



## سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی منطقه‌ی معدنی تکنار، بردسکن (کاشمر)

محمدحسن کریم‌پور\*، بهنام رحیمی، صدیقه زیرجانی‌زاده، احسان سلاطی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۲/۲۳، نسخه نهایی: ۸۸/۶/۲)

**چکیده:** منطقه‌ی معدنی تکنار در فاصله‌ی ۲۸ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسکن و در بخش مرکزی زون تکنار قرار گرفته است. زون تکنار از شمال با گسل ریوش و از جنوب با گسل درونه محدود شده است. حداقل ۳۰ درصد سازند تکنار را انواع سنگ‌های آتشفشانی زیر دریایی (اردویسین) تشکیل می‌دهند. شواهد نشان می‌دهد که زون تکنار از منطقه‌ای دیگر به محل فعلی جابجا شده است. مهمترین تغییرات ساختاری که در منطقه شناسایی شده‌اند: گسل‌های راستا لغز راسترو، گسل‌های راستا لغز چپ رو و گسل‌های رورانده و وارون را می‌توان نام برد. توده‌های نفوذی متعددی در منطقه‌ی معدنی تکنار شناسایی شدند. براساس آثار دگرگونی ناحیه‌ای، توده‌های نفوذی به دو مجموعه تقسیم شدند: ۱- توده‌های اواسط تا اواخر پالئوزوئیک و ۲- توده‌های پس از پالئوزوئیک. توده‌های نفوذی اواسط- اواخر پالئوزوئیک بیشتر از نوع گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت هستند. از نظر شاخص آلومینیوم بیشتر از نوع اشباع از آلومینیوم و محدود به نیمه آلومینیوم و به لحاظ پتاسیم از نوع متوسط تا زیادند. محیط زمین‌ساختی تشکیل آن‌ها غالباً درون صفحات قاره‌ای و محدود به زون فرورانش است. براساس نمودار عناصر کمیاب و نسبت  $(La/Yb)N = ۲/۱۵$  تا  $۹/۸۵$ ، خاستگاه ماگما، پوسته‌ی قاره‌ای بوده است. براساس ترکیب کانی‌شناختی و پذیرفتاری مغناطیسی، توده‌های نفوذی این منطقه به سری ایلمینیت وابسته‌اند. توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک شامل: گرانیت، ترونجمیت و کوارتز مونزونیت هستند. این توده‌ها از نوع پتاسیم متوسط و بالا بوده و به جز ترونجمیت در گستره‌ی متال‌آلومین ترسیم شده‌اند. در نمودار عنکبوتی غنی‌شدگی عناصر K, Rb, Ba, Ce و کاهیدگی Sr, Nb, P, Ti دیده می‌شود. براساس نمودار عناصر کمیاب و نسبت  $(La/Yb)N = ۶/۴۷$  تا  $۴/۸۷$ ، خاستگاه ماگما، پوسته، قاره‌ای بوده است.

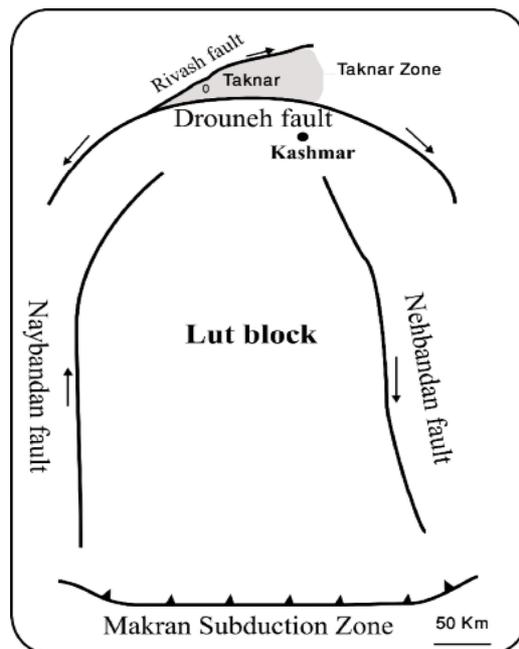
**واژه‌های کلیدی:** تکنار، بردسکن، گرانیت، ساختار زمین‌ساختی.

### مقدمه

آن گسل ریوش (تکنار) است [۱]. بخش بزرگی از پنجره‌ی زمین‌ساختی تکنار را سازند تکنار به خود اختصاص داده است. سن این سازند قبلاً به پرکامبرین نسبت داده می‌شد [۱-۴]، ولی اخیراً براساس بررسی‌های گرده‌شناسی، سن اردویسین؟ برای آن پیشنهاد شده است [۵]. سازند تکنار به سه بخش زیرین، میانی و فوقانی تقسیم شده است [۱]. این سازند از مجموعه‌ای از سنگ‌های تهنشستی، آتشفشانی و توده‌های نیمه عمیق تشکیل شده است که در زمان‌های مختلف تحت تاثیر

منطقه‌ی معدنی تکنار در فاصله‌ی ۲۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان مشهد و ۲۸ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسکن در  $۳۵^{\circ} ۲۱' - ۳۵^{\circ} ۴۲'$  عرض شمالی قرار گرفته است. زون تکنار به صورت یک بالا آمدگی با راستای WSW - ENE در بخش شمالی بلوک لوت و در جنوب زون سبزواری واقع شده است (شکل ۱). مرز جنوبی این زون گسل درونه و حد شمالی

\* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: mshkarimpour@yahoo.com



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی.

### سنگ‌نگاری

واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه‌ی مورد بررسی عبارتند از:

سازند تکنار سرسیت‌شیت‌های ریز دانه تا متوسط، کلریت-شیت و سرسیت‌شیت‌های گارنت‌دار [۵]، متا ریولیت - ریوداسیت و رشته‌ای از توده‌های نیمه عمیق متا گابرو-دیوریت تا متا دیاباز به سن اردویسین (۴).

### توده‌های نفوذی دگرگون شده اواسط تا اواخر پالئوزوئیک

متا گابرودیوریت: این واحد در جنوب و مرکز تک I و II رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و ۳). بافت این سنگ پورفیری بوده و فنوکریست آن پلاژیوکلاز درشت تا اندازه‌ی ۵/۵ میلی‌متر است. در حدود ۵۵٪ پلاژیوکلاز به‌عنوان فنوکریست و در زمینه‌ی سنگ وجود دارد. اندازه‌ی فلدسپات‌های زمینه تا ۰/۶ میلی‌متر می‌رسد. کانی‌های آهن و منیزیم‌دار سنگ (از جمله پیروکسن‌ها از نوع اوژیت - اژرین) در حد ۴۰٪ بوده‌اند که در حال حاضر آتره شده‌اند. کانی کدر به‌صورت بی‌شکل و پراکنده در متن سنگ تا ۴٪ دیده می‌شود. اسفن کانی فرعی سنگ است [۱۰].

