

سنگ شناسی و ژئوشیمی دایک‌های آندزیتی واقع در شمال رابر، استان کرمان

محمدعلی سالاری^{۱*}، حبیب ا... بیابانگرد^۱، محمد بومری^۱، سارا درگاهی^۲

۱- بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت مقاله: ۸۹/۲/۱۹، نسخه نهایی: ۸۹/۷/۷)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی، در استان کرمان و ۱۰ کیلومتری شمال رابر قرار دارد. این منطقه از لحاظ زمین‌شناختی در بخش شرقی نوار دهج-ساردوئیه که خود بخشی از مجموعه‌ی ماگمایی ارومیه - دختر واقع شده است. دایک‌های مورد بررسی، به درون سنگ‌های آذرآواری ائوسن و واحدهای رسوبی پلیوسن نفوذ کرده‌اند. بررسی‌های سنگ‌شناسی مبین ترکیب آندزیتی این سنگ‌هاست. از لحاظ کانی‌شناسی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کلینوپیروکسن هستند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت‌های غیرتعادلی چون منطقه‌بندی نوسانی و بافت غربالی‌اند. کانی‌های هورنبلند و بیوتیت، تحت تأثیر فرآیند کدر قرار گرفته‌اند. بافت‌های مهم این دایک‌ها به صورت هیالوپورفیری، میکروولیتیک پورفیری و جریان‌ی دیده می‌شوند. بر اساس بررسی‌های ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها از لحاظ LREE در مقایسه با HREE، غنی‌شدگی دارند. فقدان بی‌هنجاری مشخص Eu در الگوی عناصر نادر خاکی، نشان دهنده‌ی شرایط اکسایش ماگما طی تبلور است. این ویژگی‌ها شاخصه‌ی سنگ‌های وابسته به سری ماگمایی آهکی - قلیایی است که در یک محیط کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: استان کرمان، رابر، سنگ‌شناسی، ژئوشیمی، دایک‌های آندزیتی، محیط کمان آتشفشانی.

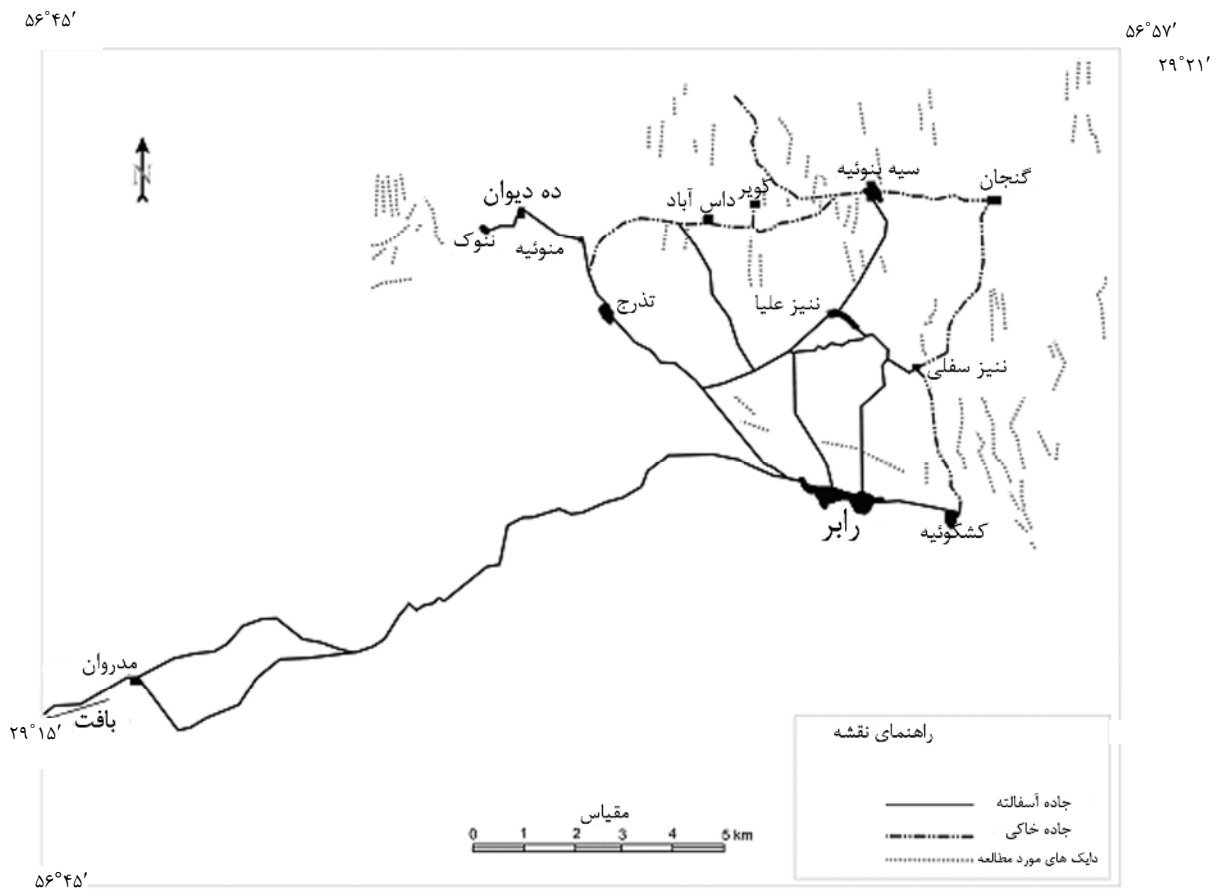
مقدمه

گستره‌ی مورد بررسی، در ۱۰ کیلومتری شمال شهرستان رابر و در جنوب غربی استان کرمان واقع شده است. دایک‌های مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی ۵۷'، ۵۶° - ۴۶'، ۵۶° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۱'، ۲۹° - ۱۷'، ۲۹° شمالی قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین راه دسترسی به منطقه، جاده‌ی آسفالتی بافت - رابر است که پس از ۲۵ کیلومتر به شهرستان رابر می‌رسد، و سپس از طریق جاده‌های خاکی موجود می‌توان به رخنمون‌های مورد نظر دسترسی یافت (شکل ۱). با توجه به اینکه تاکنون بررسی‌هایی روی این دایک‌ها صورت نگرفته، در این مقاله سعی شده تا سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، سنگ‌زایی و

خاستگاه زمین‌ساختی این دایک‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی

برای دستیابی به هدف‌های این مقاله پس از بررسی‌های صحرائی و نمونه برداری، تعداد ۵۰ مقطع نازک تهیه شدند و بررسی‌های سنگ‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ قطبشی دو چشمی Olympus مدل BH2 در آزمایشگاه بلورشناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شد. در نمونه برداری سعی شد تا از کلیه‌ی دایک‌ها نمونه‌هایی برداشت شوند و نمونه برداری از بخش‌های تازه و بدون هوازدگی سنگ انجام شود. هم چنین برداشت نمونه با تغییر بافت، رنگ و ترکیب سنگ نیز انجام پذیرفت. پس از پایان بررسی‌های سنگ‌شناسی، تعداد ۱۰



شکل ۱ راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی (اقتباس از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت با تغییرات، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۳۸).

پورفیری تا ریزدانه است، ولی بیشتر آن‌ها بافت پورفیری دارند. ریخت‌شناسی‌های منطقه، شامل ستون‌های منشوری (شکل ۲-ب)، فرسایش پوست پیازی و قله‌ای شدن سنگ‌هاست می‌باشد. در برخی از این دایک‌ها قطعات برونیوم نیز به چشم می‌خورد. این دایک‌ها دارای برونزدهای کرم، خاکستری و قهوه‌ای رنگ هستند که احتمالاً این تفاوت رنگ به دلیل عملکرد دگرسانی موجود در آن‌هاست. چینه‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی نیز از قدیم به جدید به ترتیب شامل: جریان‌های گدازه-ای آندزیتی، آندزیت بازالتی و پیروکلاستیک‌ها هستند که به سن ائوسن در شمال و غرب منطقه دیده می‌شوند. همه‌ی توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی و دیوریت پورفیری و نیز روانه‌های آندزیتی پیروکسن دارند، و به سن میوسن در شمال و غرب منطقه به چشم می‌خورند. ماسه سنگ سرخ و رس به همراه با رسوب‌های آهکی در جنوب و ماسه سنگ و کنگلومرا در غرب منطقه به سن میوسن وجود دارند.

