

سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی در معدن پلی‌متال چومالو (شمال‌باختر زنجان)

محیا نظریان^{۱*}، محمد لطفی^۲، آرش گورابجیری پور^۳ و مجید قاسمی سیانی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران، ایران
^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران، ایران
^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد میانه، میانه، ایران
^۴ استادیار، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

کلیدواژه‌ها:

ژئوشیمی

پلی‌متال

چومالو

ایالت فلززایی طارم- هشتجین

قوس ماگمایی البرز

چکیده

معدن پلی‌متال چومالو در بخش باختری کمان ماگمایی البرز- آذربایجان و در بخش مرکزی ایالت فلززایی طارم- هشتجین قرار گرفته است. واحدهای آتشفشانی انوسن در معدن چومالو متشکل از الیون‌بازالت، آندزیت‌بازالت، آندزیت - تراکی آندزیت و داسیت تا ریولیت بوده که توده‌های نفوذی انوسن با ترکیب کوارتز مونزونیت، مونزوسینیت و کوارتز مونزودیوریت در آنها تزریق شده است. سنگ‌های الیون‌بازالتی از فلو کریست‌های الیون و پلاژیو کلاز، واحد آندزیت- تراکی آندزیتی از کانی‌های پلاژیو کلاز و کلینوپیروکسن و واحد داسیت - ریولیتی عمدتاً از کانی‌های پلاژیو کلاز، فلدسپار پتاسیک و کوارتز تشکیل شده و بافت غالب این واحدها پورفیریتیک است. واحدهای آتشفشانی چومالو در سری کالک‌آلکانل پتاسیم بالا تا شوشونیتی قرار گرفته و متعلق به حاشیه فعال قاره‌ای در ارتباط با زون فروارانش هستند. در نمودار عناصر بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، غنی‌شدگی عناصر LILE و تهی‌شدگی عناصر HFSE مشاهده شد که منطبق با ماگماتیسم در زون فروارانش است. الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت، غنی‌شدگی عناصر LREE نسبت به HREE را نشان می‌دهد. مطالعات ژئوشیمیایی یک ماگما اولیه را برای منشأ واحدهای آتشفشانی پیشنهاد کرد که از ذوب بخشی گوشته سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم شده در ارتباط با کمان فروارانش تشکیل شده و تحت تأثیر تفریق بلوری و آلودگی با مواد پوسته‌ای طی تحولات ماگمایی قرار گرفته است.

۱- نوشتار

ماگماتیسم سنوزوئیک در ایران عمدتاً در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، کمان ماگمایی البرز، خاور ایران و زون مکران گسترش دارد (Richards, 2015 and references there in). ایالت فلززایی طارم- هشتجین در غرب کمان ماگمایی البرز، یکی از مستعدترین پهنه‌های کشور از دیدگاه اکتشاف و پی‌جویی کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال- پورفیری است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ آفاجانی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۳۹۵؛ فیضی و آراین، ۱۳۹۰؛ Mehrabi et al., 2016). بیش از ۷۰ درصد ورقه یکصد هزارم هشتجین (فریدی و انوری، ۱۳۷۹) پوشیده از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی بوده که در نتیجه تزریق سنگ‌های نفوذی انوسن با ترکیب کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت، کانسارهای اپی‌ترمال متعددی در سنگ میزبان آتشفشانی شکل گرفته است. دامنه ترکیبی نهشته‌های آتشفشانی از بازالت، تراکی بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت تا تراکی آندزیت، داسیت و ریوداسیت در تغییر است؛ با این وجود برتری حجمی با سنگ‌های حدواسط آندزیتی می‌باشد.

تاکنون مطالعات بسیاری بر روی کانه‌زایی‌های ذخایر اپی‌ترمال و پورفیری نظیر کانسار گلوچه (Ghasemi Siani et al., 2015)، کانسار علی‌آباد - خان‌چای

(Kouhestani et al., 2018)، چودرچای (Yasami et al., 2017)، خلیفه‌لو (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، رشیدآباد - آق‌کند (Kouhestani et al., 2017) و باریک‌آب (بازرگانی‌گیلانی و پرچکانی، ۱۳۸۹) در بخش‌های مختلف ایالت فلززایی طارم - هشتجین گزارش شده است. معدن اپی‌ترمال پلی‌متال چومالو (نظریان و همکاران، ۱۳۹۸) در بخش باختری قوس ماگمایی البرز (البرز - آذربایجان) و در بخش مرکزی ایالت فلززایی طارم - هشتجین قرار گرفته است. در این پژوهش سعی بر آن است با استفاده از مشاهدات صحرایی، مطالعات کانی‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی، ویژگی‌های سنگ‌نگاری و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی در محدوده معدنی چومالو مورد بررسی قرار گیرد.

۲- زمین‌شناسی

بر مبنای تقسیم‌بندی پهنه‌های تکتونیکی ایران (افتخارزاد، ۱۳۵۹؛ Alavi, 1991) معدن پلی‌متال چومالو در بخش مرکزی ایالت کانه‌زایی طارم - هشتجین و در ۷۰ کیلومتری شمال‌باختر زنجان قرار گرفته است. کمربند البرز توسط گسل شمالی- جنوبی رشت- تاکستان، به دو بخش مجزای باختری و خاوری تقسیم می‌شود (Azizi and Moinevaziri, 2009). ماهیت گدازه‌ها در بخش خاوری بیشتر مافیک، آلکالین تا شوشونیتی و در بخش مرکزی و باختری بیشتر شامل آندزیت و داسیت و توده‌های نفوذی الیگومپوسن با ماهیت شوشونیتی تا کالک‌آلکانل غنی از پتاسیم هستند (Castro et al., 2013; Asiabanha and Foden, 2012). (شکل ۱). در بخش خاوری کمربند ماگمایی البرز (زون تروود - چاه شیرین) ولکانیسم انوسن در ارتباط با کانسارهای اپی‌ترمال - پورفیری است

