

سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانه‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی - ماگمایی کانسار مس گرماب، قائن (خراسان جنوبی)

منصور عادل‌پور^{۱*}، ایرج رساء^۲، فریبرز مسعودی^۲، مسعود حسینی^۳

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهیدچمران اهواز

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهیدبهبشتی

۳- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، شرکت مهندسی مشاور زرناب اکتشاف، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۵/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۹/۶

چکیده

کانسار مس گرماب در ۵۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان قائن، در قالب برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ آبیض و زون شرق ایران واقع شده است. سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس گرماب به سن پالئوسن بالایی- ائوسن، شامل تناوبی از گدازه‌ها (آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت-بازالت و بازالت) و مواد آذرآواری (انواع توف و آگلومرا) هستند. این سنگ‌ها، بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، شباهت زیادی به گدازه‌های کالک‌آلکان دارند. مقدار Al_2O_3 آنها زیاد و در عین حال عدد منیزیمی پایینی دارند. تمامی نمونه‌ها دارای ماهیت مت‌آلومین و کلسیمی- کلیایی پتاسیم متوسط- بالا هستند. مقادیر بالای عناصر K, U, Th, Zr, Sr, Rb, Ba ، نسبت‌های بالای K_2O/Rb و FeO/MgO حاکی از شباهت سنگ‌های این محدوده با سنگ‌های توده‌های آذرین کمان‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره‌هاست. دگرسانی سیلیسی، کلریتی، کربناتی، آرژیلیک، پروپیلیتیک و آپاسیتی شدن مهمترین زون‌های دگرسانی می‌باشند. در این محدوده ماگمایی غنی از مس حین صعود از زون فرورانش، به سطح زمین برخورد کرده است و مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب حدواسط تا بازیک به صورت گدازه و آذرآواری (آگلومرا و توف) در سطح زمین ایجاد کرده است که میزان کانه‌زایی مس می‌باشند. کانی‌سازی سولفیدی مس در اثر عملکرد سیالات گرمایی که در امتداد گسل‌ها در حرکت بوده ایجاد شده است. بارزترین ویژگی این منطقه چینه‌کران بودن و پاراژنز ساده با چیرگی کالکوسیت به عنوان کانه اصلی است. کانی‌های کالکوسیت، کولیت، دیژنیت، بورنیت و کالکوپیریت پاراژنز کانیایی را تشکیل می‌دهند. علاوه بر کانی‌های سولفیدی، مس طبیعی، کانی‌های اکسیدی از جمله کوپریت- تنوریت و کربنات‌های مس نیز دیده می‌شوند. در بیشتر موارد هم‌رشدی بین کانه‌های مس دیده می‌شود. عیار نقره در نمونه‌های آنالیز شده، بالا است (متوسط مقدار نقره ۸/۳۴ ppm و مس ۲/۴٪)، با این حال کانی مستقلی از نقره شناسایی نشد. بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دگرسانی و کانی‌سازی، کانسار مس گرماب یک کانسار تیپ مانتو است. مقایسه ویژگی‌های این کانسار با کانسارهای بزرگ دنیا و ایران نشان می‌دهد این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای مس عباس آباد و ورزگ (ایران) و بوئناسیرانزا (شیلی) دارد.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های آتشفشانی، پالئوسن بالایی- ائوسن، کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای، مس نوع مانتو، گرماب، قائن.

مقدمه

آتشفشانی واجد کانه‌سازی مس به سن پالئوسن بالایی- ائوسن در کانسار مس‌گرماب، پاراژنز کانیاپی، دگرسانی و جایگاه تکتونوماگمایی این محدوده پرداخته است و سعی دارد با تکیه بر مشاهدات میدانی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و کانه‌نگاری خصوصیات عمومی کانسار مس گرماب را به عنوان یک مثال بارز از این نوع ذخایر در ایران معرفی نماید.

مواد و روش‌ها

پس از انجام مطالعات دقیق صحرایی و سنگ‌شناسی، ۲۰ نمونه از سنگ‌های مینرالیزه جهت بررسی کانه‌نگاری و تجزیه شیمیایی بوسیله دستگاه ICP-OES و تعداد ۱۰ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی به منظور مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری انتخاب شد. پس از مطالعه مقاطع میکروسکوپی، نمونه‌های دارای حداقل دگرسانی برای تجزیه شیمیایی توسط دستگاه XRF انتخاب گردید و نتایج تجزیه با استفاده از نرم افزار GCDKIT و IGPET مورد تفسیر و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

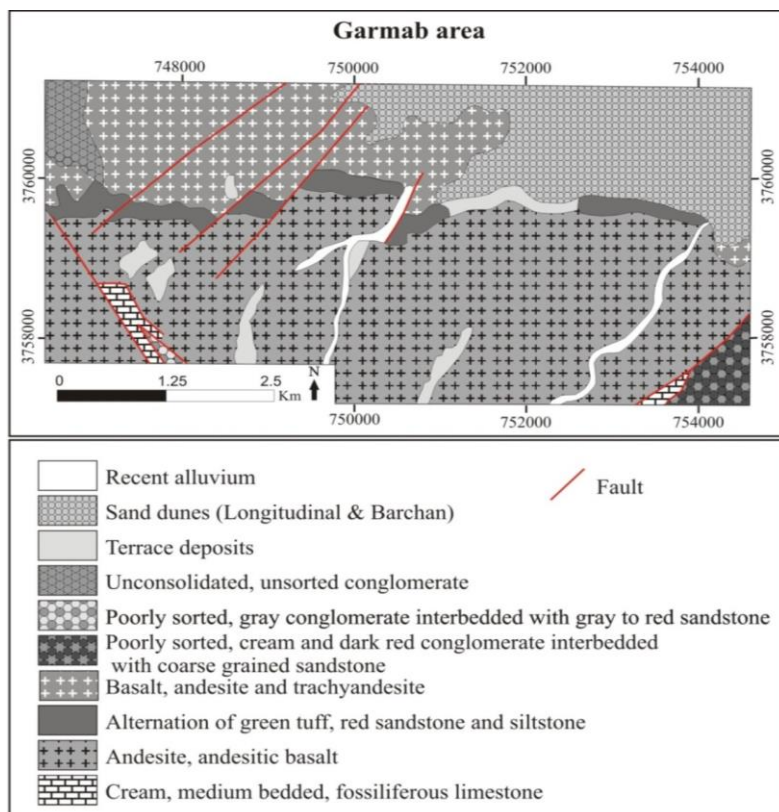
۱- زمین‌شناسی منطقه

بلوک لوت به واسطه داشتن موقعیت‌های تکتونیکی مختلف در زمان‌های گذشته مانند فرورانش و محیط کششی پس از برخورد (زرین‌کوب و همکاران، ۲۰۱۲) دارای حجم عظیمی از فعالیت ماگماتیسم با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت می‌باشد (کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۲). به دلیل وجود این فعالیت‌ها که از ژوراسیک آغاز و در ترشیری به اوج خود

کانسار مس‌گرماب در پنجاه کیلومتری شمال‌شرق شهرستان قائن در طول‌های جغرافیایی $40^{\circ} 01' E$ تا $59^{\circ} 59' 73'' E$ و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ} 55' 33'' N$ تا $33^{\circ} 57' 46'' N$ در بخش واسط بین زون جوش خورده سیستان در شرق و پهنه لوت در غرب قرار دارد و در تقسیم‌بندی ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳) بخشی از پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود. این منطقه در بخش شمالی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ آبیژ واقع است (اکرمی و همکاران، ۱۳۸۴). در بالاترین ردیف آتشفشانی ائوسن ایران کانسارها و آثار معدنی متعددی از کانی‌سازی مس وجود دارد که در نوشته‌های مختلف از گونه گرمابی، رگه‌ای، استوک-ورک، آتشفشانی و ... از آنها یاد شده و اغلب بواسطه عدم شناخت صحیح از مدل زایشی و ویژگی‌های کانی-سازی، معادن آنها متروکه و عملیات مهندسی اکتشاف (چاه، تونل و ...) بدون نتیجه رها شده است. بررسی متالوژنی مس در شیلی و تطبیق آن با مشخصات زمین‌شناسی معادن و آثار شناخته شده در ایران حاکی از آنست که گونه معینی از کانی-سازی مس که به مانند شهرت دارد در مناطق ترو، عباس‌آباد، کاشمر، طارم و شنوه (کوهستان قم)، منطقه انارک و سایر نواحی می‌تواند وجود داشته باشد (سمانی، ۱۹۹۸) و لذا شناخت این گونه از کانی‌سازی‌ها می‌تواند چشم‌انداز نوینی را در زمین‌شناسی و منابع معدنی مس خلق نماید. با توجه به گسترش چشمگیر مجموعه‌های آتشفشانی سنوزوئیک در ایران، انتظار می‌رود که این نوع ذخایر در ایران نیز فراوان باشند و شایسته است که ویژگی‌های زمین‌شناسی این ذخایر به دقت بررسی شده تا نتایج آن، بتواند کلیدی برای فعالیت‌های اکتشافی- استخراجی و همچنین تخمین و ارزیابی این ذخایر باشد. این پژوهش به بررسی سنگ‌های

بازالت آندزیتی هستند. رخنمون‌های کوچکی از توف‌های سبزآلتره، ماسه‌سنگ قرمز و سیلتستون در قسمت مرکزی محدوده با روند شرقی- غربی وجود دارد. سنگ‌های آتشفشانی بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت در شمال و شمال غرب محدوده رخنمون دارد (شکل ۱). در این منطقه ماگمایی غنی از مس حین صعود از زون فرورانش، به سطح زمین برخورد کرده است و مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب حدواسط تا بازیگ به صورت گدازه (آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت- بازالت، بازالت) و آذرآواری (آگلومرا و توف) در سطح زمین ایجاد کرده است که میزبان کانه‌زایی مس می‌باشند.

