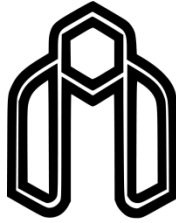


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی

شیمی کانی سنگ‌های آتشفشانی کراتر قره چای، شمال شرق سبزوار

نگارنده:

مرضیه اسدی اورگانی

استاد راهنما:

دکتر مهدی رضایی کهخانی

استاد مشاور:

دکتر حبیب الله قاسمی

شهریور ۱۳۹۸

تقدیم به پدرم

کوهی استوار و حامی من در تمام زندگی

تقدیم به مادرم

سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

تقدیم به خواهران و برادران گرامیم

که در سایه همیاری و همدلی آنها به این منظور نائل شدم

سپاس خدای بزرگ را که مرلاری رسالتا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و کامی در راستای اعتلای علم بردارم. از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر مهدی رضایی کفخانی که وجودشان همیشه قوتی برای انجام کارهایم بوده است و بدون شک انجام این پایان نامه بدون کمک و راهنمایی های ارزنده آنها امکان پذیر نبوده است، کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر حبیب اللہ قاسمی به عنوان استاد مشاور مسئولیت سنگینی را قبول زحمت فرمودند و مطمئنم بدون حمایت های راهنمایی ها و روحیه بخشی ایشان، انجام بخش مهمی از این پایان نامه میسر نمی شد. بدین وسیله از بزرگواری، حسن سلوک و حمایت بی دریغ ایشان تشکر کرده و برای ایشان طول عمر توام با سربلندی را آرزو مندم. از اساتید بزرگواریم جناب آقای دکتر صادقان و دکتر شیبی که لیاقت ساگرودی در محضر آنها را داشته تشکر و برای تمام حمایت ها و زحمات بی دریغ شان سپاسگزاری می کنم. از خانم دکتر لامبرونی در دانشگاه اریستوتل یونان به خاطر کمک در انجام آنالیزهای میکروپروپ، قدر دانی های نامیم. از دیگر اساتید محترم و دانشجویان دانشگاه های علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود که در طول مدت تحصیل از نظرات ایشان بهره برده ام، کمال تشکر و قدر دانی را دارم. همچنین از خانم مهندس سعیدی، خانم مهندس فارسی، آقای مهندس میر باقری، آقای مهندس محمدیان، آقای آقائی و آقای آبدانی قدر دانیم. از دکتر علیپور، دکتر سولماز بلوچی، دکتر فضیلت یوسفی، مینا اسدی آورگانی، زهره میر شکاران، ناهید سادات شمشیرگران، ریحانه شحانی، نازنین رضایی، فریده جوهریان، رقیه کرون، یونس سرسختی، حدیقه خاتون کاظمی و تمام دوستان گرانقدرم که در به سرانجام رسیدن این پایان نامه مرلاری نمودند کمال تشکر و قدر دانی دارم.

مرضیه اسدی آورگانی



## تعهدنامه

اینجانب مرضیه اسدی اورگانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود و نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان شیمی کانی سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای، شمال شرق سبزوار تحت راهنمایی دکتر مهدی رضایی کهخانی و پروفیسور حبیب‌الله قاسمی متعهد می‌شوم:

تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر محققان به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده اند رعایت شد است.

در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا

استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضاء

تاریخ:

### مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

کالدرای قره چای در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق قوچان، در زون بینالود واقع شده است. سنگ‌های آتشفشانی این کالدرا دارای ترکیب غالب داسیتی و بافت‌های متنوع پورفیری، میکرولیتی پورفیری، غربالی، جریان‌ی و گلومروپورفیری هستند و از کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها، از عناصر خاکی نادر سبک و لیتوفیل بزرگ یون (LILE) غنی شدگی و از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) و عناصری با قدرت میدانی بالا (HFSE) تهی شدگی نشان می‌دهند. سرشت کالک‌آلکان، ناهنجاری منفی آشکار از عنصرهای با قدرت میدانی بالا (مانند Ti، Nb و P)، آنومالی مثبت Pb، مقادیر زیاد Sr، Sr/Y، Na<sub>2</sub>O /K<sub>2</sub>O و مقادیر کم K و MgO معرف ماهیت آداکیتی پرسیلیس (HSA) این سنگ‌ها است و در ارتباط با محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. همچنین تهی شدگی از Nb و Ti و تمرکز بالای Rb، Ba، K و Th بیانگر آرایش پوسته‌ای ماگمای سازنده سنگ‌های مورد نظر می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز شیمی کانی، پلاژیوکلازها از نوع الیگوکلاز تا آندزین و آمفیبول‌ها از نوع چرماکیتی تا هورنبلند منیزیم‌دار می‌باشند. بر اساس محاسبات انجام شده بر روی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های داسیتی نشان می‌دهد که آمفیبول‌ها در دمای ۸۱۴ تا ۹۷۰ درجه سانتی‌گراد و بازه فشاری ۵۵ تا ۲۴۵ مگاپاسکال متبلور شده‌اند که با در نظر گرفتن رابطه‌ی موجود بین عمق و فشار می‌توان نتیجه گرفت که تبلور ماگمایی در اعماق ۶ تا ۱ کیلومتری جای گرفته است و سپس منفجر شده است و به صورت رخساره‌های ریزشی بر روی هم انباشته شده‌اند. به علت دمای بالای قطع سنگی، جوش خوردگی بارزی بین آنها دیده می‌شود.

کلمات کلیدی: داسیت، ژئوشیمی، آداکیت، کالدرا، قره‌چای، قوچان.

## لیست مقالات مستخرج شده از پایان نامه

- ❖ اسدی آورگانی، م.، رضایی کهخائی، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۷)، "زیر بافت‌های موجود در پلاژیوکلازهای آتشفشان قره چای، شمال شرق سبزوار: شواهدی از سیستم پویای تزریق ماگما". بیست و یکمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و یازدهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور. دانشگاه پیام نور استان قم.
- ❖ اسدی آورگانی، م.، رضایی کهخائی، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۸)، "ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای شمال شرق سبزوار". سی و هشتمین گردهمایی ملی علوم زمین. پژوهشکده علوم زمین.
- ❖ اسدی آورگانی، م.، رضایی کهخائی، م.، قاسمی، ح.، (پذیرش)، "سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی داسیت‌های آداکیتی کالدرای نئوژن قره چای، جنوب خاور قوچان". فصلنامه علوم زمین.

## فهرست مطالب

۱	کلیات و سوابق تحقیق .....
۲	۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه .....
۲	۲-۱- آب و هوا و جغرافیای انسانی .....
۳	۳-۱- ژئومورفولوژی منطقه .....
۵	۴-۱- مروری بر مطالعات پیشین .....
۱۰	۵-۱- اهداف و ضرورت انجام تحقیق .....
۱۰	۶-۱- روش انجام تحقیق .....
۱۳	<b>فصل دوم: زمین‌شناسی و مطالعات پتروگرافی .....</b>
۱۴	۱- ۲- مقدمه .....
۱۵	۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه .....
۲۲	۳-۲- زمین‌شناسی کالدرای قره‌چای .....
۲۷	۴-۲- پتروگرافی سنگ‌های داسیتی .....
۳۷	<b>فصل سوم: شیمی کانی و مطالعات دما - فشارسنجی .....</b>
۳۸	۱- ۳- مقدمه .....
۳۸	۳-۲- شیمی کانی .....
۴۷	۳-۳- تعیین محیط زمین‌ساختی و خاستگاه ماگمایی آمفیبول‌ها .....
۴۹	۴-۳- مطالعات دما- فشارسنجی .....
۵۵	<b>فصل چهارم: ژئوشیمی و پتروژنز .....</b>
۵۶	۱-۴- مقدمه .....
۵۶	۲-۴- روش آنالیز .....
۵۸	۳-۴- منابع بروز خطا در طی آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها .....
۵۹	۴-۴- تصحیح داده‌های حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی .....
۶۰	۵-۴- رده بندی و نامگذاری سنگ‌های کالدرای قره‌چای .....
۶۳	۶-۴- تعیین سری ماگمایی .....
۶۶	۷-۴- نمودارهای چند عنصری بهنجار شده (نمودارهای عنکبوتی) .....
۶۸	۸-۴- ماگماتیسیم آداکیتی و خصوصیات سنگ‌شناسی آداکیت‌ها .....
۷۲	۹-۴- محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره‌چای .....
۷۲	۱۰-۴- منشأ سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره‌چای .....
۷۷	۱۱-۴- نحوه تشکیل کالدرای قره‌چای .....
۷۹	<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات .....</b>
۸۰	۱- ۵- نتیجه‌گیری .....
۸۱	۲-۵- پیشنهادات .....
۸۳	<b>منابع .....</b>

فصل اول

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی کالدرای قره چای و نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۲-۱: تصویر از وضعیت زمین ریخت کالدرای قره چای..... ۵

فصل دوم

- شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی کالدرای قره چای و مناطق اطراف آن..... ۱۵
- شکل ۲-۲: عکس ماهواره‌ای سه بعدی از کالدرای قره چای ..... ۱۶
- شکل ۳-۲: سازند کشف‌رود متشکل از شیل با میان لایه‌های ماسه سنگی..... ۱۷
- شکل ۴-۲: تصاویری از سازند چمن بید..... ۱۸
- شکل ۵-۲: سازند مزدوران متشکل از سنگ‌های کربناته آهک و دولومیت ضخیم لایه..... ۲۰
- شکل ۶-۲: نمای از سازند تیرگان متشکل از سنگ آهک..... ۲۲
- شکل ۷-۲: وجود پادگانه‌های آبرفتی که دارای سیمانی سست می‌باشد..... ۲۳
- شکل ۸-۲: الف) روانه‌های داسیتی که دارای شیب ۴۰ درجه می‌باشند. ب) سنگ‌های داسیتی با شیب ۹۰ درجه..... ۲۴
- شکل ۹-۲: الف) تصویری از برش‌های جوش خورده موجود در مرکز کالدرای. ب) نمایی از روانه‌های ایگنمبریت‌های داسیتی..... ۲۶
- شکل ۱۰-۲: تصویر ماهواره‌ای تهیه شده از کالدرای قره چای و محل برداشت نمونه‌های سنگ برای تهیه مقاطع نازک..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲: تصویری از کالدرای قره چای و سنگ‌های تشکیل دهنده آنها..... ۲۸
- شکل ۱۲-۲: تصاویری از کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های کالدرای قره چای..... ۲۹
- شکل ۱۳-۲: تصاویری از انواع مختلف بافت غربالی موجود در پلاژیوکلازها..... ۳۱
- شکل ۱۴-۲: تصویر شماتیکی از نحوه تشکیل بافت‌ها اقتباس شده از Renjith., 2014..... ۳۲
- شکل ۱۵-۲: تصاویری از بافت‌های متنوع در سنگ‌های کالدرای قره چای..... ۳۵