متا کوارتز مونزونیت: این واحد در جنوب‌غربی، مرکز و شمال شرقی تک II و همچنین در شمال شرقی تک I رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و ۳). این واحد دارای بافت پورفیری است و فنوکریست‌های آن کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی است.

دگرگونی ناحیه‌ای و همبندی قرار گرفته است. توده‌های نفوذی پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیاری نیز در بخش مرکزی رخنمون دارند. کانی‌سازی در منطقه‌ی تکنار از نوع ماسیو سولفید Cu-Au-Zn-Pb است که همزمان با سازند تکنار تشکیل شده است [۵]. این کانی‌سازی بعداً تحت تاثیر گسل‌ها تغییر مکان داده و گسیخته شده است. نام محلی کانی‌سازی از شمال به جنوب TK-II, TK-I, TK-IV, TK-III است. در منطقه‌ی معدن تکنار چند پایان‌نامه کارشناسی ارشد و مقاله منتشر شده است [۵-۹].

هدف از این بررسی شناسایی، تفکیک، بررسی خاستگاه و تشخیص محیط زمین‌ساختی تشکیل انواع توده‌های نفوذی است که در منطقه‌ی معدن تکنار رخنمون شده‌اند.

### روش بررسی

- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی در مقیاس ۱:۵۰۰
- بررسی سنگ‌نگاشتی بیش از ۱۰۰ نمونه از توده‌های نفوذی منطقه
- تجزیه‌ی ۳۵ نمونه از عناصر اصلی، به روش فلوتورسانی پرتو X (XRF) در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
- تجزیه‌ی ۱۹ نمونه از عناصر جزئی و کمیاب به روش ذوب قلیایی با دستگاه ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا.

۷٪ و کوارتز ثانویه تا ۳۰٪ (حاصل آلتراسیون) در متن سنگ مشاهده می‌شود [۱۰].

متاگرانیت: این توده در شمال شرقی تک I رخنمون دارد (شکل ۳). این سنگ در بخش شمال شرقی تک I دارای بافت پورفیری با فنوکریست‌های کوارتز در حدود ۳٪ تا ۵٪ و اندازه‌ی حداکثر ۱/۲ میلی‌متر است. زمینه‌ی سنگ نیز غنی از کوارتزهای اولیه، ثانویه، تا حد ۴٪ کانی کدر و کانی‌های آلتراسیون است. اثری از کانی‌های فلدسپاتی و آهن و منیزیم‌دار دیده نمی‌شود که به علت آلتزه شدن شدید سنگ است [۱۰].

#### توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک

این توده‌ها فاقد آثار دگرگونی ناحیه‌ای‌اند. لذا اگر دگرگونی ناحیه‌ای در اواخر پالئوزوئیک رخ داده باشد، بنابراین این توده‌ها باید پس از پالئوزوئیک تشکیل شده باشند.

ترونجمیت پورفیری: این توده در جنوب تک II رخنمون دارد (شکل ۲). این سنگ دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی آلپیتی است. کانی‌های اصلی سنگ عبارتند از: کوارتز، فلدسپات قلیایی و پلاژیوکلاز. فنوکریست‌های سنگ در حدود ۱۴٪ متشکل از ۷٪ کوارتز با اندازه‌ی ۱ میلی‌متر ۴٪ فلدسپات قلیایی تا ۵/۰ میلی‌متر و ۳٪ پلاژیوکلاز تا ۸/۰ میلی‌متر است. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های نامبرده و کانی‌های آلتراسیون است. زیرکان نیز به‌عنوان کانی فرعی در سنگ حضور دارد [۱۰].

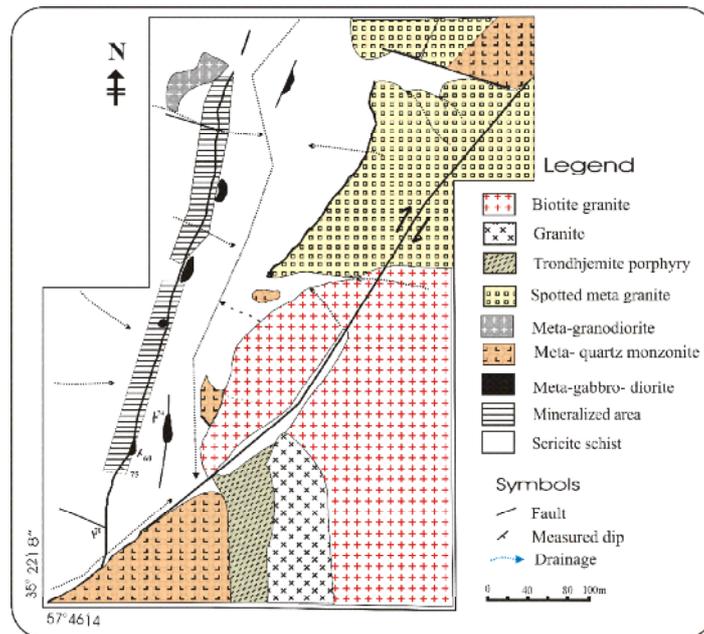
بیوتیت گرانیت و گرانیت: این واحدها در کنار هم و در جنوب تک II رخنمون شده‌اند (شکل ۲)، و دارای بافت دانه‌ای - گرافیکی است. این سنگ متشکل از ۴۵٪ تا ۵۰٪ کوارتز تا ۱/۲ میلی‌متر، ۳۰٪ - ۳۵٪ فلدسپات قلیایی تا ۱ میلی‌متر، در حدود ۵٪ پلاژیوکلاز تا اندازه‌ی ۸/۰ میلی‌متر در حد الیگوکلاز، ۲٪ تا ۵٪ بیوتیت سبز رنگ تا اندازه ۴/۰ میلی‌متر با شدت آلتزه شدن متفاوت در نقاط مختلف واحد و کمتر از ۱٪ کانی کدر به‌صورت پراکنده است. رتیل و اسفن به‌عنوان کانی فرعی دیده می‌شوند [۱۰].