نمونه سنگی، برای بررسی عناصر اصلی و کمیاب به آزمایشگاه ALS Chemex کانادا ارسال شدند. نتایج حاصل از این آنالیزها به روش ICP-AES/MS، در جدول ۱ آمده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

گستره‌ی مورد بررسی در رده‌بندی زمین‌شناسی ایران در زون آتشفشانی ارومیه-دختر قرار دارد. از ویژگی‌های چشمگیر این زون، فعالیت ماگمایی گسترده‌ی ترشیری آن است که از کرتاسه زیرین با بیرون ریزی گدازه‌های آتشفشانی مختلف شروع شده و در ائوسن به اوج خود رسیده است [۱]. دایک‌های مورد بررسی، در بخش شمالی رابر در مجموعه‌های آذرآواری و در شمال شرقی رابر در مجموعه‌های رسوبی برونزد دارند (شکل ۲-الف و ب) که سن مجموعه‌ی آذرآواری ائوسن و مجموعه‌ی رسوبی میوسن است. جنس مجموعه‌های رسوبی کنگلومرا و ماسه سنگ و جنس مجموعه‌های آذرآواری آندزیت و آندزیت بازالتی است. از نظر سنگ‌شناسی دایک‌های منطقه بیشتر حاوی پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت هستند. بافت آن‌ها

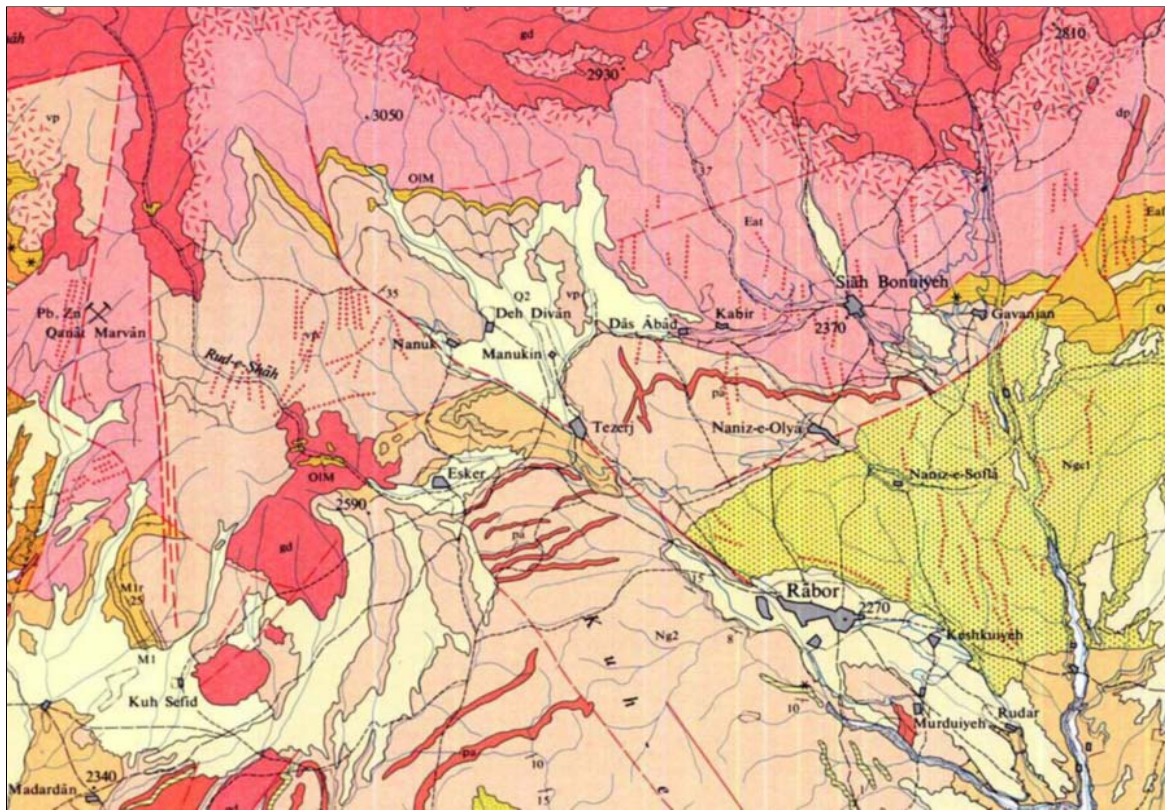
جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه‌های دایک‌های مورد بررسی به روش ICP- AES/MS. (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر فرعی و کمیاب بر حسب پی پی ام آمده‌اند).