رسیده است، بلوک لوت دارای پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ قائن و قسمت شمالی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ آبیز، در بلوک لوت و بخش‌های باختری کوه‌های خاوری ایران واقع شده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ آبیز، سنگ‌های قدیمی‌تر از سنوزوئیک در محدوده مورد مطالعه مشاهده نشده است. واحدهای سنگی که در این محدوده رخنمون دارند، از قدیم به جدید به شرح ذیل می‌باشند:
قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه، سنگ‌آهک کرم رنگ فسیل‌دار با سن پالئوسن است. عمده‌ترین سنگ‌های منطقه، سنگ‌های آتشفشانی آندزیت و



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه؛ اقتباس شده از ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ آبیز سازمان زمین‌شناسی کشور (اکرمی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲- سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه دارای ترکیب حدواسط بوده و به‌صورت گدازه و آذرآواری در سطح زمین دیده می‌شوند. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که ولکانیک‌ها ترکیبی از آندزیت، تراکی‌آندزیت، آندزیت-بازالت، بازالت و سنگ‌های پیروکلاستیک شامل آگلومرا و انواع توف‌ها دارند. پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین مهمترین فنوکریست‌های این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. استوارت و پیرس (۲۰۰۴) معتقدند که ناپایداری بلورهای پلاژیوکلاز در حین حرکت سریع ماگما به سمت بالا باعث پیدایش بافت غربالی در پلاژیوکلاز می‌شود؛ چرا که بعضی از قسمت‌های پلاژیوکلاز بطور بخشی ذوب می‌شود و محصولات ناشی از ذوب پلاژیوکلاز در داخل پلاژیوکلاز شروع به تبلور می‌نمایند. پیروکسن کانی فرومنیزین اصلی این نمونه‌هاست؛ که به صورت فنوکریست‌های درشت و خودشکل در نمونه متبلور شده است. فراوان‌ترین کانی ثانویه موجود در حفرات و رگه‌های موجود در سنگ کلسیت است. از دیگر کانی‌های ثانویه می‌توان به اکسیدهای آهن، کانی‌های فیلسیلیکاته، کانی‌های تیره، آلبیت، کانی‌های رسی، ژئولیت، ایدنگسیت، بولنزیت، کلریت و سرپانتین اشاره کرد (شکل ۲).

الف) آندزیت و تراکی‌آندزیت: بافت‌های غالب در این سنگ‌ها، بافت پورفیری و گاه تراکیتی در مقیاس ماکروسکوپی و بافت میکرولیتیک پورفیریک، هیالومیکرولیتیک پورفیریک و بافت جریان‌ی در مقیاس میکروسکوپی می‌باشد. فنوکریست‌ها، اغلب پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن می‌باشند. پلاژیوکلازها کانی اصلی این آندزیت‌ها محسوب می‌شوند، که به صورت میکرولیت‌های ریز و فنوکریست‌های درشت و خودشکل متبلور شده‌اند.

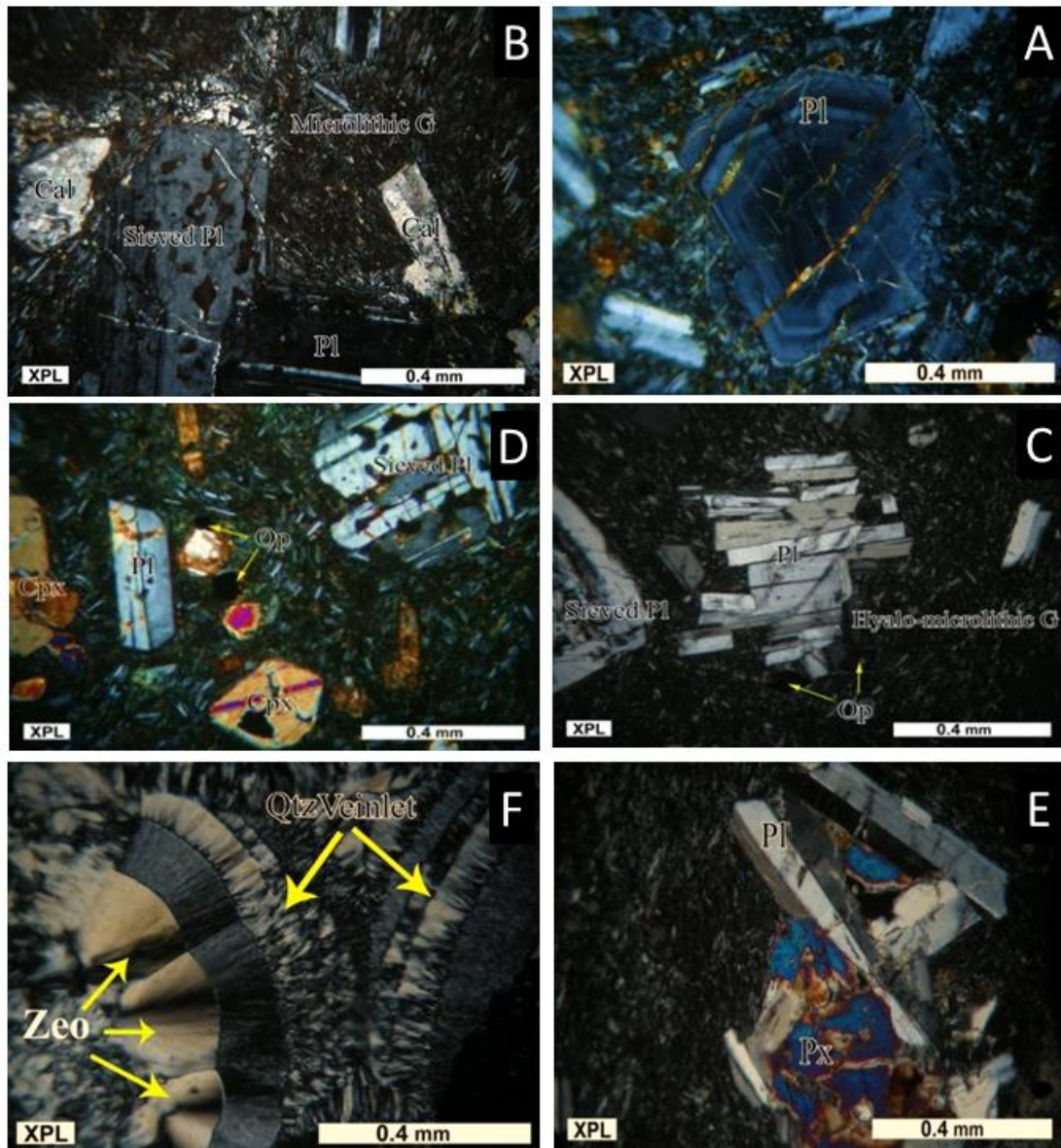
ب) بازالت: بافت غالب در نمونه‌های بازالت، شامل پورفیریتیک با زمینه هیالوپلیتیک و هیالومیکرولیتیک است. در نمونه‌های بازالت، فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین می‌باشند. پلاژیوکلاز کانی اصلی این نمونه‌هاست. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز اغلب سالم هستند و در آنها بافت غربالی و ماکل آلبیت-کارلسباد مشاهده می‌شود. در مواردی نیز پلاژیوکلازها ژئولیتی شده‌اند.

پ) آندزیت-بازالت: رخنمون‌گدازه‌های آندزیت-بازالت به‌صورت پورفیری دیده می‌شوند، که دارای بافت پورفیریتیک با زمینه هیالومیکرولیتیک، هیالومیکرولیتیک جریان‌ی و میکرولیتیک می‌باشند. پیروکسن کانی فرومنیزین اصلی این نمونه‌هاست، که به‌صورت فنوکریست‌های درشت و خودشکل در نمونه متبلور شده است. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی بوده و حفرات موجود در این بلورها توسط اکسیدهای آهن پر شده است.

