ کیلومتر مربع قابل مشاهده است. ضخامت این واحد ۱۳۵ متر است.

**واحد T<sup>vc2</sup> کنگلومرا**

روی سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت - داسیت، کنگلومرای قرار دارد که بخش اعظم قطعات آن را آندزیت و داسیت تشکیل می‌دهد. این کنگلومرا در شمال جاده سوسناری به خارفیروزی رخنمون بسیار خوبی با ضخامت حدود ۷۵ متر دارد. در این منطقه روی کنگلومرای یاد شده سنگهای آتشفشانی با ترکیب داسیت قرار گرفته است.

**واحد T<sup>da</sup> داسیت - آندزیت**

بر روی واحد کنگلومرای (T<sup>vc2</sup>) گدازه داسیتی قرار گرفته است (مسیر جاده سوسناری به خار فیروزی). بافت سنگ پورفیری ریز بلور و رنگ سنگ قهوه‌ای تیره است. ضخامت این گدازه‌ها حدود ۶۰ متر می‌باشد.

**واحد T<sup>f</sup> توف ریوداسیتی**

در خاور روستای خارفیروزی بر روی گدازه داسیتی، توف ریوداسیتی قرار گرفته است. توف دارای رنگ سفید تا سفید متمایل به سبز و دارای لایه بندی منظم است. ضخامت این واحد توفی حدود ۴۵ متر است.

**واحد T<sup>d</sup> داسیت**

بر روی واحد توفی (T<sup>f</sup>)، گدازه داسیتی قرار گرفته است. بافت سنگ بسیار دانه ریز و رنگ آن قهوه‌ای تیره متمایل به جگری است. آثار جریان سیلیس در بعضی نقاط وجود دارد. داسیت‌ها بیشتر ارتفاعات منطقه خار فیروزی را تشکیل می‌دهند. ضخامت گدازه‌های داسیتی بیش از ۴۰ متر است.

**واحد T<sup>rh</sup> ریوداسیت**

در خاور ورکه بجستان و در شمال مسیر راه آهن گدازه ریوداسیتی رخنمون یافته است. رنگ این سنگها صورتی تا قهوه‌ای و بافت سنگ دانه ریز و میزان درشت بلور کمتر از ۱۵ درصد است. توپوگرافی این مناطق بیشتر تپه ماهور است.

**توده‌های نفوذی ترشیری****واحد T<sup>g</sup>**

این توده‌ها در خاور بجستان در گستره‌ای بوسعت ۲×۴ کیلومتر مربع رخنمون دارند. بافت این توده‌ها بیشتر گرانولار است. میزان بیوتیت ۲ تا ۴ درصد و آمفیبول ۰/۵ تا ۳ درصد است. آلکالی فلدسپات به رنگ صورتی دیده می‌شود. آمفیبولها به کلریت، سرسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. ترکیب توده گرانیته تا گرانودیوریت در بخشهای مختلف تغییر می‌کند. میزان بیوتیت در واحد گرانیته بیشتر از گرانودیوریتی است. این توده‌ها حالت استوک دارند.

**واحد T<sup>mz</sup>**

توده‌های هورنبلند کوارتز مونزونیت، مونزودیوریت پورفیری در شمال و خاور گرانودیوریت- گرانیته (T<sup>g</sup>) رخنمون دارند. گسترش این توده در نقشه ۳/۵×۴/۵ کیلومتر مربع است. بافت این توده‌ها گرانولار و پورفیری است که در مقیاس این نقشه قابل تفکیک نیست. در واحدهای پورفیری کوارتز به صورت فنوکریست ۳-۴ درصد و هورنبلند ۲-۳ درصد وجود دارد. گاهی قطعات زینولیت به رنگ سیاه متمایل به سبز در این سنگها دیده می‌شود.

**واحد T<sup>md</sup>**

واحد T<sup>md</sup> شامل مجموعه‌ای از مونزونیت، آلکالی گرانیته و به میزان محدود گرانیته است. این واحد در باختر روستای خارفیروزی، در مجاورت جنوب خاوری واحد T<sup>ms</sup>، جنوب ورکه، رخنمون دارد. بافت توده‌ها پورفیری است و به صورت استوک و دایک با روند تقریبی خاوری - باختری و ضخامت ۲ تا ۳ متر رخنمون دارند.

**واحد T<sup>ms</sup>**

این واحد نیز شامل آلکالی مونزونیت، لاتیت و دیاباز است که تفکیک آنها در مقیاس این نقشه مقدور نیست. بافت این سنگها پورفیری است. توده‌های نفوذی و نیمه عمیق به حالت استوک و دایک رخنمون دارند.