Sample	A2	SK1	SR1	SR2	SR4	SS2	SS3	SS5	SS10	SU1
SiO ₂	۶۴٫۴	۶۲٫۶	۶۱٫۳	۶۲٫۸	۶۲٫۵	۶۵٫۹	۵۶٫۹	۶۰٫۵	۶۳٫۵	۵۹٫۷
TiO ₂	۰٫۵۰	۰٫۵۲	۰٫۵۲	۰٫۵۲	۰٫۵۴	۰٫۴۲	۰٫۶۱	۰٫۵۷	۰٫۴۶	۰٫۴۹
Al ₂ O ₃	۱۶٫۳۵	۱۶٫۳۵	۱۶٫۸۵	۱۶٫۷۵	۱۷٫۱۵	۱۶٫۰۰	۱۸٫۶۵	۱۶٫۸۵	۱۵٫۹۰	۱۷٫۷۵
Fe ₂ O ₃	۳٫۹۸	۴٫۰۵	۴٫۳۹	۴٫۳۷	۴٫۶۲	۳٫۷۸	۴٫۷۰	۴٫۹۱	۴٫۰۳	۵٫۴۷
CaO	۳٫۲۲	۴٫۷۶	۴٫۷۰	۴٫۶۴	۴٫۸۴	۴٫۰۵	۳٫۴۹	۵٫۵۲	۴٫۴۳	۵٫۹۵
MgO	۱٫۶۶	۱٫۶۰	۲٫۳۱	۲٫۱۸	۲٫۳۵	۱٫۴۷	۲٫۳۸	۲٫۳۲	۲٫۰۰	۲٫۳۶
Na ₂ O	۴٫۵۱	۳٫۹۱	۴٫۰۷	۴٫۱۰	۴٫۳۳	۳٫۷۵	۶٫۶۹	۳٫۸۹	۳٫۶۹	۴٫۰۷
K ₂ O	۲٫۷۷	۲٫۴۸	۲٫۰۲	۲٫۰۲	۲٫۱۰	۲٫۶۱	۲٫۰۷	۱٫۷۴	۲٫۶۱	۱٫۰۸
MnO	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۱۱
P ₂ O ₅	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۱۷
LOI	۲٫۰۷	۳٫۵۸	۲٫۶۵	۲٫۴۱	۱٫۱۱	۱٫۶۶	۳٫۹۰	۳٫۶۷	۳٫۰۸	۳٫۱۰
Total	۹۹٫۶۸	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۰۷	۱۰۰٫۰۳	۹۹٫۷۹	۹۹٫۸۵	۹۹٫۶۴	۱۰۰٫۱۷	۹۹٫۸۸	۱۰۰٫۲۵
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱
SrO	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۷
BaO	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۳
Ba	۴۶۸	۴۷۶	۳۷۲	۴۰۰	۳۸۷	۴۷۳	۷۴۵	۴۹۶	۳۸۸	۲۹۷
Ce	۴۲٫۰	۴۲٫۸	۳۶٫۹	۳۸٫۴	۳۹٫۴	۳۵٫۷	۳۳٫۴	۳۱٫۰	۳۶٫۴	۳۱٫۷
Co	۱۰٫۸	۱۰٫۹	۱۲٫۸	۱۲٫۹	۱۳٫۵	۱۰٫۰	۱۵٫۲	۱۳٫۸	۱۱٫۰	۱۳٫۸
Cr	۱۱۰	۵۰	۷۰	۸۰	۱۴۰	۱۲۰	۹۰	۱۱۰	۱۱۰	۷۰
Cs	۳٫۸۲	۱٫۴۳	۴٫۵۰	۳٫۵۸	۴٫۷۵	۰٫۸۴	۰٫۷۴	۰٫۶۰	۴٫۱۲	۰٫۴۹
Cu	۶۲	۶۰	۶۶	۶۳	۶۹	۷۳	۱۰۷	۶۹	۵۱	۵۰
Dy	۱٫۲۱	۱٫۱۸	۱٫۲۸	۱٫۳۳	۱٫۴۱	۱٫۲۵	۱٫۸۳	۱٫۶۱	۱٫۶۲	۱٫۹۴
Er	۰٫۶۵	۰٫۶۳	۰٫۷۳	۰٫۷۷	۰٫۷۸	۰٫۷۰	۰٫۹۸	۰٫۹۲	۰٫۹۴	۱٫۲۸
Eu	۰٫۸۰	۰٫۸۱	۰٫۷۷	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۷۲	۰٫۸۶	۰٫۷۱	۰٫۶۹	۰٫۷۹
Ga	۱۹٫۰	۱۸٫۵	۱۸٫۷	۱۸٫۸	۱۹٫۳	۱۷٫۹	۱۶٫۵	۱۷٫۹	۱۷٫۵	۱۹٫۱
Gd	۲٫۵۰	۲٫۶۱	۲٫۴۶	۲٫۳۹	۲٫۶۷	۲٫۲۹	۲٫۶۸	۲٫۴۲	۲٫۵۴	۲٫۵۲
Hf	۲٫۸	۲٫۹	۲٫۴	۲٫۷	۲٫۸	۳٫۰	۳٫۴	۳٫۰	۳٫۷	۲٫۶
Ho	۰٫۲۳	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۳۶	۰٫۳۲	۰٫۳۳	۰٫۴۴
La	۲۲٫۶	۲۲٫۳	۱۹٫۹	۲۰٫۲	۲۰٫۹	۱۹٫۱	۱۶٫۱	۱۵٫۵	۱۸٫۸	۱۶٫۳
Lu	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۲۱
Mo	<۲	۲	۲	۲	<۲	۴	<۲	۲	<۲	۳
Nb	۵۵	۵۸	۴۲	۴۲	۴۴	۴۵	۴۸	۴۲	۴۸	۳۳
Nd	۱۶۷	۱۷۰	۱۴۹	۱۵۵	۱۵۸	۱۴۵	۱۵۹	۱۴۲	۱۴۷	۱۳۷
Ni	۱۴	۱۲	۲۱	۲۲	۲۴	۱۸	۲۲	۲۱	۱۵	۱۳
Pb	۲۰	۱۹	۱۹	۲۵	۲۷	۲۰	۳۱	۱۲	۱۷	۸
Pr	۴٫۸۴	۴٫۸۴	۴٫۳۰	۴٫۳۸	۴٫۶۱	۴٫۱۰	۴٫۱۵	۳٫۷۶	۴٫۱۳	۳٫۷۰
Rb	۸۳۰	۶۷۲	۶۱۰	۵۳۰	۶۹۱	۵۸۲	۴۵۲	۳۵۲	۹۶۱	۲۸۴
Sm	۲٫۸۱	۲٫۸۷	۲٫۶۵	۲٫۶۶	۲٫۷۵	۲٫۵۵	۳٫۰۶	۲٫۷۸	۲٫۶۶	۲٫۶۳
Sn	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Sr	۵۱۳	۴۷۴	۵۰۰	۶۴۸	۷۳۰	۶۴۹	۱۰۷۰	۴۸۲	۴۸۵	۵۶۸
Ta	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۴	۰٫۲
Tb	۰٫۲۹	۰٫۲۹	۰٫۳۰	۰٫۲۹	۰٫۳۲	۰٫۲۸	۰٫۳۸	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۳۷
Th	۷٫۹۰	۶٫۸۱	۷٫۲۱	۷٫۶۴	۷٫۴۸	۵٫۴۹	۷٫۶۲	۶٫۹۲	۱۰٫۸۵	۵٫۴۴
Tm	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۸
U	۲٫۲۶	۱٫۸۹	۱٫۷۸	۲٫۰۰	۱٫۹۷	۱٫۴۹	۲٫۰۱	۱٫۹۷	۲٫۹۰	۱٫۲۷
V	۷۸	۸۲	۹۳	۹۲	۹۷	۷۱	۹۹	۱۰۲	۸۳	۱۰۳
W	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱
Y	۶٫۱	۵٫۸	۶٫۶	۷٫۰	۷٫۲	۶٫۵	۹٫۷	۸٫۶	۸٫۸	۱۱٫۷
Yb	۰٫۴۹	۰٫۴۸	۰٫۶۲	۰٫۶۴	۰٫۶۳	۰٫۵۷	۰٫۸۹	۰٫۸۰	۰٫۸۹	۱٫۲۴
Zn	۶۹	۶۵	۶۸	۶۴	۷۵	۶۱	۸۶	۶۷	۵۹	۶۱
Zr	۱۰۱	۱۰۹	۸۹	۹۸	۱۰۰	۱۱۴	۱۲۴	۱۰۹	۱۲۹	۹۸

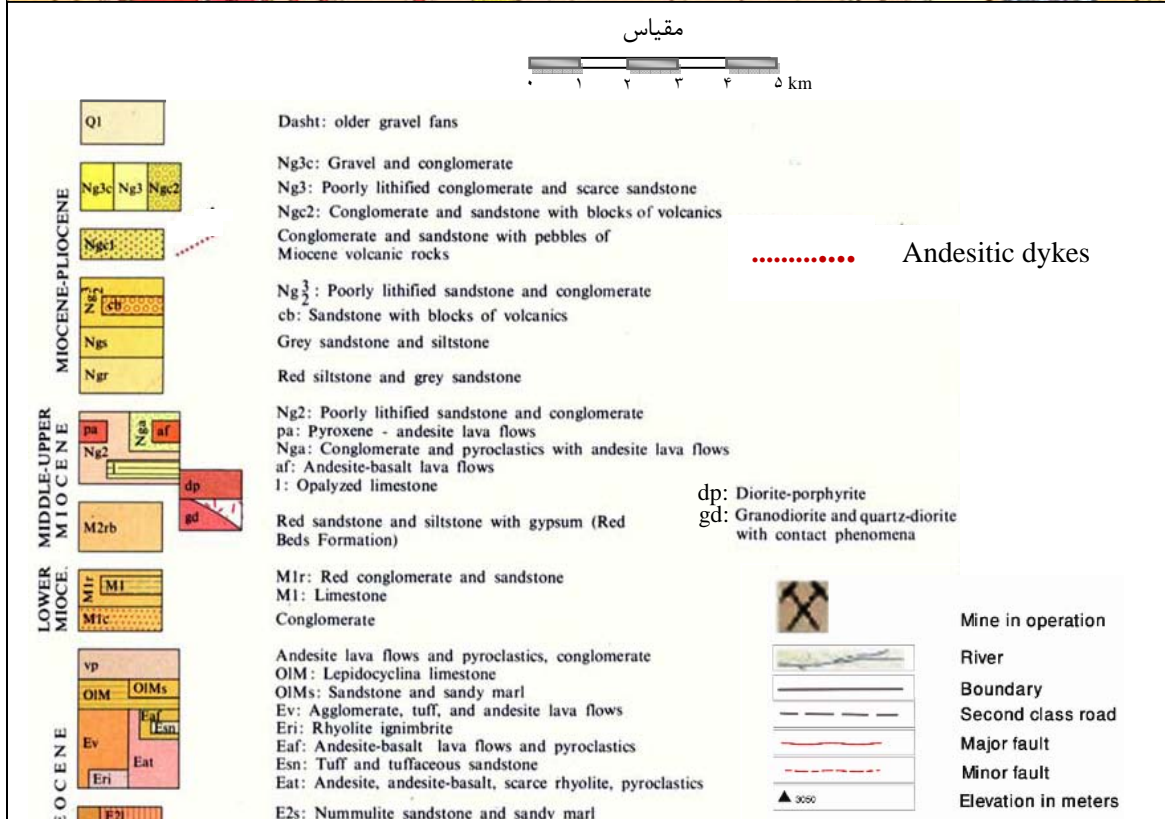
۵۶°۴۵'

۵۶°۵۸'

۲۹°۲۴'



۲۹°۱۵'



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (اقتباس از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۳۸).