* نویسنده مسئول: محیا نظریان؛ E-mail: Nazarian.mahya@yahoo.com

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

doi: GSJ.2021.233801.1799

doi: 20.1001.1.10237429.1400.31.3.6.3

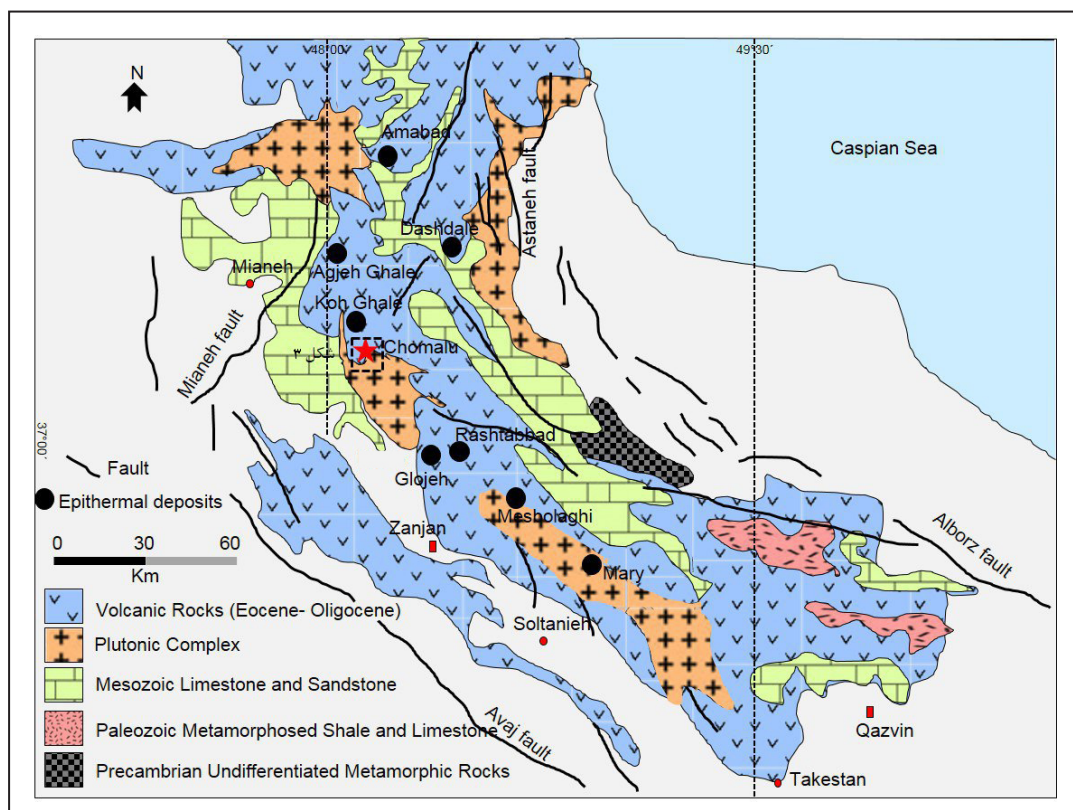
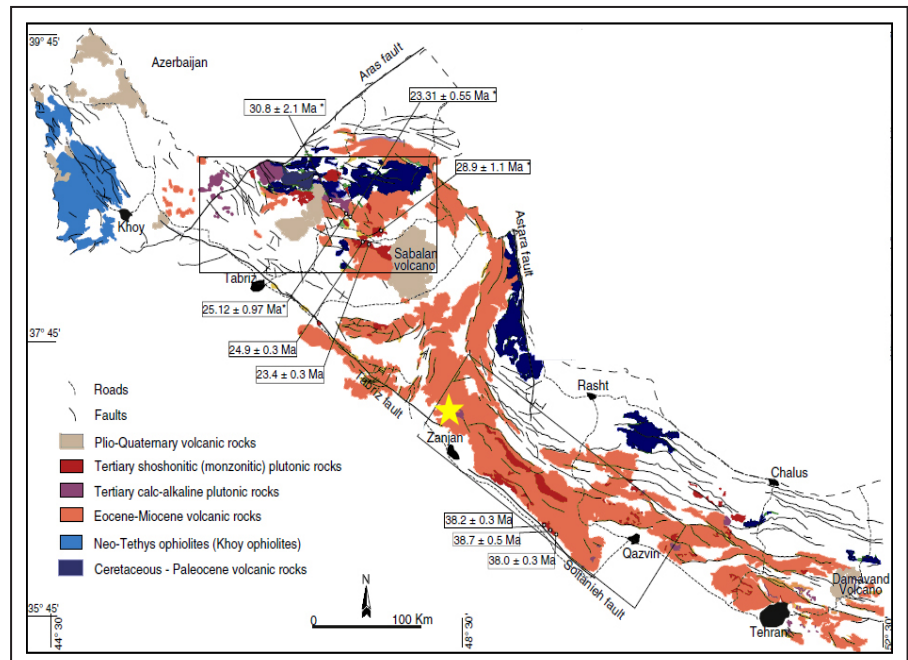


This is an open access article Under the by-nc/4.0/ License
 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

طارم- هشتجین متشکل از توف، آندزیت، بازالت، آندزیت-بازالت، تراکی آندزیت، ریولیت و داسیتی است (قربانی، ۱۳۸۱). در این ایالت، نفوذ توده‌های آذرین درونی به سن ائوسن- الیگوسن با ماهیت شوشونیتی و کالک‌آلکان به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن سبب رخداد کانه‌زایی‌های فلزی مختلف و دگرسانی‌های گسترده شده است (Kouhestani, 2018; Ghasemi Siani et al., 2015; Nabatian, 2014) (شکل ۱ و ۲). انواع کانه‌زایی‌های فلزی در این ایالت اغلب به صورت رگه-رگچه‌ای درون توف‌ها و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شکل گرفته است.

(مهرابی و قاسمی سیانی، ۱۳۹۵؛ Shamanian et al., 2004; Mehrabi et al., 2012) ، در حالی که بخش باختری آن از لحاظ کانی‌سازی پورفیری - اپی‌ترمال در دو پهنه اهر - ارسباران و ایالت فلزایی طارم - هشتجین بسیار غنی تر از بخش خاوری آن است (Kouhestani et al., 2017; Yasami et al., 2017; Kouhestani, 2018). شاهد فعالیت‌های آتشفشانی مانند دیگر نقاط ایران در نتیجه جنبش‌های کششی، ترکیب سنگ‌شناسی غالب در ایالت فلزایی بوده است (Verdel et al., 2011).

شکل ۱- نمایی کلی از نقشه زمین‌شناسی و ساختاری کمربند البرز- آذربایجان (شمال باختر ایران) و نمایش واحدهای زمین‌شناسی، موقعیت کمربند اهر- ارسباران و طارم- هشتجین و سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb بخش باختری البرز (Aghazadeh et al., 2010, 2011)، موقعیت محدوده مورد مطالعه با ستاره زرد مشخص شده است.



شکل ۲- نمایی کلی از کمربند فلزایی طارم- هشتجین و نمایش واحدهای زمین‌شناسی و کانسارهای اپی‌ترمال در این کمربند، موقعیت کانسار چومالو با علامت ستاره قرمز داخل کادر مشخص گردیده است (با تغییرات از قربانی، ۱۳۸۶).

۳- روش انجام پژوهش

محدوده مورد مطالعه تعداد ۶ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی با کمترین دگرسانی به روش XRF (در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و ICP-MS (در شرکت زرآزما) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های سنگی آتشفشانی در جدول ۱ ارائه شده است.

در این پژوهش، پس از بازدید صحرایی، از واحدهای سنگی و آتشفشانی محدوده نمونه برداری شده و به منظور مطالعات میکروسکوپی، سنگ‌نگاری، ساخت و بافت، تعداد ۹۰ نمونه مقطع نازک و نازک صیقلی تهیه و در پژوهشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مطالعه گردید. سپس جهت مطالعات ژئوشیمیایی در

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های سنگی آتشفشانی به روش XRF برای عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و ICP-MS برای عناصر کمیاب و خاکی کمیاب بر حسب ppm در معدن پلی‌متال چومالو.

No.	Ch.8	Ch.9	Ch.18	BH-12-6	Ch.43	BH.5-5
Rocks	Dacite	Dacite	Andesite	Andesite	Olivine basalt	Olivine basalt
SiO ₂	64.80	62.30	54.60	54.70	47.10	47.90
TiO ₂	0.80	0.80	1.30	1.10	1.00	1.80
Al ₂ O ₃	15.20	15.00	15.40	15.40	15.00	15.80
TFe ₂ O ₃	5.20	6.10	10.70	12.40	13.40	13.30
MnO	1.10	0.40	0.80	0.50	2.50	0.50
MgO	0.70	2.60	3.60	3.80	4.40	5.20
CaO	2.40	3.90	3.20	0.90	6.70	2.50
Na ₂ O	3.00	3.90	2.50	2.40	1.20	4.20
K ₂ O	5.20	2.60	1.90	4.20	2.00	2.00
P ₂ O ₅	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	0.30
LOI	1.90	2.20	4.90	4.20	5.80	6.30
Total	100.60	100.10	99.20	99.80	99.40	99.80
As	26.20	14.20	16.10	21.10	18.00	26.20
Sc	19.20	4.50	11.00	6.90	8.00	10.70
Sb	9.20	1.31	1.37	21.40	1.30	2.30
V	166.00	38.00	123.00	56.00	60.00	41.20
Cr	28.00	14.00	69.00	24.00	19.00	138.40
Cs	6.40	8.60	6.50	5.90	5.20	3.90
Co	19.00	4.00	14.00	7.00	7.00	9.80
Ni	17.00	6.00	41.00	9.00	10.00	6.50
Cu	33.00	44.00	40.00	73.00	32.00	2.40
Ga	19.40	19.50	16.20	20.30	18.40	18.90
Pb	73.00	154.00	340.00	3062.00	102.00	35.60
Zn	248.00	705.00	371.00	1442.00	421.00	87.70
Rb	168.60	136.20	155.90	175.30	124.70	120.10
Sr	412.00	230.00	272.00	224.00	179.00	233.90
Y	19.00	27.00	21.00	25.00	25.00	50.80
Zr	40.00	128.00	89.00	104.00	103.00	133.40
Nb	27.70	22.40	19.70	19.90	18.90	21.30
Ba	770.00	656.00	526.00	829.00	691.00	836.10
Tl	0.90	1.50	0.80	2.60	1.50	0.90
Ta	2.30	1.90	3.00	2.80	2.00	1.70
Th	19.40	32.20	20.60	28.20	31.90	19.00
U	3.94	3.62	4.73	3.87	3.00	3.55
Hf	4.70	3.90	3.50	4.00	4.50	3.90
La	37.00	44.00	38.20	35.00	43.00	39.10
Ce	43.00	85.00	69.00	69.00	89.00	67.60
Pr	7.70	7.50	9.90	7.40	7.70	8.20
Nd	24.40	26.40	31.30	19.20	30.50	30.30