پتروشیمی سنگ‌های آذرین

براساس مطالعه بیش از ۹۵ مقطع نازک از انواع سنگ‌های آذرین این ورقه، نمونه‌های معرف از سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی جهت تجزیه شیمیایی انتخاب شدند. این نمونه‌ها با استفاده از روش فلورسانس اشعه مجهول (XRF) برای عناصر اصلی و جزئی تجزیه شدند. نتایج این تجزیه در جدول‌های ۱ و ۲ گزارش شده است.

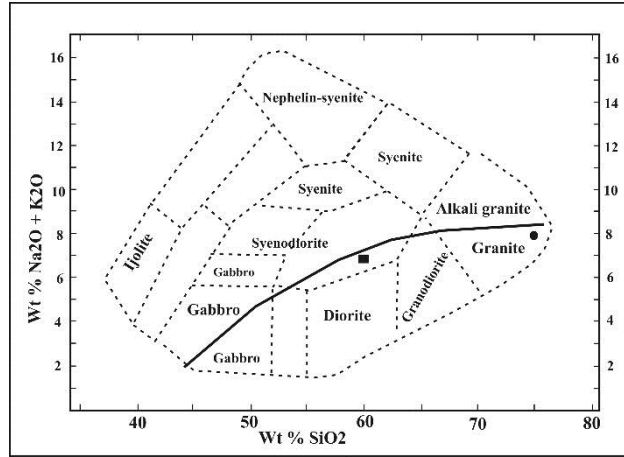
جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه‌های معرف سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی ورقه بجزستان

شماره نمونه	Bk-71	Bk-76A	Bk-6	Bk-1
واحد سنگی اکسید	T <sup>ba</sup>	T <sup>da</sup>	T <sup>mz</sup>	T <sup>g</sup>
SiO <sub>2</sub>	58.33	62.95	65.24	74.43
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.48	0.47	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.06	15.5	14.95	12.26
TFeO	8.37	4.49	1.95	2.32
MnO	0.10	0.05	0.02	0.02
MgO	1.66	1.63	2.29	0.57
CaO	4.97	3.50	3.73	1.92
Na <sub>2</sub> O	2.62	2.85	3.12	4.15
K <sub>2</sub> O	3.15	4.29	5.15	3.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.24	0.24	0.06
L.O.I	4.07	2.27	1.23	2.12
Total	99.52	98.27	98.39	101.45

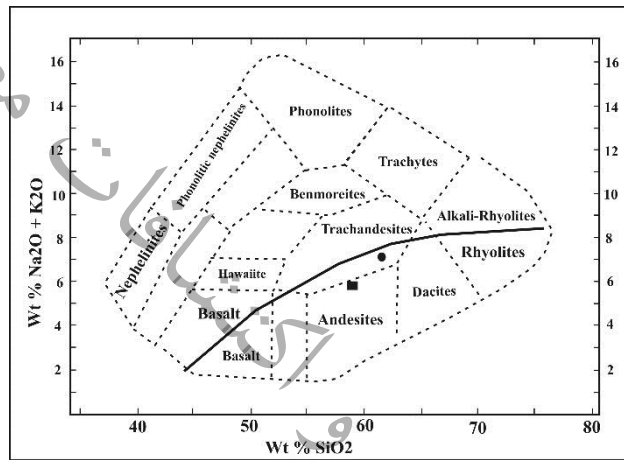
جدول ۲. میزان فراوانی عناصر جزئی و کمیاب (ppm) در نمونه‌های معرف سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی

شماره نمونه	Bk-71	Bk-76A	Bk-6	Bk-1
واحد سنگی عنصر	T <sup>ba</sup>	T <sup>da</sup>	T <sup>mz</sup>	T <sup>g</sup>
Rb	126	152	303	286
Sr	242	170	363	356
Zr	325	126	209	183
Nb	19	33	37	29
La	110	0.72	4	53
Ba	858	583	530	619
Ce	254	44	33	127
Cs	11	4	5	6
Th	48	136	126	100