کوارتز مونزونیت - کوارتز مونزودیوریت: این واحد در شمال و شمال شرقی تک I رخنمون دارد (شکل ۳). این واحد که در شمال شرقی تک I دیده می‌شود دارای بافت پورفیری بوده و فنوکریست‌های آن شامل ۳ تا ۴٪ کوارتز تا اندازه‌ی ۱/۴ میلی‌متر و ۲٪ - ۳٪ پلاژیوکلاز تا اندازه‌ی ۱/۶ میلی‌متر است. زمینه‌ی آن متشکل از کوارتز، فلدسپات، کانی آهن و منیزیم دار آلتزه شده و بالاخره به مقدار بسیار اندک کانی کدر است [۱۰].

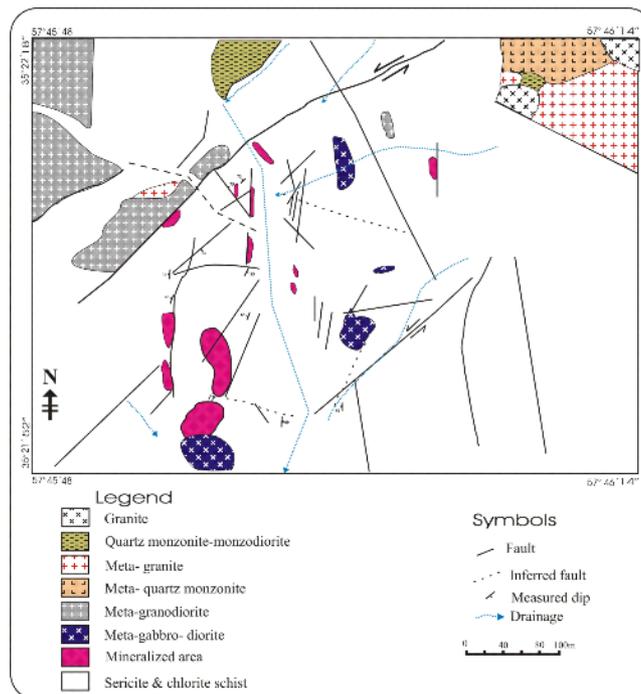
کوارتزهای فنوکریست به ۱۰٪ تا اندازه ۱/۲ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلازهای فنوکریست در حدود ۵٪ با اندازه‌ی حداکثر ۲ میلی‌متر با ماکل پریکلین دیده می‌شود و فنوکریست‌های فلدسپات قلیایی تا ۱٪ به اندازه‌ی ۱/۴ میلی‌متر وجود دارند. آمفیبول به احتمال زیاد در سنگ وجود داشته ولی اکنون تبدیل شده است. کانی‌های زمینه‌ی سنگ شامل کانی‌های نامبرده و کانی‌های حاصل از آلتراسیون است. زیرکان تنها کانی فرعی سنگ است [۱۰].

متاگرانودیوریت: این واحد در شمال غربی و بالای تونل تک I رخنمون دارد (شکل ۳). واحد متاگرانودیوریت شمال‌غربی بالای تونل تک I دارای بافت پورفیری است. گاه بافت گرافیکی به‌صورت رشد توأم با کوارتز و فلدسپات‌های قلیایی دیده می‌شود. فنوکریست‌های آن متشکل از، ۱۰٪ کوارتز تا حداکثر ۱/۷ میلی‌متر، ۵٪ تا ۸٪ پلاژیوکلاز تا ۲/۲ میلی‌متر و ۳٪ تا ۷٪ فلدسپات قلیایی تا حداکثر ۲/۷ میلی‌متر است. اندازه‌ی فنوکریست‌ها به سمت کنتاکت ریز شده و تا ۱ میلی‌متر کاهش می‌یابد. پلاژیوکلازها در حد آلپیت - الیگوکلاز بوده و دارای ماکل آلپیتی و پریکلین است. زمینه‌ی سنگ نیز متشکل از کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، کانی کدر، مقادیر جزئی بیوتیت و کانی‌های حاصل از آلتراسیون است. البته غالب زمینه را کوارتزهای اولیه و بخشی را کوارتزهای ثانویه تشکیل می‌دهند. مقدار کانی کدر ۱٪ تا ۲٪ به صورت ریز دانه، شکل‌دار و پراکنده است [۱۰].

متاگرانیت لکه‌ای: متاگرانیت خالدار در شرق تک II رخنمون چشمگیری دارد (شکل ۲). بافت این سنگ پورفیری است و فنوکریست‌های آن شامل کوارتز و کانی‌های آهن و منیزیم‌دار آلتزه شده است. درصد کوارتزهای فنوکریست ۵٪ - ۷٪ با طول حداکثر ۱/۷ میلی‌متر در مرکز توده و ۲/۰ میلی‌متر در حاشیه قرار دارند. کوارتز، اندکی پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی و مقادیر جزئی کانی کدر در زمینه‌ی سنگ دیده می‌شود. این توده پس از تشکیل، خود تحت تاثیر گرمایی‌های بعدی قرار گرفته و آلتزه شده است. کانی‌های آهن و منیزیم‌دار سنگ که بیشتر به صورت فنوکریست بوده‌اند به مجموعه‌ای از کلریت، کوارتز، سرسیت و کانی کدر آلتزه شده‌اند. انبوهه‌ی کلریت، کوارتز، سرسیت و کانی کدر به صورت لکه‌های سیاه رنگ تا سبز تیره در نمونه‌های دستی دیده می‌شود. دگرگونی ناحیه‌ای بعداً موجب سمت‌گیری لکه‌ها شده است. سرسیت تا ۷٪، کلریت تا



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی تک II.



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی تک I.

**زمین‌شناسی ساختاری منطقه**

سنگ‌ها در زون ساختاری تکنار پس از اولین مراحل تغییرات ساختاری که با چین خوردگی، دگرگونی و گسلش راندگی همراه بوده، و در طول دوران‌های مختلف زمین‌شناسی دستخوش تغییرات ساختاری، بیشتر شکننده شده است [۱۰]. گسل‌های راستا لغز راست‌رو از مهمترین ساختارها در گستره‌ی

مورد بررسی بوده و دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی هستند. راستای آن‌ها میان  $N45^{\circ}E$  تا  $N63^{\circ}E$  در تغییر است. طول گسل‌های اصلی از ۳۰۰۰ متر بیشتر است ولی شاخه‌هایی با طول کمتر از آن نیز در منطقه دیده می‌شود. گسل‌های راستا لغز چپ رو، نسبت به گسل‌های راست رو، از اهمیت کمتری برخوردار بوده و روند عمومی آن‌ها شمال غربی - جنوب شرقی است. راستای این دسته از گسل‌ها  $N35^{\circ}$  تا  $N45^{\circ}$  و شیب