ادامه جدول ۱-

No.	Ch.8	Ch.9	Ch.18	BH-12-6	Ch.43	BH.5-5
Rocks	Dacite	Dacite	Andesite	Andesite	Olivine basalt	Olivine basalt
SiO ₂	64.80	62.30	54.60	54.70	47.10	47.90
Sm	5.70	5.50	4.70	4.20	4.80	6.10
Eu	1.60	1.20	1.10	1.40	1.40	1.40
Gd	5.70	4.80	3.40	3.90	5.40	5.30
Tb	0.80	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60
Dy	4.20	3.90	3.90	3.00	2.20	4.00
Ho	0.80	0.80	0.80	0.70	0.80	0.90
Er	2.40	3.00	1.80	1.90	2.80	3.70
Tm	0.20	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20
Yb	2.30	2.70	2.50	2.50	2.70	3.50
Lu	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20
ΣREE	174.20	217.60	199.80	181.20	224.30	232.60
Eu/Eu*	0.86	0.71	0.84	1.06	0.84	0.75

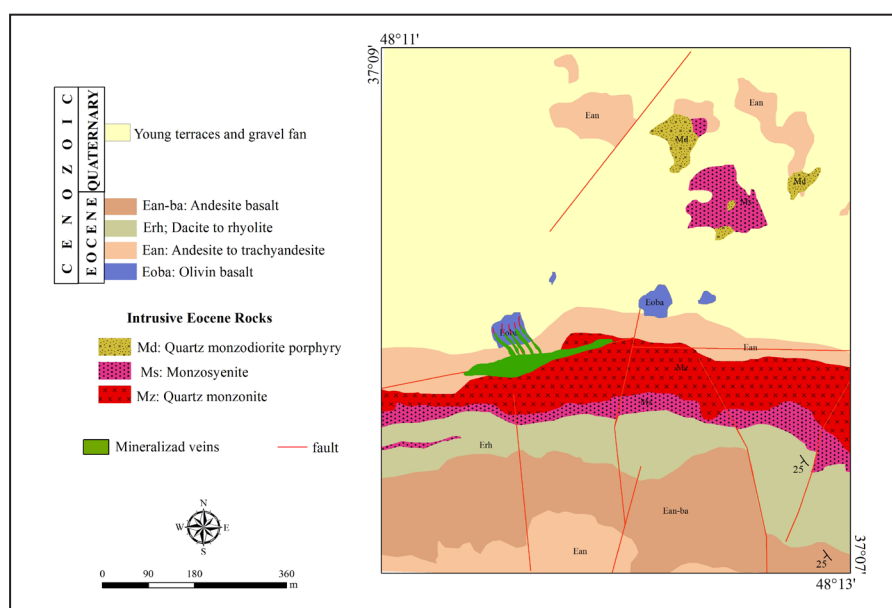
۱- واحد الیون بازالتی

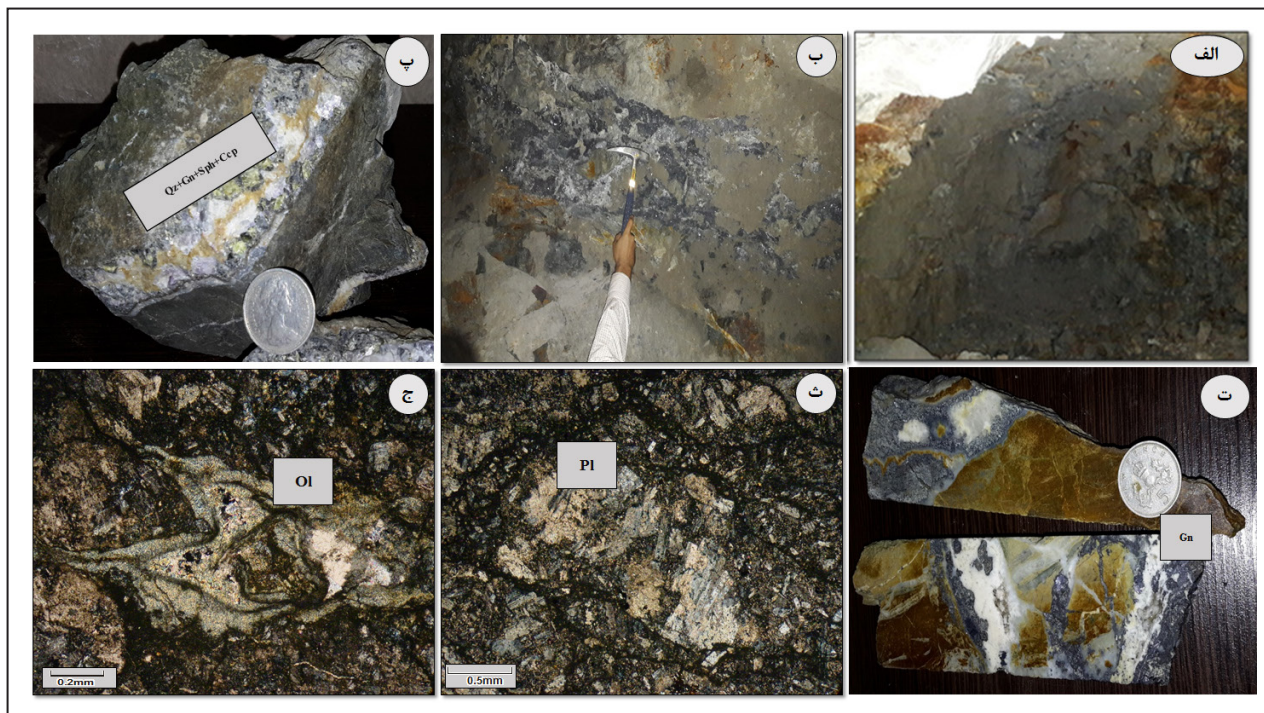
واحد الیون بازالت میزبان کانی‌سازی در محدوده چومالو بوده و در سطح تازه آن به رنگ خاکستری تیره است (شکل ۴- الف). کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه به صورت پراکنده، رگه و رگچه‌ای (شکل ۴- ب و پ) و پراکنده فضای خالی (شکل ۴- ت) در محدوده در واحد الیون بازالتی توسعه یافته است. نهشته‌های الیون بازالتی دارای بافت پورفیریستیک بوده که در آن درشت بلورهای الیون و پلاژیوکلاز با شکل بلوری شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار همراه با دگرسانی‌های پروپیلیتی، کربناتی‌شدن و سربستی مشاهده شده است (شکل ۴- ث). در نمونه گاهی پسدومورف‌های الیون حضور دارند که با سرپانتین، کلریت، کلسیت و گاه کانی‌های اپک جایگزین گردیده است (شکل ۴- ج).

۲- سنگ‌شناسی واحدهای آتشفشانی در محدوده معدن پلی‌متال چومالو

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ (براتی و آقازاده، ۱۳۹۵) و رخنمون واحدهای سنگی مربوطه، این منطقه از دیدگاه ساختار و زمین‌شناسی نوعی آنتی‌کلینال برگشته است که از واحدهای سنگی پیروکلاستی و گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب الیون‌بازالت، آندزیت‌بازالت، آندزیت تا تراکی آندزیت، داسیت تا ریولیت مربوط به زمان ائوسن تشکیل شده و توسط واحدهای نفوذی مورد هجوم قرار گرفته و قطع شده‌اند. در این راستا برخاستگی توده‌های نفوذی صورت گرفته و موجب گسیختگی و خردشدن واحدهای سنگی آتشفشانی و آذرآواری و همچنین پدیداری کانال‌های عبور سیالات کانه‌دار و در نهایت دگرسانی‌ها و کانه‌زایی‌های سرب و روی همراه با مس، طلا و نقره در محدوده معدن چومالو شده است (شکل ۳).

شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده چومالو با مقیاس ۱:۵۰۰۰ (براتی و آقازاده، ۱۳۹۵) با تغییرات.