فصل سوم

- شکل ۱-۳: ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای انتخابی در نمودار مثلثی ترکیب فلدسپارها (Deer et al., 1996)..... ۴۰
- شکل ۲-۳: تصویر BSE از پلاژیوکلازهای مرکز کالدرای با منطقه بندی نوسانی و نمودار تغییرات ترکیبی %An پلاژیوکلاز..... ۴۱
- شکل ۳-۳: تصویر BSE از پلاژیوکلازهای حاشیه کالدرای با منطقه بندی نوسانی و نمودار تغییرات ترکیبی %An پلاژیوکلاز..... ۴۲
- شکل ۴-۳: موقعیت قرار گیری آمفیبول‌های بر اساس طبقه بندی (Leake et al., 1997)..... ۴۴
- شکل ۵-۳: نمودار طبقه بندی جزئی تر آمفیبول‌های کلسیک از (Leake et al., 1997)..... ۴۵
- شکل ۶-۳: کانی‌های آمفیبول که دارای ترکیب ادنییتی و منیزو هورنبلند می‌باشند..... ۴۶
- شکل ۷-۳: نمودار ارزیابی ماهیت سنگ‌های مورد مطالعه با استفاده از ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها از Molina et al., 2009..... ۴۸
- شکل ۸-۳: موقعیت قرار گیری نمونه‌های مورد مطالعه که در محدوده سری ماگمایی کالک آلکالن قرار می‌گیرند..... ۴۸

شکل ۳-۹: نمودار Coltorti et al., 2007 که جهت تعیین خاستگاه تکتونیکی سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد، آمده‌اند..... ۴۹

شکل ۳-۱۰: نمودار تعیین عمق مخزن ماگمایی با استفاده از دما و فشار..... ۵۲

#### فصل چهارم

شکل ۴-۱: نمودار درصد وزنی  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  از لومتر (۱۹۷۶)..... ۶۰

شکل ۴-۲: موقعیت سنگ‌های کالدرای قره چای براساس ترکیب نورماتیو در نمودار رده بندی اشترکایزن و لومتر (1979)..... ۶۲

شکل ۴-۳: موقعیت نمونه‌های کالدرای قره چای که در محدوده داسیت قرار می‌گیرند..... ۶۳

شکل ۴-۴: نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای تعیین سری ماگمایی که در محدوده‌ی کالک آلکالن و ساب آلکالن قرار می‌گیرند..... ۶۵

شکل ۴-۵: نمودارهای بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه..... ۶۷

شکل ۴-۶: موقعیت نمونه‌های داسیتی کالدرای قره چای که در محدوده آداکیت‌ها قرار می‌گیرند..... ۶۸

شکل ۴-۷: نمودارهای متمایز کننده آداکیت‌های پرسیلیس (HAS) و آداکیت‌های کم سیلیس (LSA)..... ۷۱

شکل ۴-۸: نمودار تمایز تکتوماگمایی از Pearce et al. (1984)..... ۷۳

شکل ۴-۹: نمودار تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در مقابل  $\text{SiO}_2$  جهت تعیین منشاء آداکیت‌های کالدرای قره چای..... ۷۳

شکل ۴-۱۰: نمودار  $\text{Th/La}$  در مقابل  $\text{Th}$  و نمودار تغییرات  $\text{Th}$  در برابر  $\text{Th/Ce}$  تعیین منشأ آداکیت‌ها..... ۷۴

شکل ۴-۱۱: الف: نمونه‌های آداکیتی مورد مطالعه که با ذوب بخشی یک منشأ اکلوزیتی و مرتبط با فرورانش هستند..... ۷۵

شکل ۴-۱۲: جایگیری نمونه‌های سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره چای و گنبد‌های نیمه عمیق آداکیتی شمال شرق سبزوار..... ۷۶

شکل ۴-۱۳: محل گنبد‌های آداکیتی شمال سبزوار و نحوه تشکیل کالدرای قره چای..... ۷۸

## فهرست جداول

- جدول ۳-۱: نتایج آنالیز میکروپروب بر روی کل نمونه‌های پلاژیوکلاز سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای..... ۹۴
- جدول ۳-۲: نتایج آنالیز میکروپروب بر روی کل نمونه‌های آمفیبول سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای..... ۱۰۶
- جدول ۳-۳:  $\text{SiO}_2$  محاسبه شده براساس شیمی آمفیبول و سنگ کل..... ۱۱۶
- جدول ۴-۱: نتایج آنالیز شیمیائی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های کالدرای قره چای..... ۵۷
- جدول ۴-۲: مقدار محاسبه شده نورم برای سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای..... ۶۱





## فصل اول

### کلیات و پیشینه پژوهش

## ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

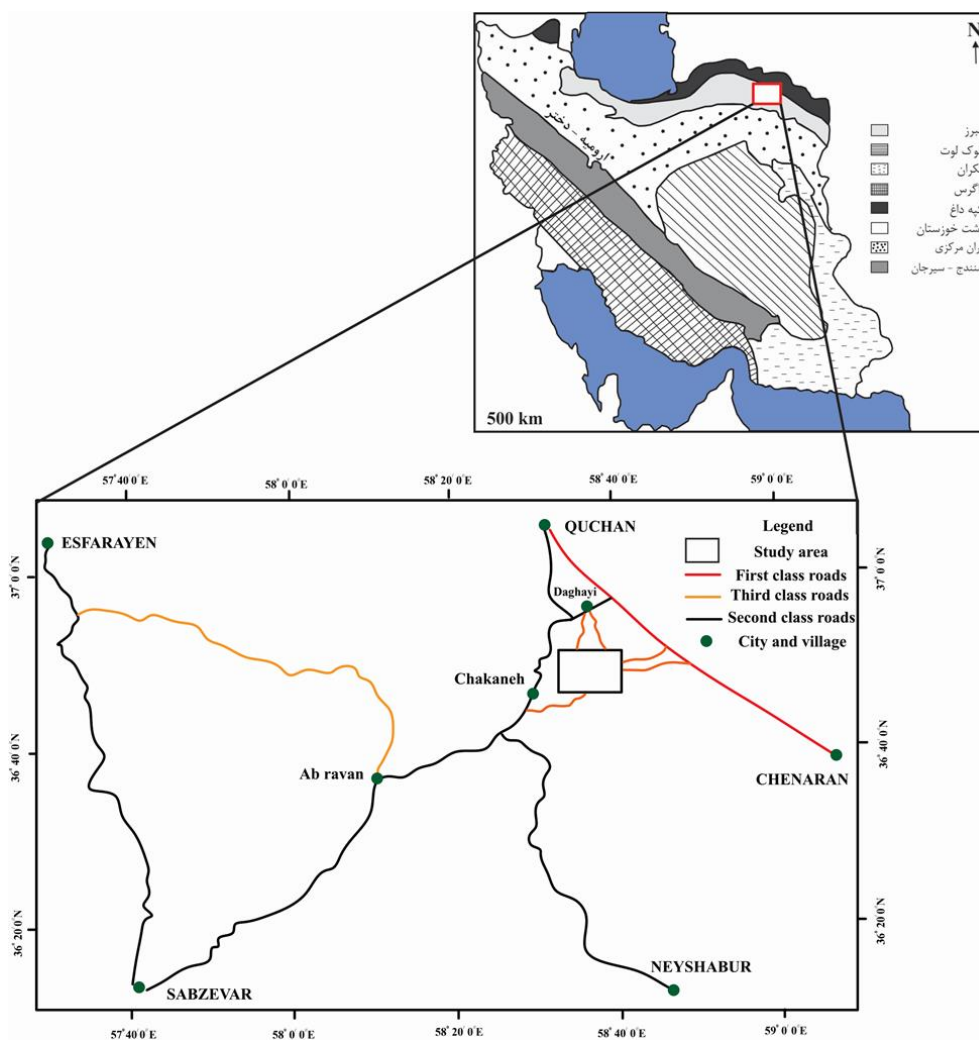
در این پژوهش کالدرای قره چای واقع در کمان آتشفشانی قوچان- اسفراین (قسمت شمالی نوار افیولیتی سبزوار) بررسی شده است. این منطقه در بین دو زون زمین ساختی البرز شرقی و کپه داغ قرار دارد. کالدرای قره چای در طول‌های جغرافیایی  $۵۸^{\circ} ۲۰'$  و  $۵۹^{\circ} ۰۰'$  درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $۳۶^{\circ} ۳۰'$  و  $۳۷^{\circ} ۰۰'$  درجه شمالی واقع شده است. این کالدرای در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق قوچان و ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق سبزوار قرار گرفته است.

دسترسی به کالدرای قره چای از مسیر راه آسفالت سبزوار- قوچان، اسفراین- قوچان و جاده‌های روستاهای قره چای، کلاته مالو، مشکانلو، گلشن‌آباد، حصار، شغل‌آباد، دوغای و همچنین جاده‌های فرعی درجه ۲ و ۳ و راه‌های شوسه (شنی) و خاکی که از این روستاها به طرف کالدرای منشعب می‌شود، امکان‌پذیر است (شکل ۱-۱).