ت) سنگ‌های پیروکلاستیک: سنگ‌های آذرآواری در منطقه گرماب بر اساس رده‌بندی فیشر و اشمینک (۱۹۸۴) در رده کریستال ویتریک‌توف، کریستال لیتیک‌توف و آگلومرا قرار می‌گیرند. توف‌ها عمدتاً دارای ترکیب آندزیتی و آندزیت-بازالتی هستند. خرده سنگ‌های این سنگ‌ها از جنس آتشفشانی با بافت میکرولیتی و هیالوپورفیریک حفره‌دار هستند. از دیگر اجزاء تشکیل دهنده این سنگ‌ها می‌توان به بلورهای پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر پیروکسن اشاره کرد. آگلومراهای در قسمت‌های مختلف محدوده رخنمون دارند. بر اساس رنگ ظاهری، آگلومراها به دو تیپ آگلومرای خاکستری و آگلومرای قرمز رنگ تقسیم می‌شوند. اندازه قطعات سنگی در توف‌ها کمتر از ۲ میلی‌متر و در آگلومراها به ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد.

۳- ژئوشیمی‌گدازه‌ها

نتایج تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه از انواع مختلف سنگ‌های گدازه‌ای گرماب در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲: A- زون بندی نوسانی در فنوکریست پلاژیوکلاز در زمینه میکرولیتی که از رخنمون آندزیتی موجود در منطقه برداشت شده است؛ شکل ۲: B- پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی و دگرسان شده به کلسیت در زمینه میکرولیتیک که از رخنمون آندزیت بازالتی برداشت گردیده است؛ شکل ۲: C- بافت گلمروپورفیری پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های آپیک در زمینه میکرولیتیک، برداشت شده از واحد تراکی آندزیتی؛ شکل ۲: D- کلینوپیروکسن ماکل دار بصورت انکلوزیون درون زمینه و در فنوکریست پلاژیوکلاز که از واحد بازالتی برداشت شده است؛ شکل ۲: E- کلینوپیروکسن به تله افتاده درون پلاژیوکلاز که نشانه تقدم تبلور کانی کلینوپیروکسن نسبت به پلاژیوکلاز می‌باشد؛ شکل ۲: F- ژئولیت و رگه‌های کوارتز حاصل از هوازدگی در نمونه آندزیت بازالت.

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های گدازه‌ای گرماب؛ عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر فرعی بر حسب ppm گزارش شده‌اند (علائم: An=آندزیت، An-Ba=آندزیت-بازالت، Tr-An=تراکی‌آندزیت).

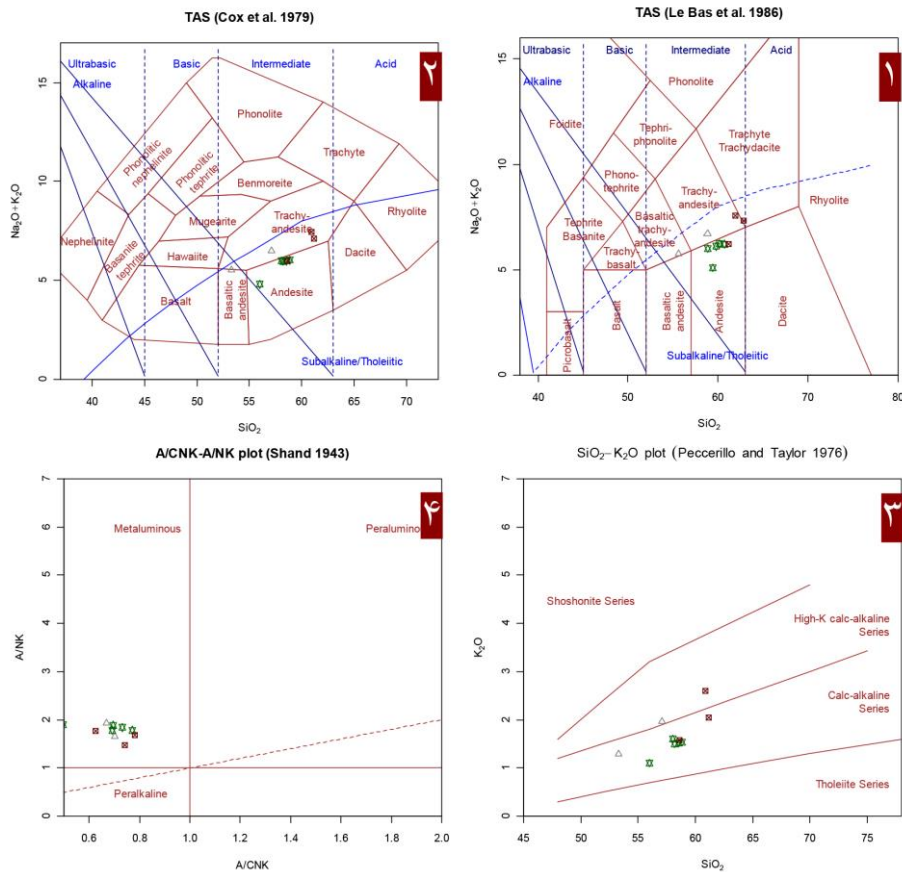
شماره نمونه	AF-10	AF-11	AF-12	AF-14	AF-15	AF-18	AF-19	AF-20	AF-21	AF-22
نام سنگ	An	An	An-Ab	Tr-An	An	Tr-An	An	Tr-An	An-Ab	An
SiO ₂	58.22	58.85	53.27	60.9	56.02	61.16	58.53	57.08	58.59	58.06
Al ₂ O ₃	15.92	17.05	16.07	15.8	13.77	17.82	16.48	15.93	15.79	16
CaO	6.42	8.51	8.64	5.81	11.24	6.74	7.46	7.22	8.99	7.8
Fe ₂ O ₃	6.14	3.55	8.02	5.15	5.64	3.13	4.84	6.58	4.38	5.2
K ₂ O	1.5	1.53	1.28	2.6	1.1	2.04	1.51	1.97	1.57	1.6
MgO	5.06	1.5	2.61	2.08	1.41	0.26	3.28	2.34	0.83	2.1
MnO	0.07	0.05	0.08	0.08	0.17	0.05	0.06	0.08	0.11	0.08
Na ₂ O	4.44	4.49	4.24	4.84	3.7	5.08	4.46	4.54	4.39	4.4
P ₂ O ₅	0.28	0.38	0.4	0.29	0.33	0.24	0.33	0.34	0.28	0.32
SO ₃	0.04	0.13	0.05	0.03	0.08	0.11	0.4	0.04	0.09	0.07
TiO ₂	0.82	0.98	1.11	0.83	0.9	0.83	0.9	0.97	0.86	0.9
LOI	0.96	2.88	4.2	1.45	5.57	2.43	1.92	2.82	4	2.9
Total	99.87	99.9	99.97	99.86	99.93	99.89	100	99.91	99.88	99.43
Ba	2704	7531	3268	8373	833	9960	1861	4299	588	593
Ce	6	20	17	18	30	28	43	17	13	13
Cr	7	23	19	12	44	60	34	15	9	6
La	2	9	8	9	15	13	22	9	7	7
Nb	25	32	1	0.6	1.1	4.1	28.5	16.5	2.6	15.8
Ni	31	20	20	17	20	45	31	26	49	71
P	212	430	675	435	711	726	1538	452	376	373
Pb	14	7	16	34	145	403	278	31	29	47
Sb	12.3	24.7	16.8	9.4	53.2	134.5	58.6	21.1	14.2	41.8
Sc	1	3.9	4.3	3.6	7.6	8.5	11.3	4.9	3	2.3
Sr	4464	1173	1895	1542	1155	922	936	972	363	599
Th	7.5	19.3	10.7	22.6	8.3	25.9	9.3	13.6	7.1	7.1
U	3.2	3.5	6.7	2.6	3	4.4	17	5.1	2.3	1.8
V	24	39	45	24	57	66	118	109	53	88
Y	2	8	7	8	14	10	22	8	6	6
Yb	0.4	1.2	1.1	1.3	1.8	1.5	2.2	1.4	1.3	1.4
Zr	28	124	103	99	176	182	195	91	55	46
Rb	11.3	53.3	2	6.9	12.6	8.3	32.3	9.75	18.37	17.2

سنگ‌های آتشفشانی مورد نظر در نمودار کوکس و همکاران (۱۹۷۹) و باس و همکاران (۱۹۸۶) که بر

درصد SiO₂ این سنگ‌ها بین ۵۳/۲۷ تا ۶۱/۱۶ درصد متغیر است. بر اساس ترکیب شیمیایی،

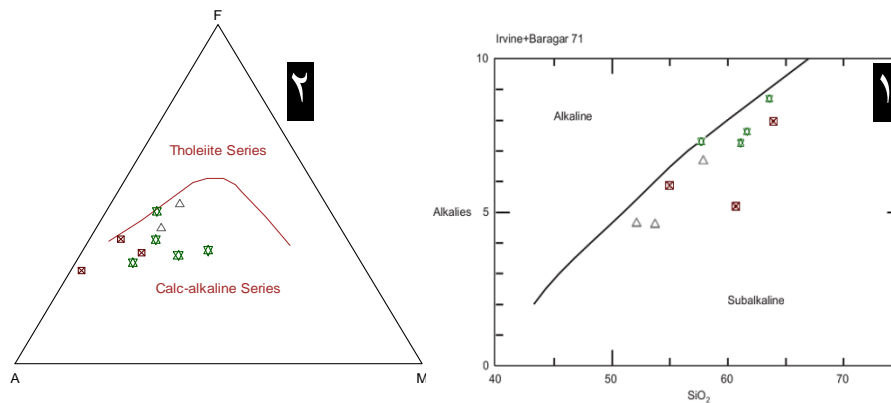
پتاسیم متوسط - بالا قرار می‌گیرند (نمودار K_2O در مقابل SiO_2 ؛ اقتباس از پسریلو و تیلور، ۱۹۷۶ (شکل ۳-۳). نمونه‌های مورد بررسی از لحاظ شاخص اشباع از آلومین و بر اساس نمودار $A/CNK - A/NK$ شاند (۱۹۴۳)، در محدوده متآلومین جای می‌گیرند (شکل ۳-۴).