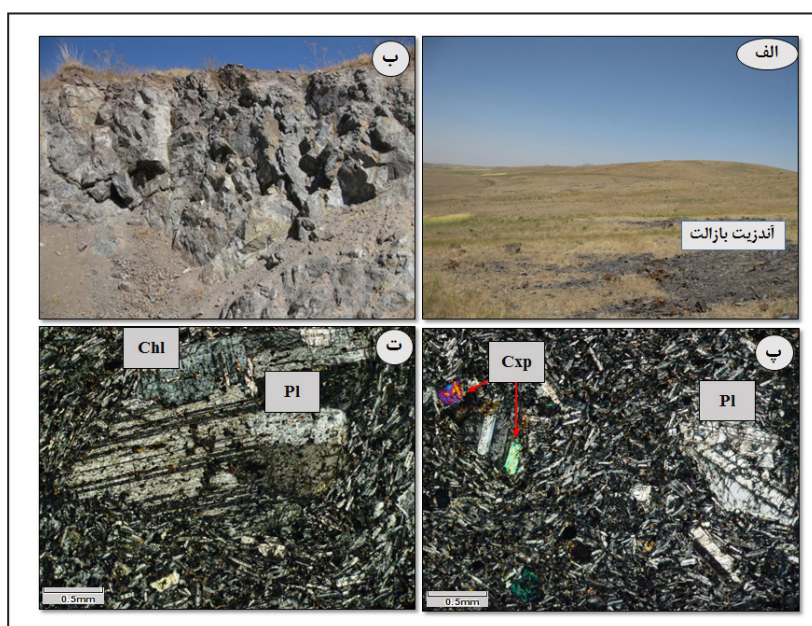
شکل ۴- الف) نمایی از واحد الیون بازالتی در محدوده مورد مطالعه (دید به سمت جنوب)؛ ب و پ) کانه‌زایی رگه و رگچه‌ای در سنگ میزبان الیون بازالتی؛ ت) بافت پرکننده فضای خالی؛ ث) تصویر میکروسکوپی از بافت پورفیریتیک و دگرسانی پروپیلیتی و کرناتی بر روی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و زمینه در نور XPL؛ ج) تصویر میکروسکوپی از فنوکریست اولیون واپاشی شده در نمونه در نور XPL؛ علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans (2010): Qz: کوارتز، Gn: گالن، Sph: اسفالریت، Ccp: کالکوپریت، Pl: پلاژیوکلاز، Ol: الیون.

– واحد آندزیت بازالتی

آندزیتی بازالتی دارای بافت پورفیریتیک و تراکیتی و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کلینوپروکسن هستند (شکل ۵- پ). بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، عمدتاً از نوع لابرادوریت- آندزین بوده که اکثراً دچار دگرسانی سریستی و کلریتی شده‌اند (شکل ۵- ت). در زمینه بلورهای بی‌شکل کلینوپروکسن با فراوانی ۱۰ درصد دیده می‌شود که عموماً کلسیتی و کلریتی شده‌اند. زمینه از شیشه و کانی‌های کدر تشکیل شده است.

رخنمون آندزیت بازالتی در بخش جنوبی معدن چومالو، بر روی واحد داسیتی و در زیر رخنمون‌های تراکی آندزیتی قرار دارند و در مطالعات صحرایی به رنگ خاکستری تیره و بافت ریزبلور تا شیشه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۵- الف). در سنگ‌های آندزیت بازالتی، در حاشیه رگه‌های کانه‌دار، دگرسانی سیلیسی به صورت سیلیسی شدن و رگه- رگچه‌های سیلیسی رخ داده و در برخی قسمت‌ها در اثر فرایند سیلیسی شدن ماهیت اولیه خود را از دست داده‌اند (شکل ۵- ب). رخنمون‌های

شکل ۵- الف) نمایی از واحد آندزیت بازالتی در محدوده (دید به سمت جنوب)؛ ب) تأثیر و گسترش دگرسانی سیلیسی بر واحد آندزیت بازالتی؛ پ) تصویر میکروسکوپی از بافت پورفیریتیک و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کلینوپروکسن در زمینه متشکل از شیشه و میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین در نور XPL؛ ت) تصویر میکروسکوپی از بلور پلاژیوکلاز و تأثیر دگرسانی کلریتی بر آن در نور XPL؛ علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans (2010): Pl: پلاژیوکلاز، Cxp: کلینوپروکسن، Chl: کلریت.



– واحد آندزیتی تا تراکی آندزیتی

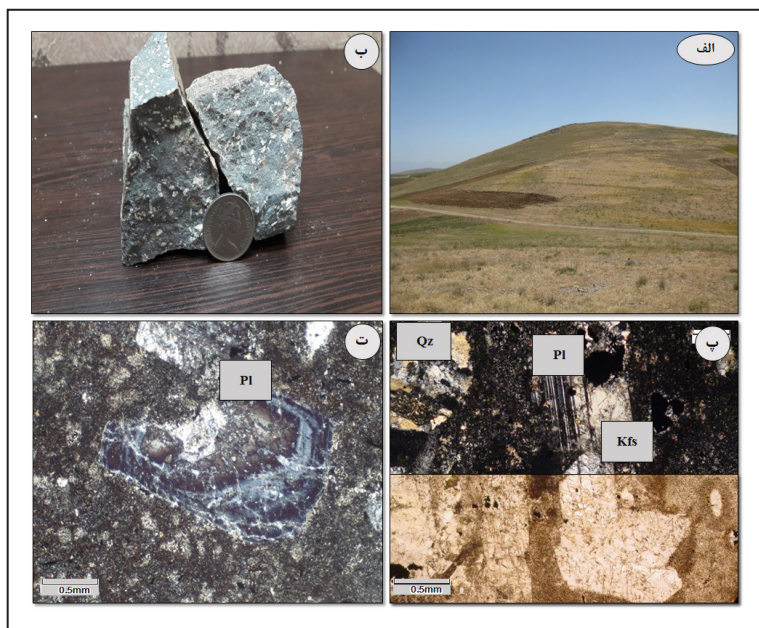
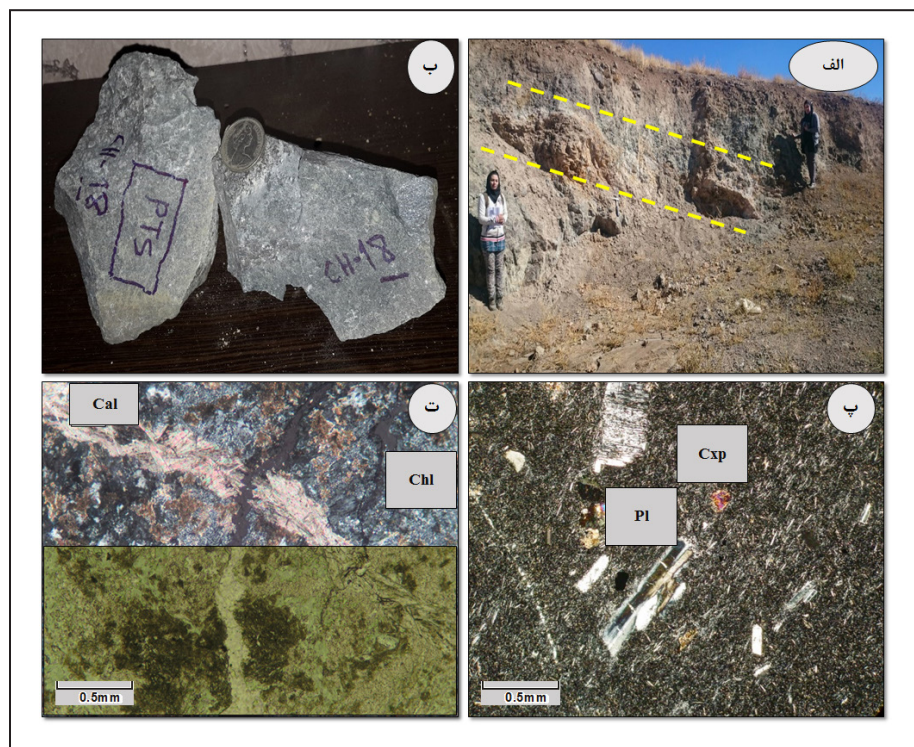
رخمون‌های آندزیتی دارای دامنه ترکیبی از آندزیت تا تراکی آندزیت می‌باشند. واحد آندزیت- تراکی آندزیتی در بخش شمال و شمال خاوری محدوده چومالو رخمون دارد (شکل ۳). این سنگ‌ها توسط توده‌های نفوذی کوارتزموزنویتی قطع شده و میزبان رگه سیلیسی کانه‌دار بوده (شکل ۶- الف) و در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شوند (شکل ۶- ب). رخمون‌های آندزیتی دارای بافت پورفیریتیک و تراکیتی و فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در یک زمینه شیشه‌ای همراه با کانی‌های کدر هستند (شکل ۶- پ). سنگ‌های فوق در اثر نفوذ توده‌های متعدد دچار دگرسانی پروپیلیتی شده‌اند (شکل ۶- ت).