## ۲-۱- آب و هوا و جغرافیای انسانی

نتیجه بررسی آماری در ایستگاه قوچان نشان می‌دهد که میانگین نوسانات درجه حرارت بین فصول سرد و گرم بسیار زیاد است. به گونه‌ای که بیشینه میانگین درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمینه میانگین آن  $۵/۳$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برپایه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی قوچان و چناران منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار می‌گیرد. آمارگرفته شده در طی یک دوره ۲۹ ساله در ایستگاه قوچان حاکی از آن است که میزان بارندگی در فصول سال متغیر است و بیشینه آن در ماه‌های بهمن تا اواخر فروردین و کمینه بارندگی مربوط به ماه‌های آخر خرداد تا اوایل مهرماه است. بارش سالانه بیشتر در فصل سرما انجام می‌شود و آب حاصل از آن در سنگ‌های آهکی کارستی وابسته به اواخر ژوراسیک و اوایل کرتاسه، ذخیره می‌شود. زراعت اهالی در دشت‌ها و میان دره‌ها است. مزارع گندم، یونجه، ذرت، گوجه فرنگی

و نخود و باغ هایی چون گیلاس، سیب، سنجد و توت حاصل کار مردم این منطقه است. دامداری و کشاورزی از شغل های اصلی این منطقه بشمار می آید. گویش مردم منطقه کردی- ترکی و همچنین فارسی با لهجه خراسانی است.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی کالدرای قره چای در نقشه پهنه های رسوبی- ساختاری ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸ و ۱۹۷۷) و نقشه راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه که در بین زون البرز شرقی (زون بینالود) و کپه داغ واقع شده است (نقشه راه بر اساس تصاویر ماهواره ای Google Earth تهیه شده است).

### ۳-۱- ژئومورفولوژی منطقه

کالدرای قره چای در بخش جنوب شرقی شهرستان قوچان قرار گرفته است. بلندترین قله ها مربوط به کوه های

تخته خوجه با ارتفاع ۲۸۰۰ متری در نیمه جنوبی منطقه می‌باشد. این منطقه به دلیل وجود کوه‌های بلند، گنبد‌های آتشفشانی و دره‌های پرشیب دارای مورفولوژی خشن و نسبتاً مرتفع می‌باشد (شکل ۱-۲). بدون شک این زمین‌ریخت به عواملی از جمله تنوع ترکیب سنگ شناسی رخنمون‌ها، ساخت و بافت سنگ‌ها، عوامل زمین‌ساختی و همچنین تفاوت‌های آب و هوایی و فعالیت‌های تکتونیکی مرتبط است.



شکل ۱-۲: نمایی از وضعیت زمین ریخت کالدرای قره چای.

#### ۱-۴- مروری بر مطالعات پیشین

۱- Spies et al., (1983) برای اولین بار با بررسی سنگ‌های آتشفشانی در مناطقی بین سبزوار و قوچان (شمال زون افیولیتی)، به حضور سنگ‌های نیمه‌عمیق با محدوده سنی  $41 \pm 2/1$  تا  $2/7 \pm 0/2$  میلیون سال در منطقه اشاره کردند. در این مطالعه سنگ‌های آتشفشانی ترشیری به سه دسته تفکیک شدند: (۱) آندزیت‌های ائوسن، (۲) داسیت‌ها و آندزیت‌های آمفیبول‌دار الیگوسن- پلیوسن، (۳) بازالت‌های آلکان و شوشونیت‌های میوسن- پلیوسن. دو گروه اول در ورقه ی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان رخنمون دارند و به ماگماهای کالک آلکان تیپ جزایر قوسی نسبت داده شده‌اند. این پژوهشگران تشکیل آن‌ها را ناشی از فرورانش با شیب به سمت شمال لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس حوضه سبزوار به زیر لیتوسفر قاره‌ای شمال شرق (ورقه توران) می‌دانند. گروه سوم (سنگ‌های آلکان) را در کنار افیولیت‌های کرتاسه گزارش کرده‌اند و تشکیل آن‌ها را

ناشی از عمق زیاد مخزن ماگمایی دانسته‌اند.

۲- Bauman et al., (1983) با بررسی نسبت‌های  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری در ناحیه‌ی واقع بین کاشمر- سبزوار - قوچان، نتیجه گرفته‌اند که تغییر این نسبت‌ها بخاطر ذوب بخشی گوه گشته بالایی زون فرورانش و مشارکت پوسته قاره‌ای سیالیک در تشکیل ماگمای والد این سنگ‌ها است.

۳- بازوبندی (۱۳۷۹) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان مطالعه پترولوژی و پتروگرافی مجموعه دگرگونی سلطان آباد (در ارتباط با افیولیت سبزوار)، به بررسی سنگ‌های دگرگونی سلطان آباد و ارتباط آن‌ها با مجموعه افیولیت‌های سبزوار پرداخته است.

۴- فتاحی (۱۳۸۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود پتروژنز، رخساره‌ها و مکانیسم فوران آتشفشان مارکوه، جنوب غرب قوچان را بررسی کرده است.

۴- مصلحی (۱۳۸۳) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان پترولوژی و کانی‌شناسی رودنژیت‌های سبزوار (باغ جر و سلیمانیه) به مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی رودنژیت‌های سبزوار پرداخته است.

۵- - صالحی نژاد (۱۳۸۷) به بررسی پترولوژی و ژئوشیمی گنبد‌های ساب ولکانیک منطقه باشتین، جنوب غربی سبزوار) پرداخته است. براساس مطالعات ایشان، سنگ‌ها مورد نظر دارای ماهیت متآلومین و کالک‌آلکالن بوده و در گروه آداکیت‌های غنی از سیلیس قرار می‌گیرند. ماگمای سازنده این گنبد‌های آداکیتی از طریق ذوب بخشی درجه پائین تا متوسط ورقه اقیانوسی فرورونده داغ و جوان نئوتتیس سبزوار با ترکیب گارنت آمفیبولیت در یک زون فرورانش قوسی با شیب رو به شمال ایجاد شده و سپس از طریق فرایندهای تبلور تفریقی و آرایش ماگمایی تحول یافته است.

۶- دهنوی و همکاران (۱۳۸۷) واحدهای سنگی آذرین نیمه عمیق غرب نیشابور در منطقه شهر فیروزه را مشابه آداکیت‌های پرسیلیس جنوب قوچان دانسته که از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی فرورونده سبزوار با

ترکیب گارنت آمفیبولیت حاصل شده‌اند و متعاقب آن با پریدوتیت گوه گوشته‌ای نیز واکنش داده‌اند.

۷- تنها (۱۳۸۸) پتروژنز سنگ‌های آذرین شمال عنبرآباد را مطالعه نموده و ویژگی‌های صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی سنگ‌های نیمه‌عمیق نئوژن منطقه و ارتباط آن‌ها با زون فرورانش سبزوار را بررسی کرده است.

۸- سنگ‌های آداکیتی پرسیلیس کمان قاره‌ای نئوژن، منطقه جنوب قوچان توسط قاسمی و همکاران (۱۳۸۹) بررسی شده است. بر اساس این مطالعات گنبد‌های نیمه عمیق نوار آتشفشانی نئوژن جنوب قوچان، در بخش شمالی نوار افیولیتی سبزوار واقع شده است که دارای ترکیب تراکی آندزیت، آندزیت، تراکیت، تراکی داسیت، داسیت و ریوداسیت به سن پلیو - پلیستوسن (۲ تا ۱۱ میلیون سال قبل) می‌باشند. ترکیب این گنبد‌ها مشابه ولی جوان‌تر از گنبد‌های آداکیتی منطقه باشتین (غرب سبزوار) می‌باشد شواهد ژئوشیمیایی موجود در واحدهای سنگی گنبد‌ها با ترکیب آندزیت تا ریوداسیت، بیانگر ماهیت کالک‌آلکان، سنگ منبع اکلوزیتی یا گارنت آمفیبولیتی حاصل از دگرگونی ورقه اقیانوسی فرورانده شده سبزوار به عنوان محل خاستگاه ماگما، نقش تبلور تفریقی، فرایندهای هضم و آرایش ماگمای سازنده این گنبد‌ها می‌باشد. بر اساس این پژوهش‌ها در اثر تداوم فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس سبزوار به درون گوشته و هضم آن، آخرین فرآورده‌های ماگمایی آن تا پلیو - پلیستوسن نیز فوران داشته‌اند. در گذر زمان و با تداوم فرورانش، جبهه ماگمایی از جنوب در مجاورت نوار افیولیتی و دگرگونی سبزوار به سوی شمال در جنوب قوچان تغییر مکان داده و در نتیجه از افیولیت‌ها به سمت شمال، سن ماگماتیسم به ترتیب از ائوسن به پلیوسن - پلیستوسن کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که یک ارتباط زایشی بین ماگماتیسم گسترده آداکیتی در زون افیولیتی سبزوار با گنبد‌های آداکیتی قوچان - اسفراین وجود دارد.

۹- محمدی گورجی (۱۳۹۱) نیز به مطالعه ژئوشیمی و پتروژنز گنبد‌های ولکانیکی منطقه شمال غرب سبزوار با تکیه بر مطالعات ایزوتوپی Pb-Sr-Nd پرداخته و آداکیت‌های دامنه جنوبی و شمالی نوار افیولیتی

سبزوار را به شرح ذیل از یکدیگر تفکیک نموده است: ۱- آداکیت‌های دامنه جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار) ساروق، زردکوهی، کوه سفید که دارای ترکیب ریولیتی بوده و بسیار تفریق یافته می باشند. ۲- آداکیت‌های دامنه شمالی نوار افیولیتی شمال سبزوار (نوده انقلاب و کمرتنگ) که دارای ترکیب آندزیتی و داسیتی هستند و تفریق یافتگی کمتری دارند.

۱۰- Shabanian et al., (2012) نیز در بررسی تعدادی از گنبد‌های آداکیتی منطقه سرآخور در جنوب قوچان، یک منشأ ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورو و یا ذوب پوسته تحتانی مافیک را برای سنگ‌های نیمه عمیق این منطقه در نظر گرفته‌اند که مورد اخیر خود ناشی از بالا آمدن استنوسفر حاصل از گسیختگی ورقه فروروی اقیانوسی می باشد.