ریزبلور در زمینه دیده می‌شوند. بلورهای درشت به اندازه ۱-۶ میلی‌متر و به شکل تخته‌ای نیمه شکل‌دار با ماکل آلیبتی و پری کلین هستند و ریزبلورهای سازنده‌ی زمینه به اندازه ۰/۱-۰/۲ میلی مترند. در بیشتر درشت بلورهای پلاژیوکلاز، منطقه‌بندی نوسانی، ماکل کارلسباد - آلیبت و بافت غربالی به چشم می‌خورد (شکل‌های ۴- الف و ب و پ). بلورهای پلاژیوکلاز به صورت بخشی به کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت، سریسیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کانی‌های رسی، دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۴ الف و پ).

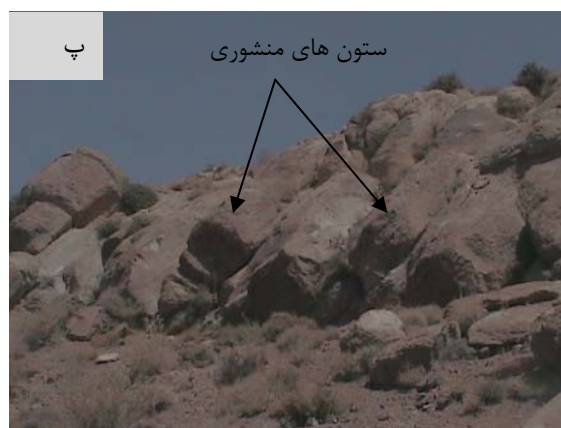
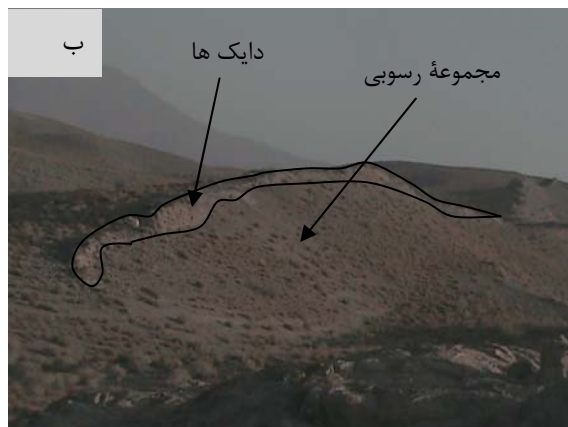
گاهی حضور میان بارهای پیروکسن در درشت بلورهای پلاژیوکلاز حاکی از تبلور پیش از کلینوپروکسن نسبت به پلاژیوکلاز است که حاکی از افزایش فشار بخار آب است [۲]. در برخی از مقاطع انباشت درشت بلورهای پلاژیوکلاز منجر به پیدایش بافت گلمروپورفیری در دایک‌ها شده است (شکل ۴ ت).

مجموعه رسوبی شامل ماسه سنگ، شیل و کنگلومرا به سن میوسن که دایک‌ها در آن‌ها برونزد دارند. که به رسوب‌های گراولی مخروط افکنه و آبرفت‌های عهد حاضر، در جنوب و غرب منطقه ختم می‌شوند (شکل ۳).

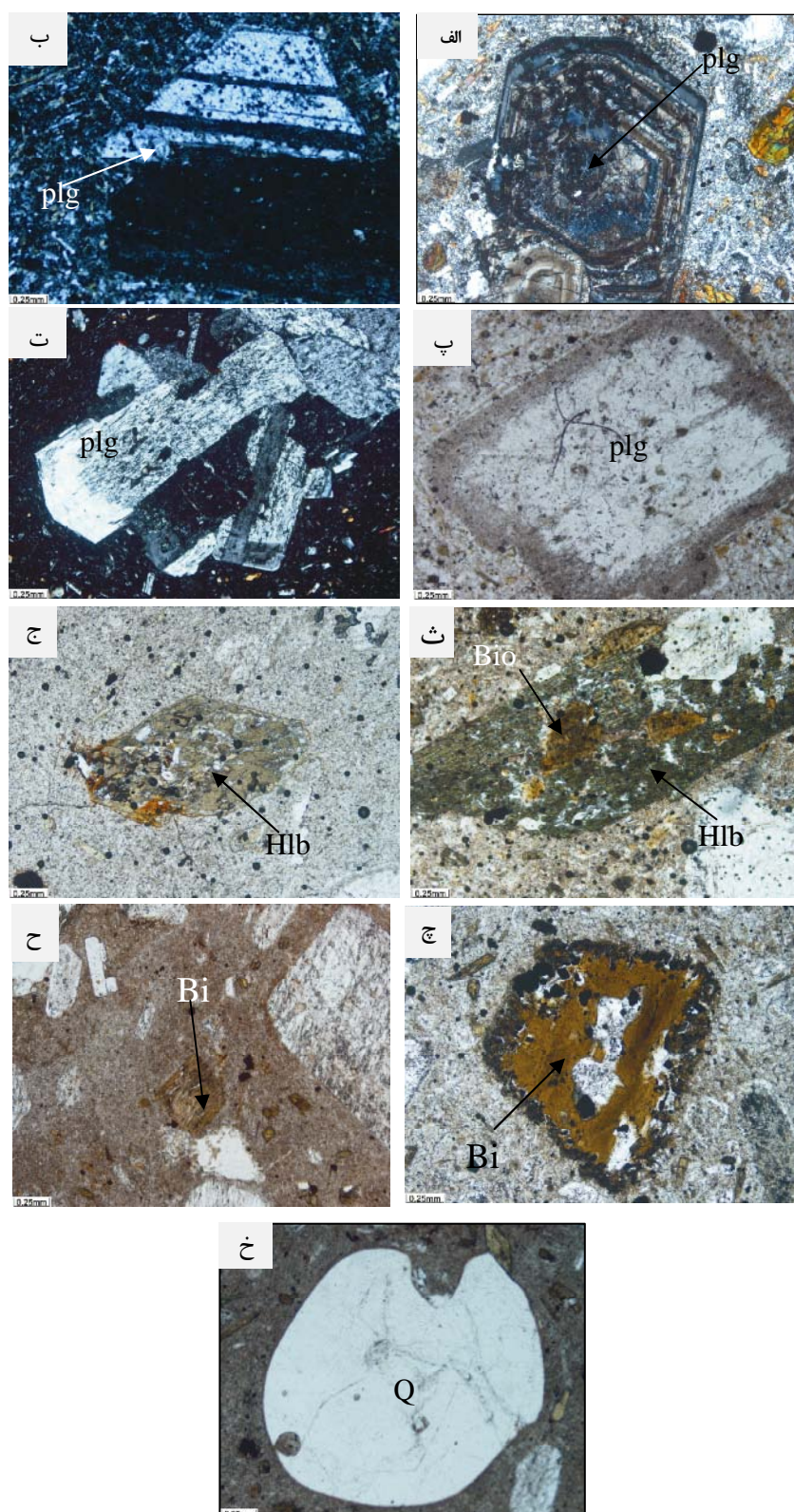
سنگ‌شناسی دایک‌های مورد بررسی

در منطقه‌ی مورد بررسی، گستره‌ی چشمگیری از دایک‌های آندزیتی به چشم می‌خورد که در سنگ‌های آذرآواری و رسوبی نفوذ کرده‌اند. در نمونه‌ی دستی، این سنگ‌ها به رنگ خاکستری و گاهی متمایل به قهوه‌ای و سبز با بافت پورفیری بوده و بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند در آن‌ها به چشم می‌خورند. درشت بلورهای موجود در این دایک‌ها در یک زمینه‌ی ریز بلور پلاژیوکلازی (با وجود یا عدم وجود زمینه‌ی شیشه‌ای) قرار دارند.