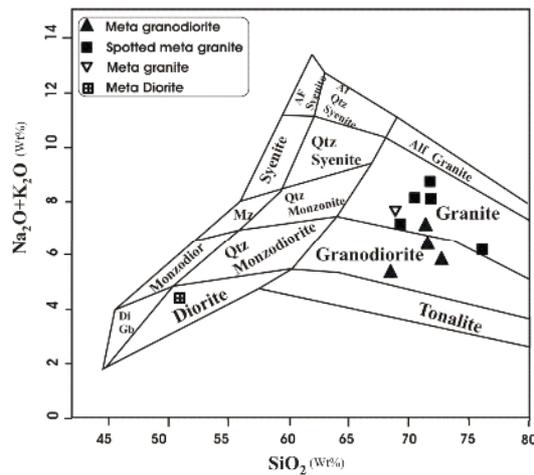
## ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی

۳۵ نمونه از عناصر اصلی و ۱۹ نمونه از عناصر جزئی و نادر خاکی تجزیه شدند.

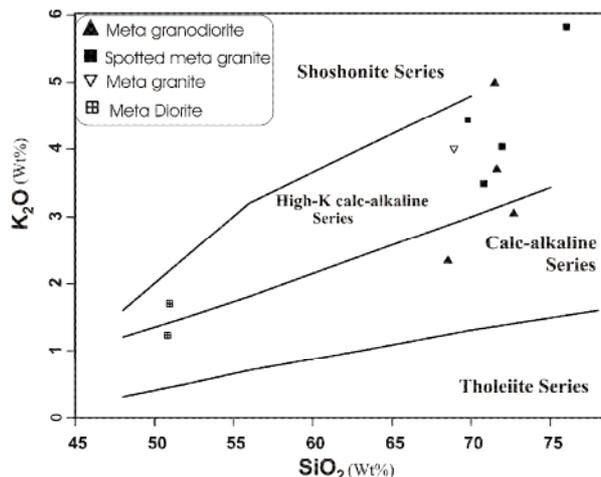
## توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک

با استفاده از نمودارهای استاندارد، توده‌های نفوذی اواسط - اواخر پالئوزوئیک نامگذاری شدند (شکل ۴). توده‌های نفوذی بیشتر از نوع گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت هستند. در نمودار (شکل ۵) توده‌های نفوذی بیشتر در گستره‌ی با پتاسیم زیاد و متوسط قرار می‌گیرند. در نمودار تعیین شاخص آلومینیوم (شکل ۶)، بیشتر نمونه‌ها در گستره‌ی پرآلومین ترسیم شده‌اند. متادیوریت در گستره‌ی متا آلومین قرار می‌گیرد. همچنین دو نمونه‌ای که از متاگرانیت برداشت شده در گستره‌ی متا آلومین و اشباع از آلومین شکل گرفته‌اند.

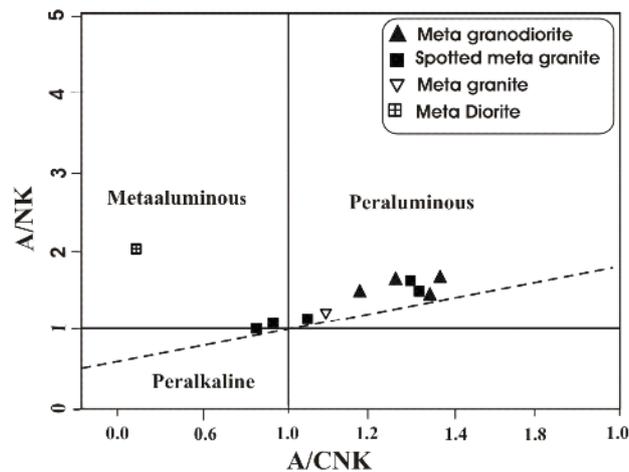
آن‌ها نزدیک به قائم است. گسل‌های رورانده و وارون، سنگ‌ها را در گستره‌ی مورد بررسی قطع و جابجا کرده‌اند میزان جابجایی در آن‌ها از چند ده متر تجاوز نمی‌کند و در راستای برخی از آن‌ها آثار دگرسانی و نیز اکسیدهای مس دیده می‌شود. این راندگی‌ها زون‌های برشی شکل پذیر - شکننده را با دوتایی‌های ریز مقیاس و نیز سطوح گسلی و گسترده رخ در سنگ‌ها به نمایش می‌گذارند. سنگ‌ها در گستره‌ی مورد بررسی چین خورده‌اند، هر چند شناسایی چین‌ها در مقیاس بزرگ به دلیل پیچیدگی ساختاری حاصل از گسترش نسل‌های مختلف گسلش راستا لغز، کار بسیار دشواری است ولی چین خوردگی در مقیاس رخنمون به خوبی در سنگ‌های این گستره مشهود است. چین‌ها در مقیاس رخنمون با لولاهای گرد تا زاویه‌دار در سنگ‌های گستره دیده می‌شوند. محور چین‌ها راستای شمال - شمال شرقی را داشته و میل اندکی در این راستا دارند و تمایل آن‌ها به سمت شرق - جنوب شرقی است.



شکل ۴ نمودار نامگذاری توده‌های نفوذی اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۱۱].



شکل ۵ نمودار تعیین میزان پتاسیم توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۱۲].

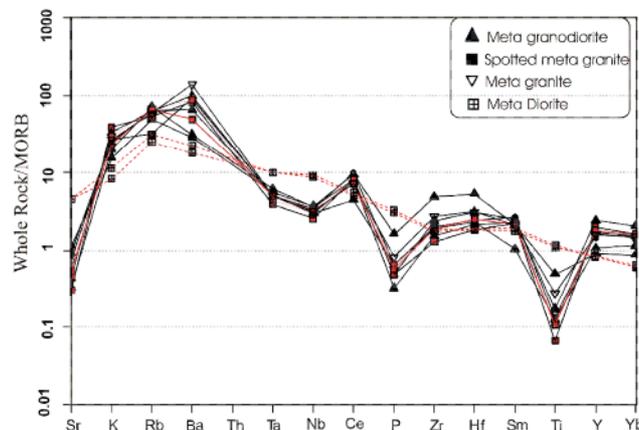


شکل ۶ نمودار تعیین میزان Al توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۱۳].