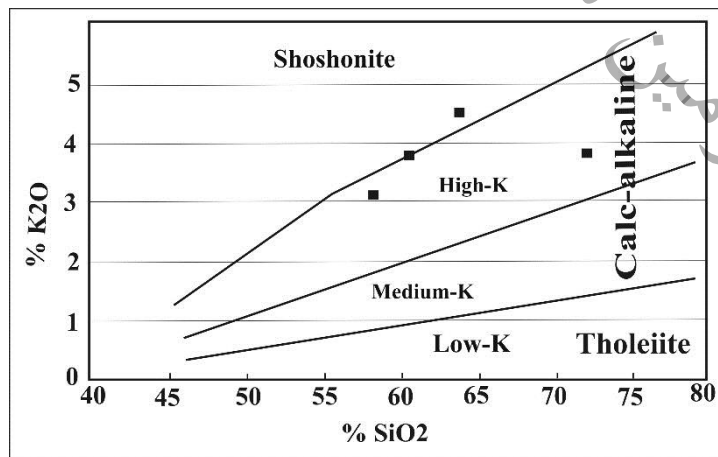
با استفاده از نمودارهای استاندارد، سری سنگ‌های آذرین مشخص شدند. تمامی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی، همچنان که در شکل‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود، در محدوده ساب آکالن ترسیم شده‌اند. از آنجاییکه سنگ‌های ساب آکالن به دو مجموعه کالک آکالن و تولئی‌ایت تقسیم می‌شوند از نمودار شکل ۳ کمک گرفته شد. در این نمودار سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی در محدوده کالک آکالن با پتاسیم زیاد قرار گرفتند.



شکل ۱. نمودار نامگذاری و تعیین سری توده‌های نفوذی (کاکس، ۱۹۷۹ و میاشیرو ۱۹۷۸). توده‌های نفوذی در محدوده ساب آلكالن ترسیم شده‌اند.



شکل ۲. نمودار نامگذاری و تعیین سری سنگ‌های آتشفشانی (کاکس، ۱۹۷۹ و میاشیرو ۱۹۷۸). سنگ‌های آتشفشانی در محدوده سری ساب آلكالن و آلكالن ترسیم شده‌اند.



شکل ۳. نمودار تفکیک سنگ‌های ساب آلكالن بر اساس میزان فراوانی پتاسیم به انواع کالک آلكالن با پتاسیم کم، کالک آلكالن با پتاسیم متوسط و بالا، تولئیتی با پتاسیم کم و آلكالن (شوشونیت) مولر و گروز، (۱۹۹۷)

## تعیین نوع گرانیتوئید

توده‌های نفوذی که در منطقه رخنمون دارند دارای ترکیب حدواسط و گاه اسیدی هستند. این توده‌ها را در نگاه نخست می‌توان به عنوان گرانیتوئید معرفی نمود. گرانیتوئیدها حداقل به ۴ گروه S-I-M-A قابل تقسیم هستند که هر گروه از استعداد و پتانسیل معدنی خاص خود برخوردار است. به عنوان مثال گرانیتوئیدهای نوع I برای مس و طلا پتانسیل دارند در صورتیکه نوع S برای قلع و یا تنگستن.

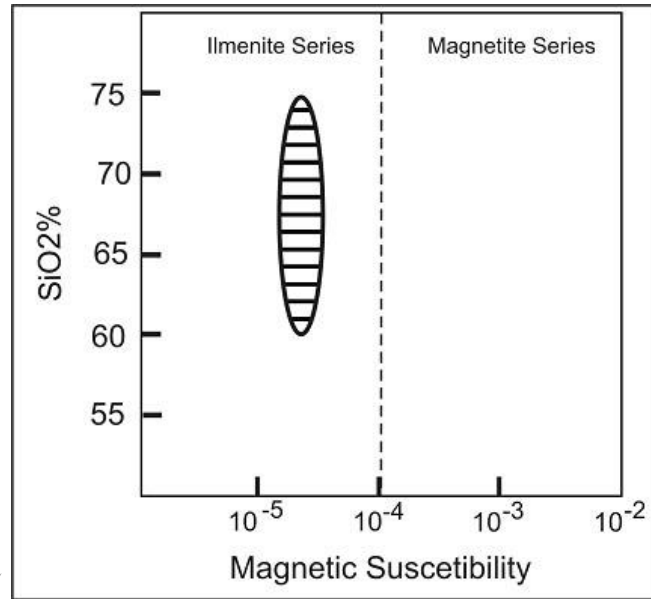
## پذیرفتاری مغناطیسی (Magnetic Susceptibility)