پلاژیوکلاز با درصد حجمی ۵۰-۷۰ درصد، از نظر ترکیبی در حد آندزین - الیگوکلاز است و به دو صورت درشت بلور و



شکل ۳ الف- نفوذ دایک‌ها در مجموعه‌های آذرآواری (شمال رابر) و ب- نفوذ دایک‌ها در مجموعه‌های رسوبی (شمال شرق رابر). پ- ستون‌های منشوری موجود در دایک‌های مورد بررسی که احتمالاً ناشی از ساختارهای زمین‌ساختی و فرسایشی هستند.



شکل ۴ الف- منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلاز دایک‌های مورد بررسی (XPL) ب- ماکل کارلسباد آلبیتی در پلاژیوکلاز دایک‌های مورد بررسی (XPL) پ- بافت غربالی در پلاژیوکلاز (PPL) ت- بافت گلومروپورفیری ایجاد شده در دایک‌های منطقه (XPL). ث- میان بارهای پلاژیوکلاز، بیوتیت و کدر در کانی هورنبلند (PPL). ج- انباشت کلسیت و کانی کدر در مناطق ضعیف کانی (رخ‌ها و حاشیه) هورنبلند (PPL). چ- تبدیل مناطق حاشیه‌ای بیوتیت به اکسید آهن در اثر عملکرد گرمایی‌ها (PPL). ح- خمیدگی بیوتیت در اثر تنش‌های وارد بر آن (PPL)، خ- خوردگی خلیجی در کوارتز (XPL).

اکتیولیت هستند که حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزیم‌اند. در برخی از موارد، کانی‌های ثانویه پرکننده فضای خالی سنگ را تشکیل می‌دهند. زمینه دایک‌ها اغلب از شیشه، کانی‌های پلاژیوکلاز، بلورهای ریز آمفیبول، کوارتز، کانی‌های کدر و ثانویه تشکیل شده است. بنابراین از نظر کانی-شناختی، دایک‌های منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان آندزیت نامید.

ژئوشیمی و خاستگاه دایک‌های آندزیتی

برای بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی دایک‌های آندزیتی منطقه، تعداد ۱۰ نمونه سنگی که حداقل هوازگی را نشان می‌دادند، برای آنالیزهای شیمیایی انتخاب شدند (جدول ۱).

در رده‌بندی شیمیایی نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{SiO}_2$ (TAS) [۳]، بیشتر نمونه‌ها در گستره‌ی آندزیت تا داسیت (شکل ۵) و در نمودار $(\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0.0001)\text{SiO}_2$ [۴]، نمونه‌ها در گستره‌ی آندزیت تا ریوداسیت قرار می‌گیرند (شکل ۶). تمایل این سنگ‌ها به سمت داسیت و ریوداسیت، به دلیل بالا بودن مقدار سیلیس در این آندزیت‌ها، یا اسیدی بودن شیشه‌ی موجود در زمینه‌ی آن‌هاست.

نمونه‌ها در نمودار مجموعه‌ی قلیایی نسبت به اکسید سیلیسیم [۵]، در گستره‌ی ماگمایی نیمه قلیایی (شکل ۷) و در نمودار AFM [۶]، در گستره‌ی ماگمایی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۸). میزان آلومینیوم سنگ‌های حدواسط مناطق کوهزایی بین ۱۸-۱۶ درصد است [۷].

مقدار اکسید آلومینیوم سنگ‌های مورد بررسی در حد ۱۷ درصد وزنی متغیر است که با میانگین مقدار این اکسید در سنگ‌های مناطق کوهزایی هماهنگ است و اغلب ویژگی‌های متاآلمینوس از خود نشان می‌دهند [۸] (شکل ۹).

برای تعیین محیط زمین‌ساختی دایک‌های آندزیتی منطقه، از نمودارهای $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ [۹]، Nb-Y [۱۰] و Hf/3-Th-Nb/16 [۱۱] استفاده شد که در این نمودارها سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل-های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲).

در نمودار Nb-Y که آن را [۱۲] برای سنگ‌های فلسیک و آندزیتی مورد استفاده قرار داد (شکل ۱۱)، سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی قوس آتشفشانی و هم زمان با برخورد قرار گرفته‌اند [۱۲].

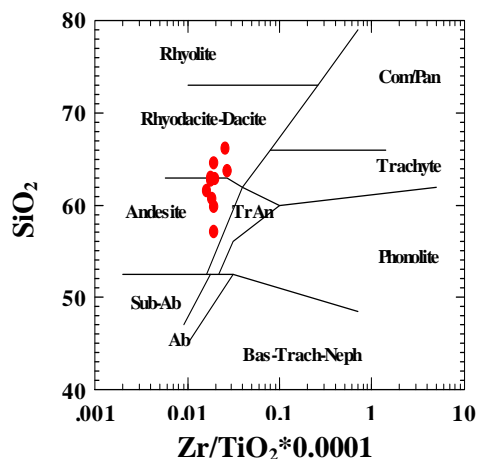
آمفیبول با درصد حجمی ۲۰-۱۰ درصد، از نوع هورنبلند و با ابعاد ۴-۵ میلی متر است که پس از پلاژیوکلاز فراوان‌ترین درشت بلور موجود در نمونه‌هاست. این کانی به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار، در اغلب سنگ‌ها قابل مشاهده است. در برخی موارد این کانی بافت غربالی و خلیجی دارد که بیانگر شرایط عدم تعادل محیط تشکیل دهنده‌ی آن است [۲]. بلورهای هورنبلند اغلب حاوی میان بارهای پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی کدر هستند (شکل ۴ ث، ج). این کانی در بیشتر موارد به کانی‌های ثانویه‌ای چون کلریت، اپیدوت، کلسیت و کانی‌های کدر دگرسان شده است (شکل ۴-ج).

پیروکسن با درصد حجمی تا ۵ درصد، از نوع کلینو پیروکسن (اوژیت) است و به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار ($< 2\text{mm}$) دیده می‌شود. این کانی بیشتر ستونی نیمه شکل دار است و شدیداً تحت تأثیر دگرسانی گرمایی قرار گرفته و به کلریت، کلسیت، کانی‌های کدر، اورالیت و اپیدوت تبدیل شده‌اند.

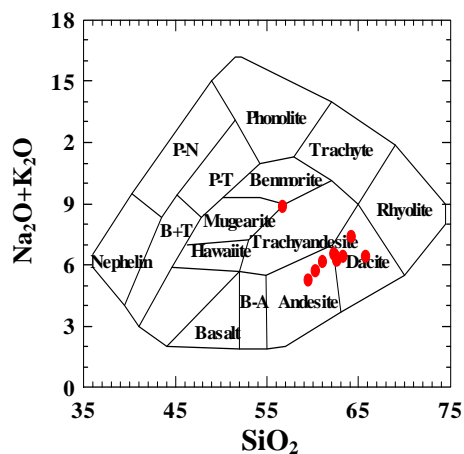
بیوتیت با درصد حجمی تا ۱۰ درصد و با ابعادی در حدود ۱-۰٫۵ میلی متر، به صورت صفحات ریز تا متوسط در برخی از نمونه‌ها پراکنده است. این کانی در بیشتر موارد به طور بخشی، در اثر عملکرد گرمایی‌ها دگرسان و به کلریت، اپیدوت و اکسید آهن تبدیل شده است (شکل ۴ ج). برخی از بیوتیت‌های اولیه شکلی خمیده (Kink band) دارند که نشانگر تنش‌های وارده بر آن، به طور هم زمان یا پس از جای گیری دایک‌هاست (شکل ۴ ج).