– واحد داسیت تا ریولیت

واحد‌های داسیتی- ریولیتی در بخش جنوبی و مرکزی محدوده معدنی چومالو قرار

دارند و توسط واحد مونزودیوریت پورفیری با روند خاوری- باختری قطع شده‌اند (شکل ۷- الف). نهشته‌های داسیتی- ریولیتی عموماً به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شوند (شکل ۷- ب). واحد داسیتی در مجاورت توده نفوذی الیگوسن با ترکیب کوارتزموزنویتی پروپیلیتی شده است. دگرگونی همبری در حاشیه توده نفوذی و در جنوب رخمون سنگ‌های آتشفشانی به صورت محدود با تبلور شیشه زمینه همراه بوده است. واحد داسیتی- ریولیتی دارای بافت هیالوفیریک با منشورهای پلاژیوکلاز با ترکیب آلیت- الیگوکلاز و سانیدین است که گاه با منطقه‌بندی مشخص هستند. به علاوه فلدسپار پتاسیک و کوارتز در یک زمینه شیشه‌ای و فلسیتی دیده شده است (شکل ۷- پ و ت). گاهی یک حاشیه اپاسیت اطراف بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در زمینه سیلیسی همراه با کانی‌های کدر با فراوانی ۵-۲ درصد مشاهده می‌گردد.

شکل ۶- الف) رخمون واحد آندزیتی و میزبانی رگه سیلیسی؛ ب) نمونه دستی از واحد آندزیتی به رنگ خاکستری تیره؛ پ) تصویر میکروسکوپی از بافت پورفیریتیک در واحد تراکی آندزیتی همراه با فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در نور XPL؛ ت) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پروپیلیتی و کرناتی در واحد آندزیتی- تراکی آندزیتی در نور XPL؛ علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس (Whitney and Evans 2010): Pl: پلاژیوکلاز، Cxp: کلینوپیروکسن، Chl: کلریت، Cal: کلسیت.



شکل ۷- الف) نمایی از رخمون واحد داسیتی- ریولیتی با دید به سمت شمال باختر؛ ب) نمونه دستی از واحد داسیتی؛ پ) نمایی از بافت هیالوفیریک همراه با بلورهای پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیک و کوارتز در نور XPL؛ ت) تصویر میکروسکوپی از بلور پلاژیوکلاز با ساختمان منطقه‌ای در یک زمینه سیلیسی در نور XPL؛ علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس (Whitney and Evans 2010): Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Kfs: فلدسپار پتاسیک.

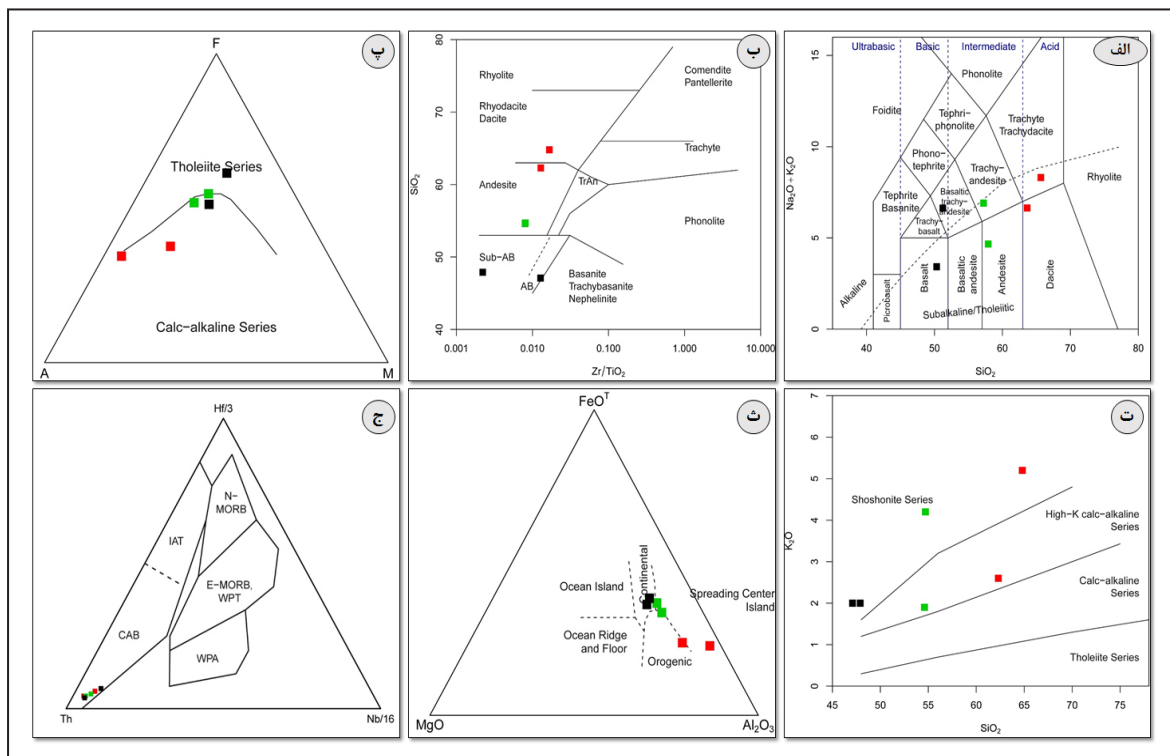
۵- ژئوشیمی واحدهای آتشفشانی

جهت نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی بر اساس عناصر اصلی از نمودار مقادیر اکسیدهای آلکالین به مقدار سیلیس (TAS; Le Bas et al, 1986) استفاده گردید. این نمودار سنگ‌ها را بر اساس مقدار سیلیس، به چهار دسته اولترابازیک، بازیک، حدواسط و اسیدی تقسیم می‌کند (شکل ۸-الف). با توجه به اینکه سنگ‌های آتشفشانی بیشتر از سنگ‌های درونی در معرض دگرسانی و تغییرات شیمیایی قرار دارند، لذا با توجه به تحرک کمتر عناصر فرعی طبق نمودار Winchester and Floyd (1977) نیز سنگ‌های آتشفشانی محدوده بررسی گردید. بر اساس این دو نمودار سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده بازالت، آندزیت تا تراکی آندزیت و داسیت تا تراکی داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۸-الف و ب).

جهت تعیین سری‌های سنگی و تشخیص روندهای تفریق تولییتی و کالک‌آلکالین از دیاگرام مثلی AFM (Irvine and Baragar, 1971) استفاده شده است. طبق این نمودار سنگ‌های آتشفشانی چومالو در سری کالک‌آلکالین قرار می‌گیرند. یک نمونه قرار گرفته در محدوده تولییتی می‌تواند مربوط به نمونه‌ای باشد که تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته است (شکل ۸-پ). بر اساس نمودار

Peccerillo and Taylor (1976) سنگ‌های آتشفشانی چومالو در محدوده کالک‌آلکالین پتاسیم بالا تا شوشونیتی قرار گرفتند (شکل ۸-ت).