ایشی‌هارا (۱۹۷۷) گرانیت‌ها را بر اساس پذیرفتاری مغناطیسی به دو دسته سری منیتیت و سری ایلمنیت تقسیم نمود. سری منیتیت بیشتر با گرانیت‌های نوع I و سری ایلمنیت بیشتر با گرانیت‌های نوع S هم‌پوشانی دارند. سری منیتیت حاوی منیتیت، اسفن و پیریت است و به گرانیت‌های اکسیدان نیز معروف هستند. نسبت  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  و  $Mg/Fe$  کانی بیوتیت بالاست. گرانیت‌های سری ایلمنیت به نوع احیایی نیز معروفند. این گرانیت‌ها حاوی ایلمنیت و گارنت هستند و نسبت  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  و  $Mg/Fe$  در کانی بیوتیت پایین است. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیت‌های سری ایلمنیت در محدوده [SI]  $10^{-5}$  تا  $10^{-4}$  و گرانیت‌های سری منیتیت در محدوده [SI]  $10^{-2}$  تا  $10^{-3}$  است. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای مناطق مختلف بجستان با استفاده از دستگاه Magnetic Susceptibility Meter Model: GMS-2 ساخت FUGRO Instruments اندازه‌گیری شده است. در جدول ۳ پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های گرانیتوئید ورقه بجستان گزارش شده‌اند. تمامی توده‌های گرانیتوئید ورقه بجستان، همان گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، در محدوده سری ایلمنیت یا گرانیت‌های احیایی قرار می‌گیرند.

جدول ۳. پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های گرانیتوئید ورقه بجستان

نام واحد	نام سنگ	پذیرفتاری مغناطیسی [SI]
T <sup>g</sup>	بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت	$1.5 \times 10^{-4}$
T <sup>g</sup>	بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت	$1.2 \times 10^{-4}$
T <sup>g</sup>	گرانیت	$6 \times 10^{-5}$
T <sup>g</sup>	گرانیت	$5 \times 10^{-5}$
T <sup>g</sup>	گرانیت	$2 \times 10^{-5}$
T <sup>g</sup>	گرانیت	$2 \times 10^{-5}$
T <sup>ms</sup>	کوارتز مونزونیت	$9.7 \times 10^{-5}$
T <sup>ms</sup>	مونزونیت	$1.9 \times 10^{-5}$
T <sup>ms</sup>	گرانیتوئید	$1.1 \times 10^{-5}$
T <sup>g</sup>	گرانیت	$0 \times 10^{-5}$





شکل ۴. نمودار تفکیک گرانیتوئیدهای سری منیتیت از سری ایلمینیت.

با توجه به مطالعات ایزوتوپی Rb- Sr انجام شده توسط روزنبرگ (۱۹۸۱)، در خصوص توده‌های نفوذی بجستان نسبت ایزوتوپ  $i(Sr^{87}/Sr^{86})$  اولیه ماگما بیش از ۰/۷۱ بوده است. براساس این نسبت منشا ماگمای این توده از پوسته قاره‌ای بوده است.

#### کواترنری

نهشته‌های کواترنری گسترش وسیعی در منطقه دارند، به صورت ناهم‌ساز بر روی واحدهای کهن تر قرار گرفته‌اند. این نهشته‌ها جوانترین رسوبات منطقه بوده و شامل انباشته‌های آبرفتی کهن و مخروط افکنه‌های کهن ( $Q^{11}$ )، انباشته‌های آبرفتی جوان و مخروط افکنه‌های جوان ( $Q^{12}$ )، آبرفت‌های بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها ( $Q^{al}$ )، پهنه‌های رسی ( $Q^c$ ) و پهنه‌های نمکی ( $Q^s$ )، شامل رس، مارن، سیلت و گچ به رنگ روشن است.

#### واحدهای با سن غیر مشخص

##### واحد mcs

در شمال توده‌های نفوذی خاور بجستان، مجموعه‌ای از متاچرت، اسلیت، کوارتزیت، آهک کریستالین نازک لایه و متاآرژیلیت رخنمون دارد. ضخامت بخش متاچرتی بیش از ۳۰ متر است. چرت در محیط آرام دریائی و در شرایط رسوبگذاری شیمیایی تشکیل شده است. منشاء سیلیس این چرتها مرتبط با تکاپوهای آتشفشانی دریائی بوده است. از آنجایی که این مجموعه در یک پنجره تکتونیکی رخنمون دارد، بنابراین سنگ‌های آتشفشانی در منطقه دیده نمی‌شوند. واحدهای چرتی بیشتر در بخش باختری رخنمون داشته و به سمت خاور اسلیت و کالک فیلیت‌ها دیده می‌شوند. آثار دگرگونی ناحیه‌ای در چرتها بصورت خطواره قابل مشاهده است. با عنایت به ضخامت قابل توجه چرت‌های سفید متمایل به سبز، دگرگونی ناحیه‌ای و شیل‌های آهکی دگرگون شده و نظر به اینکه سازندهای جمال و سردر که در نزدیکی این مجموعه رخنمون دارند، فاقد دگرگونی ناحیه‌ای هستند، بنابراین رخداد دگرگونی ناحیه‌ای بایستی کهن تر از کربونیفر باشد. در ضمن در ورقه ۲۵۰۰۰۰: ۱ فردوس این مجموعه به سازند شمشک (Jsmt) نسبت داده شده است.