کوارتز با حضور تا ۱۰ درصد حجمی در نمونه‌های سنگی منطقه، اغلب به صورت ریز دانه در متن و رگچه ایست؛ ولی با این وجود در برخی از مقاطع حدود یک درصد کوارتز اولیه به صورت درشت بلورهای شکل دار در سنگ و یا زون کریست به صورت حل شده و با طرح خلیجی حضور دارد (شکل ۴ خ).

کانی‌های کدر با فراوانی تا ۵ درصد حجمی، مهم‌ترین فراوان‌ترین کانی فرعی موجود در این سنگ‌هاست. این بلورها بیشتر نیمه شکل دارند و با اندازه متوسط یک میلی متر، فضای بین بلورهای زمینه‌ی سنگ را پر کرده‌اند. این کانی‌ها هم چنین به صورت ثانویه پیرامون کانی‌های بیوتیت و هورنبلند را پوشانده‌اند (شکل ۴ ج). مهم‌ترین کانی‌های ثانویه‌ی این سنگ‌ها کلریت، کلسیت، کوارتز، اپیدوت، سربیسیت و ترمولیت-

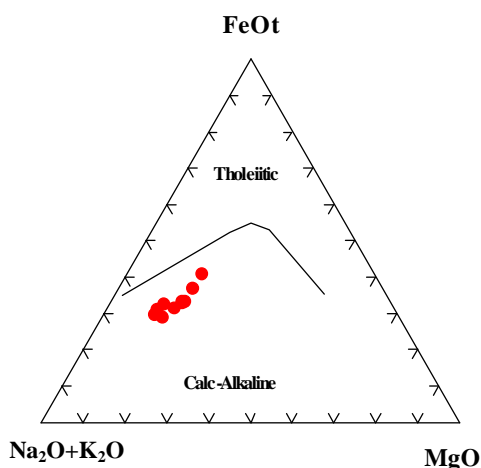


شکل ۶ نمودار SiO_2 - $Zr/TiO_2*0.0001$ [۴].

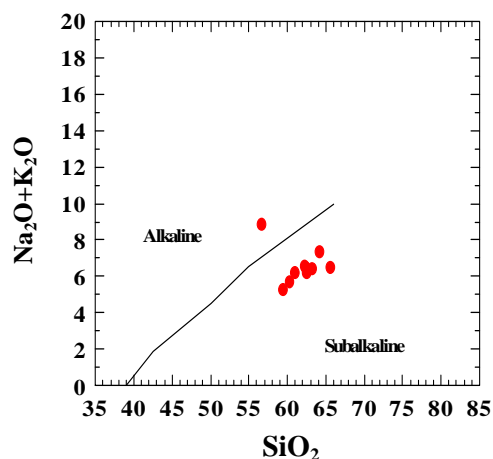


شکل ۵ نمودار (Na_2O+K_2O) - SiO_2 TAS [۳].

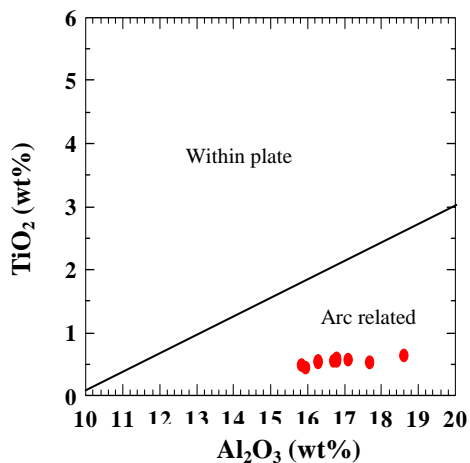
بر اساس این نمودارها، نمونه‌ها در گستره‌ی آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریوداسیت قرار می‌گیرند.



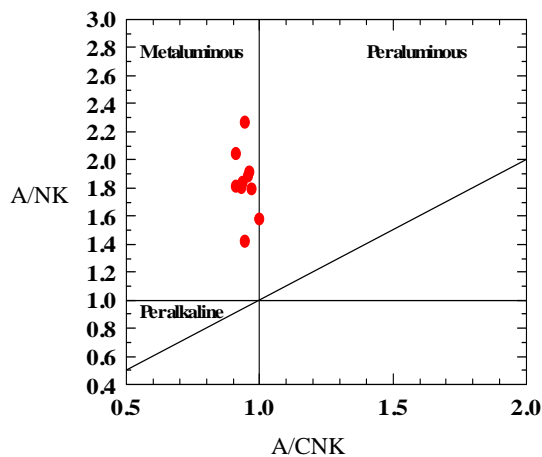
شکل ۸ موقعیت نمونه‌ها در نمودار AFM [۶].



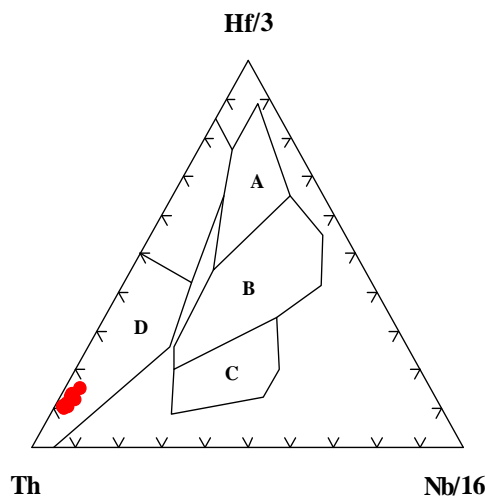
شکل ۷ موقعیت نمونه‌ها در نمودار $Na_2O + K_2O/SiO_2$ [۵].



شکل ۱۰ نمودار Al_2O_3 - TiO_2 [۹].

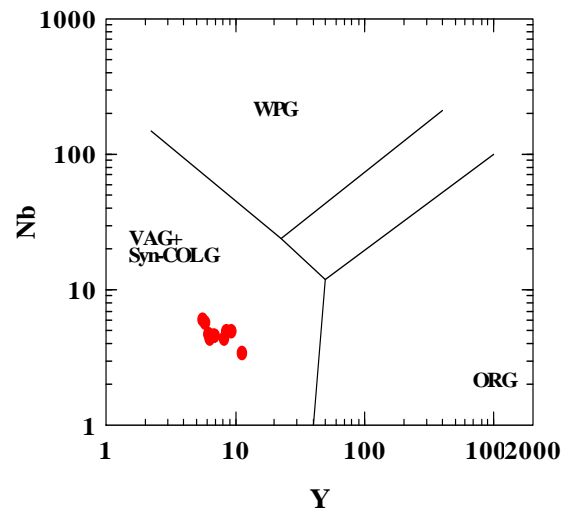


شکل ۹ موقعیت نمونه‌ها در نمودار A/NK نسبت به A/CNK [۸].



شکل ۱۲ موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در نمودار Hf/3-Th-Nb/16 [۱۱].

A = N-مورب، B = E-مورب، C = بازالت‌های جزایر قوسی
D = بازالت‌های قوس قاره‌ای

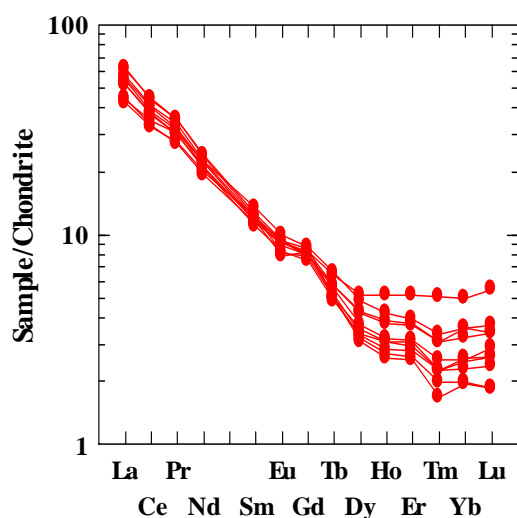


شکل ۱۱ موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در نمودار Nb-Y [۱۲، ۱۰].