مبنای درصد وزنی مجموع آلکالن ($Na_2O + K_2O$) در مقابل درصد وزنی سیلیس (SiO_2) رسم شده است، در محدوده آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت - بازالت قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱-۳ و ۲). این سنگ‌ها در رده کالک آلکالن و کالک آلکالن

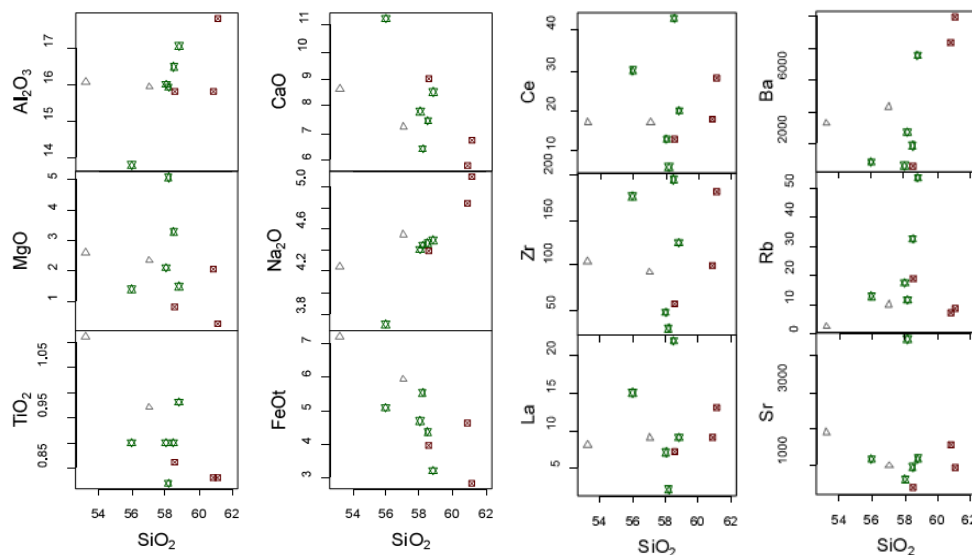


شکل ۳: ۱- نمودار $Na_2O + K_2O$ در مقابل SiO_2 ، نمونه‌ها در محدوده آندزیت، آندزیت بازالت و تراکی آندزیت قرار گرفته‌اند (باس و همکاران، ۱۹۸۶)؛ شکل ۳: ۲- نمودار $Na_2O + K_2O$ در مقابل SiO_2 ، اقتباس از کوکس و همکاران (۱۹۷۹)؛ شکل ۳: ۳- نمودار K_2O در مقابل SiO_2 که در آن بیشتر نمونه‌ها در محدوده سری کالک آلکالن قرار گرفته‌اند (پسریلو و همکاران، ۱۹۷۶)؛ شکل ۳: ۴- نمودار $A/CNK - A/NK$ ، نمونه‌ها در محدوده متآلومینوس قرار گرفته‌اند (شاند، ۱۹۴۳)

آندزیت \boxtimes ، تراکی آندزیت \boxtimes ، آندزیت-بازالت Δ



شکل ۴: ۱- نمودار اکسیدهای عناصر آلکالن در برابر سیلیس؛ اقتباس از ایروین و باراگار (۱۹۷۱) شکل ۴: ۲- نمودار AFM، جهت تمایز سنگ‌های تولیتی و کالک‌آلکالن؛ اقتباس از ایروین و باراگار (۱۹۷۱)

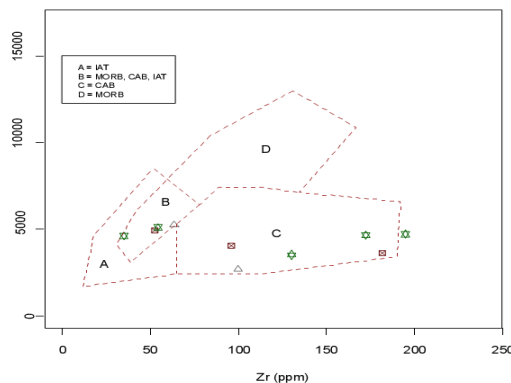


شکل ۵: روند تغییرات بعضی از عناصر اصلی و کمیاب نسبت به SiO_2 .

سازنده نمونه‌های مورد آنالیز با داشتن مقدار $Mg\#$ میانگین ۰/۳، میزان گرم ۲۳ و مقدار میانگین نیکل ۳۳ جزء ماگماهای اولیه در تعادل با گوشته فوقانی قرار نمی‌گیرند و لذا یا پس از تشکیل در گوشته عادی متحمل تحولات ماگمایی شده‌اند و یا اینکه ماگماهایی هستند که از گوشته متاسوماتیزه مشتق شده‌اند. با استناد به شکل ۶ و جدول ۱ مقدار Zr در سنگ‌های مورد مطالعه دامنه وسیعی (بین ۲۸ تا ۱۹۵) را به خود

بطور کلی ماگماهای اولیه‌ای که در تعادل با کانی‌شناسی شاخص گوشته فوقانی (الیوین + ارتوپروکسن + گارنت + اسپینل) قرار دارند، باید دارای مقادیر $MgO\#$ یا عدد منیزیمی بالا (> 0.7) Ni بالا ($< 1500-1400 ppm$)، Cr زیاد ($< 1000 ppm$) و مقدار SiO_2 کمتر از ۵۰٪ باشند (گلن، ۲۰۰۴). معذالک اگر ماگمای بازیگ به جای مشتق شدن از یک گوشته عادی از مناطق منشاء متاسوماتیزه مشتق شده باشند، این معیارها دیگر کاربرد نخواهند داشت (ویلسن، ۱۹۸۹). ماگمای

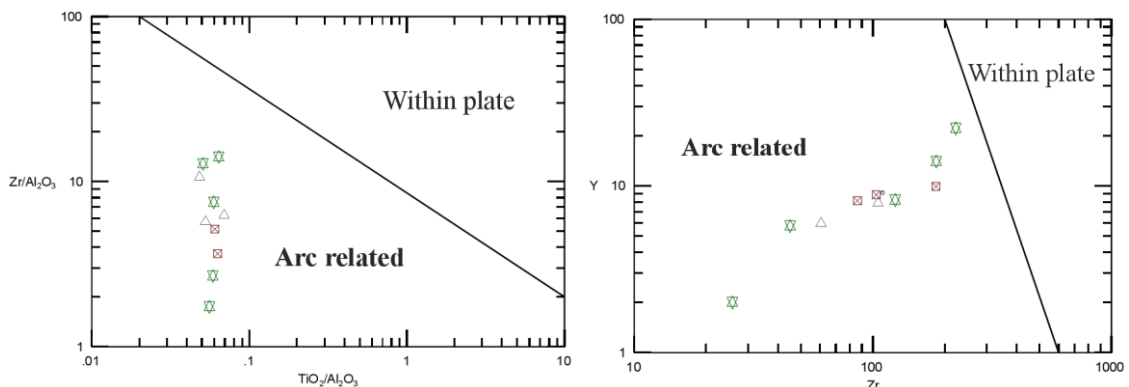
اختصاص داده‌اند که از این لحاظ به سنگ‌های سری کالک‌آلکالن شباهت دارند.



شکل ۶: موقعیت سنگ‌های آتشفشانی گرماب بر روی نمودار پیرس و کان (۱۹۷۳).

این سنگ‌ها با ماگماتیسم ناشی از فرورانش بلوک افغان به زیر بلوک لوت در ارتباط بوده و در یک محیط کمان ماگمایی تشکیل شده‌اند (مولر و گرووس، ۱۹۹۷) (شکل ۷).

سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در محدوده کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرند. با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی و همچنین با در نظر گرفتن موقعیت زمانی و مکانی سنگ‌های آتشفشانی گرماب، به نظر می‌رسد که

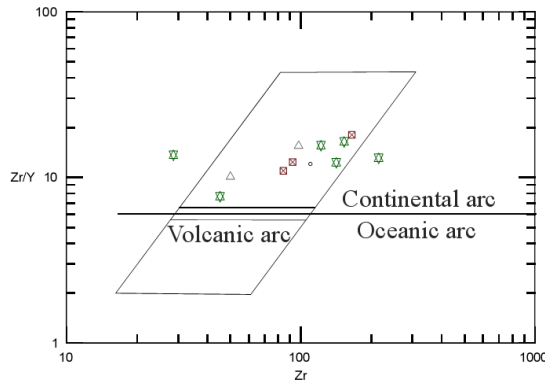


شکل ۷: تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی گرماب (مولر و گرووس، ۱۹۹۷).

این صورت که اگر در گدازه‌ها نسبت $Zr/Y > 3$ باشد، متعلق به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای هستند و اگر در آنها نسبت $Zr/Y < 3$ باشد به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارند. سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه دارای نسبت $Zr/Y > 3$ هستند و در گروه قوس‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند. بنابراین محیط

برای تمایز کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از کمان ماگمایی جزایر قوسی از نمودار پیرس (۱۹۸۳) استفاده شده است. با توجه به شکل ۸ به نظر می‌رسد که کمان ماگمایی سازنده سنگ‌های منطقه، ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. از نسبت عناصر کمیاب Zr/Y نیز برای تشخیص رژیم تکتونیکی می‌توان استفاده کرد (پیرس و نورری، ۱۹۷۹). به

تکتونوماگمایی منطقه مورد مطالعه را می‌توان جزء محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای به شمار آورد.



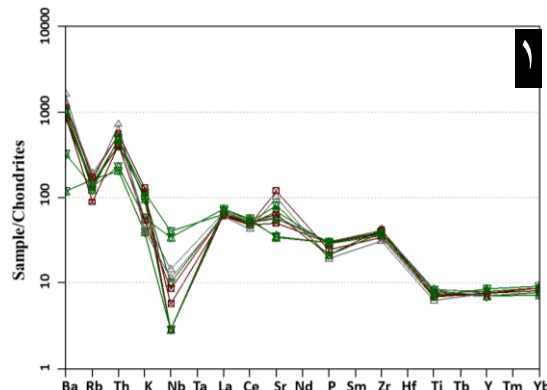
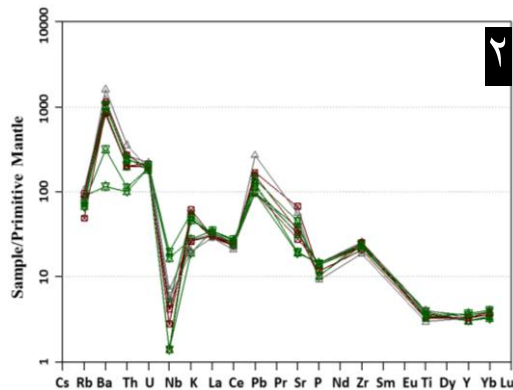
شکل ۸: محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات Zr در برابر Zr/Y (پیرس، ۱۹۸۳).

فرورانش؛ ۲) وجه مشخصه سنگ‌های پوسته قاره‌ای و دخالت پوسته در فرآیندهای ماگمایی (کوستر و هارمس، ۱۹۹۸) نشان دهنده فقر این عناصر در منشاء، پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب‌بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق است. آنومالی منفی Sr در نمونه‌ها ناشی از کاهش فراوانی فلدسپار در حین تفریق بلورین است؛ چرا که Sr به جای Ca و K در شبکه فلدسپار می‌تواند وارد شود. آنومالی منفی Eu اگر همراه با آنومالی منفی Sr باشد، بر اثر تفریق پلازیوکلاز است (وو و همکاران، ۲۰۰۳). آنومالی مثبت Pb به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو و یا آرایش ماگما با پوسته قاره‌ای اشاره دارد (کامبر و همکاران، ۲۰۰۲). ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشانی در مناطق فرورانش معمولاً از گوه‌گوشته‌ای، سیالات و مذاب‌های آبدار مشتق از پوسته اقیانوسی فرورو منشاء می‌گیرند (پیرس و پیت، ۱۹۹۵). ماگماهایی که از گوه گوشته‌ای نشأت گرفته‌اند، معمولاً دارای K_2O بالا و MgO پایین هستند. نسبت بالای Ba/Th اشاره به تأثیر

در شکل ۹ ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی گرماب نسبت به کندریت و گوشته اولیه نشان داده شده است. نمودارهای عنکبوتی جهت بررسی میزان تغییر و تحولات ماگمای مولد نسبت به ماگمای اولیه و همچنین منشاء و روابط ژنتیکی آنها از اهمیت خاصی برخوردار هستند. نمودارهای عنکبوتی به‌نجار شده عناصر خاکی نادر نسبت به کندریت و گوشته اولیه بیانگر غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک و ناسازگار می‌باشد. این از ویژگی‌های کالک‌آلکال کمان‌های آتشفشانی زون‌های فرورانش حاشیه قاره است (پیرس، ۱۹۸۳). تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مثل Y، Ti و Nb و غنی‌شدگی عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) مانند Ba، Cs و K قابل مشاهده می‌باشد. این ویژگی‌ها می‌تواند نشانه آغشتگی پوسته در فرآیند ماگمایی و آلودگی توسط پوسته باشد (هریس، ۱۹۸۶؛ چاپل، ۱۹۹۲). همچنین آنومالی منفی Nb و Sr از ویژگی‌های آشکار سنگ‌های قاره‌ای است. آنومالی منفی Ti و Nb به عوامل مختلفی نسبت داده می‌شود. این عوامل عبارتند از: ۱) ماگماتیسم مرتبط با

سیالات مشتق شده از رسوبات آبدار و پوسته اقیانوسی به گوه گوشته‌ای منتقل شده و تولید ماگماهای با Ba و Sr بالا می‌کند (مراتا و آگوئیر، ۲۰۰۳).

رسوبات در ژنز ماگما دارد (مراتا و آگوئیر، ۲۰۰۳). Ba عنصری ناسازگار و متحرک است و مقدار آن در پوسته قاره‌ای و رسوبات زیاد است (رولینسن، ۱۹۹۸)، هنگامی که پوشش رسوبی روی پوسته اقیانوسی فرورانده می‌شود، عناصر Ba و Sr توسط



شکل ۹: ۱- نمودار عنکبوتی نرمالیزه شده براساس کندریت؛ شکل ۹: ۲- نمودار عنکبوتی نرمالیزه شده براساس گوشته اولیه؛ تهی شدگی از عناصر با شدت میدان بالا هم چون Y, Ti, Zr, Nb و، غنی شدگی از عناصر Sr, Ba و K نشان دهنده شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی و آلودگی ماگما توسط پوسته است (هریس، ۱۹۸۶؛ چاپل، ۱۹۹۲)

درد که نسبت به اطراف برجسته دیده می‌شوند. سیلیس به رنگ سفید شیری و به صورت کریپتوکریستالین وجود دارد. دگرسانی سیلیسی در بیشتر کانسارهای گرمابی یافت می‌شود. (ب) دگرسانی کلریتی: در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه که سنگ‌ها متحمل دگرسانی کلریتی شده‌اند، رنگ سنگ به سبز متمایل می‌باشد. کانی‌های دگرسانی شامل کلریت، کلسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن می‌باشد. کلریت از دگرسانی بلورهای پیروکسن حاصل شده است که در آن شکل اولیه بلورهای پیروکسن نیز باقی مانده است. کربنات و کوارتز بیشتر شکستگی‌ها و حفرات را پر می‌کنند. در این دگرسانی نسبت سیال به سنگ کم است و تمایل به ایزوشیمیایی بودن دارد و در پاسخ به متاسوماتیسم H^+ تشکیل می‌شود (آلریخ و هنریش، ۲۰۰۲).