۱۱- فتح آبادی (۱۳۹۳) به مطالعه گنبد‌های ساب ولکانیک منطقه مقیسه واقع در جنوب غرب سبزوار پرداخته است.

۱۲- گنبد‌های آداکیتی منطقه باشتین (غرب سبزوار) همچنین توسط جمشیدی و همکاران (۱۳۹۲)، (۱۳۹۴)، جمشیدی (۱۳۹۴)، Jamshidi et al., (2015) و Jamshidi et al., (2018) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این مطالعات سنگ‌های این منطقه با ترکیب سنگ‌شناسی ریولیت، داسیت، تراکی آندزیت و آندزیت با ماهیت کالک‌آلکان و آداکیتی پرسیلیس، به صورت گنبد‌های بزرگ و کوچک و دایک، با روند شمال غربی - جنوب شرقی، مجموعه افیولیتی کرتاسه - پالئوسن و سنگ‌های آتشفشانی رسوبی ائوسن و الیگومیوسن را قطع کرده و در ابتدای پلیوسن در سطح زمین برزوزند یافته است. این سنگ‌ها حاوی مقادیر نسبت‌های ایزوتوپی نخستین  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (۰/۷۰۳۸۳ تا ۰/۷۰۴۴۴) و  $\epsilon\text{Nd}(t)$  (۵/۳۰+ تا ۶/۱۸+) مشابه با ترکیب بازالت‌های پشته میان اقیانوسی (MORB) هستند. این ویژگی‌های ایزوتوپی همراه با دیگر شواهد ژئوشیمیایی به دست آمده از سنگ‌های نیمه عمیق پسا افیولیتی سبزوار با ترکیبات آداکیتی حاصل از ذوب ورقه‌های اقیانوسی فرورونده شده مطابقت دارد. بررسی این ویژگی‌ها، سنگ‌های مورد نظر به نظر می رسد



که در طی فرورانش سنگ کره اقیانوسی نئوتتیس حوضه سبزوار در ائوسن زیرین تا میانی در یک پهنه فرورانش حاشیه قاره با شیب رو به شمال به وجود آمده‌اند. سن جایگزینی این سنگ‌ها در پهنه افیولیتی سبزوار از طریق سن سنجی U-Pb با روش SHRIMP روی کانی زیرکن، سن ائوسن میانی (41-52 Ma) است.

۱۳- گردیده (۱۳۹۷) در غالب رساله دکتری و گردیده و همکاران (۱۳۹۷) پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز گنبد‌های آداکیتی نئوژن، (نوار ماگمایی قوچان - اسفراین)، شمال شرق ایران را مورد بررسی قرار داد. بر اساس مطالعات ایشان سنگ‌های مورد مطالعه دارای نسبت‌های ایزوتوپی آغازین  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (۰/۷۰۳۹۰ تا ۰/۷۰۵۶۲) و  $\text{Nd}(t)$  (۰/۸۶ تا +۴/۹۸) هستند که بیانگر خاستگاه آن‌ها از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی همراه با آلودگی مواد پوسته‌ای است. یافته‌های این محققان نشان داد که ماگمای والد این گنبد‌ها از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی فرورانده شده گارنت آمفیبولیتی / اکلوژیته اقیانوس نئوتتیس سبزوار به زیر سنگ کره قاره‌ای بینالود در مرحله پس از برخورد پدید آمده است. وجود بیگانه سنگ‌ها، عدم تعادل شیمیایی فنوکریست‌ها، بافت غربالی در پلاژیوکلازها و نسبت‌های ایزوتوپی Sr-Nd این سنگ‌ها، نشانگر عملکرد فرآیندهای تبلور تفریقی همراه با هضم و آرایش پوسته‌ای (AFC) در تشکیل و تکامل سنگ‌های آذرین این نوار است.

۱۴- گردیده و همکاران (۱۳۹۵) ژئوشیمی و تعیین ترکیب محل منشا گنبد‌های آداکیتی نئوژن (کمان ماگمایی قوچان - اسفراین)، شمال شرق سبزوار را بررسی کردند.

۱۵- طاهری (۱۳۹۷) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد و رضایی کهخانی و همکاران (۱۳۹۷) به مطالعه گنبد‌های داسیتی منطقه چکنه جنوب غرب قوچان پرداخته است و آن‌ها را از نوع گنبد‌های آداکیتی با سیلیس بالا معرفی کرده است.

## ۱-۵- اهداف و ضرورت انجام تحقیق

این تحقیق با حل قسمتی از مسایل زمین‌شناسی منطقه، می‌تواند در روشن شدن زمان و منشأ ماگماتیسم مرتبط با فرورانش اقیانوس تئیس جوان نقش به‌سزایی داشته باشد. انجام تحقیق بر روی این کالدرای برای تکمیل ساختار کل منطقه و درک زمین‌شناسی ایران ضروری است. لذا پس از مطالعات کتابخانه‌ای و به منظور آشنایی با سنگ‌شناسی منطقه تعداد ۷۰ نمونه دستی برای تهیه مقاطع میکروسکوپی و مطالعات پتروگرافی برداشت شد. سپس ۶۰ مقطع نازک برای بررسی‌های پتروگرافی تهیه شد و تعداد ۷ نمونه از آنها برای انجام آنالیزهای شیمی سنگ کل به کشور چین و ۵ نمونه برای بررسی‌های شیمی کانی (الکترون مایکروپروب) به کشور یونان فرستاده شد.

از مهمترین اهدافی که در این پایان نامه دنبال می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- بررسی روابط صحرائی بین واحدهای سنگی موجود در منطقه از لحاظ سنی و ساختاری.
- ۲- تعیین ترکیب کانی‌شناسی دقیق سنگ‌های مورد نظر با مطالعات دقیق پتروگرافی و مایکروپروب.
- ۳- بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و نادر سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه.
- ۴- بررسی ساز و کار تشکیل کالدرای قره‌چای و همچنین ارتباط آن‌ها با زون فرورانش سبزوار اظهار نظر نمود.

## ۱-۶- روش انجام تحقیق

در این مطالعه از روشها و ابزارهای متنوعی به شرح زیر برای دستیابی به مجموعه اهداف پیش رو استفاده شده است:

- جمع‌آوری و مطالعه کلیه اطلاعات و منابع موجود از قبیل گزارش‌ها، نقشه‌ها، پایان‌نامه‌ها و مقالات در

رابطه با منطقه مود مطالعه.

- بازدید صحرایی جهت نمونه برداری و تهیه نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس مناسب.
- تهیه بیش از ۶۰ مقطع نازک میکروسکوپی از نمونه سنگ‌های برداشت شده و مطالعات دقیق پتروگرافی و تعیین ویژگی‌های سنگ‌شناختی آنها.
- شناسایی ویژگی‌های بافتی و مجموعه‌های کانیایی واحدهای سنگی آذرین.
- انتخاب نمونه‌های مناسب با کمترین مقدار دگرسان شده و تهیه ۵ مقطع نازک صیقلی از آنها به منظور انجام آنالیز مایکروپروپ الکترونی.
- انجام آنالیز عناصر اصلی بر روی کانی‌های انتخاب شده (شامل آمفیبول و پلاژیوکلاز).
- انتخاب و آماده سازی ۷ نمونه سنگی سالم‌تر با کمترین مقدار دگرسانی به منظور انجام آنالیز ژئوشیمی سنگ کل در کشور چین.
- پردازش و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از داده‌های شیمی کانی توسط نرم افزارهای پترولوژیکی به همراه مطالعات صحرایی.