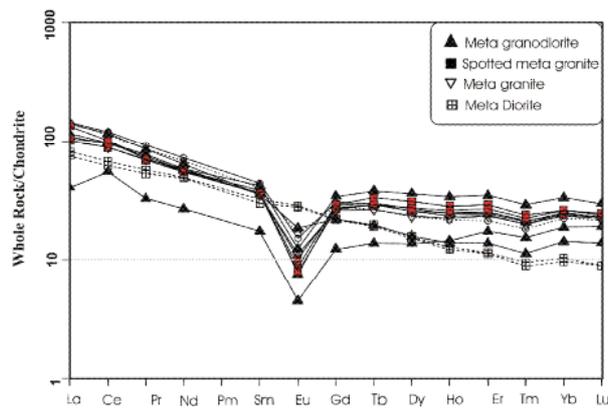
تغییرات دلیل اختلاف در خاستگاه این توده‌هاست. غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) در حد متوسط و کاهش‌دهی عناصر خاکی سنگین (HREE) در حد عادی است (شکل ۸)، لذا نسبت  $(La/Yb)N = ۹,۸۵$  تا  $۲,۱۵$  نسبتاً کم است. براین اساس خاستگاه این توده‌ها از پوسته‌ی قاره‌ای بوده و عمق تشکیل نمی‌تواند خیلی زیاد باشد. بی‌هنجاری منفی Eu در تمامی توده‌ها با استثنای متادایوریت مشاهده می‌شود (شکل ۸). علت بی‌هنجاری منفی کمی پلاژیوکلاز کلسیک در نمونه‌ها را تایید می‌کند. متادایوریت حاوی پلاژیوکلاز کلسیک زیاد است و لذا Eu حالت عادی را نشان می‌دهد (شکل ۸). براساس نمودار عناصر کمیاب، توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک از خاستگاه‌های متفاوتی ریشه گرفته‌اند (شکل ۸).

نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی اواسط - اواخر پالئوزوئیک با مقایسه با زالت‌های اقیانوسی (MORB) ترسیم شد (شکل ۷). تفاوت اساسی بین متادایوریت و توده‌های نفوذی دیگر مشاهده می‌شود (شکل ۷). این تفاوت به تغییرات در خاستگاه این توده‌ها وابسته است. نمودار غنی‌شدگی عناصر Ba, Rb, K, Ce, و کاهش‌دهی Sr, Nb, P, Ti را نشان می‌دهد. بی‌هنجاری منفی Ti می‌تواند دلیل برجایش کانی‌های آهن و منیزیم‌دار حاوی Ti و بی‌هنجاری منفی P به دلیل تبلور آپاتیت است. بی‌هنجاری مثبت Zr و Hf در این توده‌ها به دلیل حضور کانی زیرکن است.

نمودار عناصر کمیاب توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک نسبت به کندریت در شکل (۸) ترسیم شدند. نمودار متادایوریت تفاوت اساسی با توده‌های دیگر نشان می‌دهد (شکل ۸). این



شکل ۷ نمودار عنکبوتی توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۱۴].



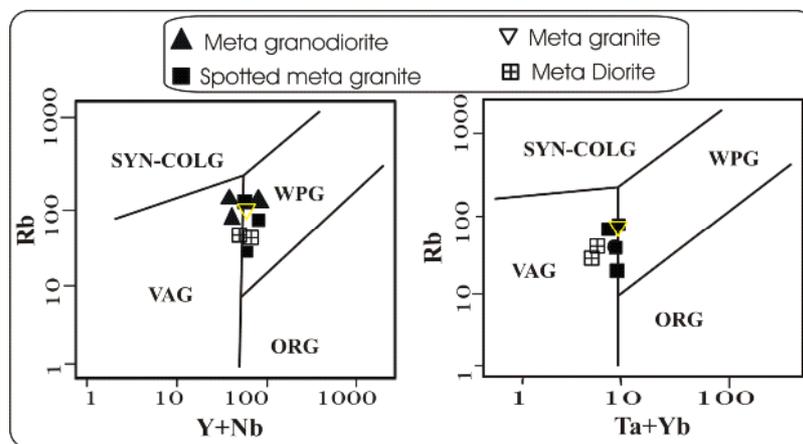
شکل ۸ نمودار عناصر نادر خاکی توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۱۵].

دسته‌ی مگنتیت بیشتر با گرانیت‌های نوع I و دسته‌ی ایلمینیت بیشتر با گرانیت‌های نوع S هم‌پوشی دارند. دسته‌ی مگنتیت حاوی مگنتیت و اسفن و به گرانیت‌های اکسایشی نیز معروفند. نسبت  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  و  $Mg/Fe$  کانی بیوتیت بالاست. گرانیت‌های دسته‌ی ایلمینیت به نوع احيایی نیز معروفند. این گرانیت‌ها حاوی ایلمینیت و گارنت هستند و نسبت  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  و  $Mg/Fe$  در کانی بیوتیت پایین است. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیت‌های سری ایلمینیت در گستره‌ی [SI]  $10^{-4}$  تا  $10^{-5}$  و گرانیت‌های سری مگنتیت در گستره‌ی [SI]  $10^{-2}$  تا  $10^{-3}$  است [۱۷]. با توجه به موارد یاد شده پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی گستره‌ی مورد بررسی با استفاده از پذیرفتاری سنج مغناطیسی مدل GMS-2 اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. براین اساس پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی اواسط-اواخر پالئوزوئیک به سری ایلمینیت وابسته‌اند (شکل ۱۰).

**محیط زمین‌ساختی و نوع گرانیتوئید توده‌های نفوذی دگرگون‌شده**

با استفاده از نمودار پیرس و همکاران (۱۹۸۴) [۱۶] موقعیت زمین‌ساختی توده‌های نفوذی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹). در نمودار Rb نسبت به  $Ta+Yb$  اکثر توده‌ها در گستره‌ی WPG (گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای) و VAG (گرانیت‌های کمربند زون فرورانش) قرار می‌گیرند. در نمودار Rb نسبت به  $Y+Nb$  نمونه‌ها بیشتر به گستره‌ی WPG تمایل دارند (غیر از دو نمونه متاگرانودیوریت)، بنابراین توده‌های اواسط - اواخر پالئوزوئیک بیشتر از نوع گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای هستند. متادیوریت در دو نمودار بیشتر در گستره‌ی VAG (گرانیت‌های کمربند زون فرورانش) واقع شده است، بنابراین موقعیت زمین‌ساختی تشکیل آن با توده‌های دیگر متفاوت است (شکل ۹).