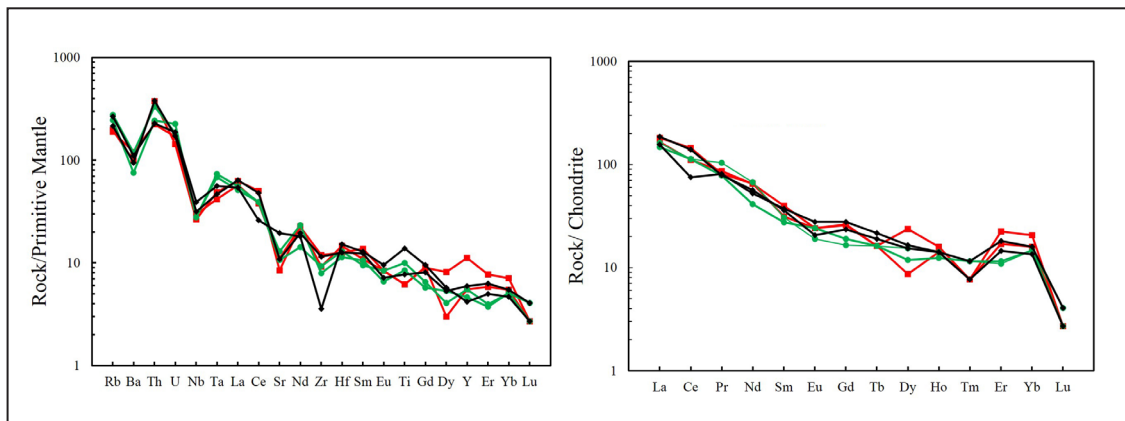
یکی از نمودارهای متمایزکننده محیط‌های زمین‌ساختی براساس عناصر اصلی توسط Pearce et al. (1977) مطرح گردید؛ Pearce et al. (1977) براساس شیمی عناصر اصلی، دریافتند که اکسیدهای $MgO-FeO-Al_2O_3$ قادر به تشخیص محیط‌های تکتونیکی بازالت‌های پشته میان اقیانوسی و کف اقیانوس (MORB)، بازالت‌های جزایر اقیانوسی، بازالت‌های قوس آتشفشانی و حاشیه فعال قاره‌ای، بازالت‌های قاره‌ای و بازالت‌های مراکز گسترش هستند. بر اساس این نمودار (شکل ۸-ث) می‌توان دریافت که سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در ارتباط با محیط حاشیه فعال قاره‌ای تا زون‌های فرورانش هستند. یک نمودار متمایزکننده بر اساس عناصر HFS غیرمتحرک Th-Hf-Ta توسط Wood (1980) پیشنهاد شده است. بر اساس این نمودار سنگ‌های آتشفشانی چومالو در بازه بازالت‌های کالک‌آلکالین (در ارتباط با محیط فرورانش) قرار گرفتند (شکل ۸-ج).



شکل ۸- (الف) نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی توسط عناصر اصلی (Le Bas et al, 1986)؛ (ب) تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی بر اساس عناصر فرعی (Winchester and Floyd, 1977)؛ (پ) تعیین سری ماگمایی نمونه‌های آتشفشانی بر اساس نمودار (Irvine and Baragar, 1971)؛ (ت) نمودار اکسید پتاسیم در برابر سیلیس (Peccerillo and Taylor, 1976)؛ (ث) محیط تکتونیکی نمونه‌های ولکانیکی بر اساس نمودار (Pearce et al. 1977)؛ (ج) تعیین محیط تکتونیکی واحدهای آتشفشانی (Wood, 1980) در محدوده معدن چومالو (مربع قرمز: واحد داسیت تا ریولیت، مربع سبز: واحد آندزیت تا تراکی آندزیتی، مربع سیاه: واحد الیون بازالتی).

پایداری بالا) را نشان می‌دهد که این نکته از ویژگی‌های ماگما وابسته به پهنه‌های فرورانش است (Seghedi et al., 2001; Machado et al., 2005; Yang and Li, 2008; Kuscü and Genel, 2010). غنی‌شدگی عناصر LILE در ماگما از پیامدهای پوسته فروورنده به درون گوشته بالایی و رخداد متاسوماتیسم است (Seghedi et al., 2001; Mohamed et al., 2000) (شکل ۹).

طبق الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989)، غنی‌شدگی عناصر LREE (خاک‌های کمیاب سبک) نسبت به HREE (عناصر کمیاب سنگین) مشاهده شد. در الگوی به‌دست آمده از تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نمونه‌های بررسی شده غنی‌شدگی از LILE (عناصر با شعاع یونی بالا) و تهی‌شدگی عناصر HFSE (عناصر با میدان



شکل ۹- الف) نمودار عناصر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989)؛ ب) نمودار عنکبوتی عناصر فرعی و کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) در معدن پلی متال چومالو (خطوط قرمز: واحد داسیت تا ریولیت، خطوط سبز: واحد آندزیت تا تراکی آندزیت، خطوط مشکی: واحد الیون بازالتی).

۶- بحث

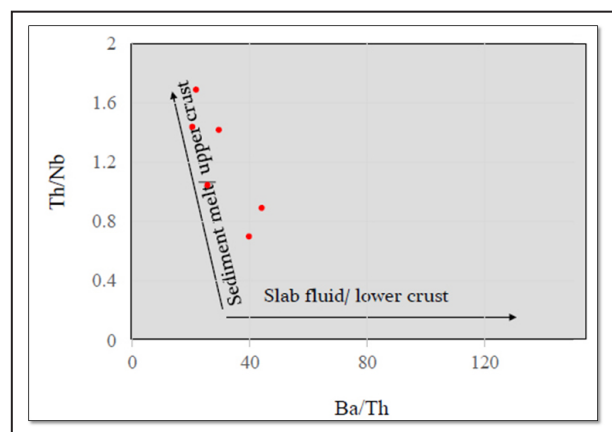
کره‌ای بیش از ۱ و در ماگما مشتق شده از سست کره بیشتر حدود ۰/۷ است (DePaolo and Daley, 2000). در نمونه‌های مورد مطالعه این نسبت بین ۱/۳ تا ۲/۳ در تغییر است که نشان دهنده تشکیل ماگما اولیه از ذوب بخشی یک گوشته سنگ کره‌ای است.

همان طور که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود، نسبت Eu/Eu^* محاسبه شده برای نمونه‌های محدوده معدنی چومالو کوچک‌تر از یک است و آنومالی منفی نشان می‌دهد. این آنومالی می‌تواند به جدایش پلاژیوکلاز کلسیک از مذاب به وسیله تفریق بلوری و یا فوگاسیته بالا اکسیژن در محیط تبلور ماگما در ارتباط باشد (Rollinson, 1993).

برای شناسایی اجزای شرکت کننده در ماگمای کمائی، از عناصر ناسازگار که تأثیر کمتری از درجه‌های متفاوت ذوب بخشی، تبلور بخشی و تجمع بلوری قرار می‌گیرند، بهره گرفته شد. از این رو از نمودار نسبت Ba/Th در برابر Th/Nb استفاده گردید. رفتار عناصر کمیاب نسبت بالای Th/Nb به مشارکت مذاب پدیدآمده از ذوب رسوبات فرورونده یا پوسته بالایی را نشان می‌دهد. اما نسبت بالای Ba/Th باید با متاسوماتیسم خاستگاه گوشته‌ای توسط سیالات جدا شده از ورقه مربوط باشد (Orozco-Esquivel et al., 2007). بر اساس نمودار Ba/Th در برابر Th/Nb درباره خاستگاه سنگ‌های آتشفشانی چومالو، اجزای فروارانشی مانند متاسوماتیسم پدیدآمده از ذوب رسوبات و همچنین پوسته بالایی بیشترین نقش را داشته‌اند (شکل ۱۰).

آنومالی مثبت LILE و آنومالی منفی HFSE می‌تواند از ویژگی‌های ماگماهای تولید شده از یک گوشته لیئوسفری زیر قاره‌ای در ارتباط با زون فروارانش باشد (Wilson, 1989). بی‌هنجاری منفی Nb از مشخصات ماگما در کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای و شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی محسوب می‌شود (Wang and Chung, 2004). آنومالی مثبت عنصر Rb و Th می‌تواند بیانگر نقش مواد پوسته قاره‌ای در تکوین و تحولات ماگمایی مولد سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه باشد (Chappell and White, 1992; Harris et al., 1986). در پهنه‌های فروارانشی میزان Th افزایش یافته و نسبت Th/Ta در سنگ‌های پدیدآمده در فرایندهای فروارانش حاشیه فعال قاره در بازه ۶ تا ۲۰ متغیر است (Gorton and Schandle, 2000). این نسبت در سنگ‌های آتشفشانی چومالو بین ۱۷-۶/۹ قرار می‌گیرد. نسبت‌های Nb/Y بین ۱/۷۲ - ۰/۳۲ از دیگر ویژگی‌های سنگ‌هایی است که در کمان ماگمایی در ارتباط با فروارانش پدید آمده است (Temel et al., 1998). این نسبت در سنگ‌های آتشفشانی چومالو در بازه ۱/۴ - ۰/۶ قرار دارد. عنصر Th و Nb ضریب‌های جدایش مشابه در بلور و مذاب دارند. Th در پهنه‌های فروارانش به ماگما افزوده و Nb در ماگما کاهش می‌یابد (Leat et al., 2004). تهی‌شدگی Ba و Sr در نمونه‌های مورد بررسی می‌تواند با نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرایندهای ماگمایی در ارتباط باشد (Kucu and Genel, 2010).