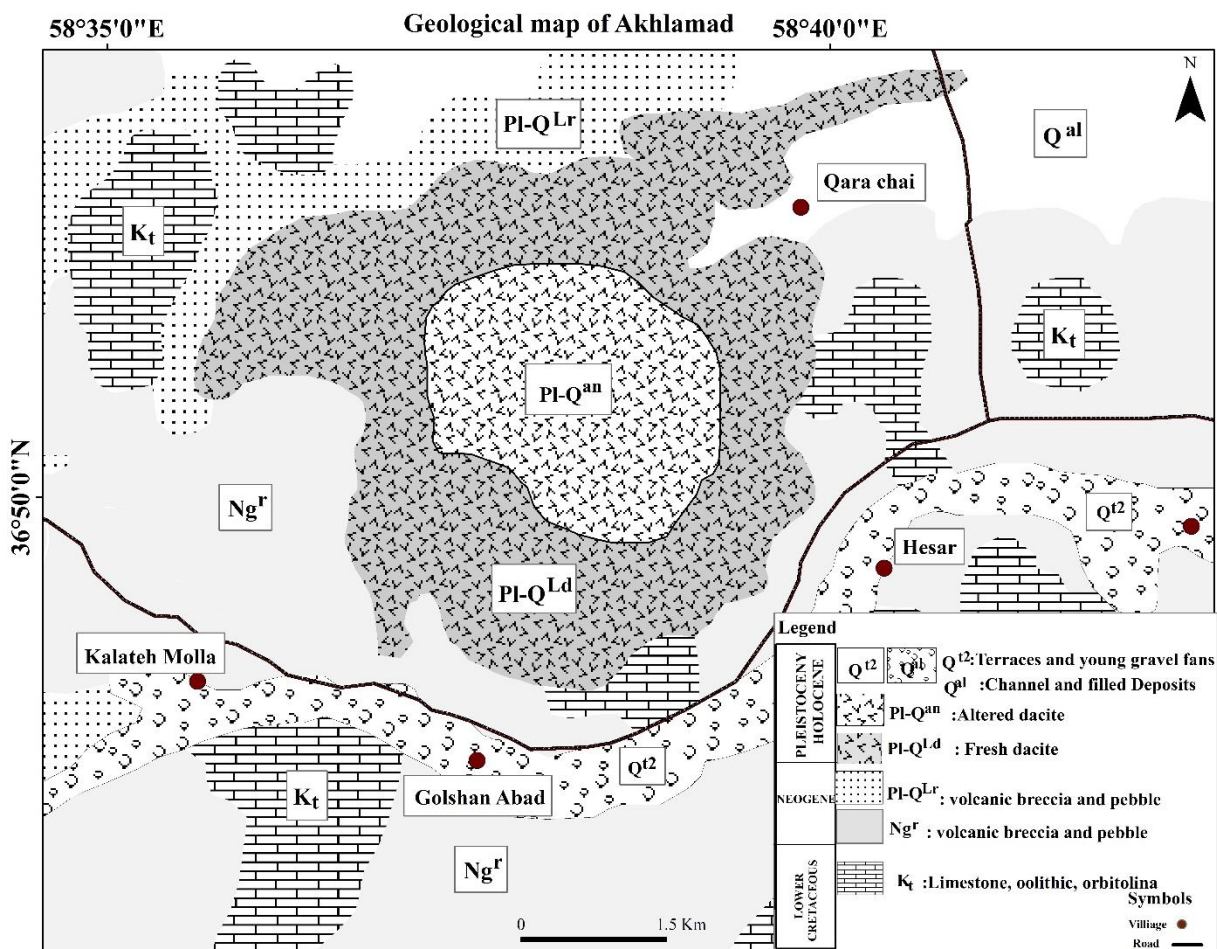


## فصل دوم

### زمین شناسی و مطالعات پتروگرافی

منطقه مورد مطالعه بخشی از نوار کوهزایی آلپ - هیمالیا می‌باشد. این نوار، نتیجه فرآیند کوهزایی آلپی است که از اوایل دوران دوم آغاز شده و حتی بخش‌هایی از آن تا کواترنری ادامه یافته است. نوار مورد نظر از کوه‌های آلپ در اروپای شرقی شروع و با عبور از کوه‌های هیمالیا در شمال شبه قاره هند به شرق آسیای دور می‌رسد (بربریان، ۱۳۶۲). شواهد ماگماتیسیم گسترده دوران سنوزوئیک در پهنه ایران زمین با زنجیره‌های آتشفشانی - نفوذی متعدد، می‌تواند حاکی از چندین زون فرورانش در این دوران باشد. به نظر می‌رسد که فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی نئوتتیس در خلال کرتاسه - پالئوسن عامل اصلی این فعالیت‌های ماگمایی بوده است.

ایران زمین به عنوان بخشی از نواحی مرکزی - غربی سامانه کوهزایی آلپ - هیمالیا به جهت تحمیل زمین ساخت خاص نواحی همگرایی صفحات (Ghasemi and Talbot (2006 جولانگاه فعالیت‌های ماگمایی (آتشفشانی و نفوذی) گسترده‌ای به ویژه در دوران سنوزوئیک بوده است. مجموعه افیولیتی سبزوار، واقع در شمال پهنه ایران مرکزی، به عنوان بقایایی از این حوضه‌های کششی پشت کمان (حوضه اقیانوسی سبزوار) قلمداد می‌شود که در اثر فرورانش پرشیب و رو به شمال این اقیانوس به زیر البرز شرقی (بینالود) و بسته شدن آن در کرتاسه بالایی - پالئوسن تشکیل شده است (Shojaat et al., 2003؛ Shafaii Moghadam et al., 2014؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ اخلمد (پورلطیفی، ۱۳۸۵) می‌باشد که در جنوب شرق قوچان، بین دو زون کپه داغ و البرز شرقی قرار دارد. در این فصل به طور کلی به مطالعات و برداشت‌های صحرایی، پتروگرافی و ارائه نتایج حاصل از این بررسی‌ها پرداخته خواهد شد. نقشه زمین‌شناسی ساده شده کالدرای قره‌چای به همراه تفکیک واحدهای مختلف زمین‌شناسی منطقه در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.

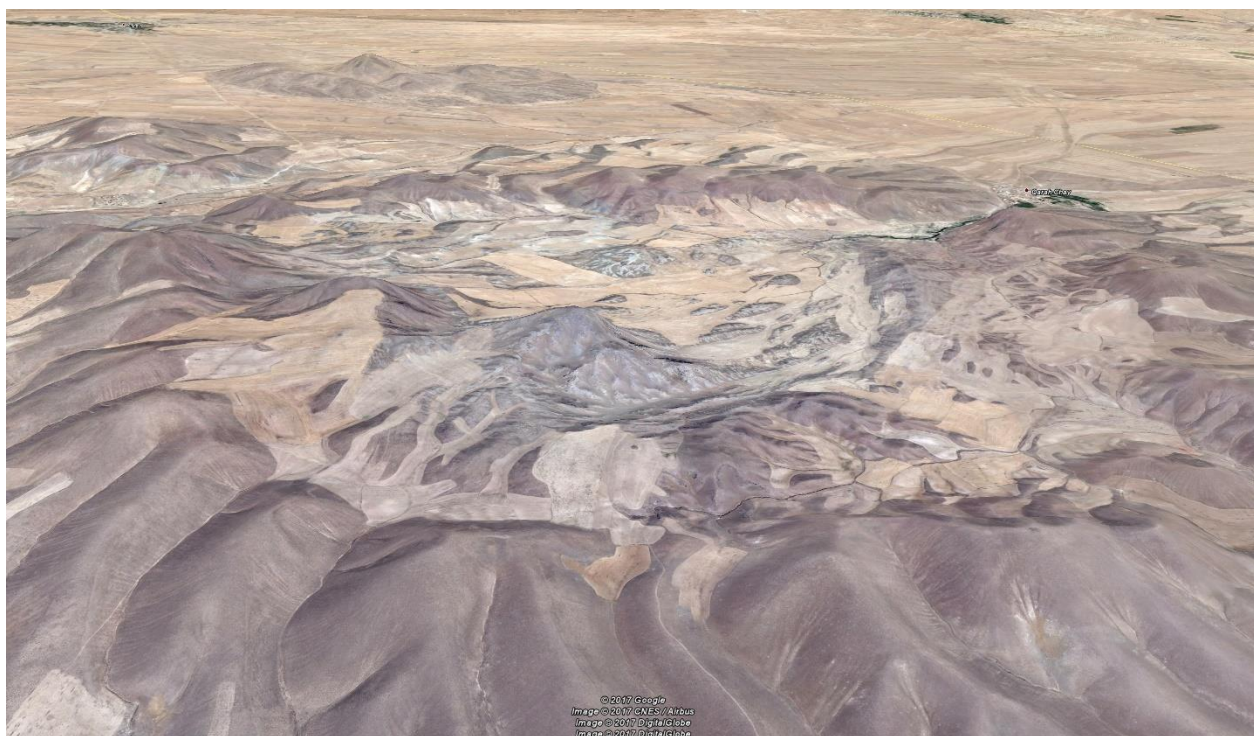


شکل ۲-۱: نقشه زمین‌شناسی کالدرای قره چای و مناطق اطراف آن. این نقشه بر اساس نمونه برداری‌های صورت گرفته در این پژوهش و نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ (پور لطیفی، ۱۳۸۵) تهیه شده است.

## ۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

بر اساس مطالعات صحرایی و پتروگرافی کالدرای قره چای از سنگ‌های پیروکلاستیک و حجم زیادی از سنگ‌های داسیتی تشکیل شده است. تعیین سن‌های U-Ph که توسط گردیده و همکاران، (۱۳۹۷) و رضایی کهخانی و همکاران (۱۳۹۷) بر روی زیرکن‌های جدا شده از گنبدها و سنگ‌های اطراف این کالدرای انجام داده‌اند، نشان می‌دهد که آن‌ها دارای سن حدوداً ۱۰ میلیون سال می‌باشند. شکل ۲-۲ تصویر

ماهواره‌ای کلی تهیه شده از کالدرای قره چای را نشان می‌دهد. از مهمترین سنگ‌های رسوبی - آواری منطقه، سنگ آهک سازند مزدوران را می‌توان نام برد که از گسترش بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. این سنگ‌های رسوبی بیشتر وابسته به مزوزوئیک هستند و شیبی حدود ۱۰ تا ۴۰ درجه دارند (دید به سمت شمال غرب).



شکل ۲-۲: عکس ماهواره‌ای سه بعدی تهیه شده از کالدرای قره چای دید به سمت شمال می‌باشد.

از مهمترین فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه می‌توان به کوهزایی پاسادین اشاره کرد که باعث چین خوردگی نهشته‌های نئوژن شده است. سازندهای قابل تشخیص در این ناحیه از قدیم به جدید عبارتند از: (۱) سازند کشف رود، (۲) سازند چمن بید، (۳) سازند مزدوران، (۴) سازند شورپچه، (۵) سازند تیرگان، (۶) سرچشمه و (۷) سنگانه (پور لطیفی، ۱۳۸۵).



## ۲-۲-۱- سازند کشف رود

قدیمی ترین سنگ‌های موجود در منطقه را، شیل و ماسه‌سنگ‌های زیتونی تا خاکستری تیره به همراه میان لایه‌های مارن ماسه‌ای سبز رنگ سازندهای کشف رود تشکیل می‌دهند. سازند کشف‌رود زیرین ترین بخش ژوراسیک میانی است که انتظار می‌رود این سازند با بخش زیرین سازند چمن بید به گونه‌ای همشیب دیده شوند. در آغاز دوره‌ی ژوراسیک در منطقه مورد مطالعه دریایی کم ژرف به وجود آمده که در آن نهشته‌های شیلی و ماسه‌سنگی و گاهی میان لایه‌های نازکی از سنگ آهک تشکیل شده است. سنگ‌های این زمان بیشتر نازک لایه‌اند و رنگی سبز، خاکستری تیره تا سیاه دارند و عدسی‌هایی از سنگ آهک در آنها دیده می‌شود. از ویژگی‌های مهم این سازند وجود آثار گیاهی و ذغال‌سنگ در میان لایه‌های این سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۲-۳).