##### واحد lc

در محدوده جنوب نقشه در باختر روستای خارفیروزی تناوبی از سنگ آهک و چرت رخنمون دارد. آهک دارای رنگ خاکستری و چرت به رنگ سیاه متمایل به قهوه‌ای است. ضخامت این مجموعه بیش از ۳۰ متر و کنتاکت آن با دیگر واحدها گسلی است.

## واحد cm

در جنوب روستای تلخابوند یک واحد کنگلومرانی با کنتاکت گسلی بر روی اسلیت رخنمون دارد که بسیار جالب و حائز اهمیت است. اسلیت‌ها در زون گسلی به شدت برشی شده و با فاصله به شدت چین خورده‌اند. در زون گسلی بلوکهای سنگ آهکی و اسلیت دیده می‌شود. ابعاد بلوکهای آهکی چند متر است. عرض زون گسلی گسترش نسبتاً زیادی دارد. بنظر می‌رسد که چند نوع گسل و با تکاپوهای مختلف در این زون واقع شده‌اند. این واحد سنگی در نزدیک زون گسلی ظاهر گنیس دارد. قطعات سیاه متمایل به سبز که بطور کامل حالت کشیده داشته و در زون گسلی و همچنین نزدیک زون آن ظاهر گنیسی به سنگ داده است. قطعات سنگ آهک در اندازه‌های مختلف در این واحد سنگی دیده می‌شود. قطعات متاچرت نیز فراوان هستند. سیمان این سنگ سیلیسی و بسیار سخت است. مطالعات میکروسکوپی، بلورهای کوارتز و فلدسپات فراوان در زمینه به صورت آواری در این سنگ را مشخص نمود. قطعات کشیده بیشتر از کلریت، اپیدوت و کربنات تشکیل شده‌اند. کلریتها بافت شیستوزیته نشان نمی‌دهند. در نمونه نزدیک زون گسلی ساختار خطی دیده می‌شود. بر اساس قطعات چرت، اسلیت، آهک و توده‌های نفوذی سن این واحد به احتمال مربوط به اواسط تریاری بوده است و یک نوع کنگلومرا است که در زون گسلی که حالت تراستی دارد، حالت جهت یابی در آن تشکیل شده است.

## ماگماتیسیم

ماگماتیسیم در ورقه بجستان براساس شواهد صحرایی مربوط به بعد از اواخر کرتاسه است. حداقل دو واحد کنگلومرایی،  $T^{vc1}$  و  $T^{vc2}$ ، که حاوی قطعات سنگ‌های آتشفشانی هستند در این ورقه شناسایی شدند. سن نسبی تکاپوهای ماگمایی در این ورقه، براساس نوع قطعات سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی موجود در دو واحد کنگلومرایی مشخص گردید. براین اساس حداقل سه مرحله تکاپوی آتشفشانی در این ورقه شناسایی شدند. اولین تکاپوی ماگمایی ترکیب مافیکی و محدود حدواسط داشته و به صورت گدازه‌های آتشفشانی دیده می‌شود. دومین مرحله تکاپوی آتشفشانی در این ورقه دارای ترکیب بیشتر حد واسط بوده که در مرحله سوم ترکیب ماگما بتدریج از حد واسط به سمت اسیدی تغییر کرده است.

توده‌های نفوذی در سنگهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند و به احتمال به لحاظ سنی مربوط به الیگومیوسن هستند. ترکیب غالب این توده‌ها گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونوزونیت و محدوده دیوریت و دیاباز است. توده‌های نفوذی بخش اعظم ارتفاعات خاور بجستان را تشکیل داده‌اند. سن نسبی این توده‌ها براساس خصوصیات آنها در کنتاکت مشخص شده است. با عنایت به ترکیب شیمیایی - کانی شناسی توده‌های نفوذی، نوع کنتاکت، شکل و ابعاد آنها و سایر شواهد روی زمین منشا و سن این توده‌ها با یکدیگر متفاوت بوده و نمی‌توان براساس فرایند تفریق ماگمایی مجموعه این توده‌ها را به یک منشا نسبت داد. در ارتباط با منشاء ماگما و شرایط تکتونیکی محدوده مورد مطالعه نکات زیر حائز اهمیت است:

تکاپوهای ماگمایی مشابه ورقه طاهر آباد و فردوس از اوایل تریاری آغاز شده است.