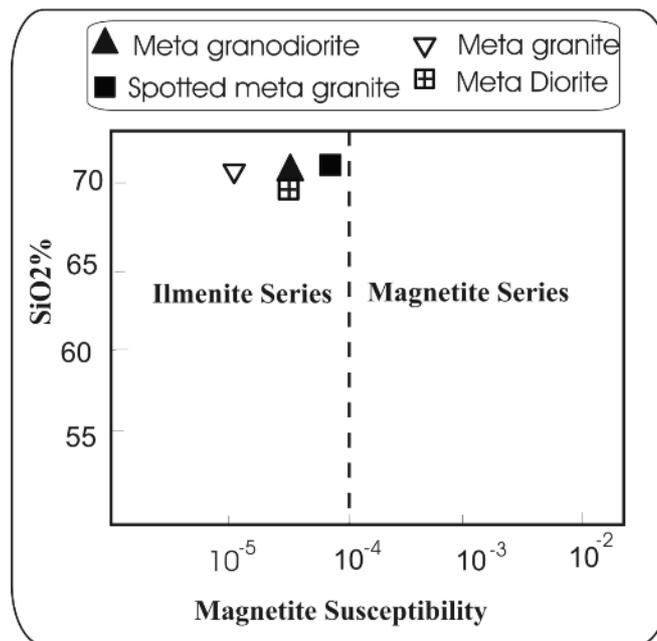
ایشی‌هارا (۱۹۷۷) [۱۷] گرانیت‌ها را بر اساس پذیرفتاری مغناطیسی به دو دسته‌ی مگنتیت و ایلمینیت تقسیم کرد.



شکل ۹ نمودار تعیین موقعیت زمین‌ساختی توده‌های نفوذی [۱۶].

جدول ۱ پذیرفتاری مغناطیسی در توده‌های نفوذی اواسط - اواخر پالئوزوئیک [۷].

شماره نمونه	نام سنگ	پذیرفتاری مغناطیسی SI
TK2-29	متاگرانیت لکه‌ای	$0 \times 10^{-5}$
TK1-60	متاگرانودیوریت	$0 \times 10^{-5}$
TK2-15	متاکوارتز مونزونیت	$4 \times 10^{-5}$
TK1-48	متاگرانیت	$0 \times 10^{-5}$
TK1-53	متاگابرودیوریت	$9 \times 10^{-5}$
TK1-2	متاگابرودیوریت ( جنوب تک I )	$0 \times 10^{-5}$
TK1-1	متاکوارتز مونزودیوریت	$12 \times 10^{-5}$
TK2-27	متاگرانیت لکه‌ای	$0 \times 10^{-5}$
TK1-43	متاگابرودیوریت	$31 \times 10^{-5}$
TK2-28	متاگرانیت لکه‌ای	$1 \times 10^{-5}$
TK2-18	متاگرانیت لکه‌ای	$0 \times 10^{-5}$
TK2-21	متاگرانیت لکه‌ای	$71 \times 10^{-5}$



شکل ۱۰ نمودار تعیین نوع گرانیت [۱۷].

ترسیم شده‌اند (شکل ۱۲). در نمودار شاخص آلومینیوم، به جز ترونجمیت که در گستره‌ی متاآلومین قرار گرفته، توده‌های دیگر در گستره‌ی پرآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۱۳). پراکندگی نمونه‌ها در این نمودار می‌تواند نشان‌دهنده‌ی خاستگاه‌های متفاوت توده‌ها باشد.

نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک در مقایسه با بازالت‌های اقیانوسی (MORB) ترسیم شد (شکل

توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک

ترکیب توده‌های نفوذی در نمودار بارکر ۱۹۷۹ [۱۸] ترسیم شدند (شکل ۱۱). براساس نمودار و بررسی‌های سنگ‌شناسی، توده‌های نفوذی از نوع گرانیت، ترونجمیت و کوارتز مونزونیت هستند (شکل ۱۱). در نمودار  $SiO_2/K_2O$  ترونجمیت در گستره‌ی پتاسیم کم، کوارتز مونزونیت و گرانیت در گستره‌ی پتاسیم زیاد و گرانیت پورفیری در گستره‌ی گرانیت متوسط

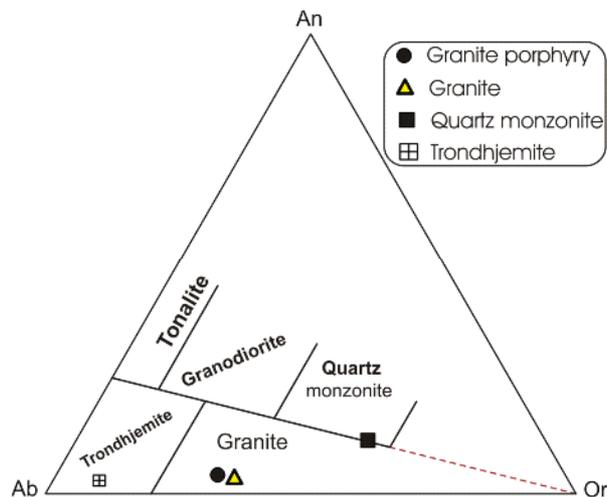
بی‌هنجاری منفی، کمی پلاژیوکلاز کلسیک در توده‌هاست.

#### محیط زمین‌ساختی و نوع گرانیتوئید بعد از پالئوزوئیک

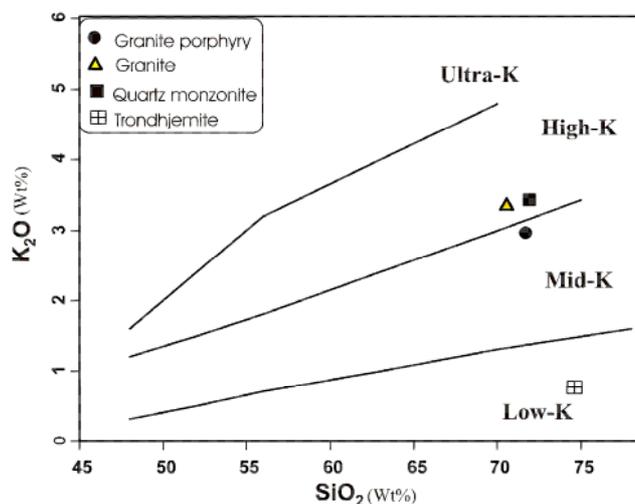
با استفاده از نمودار پیرس و همکاران (۱۹۸۴) [۱۶] موقعیت زمین‌ساختی توده‌های نفوذی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۶). گرانیت پورفیری، کوارتز مونزونیت و ترونجمیت در گستره‌ی WPG (گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای)، ولی گرانیت در گستره‌ی VAG (گرانیت‌های زون فرورانش) ترسیم شده است (شکل ۱۶). براساس این نتایج، توده‌های پس از پالئوزوئیک خاستگاه متفاوت داشته و در محیط زمین‌ساختی مختلف تشکیل شده‌اند.