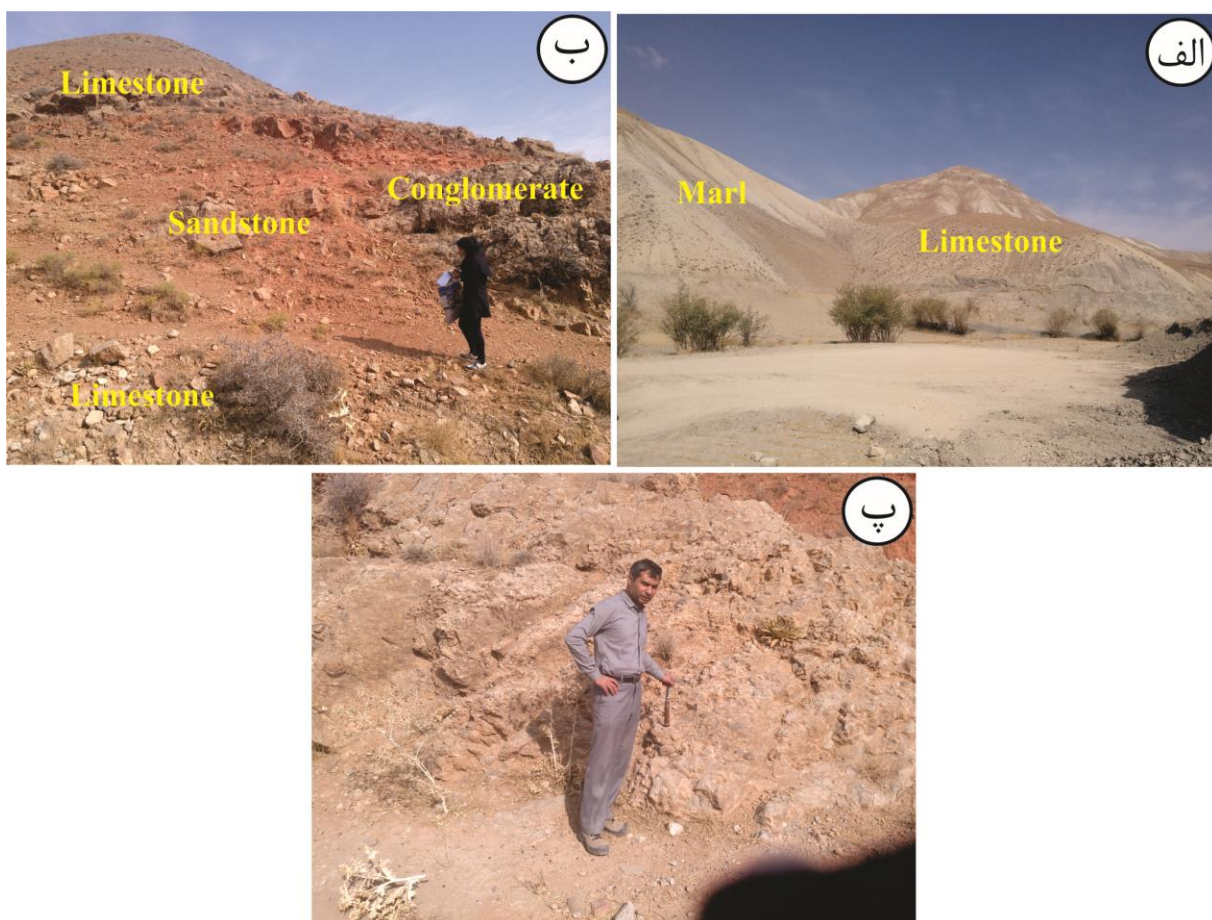


شکل ۲-۳: الف) سازند کشف‌رود متشکل از شیل ب) نمای نزدیکی از سازند کشف رود با میان لایه‌های ماسه سنگی (دید به سمت شمال غرب).

## ۲-۲-۲- سازند چمن بید

سازند چمن بید که شامل سنگ آهک‌های رسی و آهک‌های دانه ریز مارنی سیاه رنگ و مارن می‌باشد که به صورت هم‌شیب روی سازند کشف رود قرار گرفته و هم ارز بخش زیرین سازند مزدوران در نظر گرفته

می‌شود (پور لطیفی، ۱۳۸۵؛ شکل ۲-۴). در کوه قره گل سازند چمن بید بگونه‌ای همساز روی سازند کشف رود و در کوه چاه گنجی در زیر سازند مزدوران واقع شده است. در اینجا تناوبی از مارن، شیل، آهک مارنی و آهک ماسه‌ای خاکستری رنگ تشکیل شده و در افق‌های متعدد دارای آثار فسیل آمونیت می‌باشد. دیرینه این سازند در منابع مختلف از باتونین - کالوین تا باتونین - آکسفوردین متغیر است. از دیدگاه محیط رسوبی دریائی نیمه عمیق با رسوب‌گذاری به نسبت آرام برای ته نشینی رسوبات این سازند در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲-۴: الف) نمایی از مارن‌های سازند چمن بید. ب) سازند چمن بید متشکل از ماسه سنگ، سنگ آهک و کنگلومرا. پ) تصویری از کنگلومرای موجود در سازند چمن بید که قلوه‌های موجود در آن‌ها دارای گردشگی خوب و جورشدگی ضعیفی هستند (دید به سمت شمال غرب).

## ۲-۲-۳- سازند مزدوران

سازند مزدوران در حوضه کپه داغ از ستبرای بیشتری نسبت به دیگر سازندها برخوردار است. این سازند از سنگ‌های کربناته ضخیم لایه آهک و دولومیت صخره ساز پدید آمده است. این سنگ‌ها دارای میان لایه‌هایی از شیل‌های ماسه‌ای و مارنی با لایه بندی متقاطع هستند که حاوی بقایای گیاهی با شیل‌های ماسه‌ای و مارنی می‌باشند (شبستری، ۱۳۶۹). لایه‌های مارن و شیل بگونه میان لایه‌های فرعی در این سازند دیده می‌شوند دیرینه این سازند در بیشتر نقاط مربوط به اکسفوردین - کیمبریجین بر می‌گردد ولی محدوده زمانی بالایی و پایینی آن در نقط مختلف کوه‌های هزار مسجد تغییر می‌کند. در زمان رسوبگذاری سازند مزدوران، حوضه‌ای کم ژرف و وابسته به حاشیه فعال قاره‌ای، منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته و به مرور زمان ژرفای این حوضه افزایش یافته و سبب تشکیل سنگ‌های آهکی شده است (شکل ۲-۵). مرز زیرین سازند مزدوران در نقاط مختلف فرسایشی است ولی در بعضی از مناطق مرز این سازند با سازند سوریچه تدریجی است.





شکل ۲-۵: سازند مزدوران متشکل از سنگ‌های کربناته آهک و دولومیت ضخیم لایه (دید به سمت شمال غرب).

#### ۲-۲-۴- سازند شورپچه

در اواخر ژوراسیک و اوایل کرتاسه بر اثر حرکات خشکی زائی و پسروری دریا نهشته‌های قاره‌ای شامل ماسه سنگ‌های قرمز و سبز، کنگلومرای قرمز رنگ با قلوه‌های گردشده از کوارتز با طبقه بندی تدریجی بطور متناوب با لایه‌های انیدریتی و چندین لایه نازک آهکی و سنگ آهک ماسه‌ای این سازند را به وجود آورده‌اند، که بر روی سازند مزدوران بگونه‌ای هم شیب گسترش دارد. این سازند از ماسه سنگ متوسط تا درشت قرمز تا قهوه‌ای و خاکستری گلوکونیت‌دار، شیل خاکستری تا قرمز و لایه‌هی سنگ آهک ماسه‌ای الیتی و بیوکلاستی به وجود آمده است. همبری زیرین این سازند با آهک‌های ماسه‌ای سازند مزدوران بگونه تدریجی است و همبری زیرین این سازند با سازند تیرگان بگونه همشیب و تدریجی است (پور لطیفی، ۱۳۸۵).

## ۲-۲-۵- سازند تیرگان

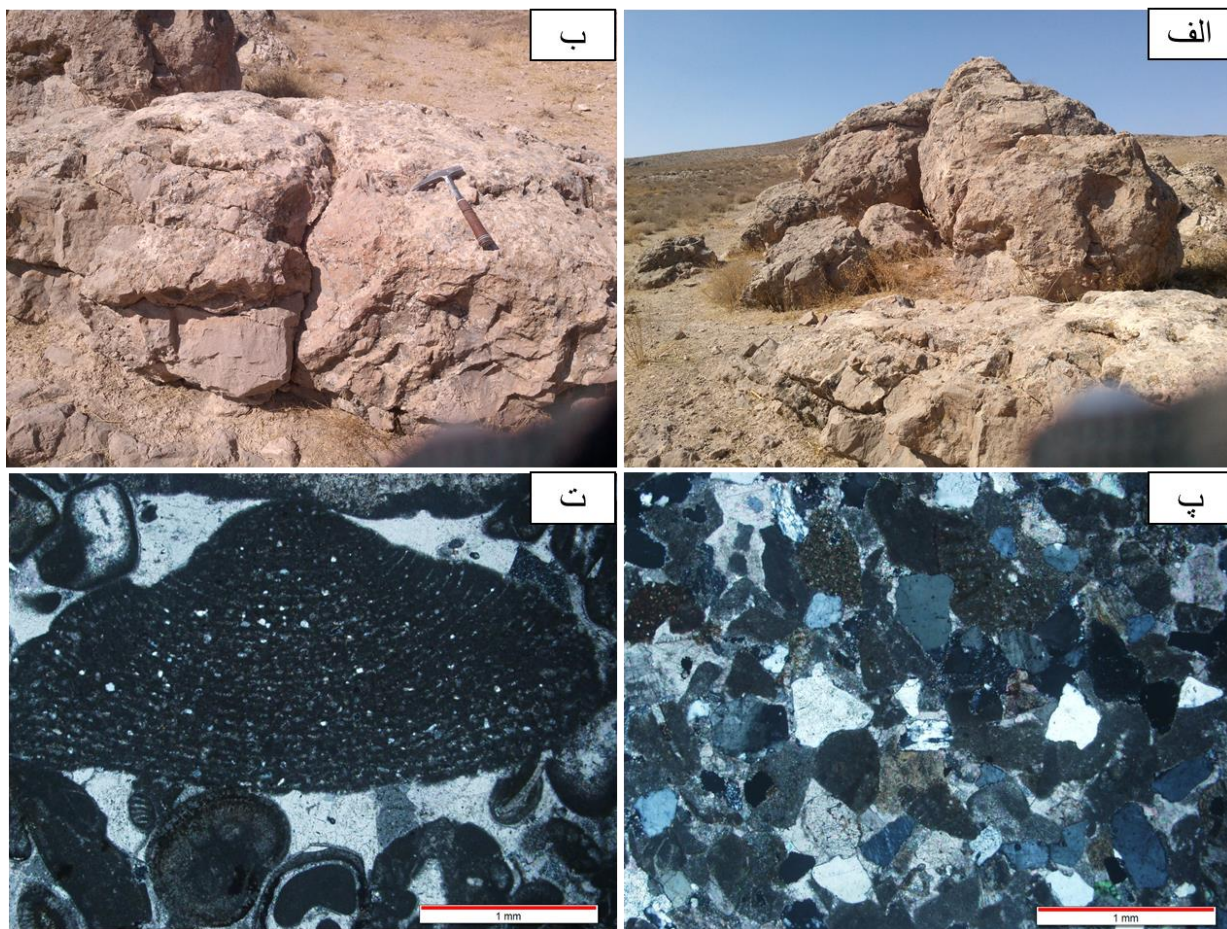
پس از وقفه‌ای در رسوبگذاری سازند شورپچه و در اثر پیشروی دریای کرتاسه، نهشته‌های آهک الیتی متخلخل و آهک‌های تخریبی سازند تیرگان با فسیل اربیتولین و دیرینه بارمین - آپسین رسوبگذاری نموده است (پور لطیفی، ۱۳۸۵؛ شکل ۲-۶). این سازند پس از سازند مزدوران از ستبرای ویژه‌ای برخوردار است. از دیدگاه ریخت‌شناسی رخساره‌های پایدار این سازند بیشتر در محور دره‌های ناودیزی و بر روی سازند شورپچه بگونه‌ای هم شیب قرار دارد. فرسایش در این سازند به تقریب همسان با سازند مزدوران است و پدیده انحلال در این آهک‌ها اشکال مختلف کارست را به وجود آورده است.