تکاپوهای ماگمایی در چندین مرحله زمانی در تریاری رخ داده است.

تکاپوهای آتشفشانی نسبتاً گسترده و مناطق وسیعی را پوشش می‌دهد.

براساس ترکیب کانی شناسی و شیمیایی سنگهای آتشفشانی از سری کالک آلکالن غنی از پتاسیم هستند.

تمامی موارد فوق دلایل مهمی هستند که ماگمای اکثر سنگ‌های آتشفشانی که قبل از توده‌های نفوذی تشکیل شده‌اند، با فرایند زون فروانش مرتبط بوده‌اند.

براساس ترکیب کانی شناسی، Magnetic Susceptibility و  $(Sr87/Sr86)I > 0.71$  توده‌های نفوذی منطقه بجستان در محدوده سری ایلمینیت یا گرانیت‌های احیایی قرار می‌گیرند. منشا ماگمای این توده‌ها از پوسته قاره‌ای بوده است.

### دگرگونی

در واحدهای سنگی ورقه بجنستان چند نوع دگرگونی دیده شد که مهمترین آنها عبارتند از: **دگرگونی ناحیه‌ای:** در شمال و شمال خاور بجنستان در مناطق تلخابوند - سوسناری مجموعه‌ای از اسلیت، متاچرت با ضخامت به نسبت زیاد و کالک فیلیت رخنمون دارد. در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس این مجموعه به سازند شمشک (Jsmt) نسبت داده شده است و واحدهای سنگی آن شیل، ماسه سنگ و آهک معرفی شده‌اند. سازندهای جمال و سردر که در فاصله ۵ کیلومتری از این مجموعه رخنمون دارند فاقد دگرگونی ناحیه‌ای هستند. از آنجائی که در سازند جمال و سردر با سن پرمین و کربونیفر دگرگونی ناحیه‌ای مشاهده نگردید، لذا زمان رخداد دگرگونی ناحیه‌ای بایستی کهن تر از کربونیفر باشد. با عنایت به این توضیحات سن مجموعه اسلیت و متاچرت می‌تواند قبل از کربونیفر باشد. **اسکارن:** سنگهای کربناته در کنتاکت بعضی از توده‌های نفوذی و در نقاط خاصی از زونهای گسلی به اسکارن تبدیل شده‌اند. انواع گارنت، اپیدوت، ولاستونیت، کلریت و سایر کانی‌های شاخص اسکارن‌ها قابل مشاهده است. مهمترین زون اسکارن در شمال و شمال خاور بجنستان و در دامنه‌های باختری توده‌های نفوذی با سنگهای کربناته دیده می‌شود. در مسیر جاده بجنستان به علی آباد یک زون اسکارنی با عرض محدود ایجاد شده که در آن کانی سازی مس دیده می‌شود.

### دگرسانی

محلول‌های ماگمایی و گرمابی در نقاط خاص و بطور محدود موجب دگرسان شدن سنگ‌ها شده است. مهمترین زون‌های دگرسانی دیده شده عبارتند از: پروپلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک. محلول‌های غنی از آهن در سنگ کربناته ( $K_2O$ ) موجب تشکیل رگچه‌های فراوان کلسیت و افزایش آهن گردیده است. افزایش آهن باعث رنگ صورتی، قهوه‌ای و قرمز در سنگهای کربناته شده است.

### دگرگونی همبری

محلولهای ماگمایی و گرمابی در سنگ‌های منطقه موجب دگرسانی و یا تشکیل اسکارن شده‌اند. اثر حرارتی توده‌های مولد این محلولها گاه موجب تشکیل مرم و در مرزهای شمالی در چرت‌ها تبلور مجدد را موجب شده است.