نسبت La/Nb می‌تواند برای تمایز ماگما مشتق شده از گوشته سنگ کره‌ای و سست کره‌ای مفید باشد. این نسبت در ماگما مشتق شده از گوشته سنگ



شکل ۱۰- نمودار Th/Nb در مقابل Ba/Th (Orozco-Esquivel et al., 2007).

۷- نتیجه‌گیری

رخنمون‌های سنگی موجود در محدوده معدن را نهشته‌های آذرآواری، آتشفشانی، توده‌های نفوذی مربوط به ائوسن و نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنر تشکیل داده‌اند. واحدهای آتشفشانی ائوسن با ترکیب الیون‌بازالت، آندزیت‌بازالت، آندزیت تا تراکی آندزیت، داسیت تا ریولیت و سنگ‌های آذرآواری شامل توف سکانس چینه‌شناسی محدوده را تشکیل داده که در آنها توده‌های نفوذی ائوسن با ترکیب کوارتزموزنویت، مونزوسینیت و کواترمونزودوریت تزریق شده است. بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده، سنگ‌های آتشفشانی معدن چومالو ماهیت کالک‌آلکالین داشته که این امر می‌تواند نشان‌دهنده دخالت پوسته قاره‌ای در تکوین و تحول ماگما مادر این سنگ‌ها در نتیجه فروانش باشد. غنی‌شدگی عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE را می‌توان به عوامل گوناگون نظیر مشتق شدن ماگما از یک

گوشته متاسوماتیزم شده در منطقه فروانش و یا ماگماتیزم مرتبط با فروانش، شرکت مواد پوسته‌ای در فرآیندهای ماگمایی و یا فقر این عناصر در ناحیه منشأ به دلیل پایداری فازهای حاوی این عناصر در ذوب بخشی و یا جدایش آنها در طی فرایند تفریق نسبت داد. غنی‌شدگی عناصر LREE (خاک‌های کمیاب سبک) نسبت به HREE (عناصر کمیاب سنگین) می‌تواند ناشی از درجه پایین ذوب بخشی و متاسوماتیزم ماگما با رسوبات فروورونده باشد. در نهایت واحدهای آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده معدن چومالو در پهنه فروانش به وجود آمده و در ادامه با مواد پوسته‌ای آلاش یافته است. درجه کم ذوب بخشی گوشته غنی‌شده (ذوب بخشی منشأ گوشته سنگ‌کراهی متاسوماتیزم شده) به همراه آلودگی پوسته‌ای در پهنه فروانشی از مهمترین عوامل برای غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE به شمار می‌آید.

کتابنگاری

- ابراهیمی، م.، کوهستانی، ح. و شهیدی، ا.، ۱۳۹۴- بررسی تیپ و خاستگاه کانه‌زایی آهن در رخداد معدنی مسگر، جنوب زنجان، با استفاده از داده‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۱، ص. ۱۱۱ تا ۱۲۷.
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲.
- آقاجانی، س.، قاسمی سیانی، م.، امامی، م.، ه.، لطفی، م. و قلی‌زاده، ک.، ۱۳۹۳- پتروگرافی، ژئوشیمی، تحولات ماگمایی و موقعیت تکتونوماگمایی سنگ‌های آذرین همراه با کانی‌سازی اپی‌ترمال نیکوبیه (غرب قزوین)، جلد ۶، شماره ۱، صفحه ۱-۲۰.
- آقاجانی، س.، امامی، م.، ه.، لطفی، م.، قلی‌زاده، ک. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۹۵- ژنر رگه‌های اپی‌ترمال در منطقه نیکوبیه (غرب قزوین) بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی و سیالات درگیر، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال بیست و پنجم، شماره ۹۹، صفحه ۱۵۷-۱۶۸.
- بازرگانی گیلانی، ک. و پرچکانی، م.، ۱۳۸۹- ویژگی‌های فلزهای (متالوژنی) کانسار سرب و روی (مس) باریک آب با سنگ میزبان توف اسیدی، رشته کوه‌های طارم، جنوب خاور زنجان، شمال‌باختر ایران. فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۸، ص ۹۷ تا ۱۰۴.
- براتی، ب. و آقازاده، م.، ۱۳۹۵- گزارش زمین‌شناسی- معدنی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ محدوده.
- حسین‌زاده، م.، ر.، مغفوری، س.، مؤید، م.، لطفه‌نیا، م. و حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۹۴- سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای چند فلزی (مس-سرب-روی) در منطقه لوپین‌زرد شمال خاور زنجان. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۶، ص. ۴۱ تا ۵۲.
- فریدی، م. و انوری، ا.، ۱۳۷۹- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشتجین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فیضی، ف. و آری، م.، ۱۳۹۰- نقش کنترل کننده‌های ساختمانی در تشکیل کانسارهای مس در نقشه ۱:۵۰۰۰ صائین قلعه. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (JSIAU)، شماره ۸۱، ص. ۱ تا ۱۰.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶- زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، مرکز پژوهش آری، زمین، ۲، ج. ۴۹۲ ص.
- کریمی، م.، ابراهیمی، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۵- رخداد معدنی آهن لولک‌آباد، شمال‌باختر زنجان: کانه‌زایی تیپ آتشفشانی-رسوبی دگرگون و دگرشکل شده در زون ایران مرکزی. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۱، ص. ۹۳ تا ۱۱۵.
- مهرابی، ب. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۹۵- کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، سمنان، ایران. مجله علمی- پژوهشی زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۲، صفحه ۱-۲۰، ۱۳۸۸.
- نظریان، م.، لطفی، م.، گورابجیری‌پور، آ. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۹۸- بررسی ژنر و مطالعه سیالات درگیر معدن پلی‌متال (سرب، روی، مس، طلا و نقره) چومالو، شمال‌باختر زنجان. رساله کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Aghazadeh, M., Castro, A., Omran, N.R., Emami, M.H., Moinvaziri, H. and Badrzadeh, Z., 2010- The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran. Journal of Asian Earth Sciences 38, 199-219, <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2010.01.002>.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z. and Vogt, K., 2011- Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland: The Shaivar Dag plutonic complex, Alborz belt, Iran. Geological Magazine 148 (5-6), 980.1008, <https://doi.org/10.1017/S0016756811000380>.
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristic of the Paleo-Tethyan remnants in North Eastern Iran, Bull. Geol. Soc. Am, 103, 983-992, [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2).