## ۲-۲-۶ سازند سرچشمه

در پایین‌ترین لایه‌های این سازند مارن‌های خاکستری و خاکستری مایل به آبی و در بخش‌های زیرین شیل و شیل آهکی ب‌رنگ خاکستری تیره و چندین لایه سنگ آهک نازک لایه اربیتولین‌دار با دیرینه آپسین تشکیل شده است. بدلیل پایین بودن ضریب نفوذ پذیری و پایداری اندک این سازند در برابر فرسایش، این سازند از رسوبزائی و ضریب هرز آب بالایی برخوردار است. گسترش این سازند در منطقه مورد مطالعه بسیار ناچیز است و همبری زیرین و زبرین آن با سازند تیرگان و سنگانه همشیب است. دیرینه لایه‌های این سازند آپسین تعیین شده است (پور لطیفی، ۱۳۸۵).

## ۲-۲-۷- سازند سنگانه

سازند سنگانه با شیل‌های تیره رنگ حاوی گرهک‌های آهن‌دار و میان لایه‌های سیلتی و ماسه سنگی گلوکونیتی دیرینه آپسین زیرین تا آلبین زیرین به شکل نوار کشیده و باریکی منطبق بر محور ناودیس، در شمال منطقه مورد مطالعه توسعه دارند. رنگ تیره این سازند بیانگر تمایز بارز از رخساره‌های سازند سرچشمه است و به صورت هم شیب بر روی سازند سرچشمه قرار دارد (پور لطیفی، ۱۳۸۵). از نظر ریخت‌شناسی سازند سنگانه نسبت به سازند سرچشمه از مورفولوژی پست‌تری برخوردار است و سازندی دره ساز می‌باشد.



شکل ۲-۶: نمای دوری از سازند تیرگان. (ب) سازند تیرگان که از سنگ آهک تشکیل شده است. (پ) نمای کلی از مقطع نازک تهیه شده از سنگ آهک. (ت) تصاویر میکروسکوپی از فسیل اربیتولین دار موجود در ماسه سنگ (دید به سمت شمال غرب).

## ۲-۲-۸- نهشته‌های نئوژن

با تشکیل حوضه‌های تبخیری در نئوژن بر روی سطح ناهمواری در منطقه مورد مطالعه، کنگلومرانی انباشته شده که داری قلوه‌هایی از سنگ‌های قدیمی است. این کنگلومرا با قلوه‌هایی از سنگ‌های مزوزوئیک همراه است که به گونه‌ای ناهمساز و یا گسله در مجاورت سنگ‌های کهن‌تر پدید آمده است. رنگ این کنگلومرا



قهوه‌ای متمایل به قرمز است. زیرترین لایه‌های این سازند برنگ پادگانه‌های آبرفتی وابسته به کوتاه‌تر است که با سیمانی سست و لایه بندی توده‌ای و ضخیم تشکیل شده است. در نزدیکی گنبد‌های آداکیتی منطقه چکنه تناوبی از شیل و ماسه سنگ‌های نئوژن به چشم می‌خورند که بر اثر کوهزایی پاسادنین دچار چین خوردگی شده اند (پورلطیفی، ۱۳۸۵).

#### ۹-۲-۲- نهشته‌های کوتاه‌تر

جوان‌ترین نهشته‌های موجود در منطقه مربوط به آبرفت‌های کم ارتفاع و پادگانه‌های آبرفتی هستند، که از کنگلومرا و نهشته‌های رودخانه‌ای سست پدید آمده است. ساخت‌های رسوبی همچون چینه‌بندی مورب و لایه‌بندی تدریجی در آنها دیده می‌شود. این پادگانه‌های آبرفتی بیشتر به شکل افقی و ناهمساز روی سازندهای کهن‌تر جای گرفته‌اند و از سختی کم، سیمان سست و جورشدگی ضعیف برخوردار هستند (شکل ۷-۲).



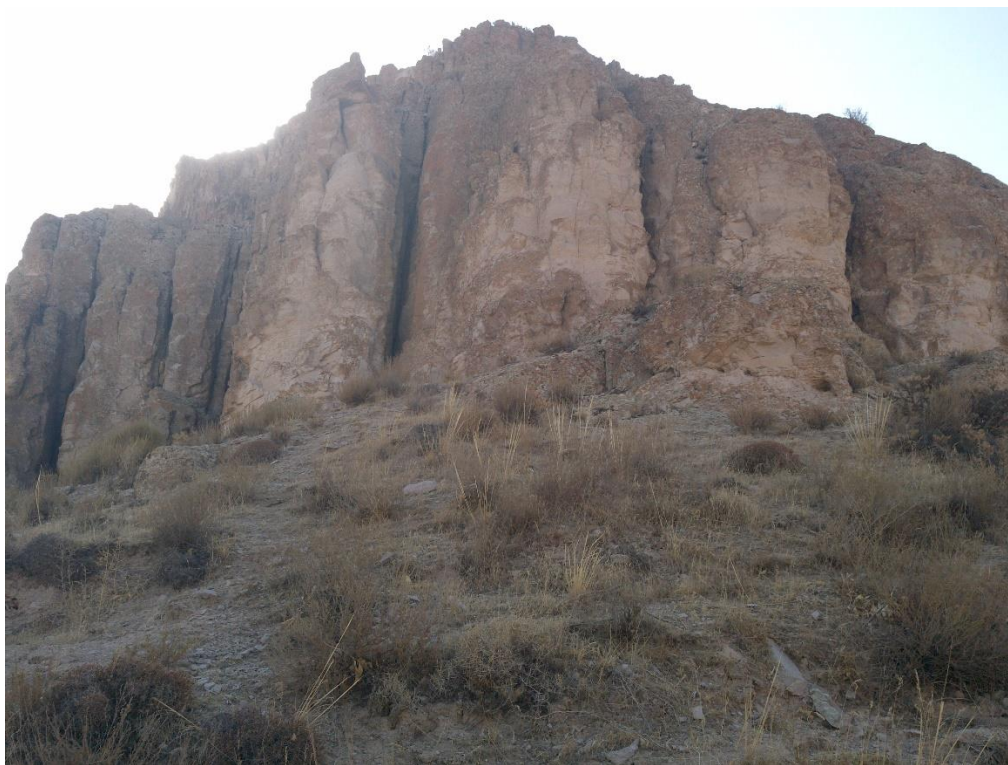
شکل ۷-۲: نهشته‌های کوتاه‌تری که به صورت پادگانه‌های آبرفتی در منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده هستند (دید به سمت شمال غرب).

## ۳-۲- زمین‌شناسی کالدرای قره چای

مطالعات صحرایی نشان داد که این کالدرا را می‌توان به دو بخش حاشیه و مرکز تقسیم نمود. بخش حاشیه کالدرا که دارای سنگ‌های سالم با رنگ خاکستری و ساخت منشوری بوده و از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و اکسی هورنبلندهای سالم تشکیل شده‌اند. از مهمترین سنگ‌های موجود در منطقه می‌توان روانه‌های داسیتی را نام برد که دارای شیب به سمت خارج است. این سنگ‌ها سالم و به رنگ خاکستری قابل مشاهده می‌باشند. (شکل ۲-۸ الف). سنگ‌های داسیتی حاشیه کالدرای قره چای که دارای شیب زیاد (گاهاً تا ۹۰ درجه) هستند (شکل ۲-۸ ب).







شکل ۲-۸: الف) روانه‌های داسیتی که دارای شیب ۴۰ درجه می‌باشند. ب) سنگ‌های داسیتی با شیب ۹۰ درجه.

سنگ‌های مرکزی کالدرا که بخش اعظم آن را به خود اختصاص داده‌اند، به رنگ سفید دیده می‌شوند و تماماً دگرسان شده‌اند. بطوریکه فقط قالبی از اکسی هورنبلند باقی مانده است. لذا به نظر می‌رسد که احتمالاً بخارها و سیالات گرم ناشی از مخزن ماگمایی کم عمق این آتشفشان سبب تجزیه سنگ‌های مرکز کالدرا شده است. از مهمترین سنگ‌های مرکز کالدرا می‌توان برش‌های جوش خورده و روانه‌های ایگنمبریتی را نام برد (شکل ۲-۹ الف و ب).