۱۴). این نمودارها غنی‌شدگی عناصر K, Rb, Ba, Ce و کاهیدگی Sr, Nb, P, Ti نشان می‌دهند (شکل ۱۴). میزان غنی‌شدگی Ba, Rb, K ترونجمیت کمتر از توده‌های دیگر است (شکل ۱۴).

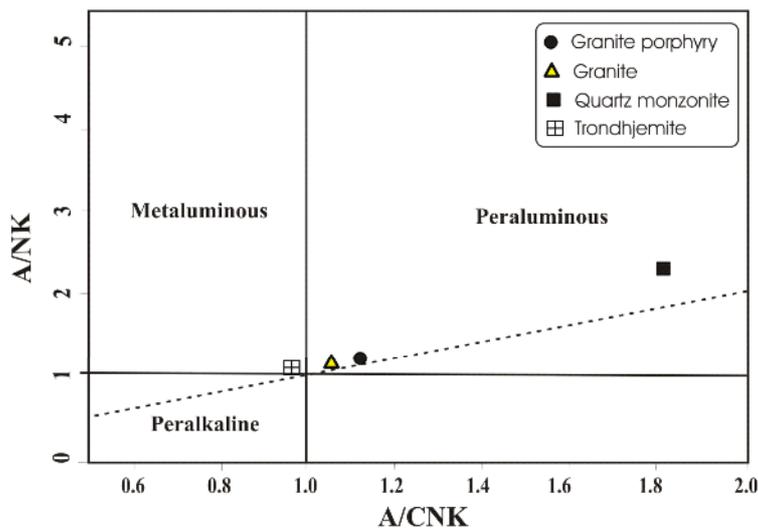
نمودار عناصر کمیاب توده‌های پس از پالئوزوئیک نسبت به کندریت در شکل (۱۵) ترسیم شدند. این نمودار، غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی سنگین (HREE) نشان می‌دهند (شکل ۱۵). نسبت ۴٫۸۷ تا  $(La/Yb)_N = 6.47$  معرف خاستگاه ماگما در پوسته‌ی قاره‌ای و ضمناً ماگما از اعماق زیاد ریشه نگرفته است. بی‌هنجاری منفی Eu در تمامی توده‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۵). علت



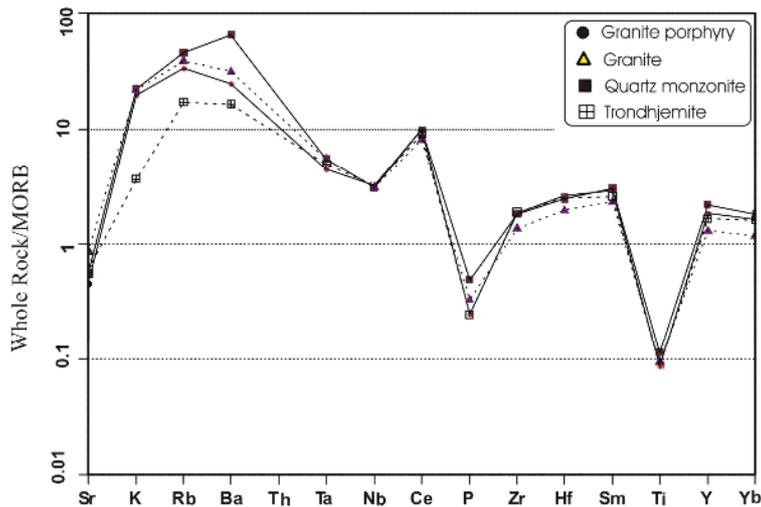
شکل ۱۱ نمودار نامگذاری توده‌های نفوذی [۱۸].



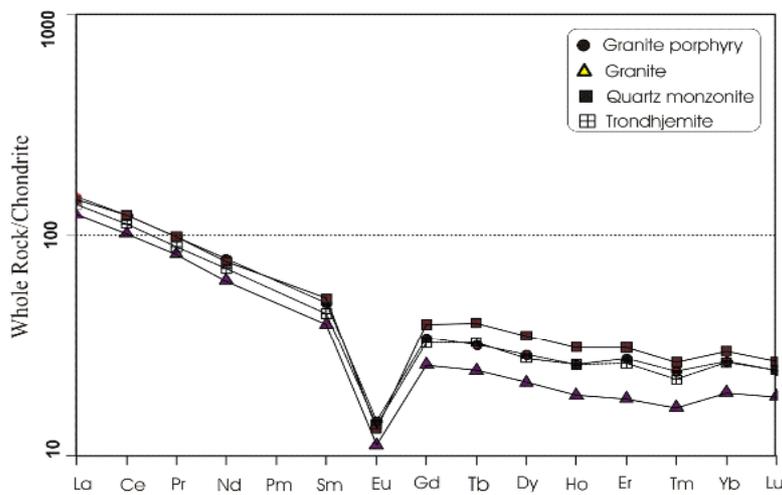
شکل ۱۲ نمودار تعیین میزان پتاسیم [۱۲].



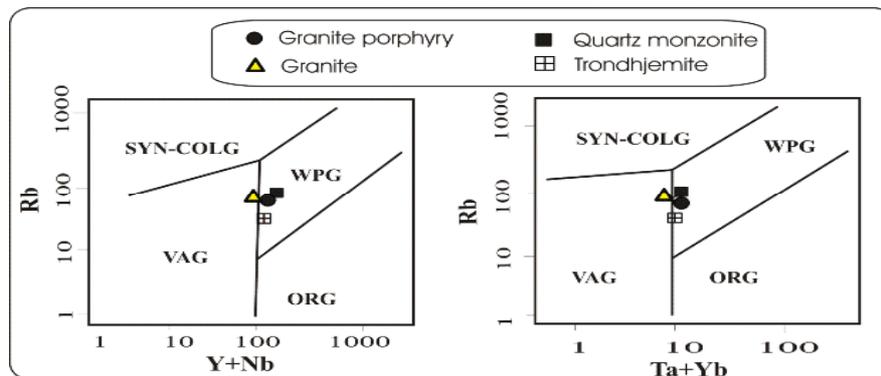
شکل ۱۳ نمودار تعیین شاخص آلومینیوم [۱۳].



شکل ۱۴ نمودار عنکبوتی توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک [۱۴].