۴- دگرسانی

سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرماب، دگرسانی گرمابی را تحمل کرده‌اند. شدت دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی متفاوت است و با فاصله گرفتن از زون کانه‌دار از شدت دگرسانی‌ها کاسته می‌شود. مهمترین دگرسانی‌های شناسایی شده در سنگ‌های آتشفشانی این منطقه عبارتند از: ۱- سیلیسی شدن، ۲- کلریتی شدن، ۳- کربناتی شدن، ۴- آرژلیک، ۵- پروپیلیتی و ۶- آپاسیتی شدن. عملکرد گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان در این سنگ‌ها از عوامل مهم تسهیل دگرسانی گرمابی در آنها می‌باشد. در نتیجه این دگرسانی‌ها، انواعی از کانی‌های ثانویه تشکیل شده است. (الف) دگرسانی سیلیسی: در منطقه مورد مطالعه در داخل سنگ‌های آتشفشانی رگه‌های سیلیس وجود

سوخته شده که جزء کانی‌های هیدروکسیل می‌باشد، به علت واکنش‌های اگزوترمیک است که در نزدیک سطح صورت می‌گیرد. آپاسیتی شدن می‌تواند ناشی از افت سریع فشار حین فوران ماگما باشد (رادرفورد و هیل، ۱۹۹۳). افت فشار محدوده این کانی‌ها را کاهش داده و آنها را دچار واکنشی می‌نماید، در نتیجه حاشیه‌های کدر در اطراف بلورهایی مانند هورنبلند تشکیل می‌شود (دوین و سیگاردسن، ۱۹۹۵). همچنین افزایش درجه حرارت ماگما را عامل آپاسیته شدن بلورهای آمفیبول نیز می‌دانند (هیروشی و کنجی، ۲۰۰۵). آپاسیته شدن آمفیبول می‌تواند نشان دهنده بالا بودن فوگاسیته اکسیژن و فشار بخار آب ضمن تشکیل این کانی و از دست رفتن آب حین فوران ماگما باشد (بست، ۱۹۸۲). علاوه بر پدیده‌های ذکر شده، پدیده ژئولیتی شدن در حفرات سنگ نیز اتفاق افتاده است. ژئولیت‌ها دارای بافت و ساخت اسفرولیتی، شعاعی و متراکم‌اند.

۵- مطالعات مینرالوگرافی

تعداد ۲۰ مقطع صیقلی از کانسار گرماب، تهیه و مورد مطالعه مینرالوگرافی قرار گرفت. در تمامی مقاطع، کانه اصلی مس کالکوسیت بوده است. کانی‌سازی عمدتاً در سنگ‌های ولکانیکی (آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت-بازالت) و سنگ‌های پیروکلاستک (آگلومرا و توف) جای گرفته است. بطور کلی، براساس مطالعات میکروسکوپی و مشاهدات صحرایی، کانه‌سازی در گرماب، بیشتر به دوگونه رگه‌رگچه‌ای و افشان دیده می‌شود. در مقیاس صحرایی علاوه بر کانی‌های کربناته مس (آزوریت و مالاکیت) که قابل شناسایی هستند، رگچه‌های سولفیدی سیاه رنگی نیز دیده می‌شود. هنگامی که این رگچه‌ها زیر میکروسکوپ مطالعه می‌شوند، مشخص می‌شود که کانی کالکوسیت بیشینه سهم را از این رگچه‌ها، به خود اختصاص

(پ) دگرسانی کربناتی: حضور نسبتاً فراوان کانی‌های کربناته حاصل دگرسانی پیروکسن‌ها و پلاژیوکلازها نشان دهنده غنی بودن محلول از بیکربنات است. کربناتی‌شدن، در قوس‌های آتشفشانی حاشیه قاره‌ها، می‌تواند ناشی از چرخش آب‌های زیر زمینی و گرم شدن آنها در مجاورت توده‌های نفوذی باشد (شلی، ۱۹۹۳).

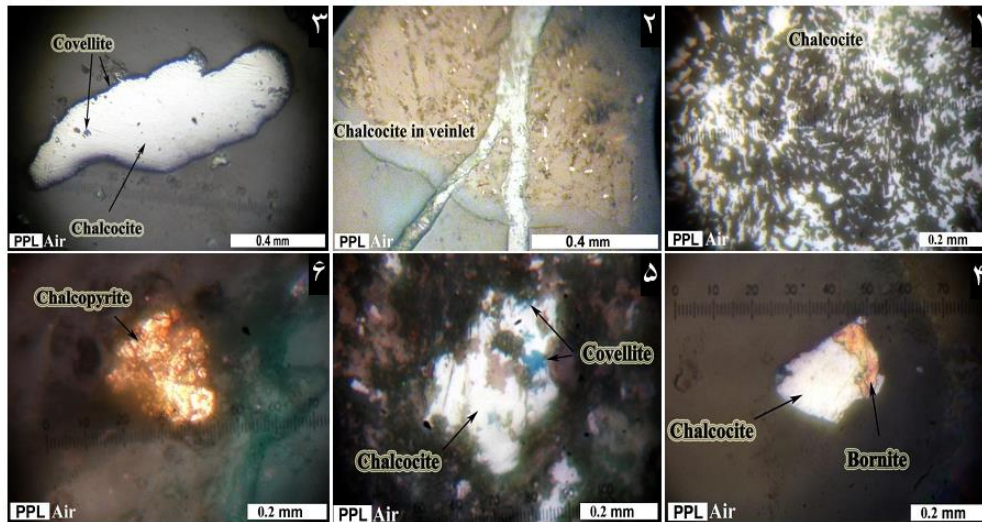
(ت) دگرسانی آرژیلیک: تبدیل کانی پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی در سنگ‌های منطقه بسیار رایج است. آلتراسیون آرژیلیک حدواسط بر فلدسپارهای پلاژیوکلاز موثر است و با تشکیل کانی‌های رسی (کائولینیت) مشخص می‌شود. آلتراسیون آرژیلیک حدواسط عمدتاً همراه با متاسوماتیسم H^+ است (پیرانجو، ۲۰۰۹). این دگرسانی هنگامی توسعه می‌یابد که شرایط محیط، بویژه pH برای تحرک Al چندان مناسب نیست. اگر در طی دگرسانی، افزون بر شسته شدن Na, Ca, Mg و K عنصر Al نیز شسته شود، این دگرسانی تبدیل به دگرسانی سیلیسی می‌گردد (بین و تیتلی، ۱۹۸۱).

(ث) دگرسانی پروبیلیتیک: این دگرسانی با افزایش H_2O و CO_2 و بطور محلی گوگرد و اثر اندک متاسوماتیسم H^+ مشخص می‌شود (پیرانجو، ۲۰۰۹). از تغییرات کانی شناسی می‌توان از تبدیل پلاژیوکلازها به اپیدوت و کانی‌های مافیک به کلریت نام برد. این دگرسانی در سنگ‌های آندزیتی توسعه بیشتری دارد. گاهی حضور پیروکسن به صورت ادخال درون پلاژیوکلازها حاکی از تبلور پیروکسن پیش از پلاژیوکلاز است و حاکی از افزایش فشار بخار آب است (شلی، ۱۹۹۳).

(ج) آپاسیتی شدن: فرآیند آپاسیتی شدن در بلورهای منشوری آمفیبول دیده می‌شود. در برخی از بلورها حاشیه سوخته و کدر شده و در برخی دیگر تمام بلور کدر شده است. وجود آمفیبول‌های

موارد کانی کالکوسیت با دیگر کانی‌های سولفیدی از جمله دیژنیت، بورنیت و کولیت هم‌رشدی نشان می‌دهد. بیشینه همراهی و هم‌رشدی مربوط به کانی‌های کالکوسیت و بورنیت است. بطوری که در موارد معدودی می‌توان این دو کانی را به صورت جدا از یکدیگر و به شکل فازهای مجزا ببینیم.

داده است. علاوه بر کانی کالکوسیت، کولیت، دیژنیت، بورنیت، کالکوپیریت و اکسیدهای مس از جمله کوپریت و تنوریت و کانی‌های کربناته مس مانند آزوریت و مالاکیت از دیگر کانی‌های مس هستند (شکل ۱۰). در جدول ۲ توالی پاراژنزی کانسار مس گرماب نشان داده شده است. در بیشتر



شکل ۱۰: ۱- کانه کالکوسیت به صورت بافت افشان در نمونه برداشت شده از آندزیت حاوی کانی‌سازی مس؛ شکل ۱۰: ۲- رگچه حاوی کالکوسیت و مالاکیت در نمونه برداشت شده از رخنمون آندزیت بازالتی در محدوده گرماب؛ شکل ۱۰: ۳- کالکوسیت به صورت فاز منفرد در نمونه مینرالیزه که از اطراف در حال تبدیل به کولیت می‌باشد؛ شکل ۱۰: ۴- هم‌رشدی کانه‌های کالکوسیت و بورنیت در نمونه تراکی آندزیت؛ شکل ۱۰: ۵- کانه کالکوسیت که از حواشی در حال تبدیل به کولیت است؛ شکل ۱۰: ۶- کالکوپیریت خودشکل و غیردگرسان در مقاطع مطالعه شده.

جدول ۲: نمودار توالی پاراژنزی کانسار مس گرماب.