- Asiabanha, A. and Foden, J., 2012- Post-collisional transition from an extensional volcanosedimentary basin to a continental arc in the Alborz Ranges, N-Iran. *Lithos* 148, 98–111, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.05.014>.
- Azizi, H. and Moinevaziri, H., 2009- Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran, *Journal of Geodynamics* 47, 167–179, <https://doi.org/10.1016/j.jog.2008.12.002>.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1992- I and S-type Granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 83, 1-26, <https://doi.org/10.1017/S0263593300007720>.
- Castro, A., Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z. and Chichorro, M., 2013- Late Eocene–Oligocene post-collisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran. An example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source, *Lithos*, Volumes 180-181, Pages 109-127, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.08.003>.
- DePaolo, D. J. and Daley, E. E., 2000- Neodymium isotopes in basalts of the southwest basin and range and lithospheric thinning during continental extension. *Chemical Geology*, 169, 157–185, [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00261-8](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00261-8).
- Ghasemi Siani, M., Lentz, D.R., Nazarian M., 2020. Geochemistry of igneous rocks associated with mineral deposits in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, NW Iran: An analysis of the controls on epithermal and related porphyry-style mineralization. *Ore Geol. Rev.*, 126, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103753>.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Azizi, H., Wilkinson, C.M. and Ganerod, M., 2015- Geochemistry and geochronology of the volcano-plutonic rocks associated with the Glojeh epithermal gold mineralization, NW Iran. *Open Geosci.* 7, 207–222, <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0024>.
- Gorton, M. P. and Schandl, E. S., 2000- From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc- related and within- plate felsic to intermediate volcanic rocks. *Canadian Mineralogist* 38: 1065- 1073, <https://doi.org/10.2113/gscanmin.38.5.1065>.
- Harris N., B W, Pearce J. A, Tindle A. G., 1986- Geochemical characteristics of collision- zone magmatism. In: Coward M P, Ries A C (eds) *Collision Tectonics*. Geological Society London Special Publication 19, pp 67-81, [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00077-T](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00077-T).
- Irvine, T.N. and Baragar W.R.A., 1971- A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth science* 8: 523-548, <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- Kuscu, G. G. and Geneli, F., 2010- Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province Turkey, with special reference to the Tepekey volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences* 99(3): 593-621, <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0402-4>.
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A.M., Mokhtari, M.A.A. and Ebrahimi, M., 2017- Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand deposit, NW Iran. *J. Miner. Geochem.* 194, 139–155, <https://doi.org/10.1127/njma/2017/0036>.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M, A. A., Changb, Z. and Johnson, C. A., 2018- Intermediate sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran, *Ore Geology Reviews* 93, Volume 93, 1–18, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.012>.
- Leat, P. T., Pearce, J. A., Barker, P. F., Millar, I. L., Barry, T. L. and Larter, R. D., 2004- Magma genesis and mantle flow at a subducting slab edge: The South Sandwich arc- basin system. *Earth and Planetary Science Letters* 227: 17- 35, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.08.016>.
- Le Bas, M.J., Le Maître, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3): 745–750, <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>.
- Machado, A. T., Chemale, Jr. F., Conceicao, R. V., Kawaskita, K., Morata, D., Oteiza, O. and Schmus, W. R. V., 2005- Modeling of subduction components in the Genesis of the Meso-Cenozoic igneous rocks from the South Shetland Arc, Antarctica. *Lithos* 82(3-4): 435– 453, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.026>.
- Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2012- Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu ($\pm$ Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan Province, Iran. *Journal of Geological Society of India* 80, 563–578, <https://doi.org/10.1007/s12594-012-0177-x>.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M. and Tale Fazel, E., 2015- Structural Control on Epithermal Mineralization in the Troude-Chah Shirin Belt Using Point Pattern and Fry Analyses, North of Iran. *Geotectonics* 49 (4), 317–328, <https://doi.org/10.1134/S001685211504007X>.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, N. and Marsh, E.E., 2016- Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran. *Ore Geology Review* 78, 41–57, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.016>.
- Mohamed, F. H., Moghazi, A. M. and Hassanen, M. A., 2000- Geochemistry, Petrogenesis and tectonic setting of late Neoproterozoic Dokhan-type volcanic rocks in the Fatira area, eastern Egypt. *International Journal of Earth Science* 88(4): 764-777, <https://doi.org/10.1007/s005310050304>.

- Nabatian, Gh., Ghaderi, M., Corfu, F., Neubauer, F., Bernroider, M., Prokofiev, V. and Honarmand, M., 2014- Geology, alteration, age and origin of iron oxide-apatite deposits in Upper Eocene quartz monzonite, Zanzan district, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 49, 217–234, <https://doi.org/10.1007/s00126-013-0484-1>.
- Orozco-Esquivel, T., Petrone, C. M., Ferrari, L., Tagami, T. and Manetti, P., 2007- Geochemical and isotopic variability in lavas from the eastern Trans-Mexican volcanic belt: slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Lithos* 93: 149-174, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.06.006>.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contribution mineral petrol.* 58: 63-81, <https://doi.org/10.1007/BF00384745>.
- Pearce T.H., Gorman B.E. and Birkett T.C., 1977- The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 121-132, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90193-5).
- Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Review* 70, 323–345, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009>.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. London, UK, 652 p, <https://doi.org/10.1180/minmag.1994.058.392.25>.
- Shamarian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H. and Hassanzadeh, J., 2004 -The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan Province, northern Iran. *Economic Geology* 99, 691–712, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.4.691>.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London Special Publications 42, 313-345, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.
- Saiedi, A., Mokhtari, M. A. A. and Kouhestani, H., 2018- Petrology and geochemistry of intrusive rocks at Khanchay- Aliabad region (Tarom sub-zone, East of Zanzan). *Iranian Journal of Petrology* 33: 207-229 (in Persian), <https://doi.org/10.22108/ijp.2017.82000.0>.
- Seghedi, I., Downes, H., Pecskey, Z., Thirlwall, M.F., Szakacs, A., Prychodko, M. and Matthey, D., 2001- Magmatogenesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: The Ukrainian Carpathians. *Lithos* 57(4): 237– 262, [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(01\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(01)00042-1).
- Tale Fazel, E., Mehrabi, M. and Ghasemi Siani, M., 2019- Epithermal systems of the Torud–Chah Shirin district, northern Iran: Ore-fluid evolution and geodynamic setting. *Ore Geology Review* 109, 253–275, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.014>.
- Temel, A., Gondogdu, M.N. and Gourgaud, A., 1998- Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high K-calc alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85: 327-357, [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00062-6).
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J. and Guest, B., 2011- A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics* 30, TC3008, 1–20, <https://doi.org/10.1029/2010TC002809>.
- Wang, K. L. and Chung, S. L., 2004- Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the northern Taiwan region. *Journal of Petrology* 45: 975-1011, <https://doi.org/10.1093/petrology/egh001>.
- Whitney, D. and Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187, <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilson, M., 1989- Igneous petrogenesis a global tectonic approach. Unwin Hymen, London, <https://doi.org/10.1017/S0016756800006658>.
- Winchester, J. A. and Floyd, P.A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile element. *Chem. Geol.*, 20, 325-343, [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2).
- Wood, D.A., 1980, “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: P.11-30. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8).
- Yasami, N., Ghaderi, M., Madanipour, S. and Taghilou, B., 2017- Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran. *Ore Geol. Rev.* 86, 212–224, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.028>.
- Yang, W. and Li, S., 2008- Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. *Lithos* 102 (1-3): 88–117, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.09.018>.

Original Research Paper

Petrography, Geochemistry and Tectonic setting of volcanic rocks in Chomalu polymetallic deposit (North-West of Zanzan)

M. Nazarian^{1*}, M. Lotfi², A. Gourabjeri³ and M. Ghasemi Siani⁴

¹M. Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

²Associated Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Miyane Branch, Miyane, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2020 June 13

Accepted: 2021 February 08

Available online: 2021 November 01

Keywords:

Geochemistry

Polymetallic

Chomalu

Tarom-Hashtjin metallogenic zone

Alborz magmatic belt

ABSTRACT

The Chomalu Polymetallic deposit is located in western part of Alborz magmatic belt (Alborz-Azarbaijan) and central part of Tarom-Hashtjin metallogenic province. Eocene volcanic settings in the Chomalu deposit consist of basic rocks (olivinebasalt), intermediate (andesite basalt, andesite to trachyandesite) and acidic rocks (dacite to rhyolite) which is intruded by quartz monzodiorite, monzosyenite and quartz monzonite intrusive rocks of Eocene. The main texture of volcanic rocks is more porphyritic. Olivine and plagioclase are the main phenocrysts in the olivinebasalt, andesite rocks compose of plagioclase and clinopyroxene and dacite to rhyolite consist of plagioclase, alkali feldspar and quartz. On the basis of AFM diagram, Chomalu volcanic rocks located in the high- K calc- alkaline to shoshonitic affinities in relation to subduction zone magmatism. Primitive mantle-normalized of volcanic rocks indicate that LILE enrichment and HFSE depletion in consistent with subduction zone magmatism. Chondrite-normalized REE patterns show LREE/HREE enrichment. Geochemical results suggesting primary source magmas source for volcanic rocks were generated by partial melting of the metasomatized lithospheric mantle-wedge in relation to subduction arc and were subsequently affected by both fractional crystallization and crustal contamination during magmatic evolution.

*Corresponding author: M. Nazarian; E-mail: Nazarian.mahya@yahoo.com

G.S. Journal. All rights reserved.

doi: GSJ.2021.233801.1799

dor: 20.1001.1.10237429.1400.31.3.6.3



This is an open access article Under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)