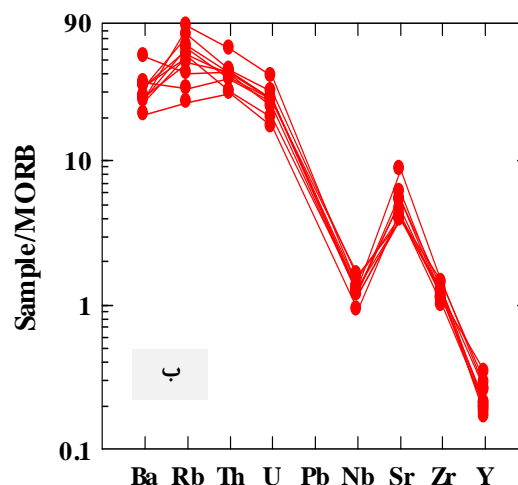
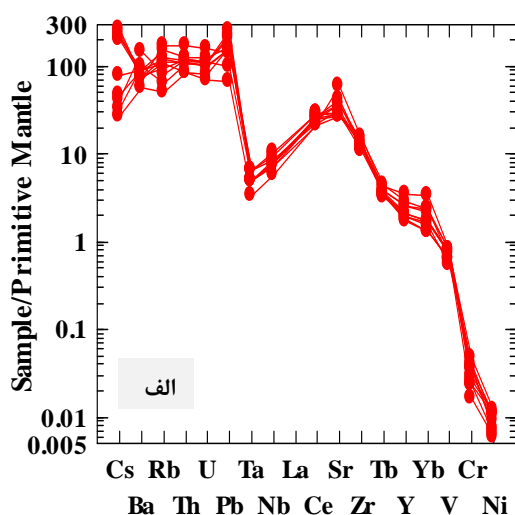
بی‌هنجاری منفی Cr و Ni به دلیل سازگار بودن این عناصر و جدایش آن‌ها در مراحل اولیه‌ی جدایی ماگمایی در کانی‌های آهن-منیزیم‌دار است. بی‌هنجاری منفی Nb و Ta در نمودار (شکل ۱۴-الف) می‌تواند به دلیل عدم تحرک و باقی ماندن آن‌ها در صفحه‌ی فرورونده شده است؛ به طوری که این عناصر در شاره‌های آزاد شده از صفحه وارد نمی‌شوند. این بی‌هنجاری می‌تواند شاخص سنگ‌های قاره‌ای و مشارکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی باشد. غنی‌شدگی سنگ‌ها از عناصر Ba، Rb، U، Th، Pb و Sr نیز به علت ماهیت فرورانش است؛ زیرا به علت تحرک نسبتاً بالای این عناصر، شاره‌های ریشه گرفته از صفحه‌ی فرورونده‌ی غنی از این عناصر هستند [۱۶، ۱۷]. بی‌هنجاری چشمگیر و مثبت عناصر Ba، Rb، U، Th، Pb، Ce، La، Sr (شکل ۱۴-الف) و نیز بی‌هنجاری منفی عناصر Nb، Ta، V، Cr، Ni و Yb که در شکل (شکل ۱۴-الف) به چشم می‌خورد، به نظر می‌رسد که تبلور بخشی اکسیدهای Fe و Ti یا جدایش کانی‌های آهن و منیزیم‌دار مهم‌ترین دلیل این بی‌هنجاری‌های منفی و احتمالاً تأثیر پوسته و شاره‌های ناشی از فرورانش، در بی‌هنجاری مثبت عناصر یاد شده نقش داشته‌اند.

عناصر نادر خاکی (REE) که نسبت به کندریت پهنجار شده‌اند [۱۳]، روندهای نسبتاً مشابهی دارند. عناصر نادر خاکی سبک (LREE) دارای غنی‌شدگی با شیب نسبتاً تند و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) تهی‌شدگی دارند و الگوی موازی و نسبتاً باز را نشان می‌دهند (شکل ۱۳). تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین نسبت به عناصر سبک احتمالاً ناشی از وجود گازنت در سنگ خاستگاه آن‌هاست. البته جدایش هورنبلند نیز در مایع‌های فلسیک و حدواسط می‌تواند دلیلی برای غنی‌شدگی شدید نمونه‌ها از عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین باشد [۱۴]. فقدان بی‌هنجاری مشخص Eu در این نمودارها، نشانگر روند جدایش عادی ماگما و یا شرایط اکسایشی ماگمای تشکیل دهنده‌ی آن‌هاست [۱۴]. ماگماهایی که دارای نسبت بالای عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و مقدار پایین تر عناصر خاکی نادر سنگین هستند. معمولاً می‌توانند به محیط‌های فرورانش نسبت داده شوند [۱۵-۱۷].

در نمودارهای عنکبوتی گروه عناصر کمیاب بر حسب کاهش ناسازگاری مرتب و نسبت به گوشته‌ی اولیه [۱۸] و مورب [۱۹] پهنجار شده‌اند (شکل ۱۴ الف و ب).



شکل ۱۳ نمودار عناصر نادر خاکی که نسبت به کندریت [۱۳] بهنجار شده‌اند.

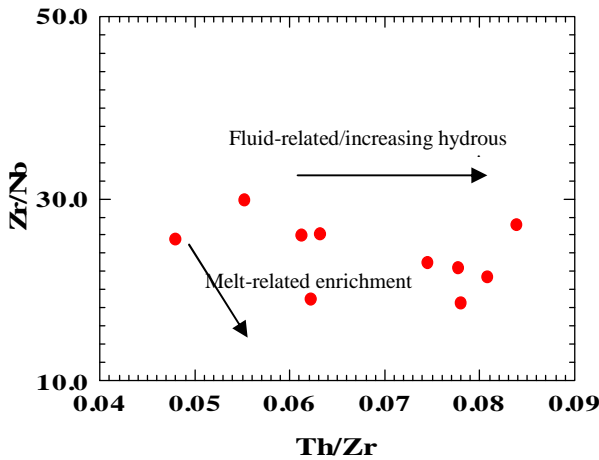


شکل ۱۴ نمودارهای عنکبوتی نمونه‌ها که نسبت به گوشته‌ی اولیه [۱۸] و مورب [۱۹] بهنجار شده‌اند.

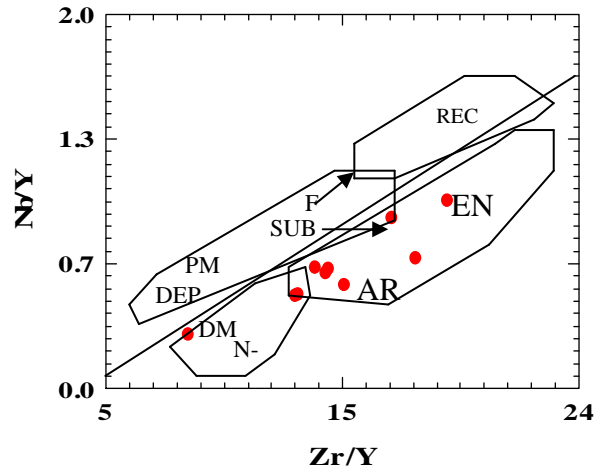
می‌سازد که باعث دگرنهادی و ذوب بخشی آن می‌شود. علاوه بر این شاره‌ها، ماگماها نیز می‌توانند در دگرنهادی گوشته نقش داشته باشند. از نمودار یاد شده برای تعیین عاملی که باعث دگرنهادی گوهی گوشته‌ای شده است استفاده می‌شود. ثابت بودن نسبت Zr/Nb همراه با افزایش نسبت‌های Th/Zr و Ce/Y با اضافه شدن شاره‌های ریشه گرفته از صفحه به منبع گوشته‌ای سازگار است [۱۷]. با توجه به ثابت بودن نسبت Zr/Nb (~ 24 ppm)، همراه با افزایش نسبت‌های Th/Zr و Ce/Y در نمونه‌های بررسی شده، نتیجه می‌گیریم که شاره‌های آزاد شده از صفحه‌ی فرورانده شده در دگرنهادی گوشته در منطقه‌ی مورد بررسی نقش داشته‌اند.