شکل ۱۵ نمودار عناصر نادر خاکی توده‌های پس از پالئوزوئیک [۱۵].



شکل ۱۶ موقعیت زمین‌ساختی توده‌های نفوذی [۱۶].

زمین‌ساختی تشکیل آن‌ها غالباً درون صفحات قاره‌ای و محدود به زون فروانش است. براساس نمودار عناصر کمیاب و نسبت  $(La/Yb)_N = ۹٫۸۵$  تا  $۲٫۱۵$ ، خاستگاه ماگما پوسته‌ی قاره‌ای است. براساس ترکیب کانی‌شناختی و پذیرفتاری مغناطیسی، توده‌های نفوذی این توده‌ها به سری ایلمینیت وابسته‌اند. توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک شامل: گرانیت، ترونجمیت و کوارتز مونزونیت هستند. این توده‌ها از نوع پتاسیم متوسط و بالا بوده و به غیر از ترونجمیت در گستره متا‌آلومین ترسیم شده‌اند. در نمودار عنکبوتی غنی‌شدگی عناصر K, Rb, Ba, Ce و کاهیدگی Sr, Nb, P, Ti دیده می‌شود. براساس نمودار عناصر کمیاب و نسبت  $(La/Yb)_N = ۶٫۴۷$  تا  $۴٫۸۷$ ، خاستگاه ماگما پوسته‌ی قاره‌ای بوده است.

#### مراجع

- [1] Muller R., Walter R., "Geology of the Precambrian- Paleozoic Taknar inlier northwest of Kashmar", Khorasan province, NE Iran, GSI. Rep. No. 51 (1983) 165- 183.
- [2] Forster H., "Associations of volcanic rocks in the mountains South of Sabzevar (NE- Iran)", 23. IGK. 2 (1968) 197-212.
- [3] Lindenberg H. G., Jacobshagen V., "Post-Paleozoic geology of the Taknar zone and adjacent area, NE Iran, Khorasan", GSI. Rep. No. 51 (1983) 145-163.
- [4] Eftekharneshad J., Aghanabati A., Baroyant V., Hamzeshpour B., "Geological Quadrangle Map of Kashmar", 1:250000. (1976) GSI, Tehran.

#### برداشت

زون تکنار باریکه‌ی مثلثی شکلی است که در شمال توسط گسل ریوش با راستای شرقی شمال شرقی - غربی جنوب غربی و از سمت جنوب به‌وسیله‌ی گسل کویر بزرگ (گسل درونه) محدود می‌شود. سازند تکنار قدیم‌ترین واحد زون تکنار (اردوئیسین، قدمت حداقل ۴۵۰ میلیون سال) است. حداقل ۳۰ درصد سازند تکنار را انواع سنگ‌های آتشفشانی زیر دریایی تشکیل می‌دهند. شواهد نشان می‌دهد که زون تکنار از منطقه‌ای دیگر به مکان فعلی جابجا شده است. در طول ۴۵۰ میلیون سال به دلیل قرار داشتن در شرایط خاص زمین‌ساختی، تغییرات زیادی در این زون رخ داده است. مهم‌ترین تغییرات ساختاری که در منطقه شناسایی شده‌اند: گسل‌های راستا لغز راست‌رو، گسل‌های راستا لغز چپ رو و گسل‌های رورانده و معکوس را می‌توان نام برد.

در صورتی که سن سازند تکنار اردوئیسین باشد، این سازند در اواخر پالئوزوئیک تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته است. توده‌های نفوذی متعددی در منطقه‌ی معدنی تکنار شناسایی شدند. براساس آثار دگرگونی ناحیه‌ای، توده‌های نفوذی به دو مجموعه تقسیم می‌شوند: ۱- توده‌های واسط تا اواخر پالئوزوئیک و ۲- توده‌های پس از پالئوزوئیک.

توده‌های نفوذی واسط- اواخر پالئوزوئیک بیشتر از نوع گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت هستند. از نظر شاخص آلومینیوم بیشتر از نوع اشباع از آلومینیوم و محدود به ساب آلومینیوم و به لحاظ پتاسیم از نوع متوسط تا زیاداند. محیط

- [11] Middlemost E. A. K., "Naming materials in the magma/igneous rock system". *Earth-Science Reviews* 37 (1994) 215–224.
- [12] Rickwood P. C., "Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements." *Lithos* 22 (1989) 247-267.
- [13] Shand S. J., "Eruptive rocks : T. Murby", London, (1947) 488.
- [14] Pearce J. A., "Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths—Hawkesworth C. J., Norry M. J.*", eds. (1983) Nantwich, UK: Shiva. (1983) 209–229.
- [15] Boynton W. V., "Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. In: *Rare earth element geochemistry. Henderson, P. (Editors)*", Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. (1984) 63-114.
- [16] Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.", *J. Petrol.*, 25 (1984) 956-983.
- [17] Ishihara S., "The magnetite- series and ilmenite- series granitic rocks: Mining geology", Japan, 27 (1977) 43- 50.
- [18] Barker F., "Trondhjemite: definition, environment and hypotheses or origin. In Barker", F. (ed) *Trondhjemites, dacites, and related rocks*, 1-12 NewYork: Elsevier (1979).
- [۵] ملک‌زاده شفارودی آزاده، "بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار (تک I و II)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد. (۱۳۸۲) ۲۸۷ صفحه.
- [۶] قورچی م.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد. (۱۳۸۲) ۲۸۷ صفحه.
- [۷] زیرجانی‌زاده صدیقه، "پترولوژی توده‌های نفوذی، میکروترنومتری و مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار در کانسار تکنار بردسکن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۶) ۱۸۶ صفحه.
- [۸] ملک‌زاده شفارودی آزاده، محمدحسن کریم‌پور، سید احمد مظاهری، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی تک I، کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار، خراسان- بردسکن"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*. پاییز- زمستان، ۱۲ (۲) (۱۳۸۳) ۲۵۳-۲۷۲.
- [9] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., "Taknar polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit: A new type magnetite- rich VMS deposit", northeast of Iran. *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*, 16 (3) (2005) 239-254.
- [۱۰] کریم‌پور م.ح، رحیمی ب، حیدریان م.ر، مظاهری ا.، ملک‌زاده شفارودی آ.، "۵ جلد گزارش مطالعات سنگ‌شناسی، آلتراسیون، مگنتومتری، کانی‌سازی و زمین‌شناسی ساختمانی کانسار ماسیو سولفید تکنار"، شرکت مجتمع معادن مس تکنار (۱۳۸۷).