### وضعیت ساختاری و تکامل زمین ساختی

از نظر ساختاری، ناحیه مورد نظر براساس تقسیم بندی علوی ۱۹۹۱، دربخش شمالی بلوک لوت از بلوکهای ایران مرکزی واقع شده بطوریکه در بخش خاوری توسط گسل نهبدان از کمریند زمین ساختی خاور ایران، در باختر توسط گسل نایبند از بلوک طیس و در شمال توسط گسل بزرگ کویر، درونه، از ایالت زمین ساختی سبزواری جدا می‌گردد. عناصر ساختاری منطقه را چین‌ها و گسل‌هایی تشکیل می‌دهند که هندسه به نسبت ساده‌ای دارند. گسلهای منطقه بطور عمده سازوکار راستا لغز چپگرد و یا راستگرد دارند. گسلهای راستالغز (strike slip fault) و پلکانی یا نردبانی (enechlon) منطقه تشکیل سامانه‌ای از شکستگی‌های وابسته در یک دستگاه برشی ساده (simple shear) و رژیم کینماتیکی همگرا را داده‌اند که تا چندین نسل توسعه یافته است بطوریکه در برخی موارد پیشروی و جابجائی شکستگیهای نسلهای مختلف در طی مراحل دگرشکلی، تشخیص نسلهای شکستگی را با مشکل مواجه ساخته است. در اثر جابه جائی گسلهای برشی اصلی و گسل‌های موازی با آنها، سامانه گسل‌های مرتبط بصورت شکستگیهای وابسته از نوع P، R'، R در دو سوی گسل اصلی شکل گرفته است بطوریکه تکامل سامانه شکستگی‌های وابسته (Riedal) موجب گسترش گسل‌های راستالغز راسترو و چپ رو در میان قطعات گوناگون P، R، R' شده است. در مجموع گسلهای راستالغز با روند عمومی N70-75W سازوکار راستالغز راسترو دارند.

در ناحیه بجنستان کهن ترین نسل شکستگی‌های وابسته بطور عمده روند N40-45W دارند و سازوکار آنها از نوع راستالغز راسترو است. این گسل ها خود بطور عمده توسط گسل‌هایی با روند N70E که سازوکار راستالغز چپ رو دارند قطع و جابه جا شده‌اند.

شکستگی های برشی مکمل از نوع R' در ناحیه بجستان بطور عمده روند N10-15E دارند و سازوکار آنها راستالغز چپ رو است.

شکستگی های برشی از نوع P بطور عمده روند N80-90E دارند و سازوکار آنها راستالغز راست رو است. این نوع سامانه را بخوبی می توان در بخش جنوبی نقشه در حوالی روستاهای علی آباد و حسن آباد مشاهده نمود. آنچه مسلم است شکستگی های وابسته بویژه عملکرد ترکیبی آنها نظیر ترکیب شکستگی های نوع P با R و یا R' با R و نیز عملکرد گسل های پلکانی یا نردبانی، فضاهای کششی مناسبی جهت هدایت و جایگیری سنگهای آتشفشانی در منطقه و نیز بلوک لوت داشته اند.

از دیگر گسل های منطقه می توان به گسل راندگی با مولفه راستالغز با درازایی حدود ۱۳,۵ کیلومتر و شیبی به سمت جنوب در جنوب روستای تلخآبوند، واقع در بخش جنوبی نقشه اشاره نمود که سبب جای گیری واحدهای سنگی cm بر روی mcs از جنوب به سمت شمال در جنوب روستای تلخآبوند شده است. در این قسمت محل کنتاکت خرد شده و سنگ ها بشدت سیلیسی شده اند. لازم به ذکر است که گسل یاد شده توسط سامانه گسل های وابسته Riedal قبلی قطع و جابه جا شده است که نشان دهنده سن نسبی این دو است.

از دیگر گسل های منطقه گسل رورانده در باختر خارفیروزی است که در اثر فرسایش سنگ آهک کرتاسه بصورت KI:PP بر روی واحدهای سنگی T<sup>mz</sup> و mcs بر جای مانده است. همچنین می توان به گسل های جوان و پوشیده کواترنری واقع در مناطق دشت اشاره نمود که گرچه سطح گسل بعلت ریز و سست بودن رسوبات کواترنری قابل دیدن نیست ولیکن براساس تغییرات زمین ریخت شناسی نظیر: تغییر شکل و جابجایی در تراسها و پادگانه های آبرفتی، مخروط افکنه ها و آبراهه ها و نیز ایجاد مرزآب بخوبی اثر گسل و در برخی موارد بویژه در مخروط افکنه ها و یا آبراهه های جا به جا شده سازو کار و نوع حرکت قابل تشخیص است.

از دیگر عناصر ساختاری می توان به چین خوردگی ها اشاره نمود. بطور عمده چین های منطقه از نوع ملایم و باز بصورت تاقدیس و ناودیس های پی در پی بویژه در مرکز و شمال منطقه در واحدهای کربناته کرتاسه قابل مشاهده است که بطور عمده روند شمال خاوری - جنوب باختری دارند و بدین لحاظ سبب افزایش ضخامت واحدهای کربناته شده اند. از نظر تکامل زمین ساختی، بعلت پوشیده شدن سنگ های تریاس و ژوراسیک توسط نهشته های جوانتر کواترنری، رخنمون آنها در نقشه بجستان قابل مشاهده نیست ولیکن رخنمون وسیعی از آنها را می توان در نقشه های مجاور مشاهده نمود. پیشروی دریای کرتاسه در ناحیه بجستان با یک کنگلومرای قاعده ای قرمز رنگ همراه است که بصورت دگرشیب رسوبات کهن تر از خود را می پوشاند. ادامه پیشروی دریای کرتاسه سبب نهشته شدن وسیع سنگهای کربناته در ناحیه شده است. در اواخر کرتاسه در اثر عملکرد حرکات ناشی از فاز کوهزایی لارامید، یک رژیم کینماتیکی بشدت همگرا در سرتاسر منطقه حاکم گشته بطوریکه در اثر آن کل ناحیه در اثر چین خوردگی از آب خارج گشته و سبب چین خوردگی و افزایش ضخامت واحد های کربناته شده است.