در نمودارهای $Nb/Y-Zr/Y$ [۲۰] (شکل ۱۵) و Zr/Nb (شکل ۱۶)، نمونه‌ها در گستره‌ی قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند. در شکل ۱۵ دایک‌های منطقه در گستره جزیبی غنی شده‌ی (EN) قرار می‌گیرند که نشانگر غنی‌شدگی خاستگاه آن‌ها از پوسته‌ی قاره‌ای یا دگرنهادی در طی فرآیند فرورانش باشد [۱۷]. فرورانش شاره‌های آزاد شده از صفحه‌ی اقیانوسی فرورونده، موجب غنی‌شدگی خاستگاه در برخی از عناصر نظیر LILE و LREE می‌شود [۱۶، ۱۷].

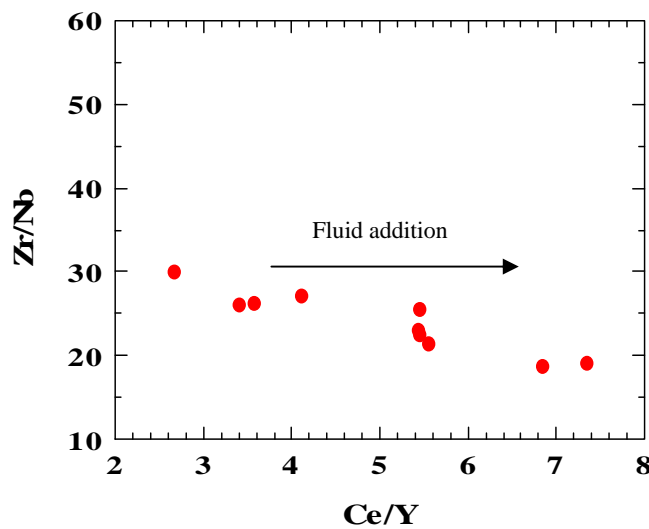
چنانکه از شکل ۱۶ و ۱۷ پیداست، سنگ‌های مورد بررسی روندی به موازات شاره‌های دگرنهاد کننده دارند. در زون‌های فرورانش، صفحه‌ی فرورونده آگیری می‌کند و شاره‌های غنی از عناصر LILE (عناصر لیتوفیل بزرگ یون) را در گوشته رها



شکل ۱۶ موقعیت نمونه‌ها در نمودار Zr/Nb - Th/Zr [۱۷].



شکل ۱۵ موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در نمودار Nb/Y - Zr/Y [۲۰].



شکل ۱۷ موقعیت نمونه‌ها در نمودار Zr/Nb - Ce/Y [۱۷].

پلاژیوکلازها، کدر شدن هورنبلندها و بیوتیت‌ها در حاشیه، که تقریباً همه‌ی این پدیده‌ها در دایک‌های مورد بررسی قابل مشاهده‌اند، نشان می‌دهد که احتمالاً این دایک‌ها در شرایط کاهش فشار و نامتعادل تشکیل شده‌اند. ۳- در نمودارهای ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها در گستره‌ی آندزیت، داسیت و ریوداسیت قرار می‌گیرند. دلیل تمایل این سنگ‌ها به سمت داسیت و ریوداسیت، بالا بودن مقدار سیلیس در این آندزیت‌ها، به‌عبارت دیگر اسیدی بودن شیشه‌ی موجود در زمینه‌ی آن‌هاست.

برداشت

۱- ترکیب سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی آندزیت‌اند که به‌صورت دایک رخمون دارند. بافت این سنگ‌ها پورفیری با خمیره‌ای که بیشتر ریز بلوری است و در درون مجموعه‌های آذرآواری و فلیشی برونزد دارند. ۲- کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کلینوپیروکسن هستند و اغلب دارای بافت‌های نامتعادل غربالی و منطقه‌بندی به‌ویژه در پلاژیوکلاز هستند. وجود خوردگی‌های شیمیایی در کانی‌ها، وجود کوارتزهای با خوردگی خلیجی، بافت‌های غربالی، منطقه‌بندی در

tectonic interpretation of granitic rocks", Journal of Petrology, 25 (1984) 956-983.

[11] Wood D.A., "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the british Tertiary volcanic province", Earth and Planetary Science Letters, 50 (1980)11-30.

[12] Garsia T.S., Quesada C., Bellido F., Dunning G.R., Tanago J.G.D., "Two-step magma flooding of the upper crust during rifting: The early Paleozoic of the Ossa Morena zone (SW Iberia)", Tectonophysics, 461 (2008) 72-90.

[13] Thompson R. N., "Magmatism of the British Tertiary Volcanic province", Scottish Journal of Geology, 18 (1982) 49-107.

[14] Rollinson H. R., "Using geochemical data: Evolution, Presentation, interpretation", Longman, Singapore, (1996), 353 pp.

[15] Khalaji A.A., Esmaeily D., Valizadeh M.V., Rahimpour H., "Petrology and gheochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 29(2007) 859-877.

[16] Peng T., Wang Y., Zhao G., Fan W., Peng B., "Arc-like volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone, SW China: Geochronological and geochemical constraints on their petrogenesis and tectonic implication", Lithos, 102 (2007) 358-373.

[17] He Y., Zhao G., Sun M., Wilde S.A., "Geochemistry, isotope systematics and petrogenesis of the volcanic rocks in the Zongtiao mountain: An alternative interpretation for the evolution of the southern margin of the North China craton", Lithos, 102 (2007) 158-178.

[18] Wood D. A., Joron J. L., Treuil M., Norry M., Tarney J., "Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from Island and the surrounding ocean floor", Contrib. Mineral, Petrol.70 (1979a) 319-339.

[19] Pearce J. A., "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", In: Hawkesworth C. J. and Norry M. j. (eds), Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, Nantwich, (1983) 230-249.

[20] Condie K.C., "High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes?", Lithos, 79 (2005) 491-504.

۴- ماگمای سازنده‌ی این دایک‌ها دارای سرشت آهکی - قلیایی و در یک محیط قوس آتشفشانی وابسته به محیط فرورانش است.

۵- در نمودارهای عنکبوتی، این دایک‌ها دارای بی‌هنجاری‌های مثبت در عناصر Sr و La، Cs، Ce، Pb، Th، U، Rb، Ba و بی‌هنجاری منفی در عناصر Ni، Cr، V، Ta، Nb و Yb هستند.

۶- بر مبنای آنالیزهای ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها از نظر LREE نسبت به HREE غنی شدگی دارند که با طبیعت تشکیل آن‌ها در محیط‌های فرورانش سازگار است.

۷- نبود بی‌هنجاری مشخص Eu در نمودارهای عنکبوتی، مبین شرایط اکسایش ماگمای تشکیل دهنده‌ی آن‌هاست.

مراجع

[۱] آقائباتی، ع.، "زمین‌شناسی ایران". سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳)، ۵۸۶ ص.

[2] Shelley D., "Igneous and metamorphic Rocks under the microscope", Chapman and Hall, London, (1993), 445 p.

[3] Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "The interpretation of igneous rocks", George Allen and Unwin, London, (1979), 450 p.

[4] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", Chemical Geology, 20 (1977) 325-343.

[5] Kuno H., "Differentiation of basalt magma", In: Hess H.H., Poldervart A. (eds), Basalt: The poldervart treatise on rocks of basaltic composition, Vol. 2, Interscience, New York, (1968), 623-688.

[6] Irvin T.N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8 (1971) 523-548.

[7] Gill J., "Orogenic andesites and plate tectonics". Springer Verlage, (1981), 390 p.

[8] Maniar P.D., Piccoli P.M., "Tectonic discrimination of granitoids", Geological Society of America Bulletin, 101 (1989) 635-643.

[9] Muller D., Groves D.I., "Potassic igneous rocks and associated gold copper mineralization", Springer Verlage, (1997), 241 p.

[10] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., "Trace element discrimination diagrams for the