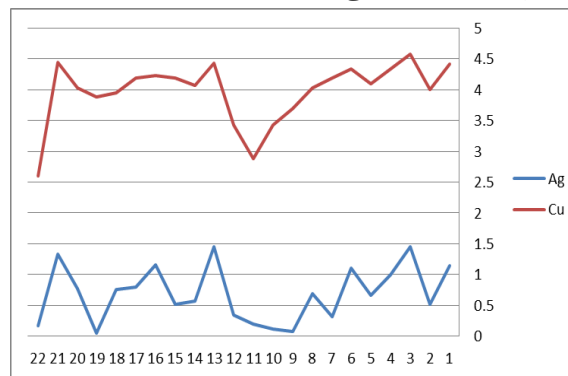
Mineral	Early → Late Mineralization	
	Hypogene	Supergene
Malachite		—————
Azurite		—————
Hematite		—————
Native Copper		—————
Cuprite-Tenorite		—————
Covellite	—————	—————
Chalcocite	—————	—————
Digenite	—————	
Bornite	—————	
Chalcopyrite	—————	
Pyrite	—————	
Magnetite	—————	

عناصر سلنیم و یا تلوریم می‌توانند در شبکه ساختمانی کالکوسیت وارد شوند (رامدور، ۱۹۸۰). بنابراین، همانگونه که در ادامه آمده است، نقره

در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، آهن و منگنز، حداقل در فرم‌های حرارت بالا جانشین شود. به جای گوگرد نیز،

نقره‌ای مشاهده نشد. با توجه به این مطلب که عنصر نقره همبستگی خوبی با عنصر مس نشان می‌دهد (شکل ۱۱، محور افقی تعداد نمونه‌ها و محور قائم عیار عناصر نقره و مس را به صورت لگاریتمی به ppm نشان می‌دهد). همچنین با توجه به آگاهی از این مطلب که عنصر نقره به خوبی در شبکه کانی‌های مس از جمله کالکوسیت و کولیت جایگزین می‌شود، انتظار می‌رود، نقره در شبکه کانی‌های مس و به احتمال زیاد (به دلیل فراوانی بیشتر کالکوسیت) در کانی کالکوسیت قرار گرفته باشد.

به‌عنوان پاراژنز عنصری مس در این کانسار، در شبکه کانی کالکوسیت قرار گرفته است. رامدور (۱۹۸۰) در کتاب "کانه‌ها و درهم‌رشدی آنها" اشاره می‌کند به تجمعی از دانه‌های درشت کالکوسیت با کلیواژهای قابل تشخیص در سطح (۰۰۱) و مالاکیت که در طول مرز دانه‌ها و کلیواژها رشد یافته است؛ وی این‌گونه کالکوسیت را بطور یقین ژرف‌آزاد می‌خواند (رامدور، ۱۹۸۰). میزان عیار عنصر نقره در نتایج تجزیه عنصری ICP بالا بود (ماکزیمم ۸۳/۴ گرم در تن)، بنابراین انتظار می‌رفت در مطالعات میکروسکوپی کانی مستقلاً از نقره شناسایی شود که این چنین نبود و کانی



شکل ۱۱: نمودار تغییرات عیار مس و نقره در ۲۲ نمونه دارای کانی‌سازی

و به ویژه ائوسن میانی- بالایی می‌باشند. تمامی ویژگی‌های ذکر شده در مورد کانسار مس گرماب ما را بر آن می‌دارد که، به منظور مقایسه و تعیین تیپ کانه‌زایی و مدل ژنتیکی ذخیره مس گرماب، به مطالعه و مقایسه کانسارهایی بپردازیم که در سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. با توجه به شواهد ذکر شده در مورد کانسار گرماب، کانی‌سازی در این کانسار را با چند کانسار مشابه در ایران (جدول ۳) و نیز کانی‌سازی‌های مس تیپ‌های مانتو، طبقات قرمز آتشفشانی و میشیگان در جهان (جدول ۴) مقایسه می‌کنیم.

۶- تعیین نوع کانه‌زایی

در کانسار مس گرماب کانی‌سازی در سنگ‌های آتشفشانی که منسوب به پالئوسن- ائوسن زیرین است، صورت گرفته است. واحد سنگی مربوطه شامل آندزیت، تراکی‌آندزیت، آندزیت-بازالت، بازالت و رخنمون‌هایی از آگلومرا، توف، ژاسپر و ژیپس است. ویژگی اصلی گدازه آتشفشانی مذکور، بافت پورفیری (با پورفیرهای پلاژیوکلاز) است. در ایران، سنگ‌های آتشفشانی با خصوصیات ذکر شده در بالا (سنگ میزبان با ترکیب آندزیت و آندزیت-بازالت و بافت پورفیری- مگاپورفیری) به سن ائوسن

جدول ۳: مقایسه کانسار مس گرماب با چند کانسار و اندیس مس مشابه در ایران

کانسار	کانسار مس گرماب	کانسار مس ووزگ، قائن	کانسار مس عباس‌آباد، شاهرود	اندیس مس دارهند، نطنز	اندیس مس قبله- بولاغ، طارم
موقعیت	۵۰ کیلومتری شمال خاوری قائن	۱۵ کیلومتری خاور قائن	۱۳۰ کیلومتری شمال خاوری شاهرود	۴/۵ کیلومتری باختر نطنز	۶۵ کیلومتری جنوب خاور - زنجان
سنگ میزبان	آندزیت تا آندزیت-بازالت پورفیری و توف	آندزیت تا آندزیت-بازالت آمیگدالوئیدال	آندزیت تا آندزیت-بازالت پورفیری	بازالت آمیگدالوئیدال	بازالت آمیگدالوئیدال
سری ماگمایی	ساب آلكالن	آلكالن	آلكالن تا ساب آلكالن	...	...
جایگاه زمین شناختی	آتشفشانی نیمه‌قاره‌ای	دریایی کم عمق تا قاره‌ای	...	...	...
جایگاه تکتونیکی	کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای	ریفت درون-قاره‌ای	کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای	...	...
پاراژنز کانیایی	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت، مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مالاکیت، آزوریت و کالکوپریت	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی، کوپریت، آزوریت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت	مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مالاکیت و اندکی پیریت	مس طبیعی، تنوریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، مگنتیت، هماتیت، پیریت
محصول فرعی	نقره	نقره	نقره	نقره	نقره
بافت ماده معدنی	رگه-رگچه‌ای، افشان و پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، افشان و داربستی	رگه-رگچه‌ای، افشان و داربستی	رگه‌ای	افشان و پرکننده فضای خالی
محصولات دگرسانی	کربنات، کوارتز، کلریت، زئولیت، اپیدوت	کربنات، کوارتز، کلریت، زئولیت، اپیدوت	کربنات، کوارتز، کلریت، زئولیت، اپیدوت	...	اپیدوت، کلریت، کوارتز، کلسیت و ...
سن کانه‌زایی	پالتوسن بالایی-اوسن	پالتوسن-اوسن	تراز پایانی آتشفشانی اوسن	اوسن میانی-بالایی	اوسن
منابع	عادل‌پور، ۱۳۹۴	علیزاده، ۱۳۸۹	سامانی، ۱۳۸۱	نظافتی، ۱۳۷۹	بهبادی، ۱۳۷۳

جدول ۴: مقایسه کانسار مس گرماب با تیپ‌های کانی‌سازی مس مشابه در جهان.

مس میشیگان	مس طبقات قرمز آتشفشانی	مس مانتو	گرماب	کانسار
				ویژگی‌ها
جزیره کویناو، ایالات متحده (کانسار میشیگان)	کانادا (کانسار مانت الکساندرا)	شیلی (کانسار بوئناسیرانزا)	ایران (کانسار گرماب)	موقعیت
بازالت آمیگدالوئیدال با میان‌لایه‌های کنگلومرایی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	آندزیت تا آندزیت-بازالت پورفیری و توف	سنگ‌میزبان
سری تولیتی (ساب آکالن)	...	...	ساب آکالن	سری ماگمایی
...	آتشفشانی قاره‌ای تا زیردریایی کم‌عمق	آتشفشانی نیمه‌قاره‌ای	آتشفشانی نیمه‌قاره‌ای	جایگاه زمین-ساختی
...	ریفتم درون قاره‌ای و نزدیک به حواشی صفحات	...	کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای	جایگاه تکتونیکی
مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، کالکوسیت و دیژنیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت و کولیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپریت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، آزوریت، مالاکیت، کوپریت، تنوریت، مس طبیعی و کالکوپریت	پاراژنز کانیایی
نقره	نقره	نقره	نقره	محصول فرعی
افشان و پرکننده فضای خالی	پراکنده، پرکننده فضاهای باز، رگه-رگچه‌ای	رگه‌ای و پرکننده فضاهای باز	رگه-رگچه‌ای، افشان و پرکننده فضای خالی	بافت ماده معدنی
...	کلسیت، زئولیت، اپیدوت، کلریت، آلبیت	کلریت، آلبیت، کوارتز، اپیدوت	کربنات، کوارتز، کلریت، اپیدوت، زئولیت	محصولات دگرسانی
پالئوزوئیک	پروتروزوئیک تا ترشیری	ژوراسیک	ترشیری	سن کانه‌زایی
- Cornwall H.R. 1956	- Cabral A.R., Beaudin G., 2007	Sillitoe R.H., 1997	عادل‌پور، ۱۳۹۴	منابع

نتیجه گیری

و مواد آذرآواری صورت گرفته است. کانه سازی مس در این محدوده به صورت رگه، رگچه و پرکننده حفرات خالی می باشد. کانی های کالکوسیت ± دیژنیت ± کولیت ± بورنیت ± کالکوپیریت ± تنوریت ± کوپیریت ± آزوریت ± مالاکیت ± پیریت ± هماتیت ± مگنتیت پاراژنز کانیایی را تشکیل می دهند. کانی سولفیدی غالب در این کانسار، کالکوسیت است. عیار عنصر نقره بالا بود، احتمالاً عنصر نقره در شبکه کانی کالکوسیت، جانشین شده است. مقایسه ویژگی های کانسار مس گرماب از قبیل سنگ میزبان، جایگاه زمین ساختی، پاراژنز کانیایی، بافت ماده معدنی، محصولات دگرسانی و ... با کانسارهای بزرگ دنیا و ایران نشان می دهد که این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای مس عباس آباد و ورزگ (ایران) و بوئناسپرانزا (شیلی) دارد.