در پالئوسن - ائوسن بطور کلی وضعیت فشاری حاکم نبوده است و تکاپوهای آتشفشانی گسترده ای در منطقه بلوک لوت ادامه داشته است. یک فاز پلوتونیسیم گسترده در اولیگوسن روی داده است. اثر این فاز در بیشتر نقاط ایران نیز ثبت شده است. بنابراین توده های نفوذی واقع در جنوب بجستان که ترکیب بیشتر آنها گرانیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت می باشد را می توان مربوط به این فاز فشاری در نظر گرفت.

با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی و خصوصیات کانی شناسی سنگ های آتشفشانی و توده های نفوذی، ماگمای اولیه متعلق به سری کالکوالکالان غنی از پتاسیم است که از نظر زمین ساختی می تواند مربوط به زون های فرورانشی باشد. هرچند تعیین محیط زمین ساختی واقعی و جایگاه سنگ های آتشفشانی منطقه نیاز به مطالعات گسترده ای در کل بلوک لوت دارد.

بازپسین رخداد چین خوردگی و گسلش در ناحیه در فاصله زمانی پلیوسن تا پلیستوسن روی داده که سبب بوجود آمدن چهره کنونی منطقه شده است. در حال حاضر نیز این همگرایی ادامه دارد، بطوریکه تکاپوی گسل های جوان و کواترنری که سبب قطع و جابجایی تراسهای آبرفتی و مخروط افکنه های کواترنری شده و نیز وقوع زمین لرزه های

متعدد در ناحیه بویژه زمین لرزه ویرانگر فردوسی در سال ۱۹۶۸ میلادی با بزرگی  $MW=۶,۳$  واقع در ۵۰ کیلومتری بجستان بیانگر تکاپوهای جوان زمین ساختی در منطقه است.

## زمین شناسی اقتصادی

### مواد معدنی فلزی

توده‌های نفوذی حدواسط، مونزونیت- کواتزمونزونیت- دیوریت، در بعضی از نقاط در محدوده کنتاکت دارای زونهای دگرسانی و اسکارن هستند و در این مناطق آثار کانی سازی مس مشاهده گردید. بنابراین این توده‌ها برای کانی سازی Au-Cu پتانسیل دارند.

### مواد معدنی غیر فلزی

آهک و مارن: واحدهای  $K_2$  و  $K_3$  که حاوی آهک و مارن هستند برای مصارف سیمان و سایر موارد مناسب هستند. اسکارن: در کنتاکت بعضی از توده‌های با سنگ آهک اسکارن تشکیل شده است. گارنت و سایر کانی‌ها ارزش مطالعه دارند.

### سنگ‌های ساختمانی

واحد  $K_3$  در منطقه برای سنگ ساختمانی بهره برداری می‌شود. توده‌های نفوذی برای سنگ نما مناسب بوده و نیاز به مطالعه دارند.

## منابع

- Cox, K.G., Bell, J.D., and Pankhurst, 1979, the interpretation of igneous rocks: London, Allen and Unwin, 450p.
- Ishihara, S., 1977, the magnetite- series and ilmenite- series granitic rocks: Mining geology, Japan, 27, p. 43- 300.
- Miyashiro, A., 1978, Nature of alkalic volcanic rock series. Contrib. Mineral. Petrol. 66, p 91-104.
- Muller, D., and Groves, D. L., 1997, Potassic igneous and associated gold- copper mineralization: Springer, 241 p.
- Rosenberg, 1981, Geochemische and petrologische untersuchungen und Magmatiten... der Intrusion Bejestan (Ostiran Diplomarbeit Min. Petr. Hamburg.)
- طاهری، جعفر، ۱۳۷۷، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ / کاشمر، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.
- پورلطیفی، علی، ۱۳۷۶، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فردوس، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.
- افتخارنژاد و همکاران، ۱۹۷۷، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.
- علوی و همکاران، ۱۹۸۳، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گناباد، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.