به جهت فراهم آوردن امکانات مورد نیاز در اجرای این پژوهش قدردانی می گردد.

سنگ های آتشفشانی کانسار مس گرماب به سن پالئوسن بالایی- ائوسن شامل تناوبی از گدازه ها و مواد آذرآواری هستند که جزء سری کالک آلکالین محسوب می شوند و دارای ماهیت متآلومین و ماهیت کلسیمی- قلیایی پتاسیم متوسط- بالا هستند. نسبت Zr/Y نشان می دهد که سنگ های مذکور مربوط به قوس های آتشفشانی قاره ای می باشند. تهی شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) و غنی شدگی عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) نشانه آغستگی پوسته در فرآیندهای ماگمایی و آلودگی توسط پوسته می باشد. سنگ های آتشفشانی منطقه گرماب، دگرسانی گرمابی را تحمل کرده اند. شدت دگرسانی در سنگ های آتشفشانی متفاوت است و با فاصله گرفتن از زون کانه دار از شدت دگرسانی ها کاسته می شود. کانی سازی مس در کانسار مس گرماب عمدتاً در گدازه ها

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از مدیریت محترم شرکت مهندسی مشاور زرناب اکتشاف و شرکت کانی کاوان سمنگان

منابع

-علیزاده، و.، ۱۳۸۹. مطالعات کانی شناسی و بررسی سیالات درگیر کانسار ورزگ نمونه ای از کانه زایی مس تیپ مانتو، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۸ ص.

-عادل پور، م.، ۱۳۹۱. زمین شناسی اقتصادی کانسار مس گرماب- قائن (خراسان جنوبی)، پایان نامه ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۳۷ ص.

-نظافتی، ن.، ۱۳۷۹. زمین شناسی اقتصادی پتانسیل های فلزی منطقه نطنز، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۷۰ ص.

-آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

-اکرمی، م. آ.، چایچی، ز. و حدادان، م.، ۱۳۸۴. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آبیز، سازمان زمین شناسی کشور، شماره ۷۹۵۷.

-بهزادی، م.، ۱۳۷۳. بررسی زمین شناسی اقتصادی اندیس مس قبله بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی - استان زنجان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

-سامانی، ب.، ۱۳۸۱. متالورژی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، ششمین همایش زمین شناسی ایران.

- Bas, L., Maitre, L., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali– silica diagram: *Journal of Petrology*, v. 27, p. 375– 750.
- Beane, R.E. and Titley, S.R., 1981. Geologic characteristics environments and genesis of porphyrs copper deposits, part 2, Hydrothermal alteration and mineralization, *Economic geology*, v. 75, p. 235-262.
- Best, M.G., 1982. *Igneous and metamorphic petrology*, Freeman Company, 630 p.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G., 2007. Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexander, Quebec Appalachina, Canada, *Mineralium Deposita*, v. 42, p. 901-912.
- Chappell, B. W., 1992. "I and S-type granites in the Lachlan Fold Belt", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, v. 83, p.1-26.
- Cornwall, H. R., 1956. A summary of ideas on the origin of native copper deposits: *Economic Geology*, v. 51, p. 615-631.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.G., 1979. *The interpretation of igneous rocks*, George, Allen and Unwin, London. 450p.
- Devine, J.D. and Sigurdsson, H., 1995. Petrology and eruption styles of Kick'em-Jenny submarine volcano, Lesser Antilles island arc: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 69, p. 35-58.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.U., 1984. *Pyroclastic rocks*, Springer-Verlag, Berlin, 472 p.
- Glenn, A.G., 2004. The influence of melt structure on trace element partitioning near the peridotite solidus, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 147, p. 511–527.
- Gourgaud, A. and Vincent, P.M., 2003. Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti, Chad: *Journal of volcan and Geothermal, Research*, v. 129, p. 261-290.
- Gust, D.A. and Perfit, M.R., 1987. Phase relations of a high-Mg basalt from the Aleutian island arc: implications for primary island arc basalts and high-Al basalts, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 97, p. 7-18.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986. "Geochemical characteristics of collision-zone magmatism, In: Coward, M.P., Ries, A.C.(Eds), *Collision Tectonise*", Geological Society London, Special Publication, v. 19, p. 67-81.
- Hiroshi, K. and Kenji, S., 2005. Magma mixing recorded in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Archean TTG formation: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 140, p. 241-271.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the classification of the common volcanic rocks, *Can: Journal of Earth Sciences*, v. 8, p. 235-458.
- Kamber, B.S., Ewart, A., Collerson, K.D., Bruce, M.C. and McDonald, G.D., 2002. Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archean crustal growth models, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 144, p. 38–56.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh shafarodi, A., Farmer, L. and Stern, S., 2012. petrogenesis of granitoids, age assessment method zircon U-Pb, Sr- Nd isotope geochemistry and mineralization Tertiary important event in the Lut Block, East Iran, *Journal of Economic Geology*, v. 4, p. 1-27.

- Kuster, D. and Harms, U., 1998, "Post-collisional potassic granitoids from the southern and northwestern parts of the Late Neoproterozoic East African Orogen: a review", *Lithos*, v. 45, p. 177-195.
- Morata, D. and Aguirre, L., 2003. Extensional lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range (29° 20' -30° S), Chile: geochemistry and petrogenesis: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, p. 459-476.
- Muller, D. and Groves, D. I., 1997. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization, *Lecture Notes in Earth Sciences*, 235 p.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth Planet Science Letter*, v. 19, p. 290-300.
- Pearce, J.A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, In: Hawkesworth, C.J. and Nurry, M.L. (Eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths*, Shiva, Nantwich, v. 105, p. 230-249.
- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 69, p. 33-47.
- Pearce, J.A. and Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 23, p. 251-285.
- Peccerillo, R. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 58, p. 63-81.
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral systems, *Geological Survey Western Australia*, 1250 p.
- Ramdohr, P., 1980. The ore mineral and their intergrowths, 1207 p.
- Rollinson, H., 1998. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation, Longman, Singapore, 446p.
- Rutherford, M.J. and Hill, P.M., 1993. Magma ascent rates from amphibole breakdown: An experimental study applied to the 1980-1986 Mount St. Helens eruptions: *Journal of Geophysical Research*, v. 98, p. 667-685.
- Samani, B., 1998. Distribution, setting and metallogenesis of copper deposits in Iran, in Porter, T.M., ed., *Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: A Global Perspective*, Perth, 1998, Conference Proceedings: Glenside, South Australia, Australian Mineral Foundation, v.32, p. 135-158.
- Shand, S.J., 1943. Eruptive rocks, Their genesis, composition classification and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite, New York, 488 p.
- Shelley, D., 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope, Chapman and Hall, London, 445 p.
- Sillitoe, R. H., 1977. Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, v.7, pp. 99-116.
- Stewart, M.L. and Pearce, T.H., 2004. Sieve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results, *American Mineralogy*, v. 89, p. 348-351.
- Ulrich, T. and Heinrich, C. A., 2002. Geology and alteration geochemistry of the Porphyry Cu-Au Deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: *Economic Geology*, v. 97, p. 1865-1888.
- White, D. E., 1968, Environments of generation of some base metal ore deposits, *Economic Geology*, v. 63, p. 301-335.
- Wilson, M., 1989. Igneous petrogenesis, Unwin Hyman, London, 340p.

-Wu, F.Y., Jahn, B.m., Wilde, S.A., Lo, C-H., Yui, T-F., Lin, Q., Ge, W-c. and Sun, D-y., 2003. Highly fractionated I-type granites in NE Chine, I: geochronology and petrogenesis, *Lithos*, v. 66, p. 241-273.

-Yoder, H.S. and Tilley, C. E., 1962. Origin of basalt magmas, an experimental study of natural and

synthetic rock systems, *Journal of Petrology*, v. 3, 342-532.

-Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y. and Lee, H.Y., 2012. Zircon U–Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*. v. 154, p. 392–405.