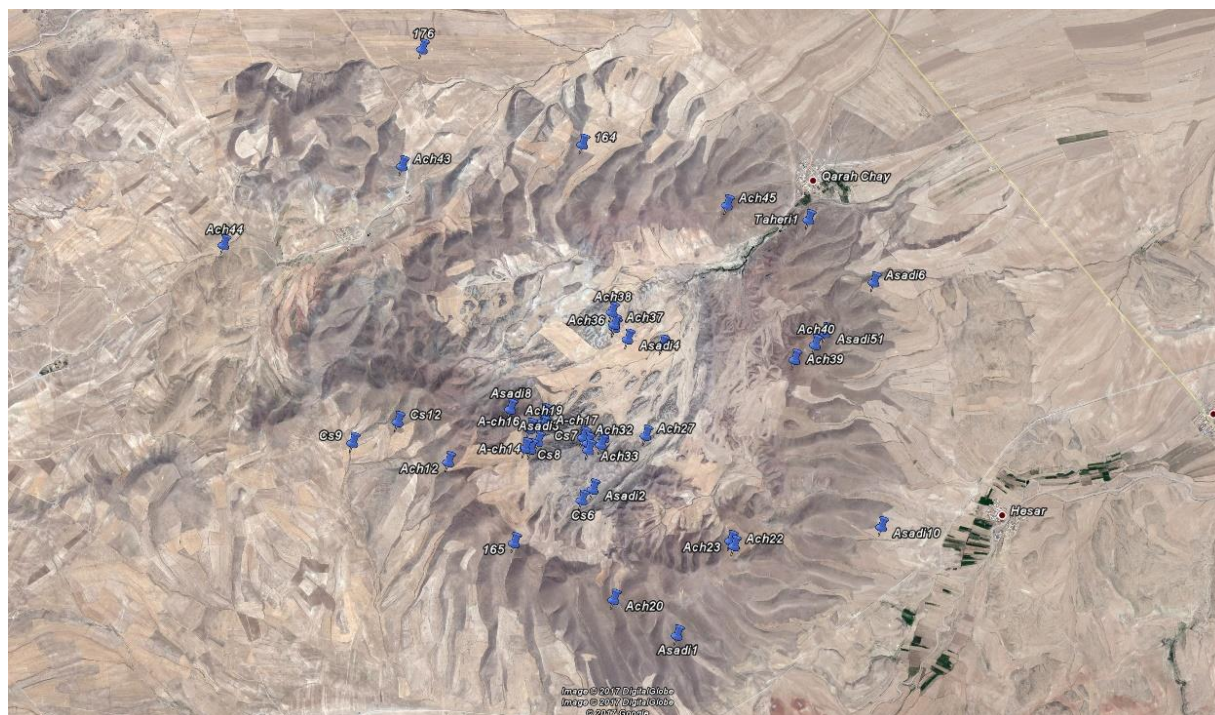


شکل ۲-۹: الف) تصویری از برش‌های جوش خورده موجود در مرکز کالدرا. ب) نمایی از روانه‌های ایگنمبریت‌های داسیتی.



## ۲-۴- پتروگرافی سنگ‌های داسیتی

پتروگرافی یا سنگ‌نگاری بخشی از علم سنگ‌شناسی است که به بررسی میزان مدال کانی‌های تشکیل دهنده سنگ و نام گذاری سنگ‌های مورد مطالعه می‌پردازد و به کمک آن ترکیب کانی‌شناسی، روابط بافتی، نام سنگ و شواهد میکروسکوپی تحولات ماگمایی سنگ‌ها مشخص می‌شود. در طی مطالعات صحرایی حدود ۷۰ نمونه دستی از سنگ‌های کالدرا قره چای تهیه شد (شکل ۲-۱۰). عمده سنگ‌های تشکیل دهنده این کالدرا دارای ترکیب داسیتی هستند و از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و اکسی هورنبلند تشکیل شده‌اند که در زمینه‌ای میکروولیتی تا شیشه‌ای واقع هستند.



شکل ۲-۱۰: تصوی ماهواره از محل برداشت‌های صحرایی جهت تهیه مقاطع نازک.

مطالعات صحرایی و پتروگرافی نشان داد که این کالدرا را می‌توان به دو بخش حاشیه و مرکز تقسیم نمود.

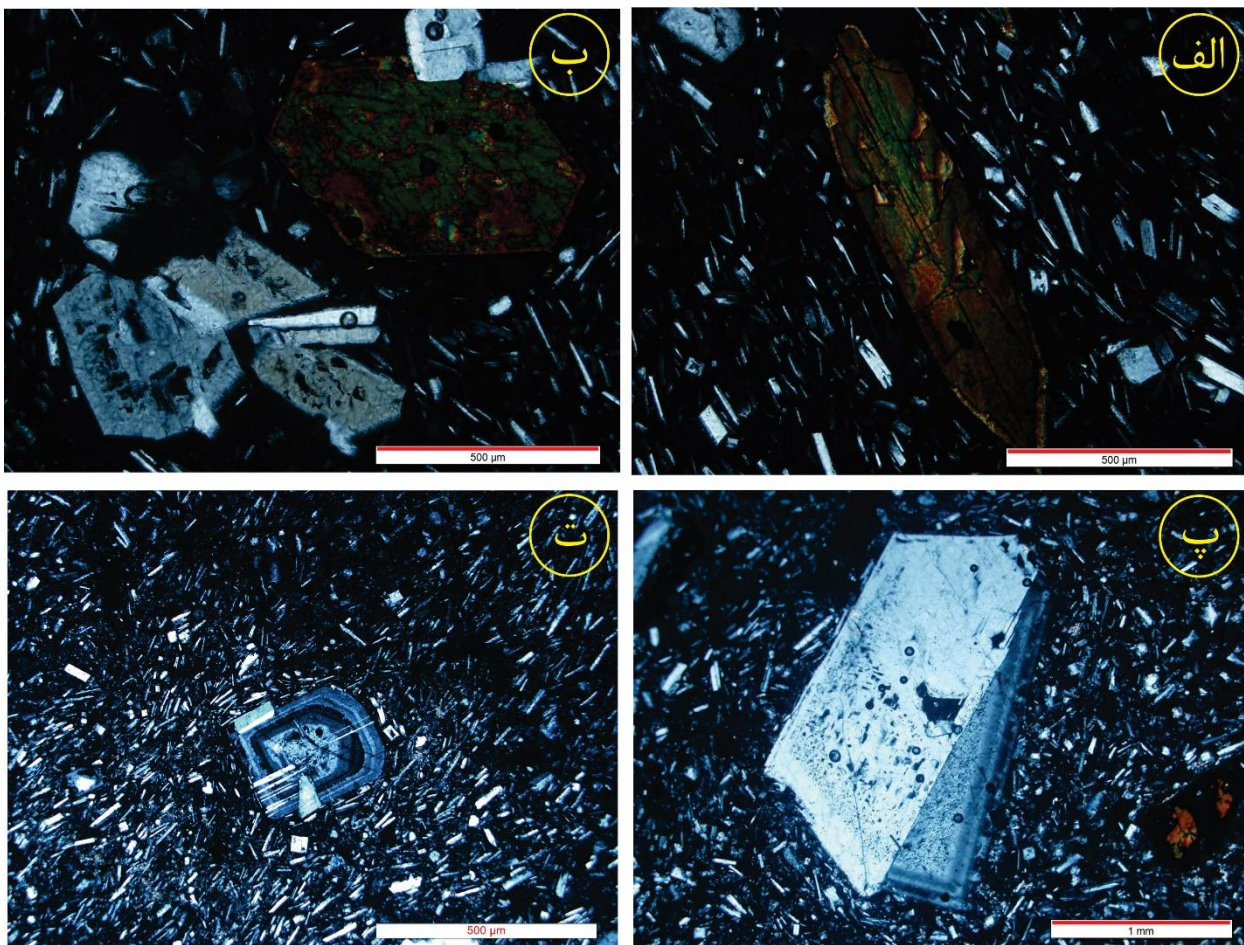
بخش حاشیه کالدرا که دارای سنگ‌های سالم با رنگ خاکستری و ساخت منشوری بوده و از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و اکسی هورنبلندهای سالم تشکیل شده‌اند. این در حالی است که سنگ‌های مرکزی کالدرا که بخش اعظم آن را به خود اختصاص داده‌اند، به رنگ سفید دیده می‌شوند و تماماً دگرسان شده‌اند (شکل ۲-۱۱)؛ بطوریکه فقط قالبی از اکسی هورنبلند باقی مانده است. لذا به نظر می‌رسد که احتمالاً بخارها و سیالات گرم ناشی از مخزن ماگمایی کم عمق این آتشفشان سبب تجزیه سنگ‌های مرکز کالدرا شده است. یکی از ویژگی‌های بارزی که در تمام سنگ‌های کالدرای قره چای مشاهده می‌شود، وجود شواهد بافتی عدم تعادلی مانند بافت غربالی، گردشگی و منطقه‌بندی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز است (Shelley, 1993)؛ شکل ۲-۱۲ پ).



شکل ۲-۱۱: تصویری از کالدرای قره چای و سنگ‌های داسیتی تشکیل دهنده آن. همانطور که مشاهده می‌شود، اغلب سنگ‌های مرکزی آن کاملاً دگرسان شده و به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شوند و قسمت حاشیه‌ی آن به رنگ خاکستری قابل مشاهده می‌باشند.



آمفیبول به صورت دوکی و منشوری شکل با حاشیه سوخته در این سنگ‌ها قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۱۲-۲ الف و ب). اندازه این آمفیبول‌ها از ریز بلور تا فنوکریست‌های درشت متغیر است. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز که به رنگ خاکستری تا سفید در سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای می‌باشد ماکل پلی سنتتیک و منطقه بندی ترکیبی نشان می‌دهند (شکل ۱۲-۲ پ و ت).



شکل ۱۲-۲: الف و ب) فنوکریست آمفیبول که به صورت دوکی و منشوری شکل و دارای حاشیه سوخته می‌باشد. پ و ت) کانی پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک و منطقه بندی ترکیبی در سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای.

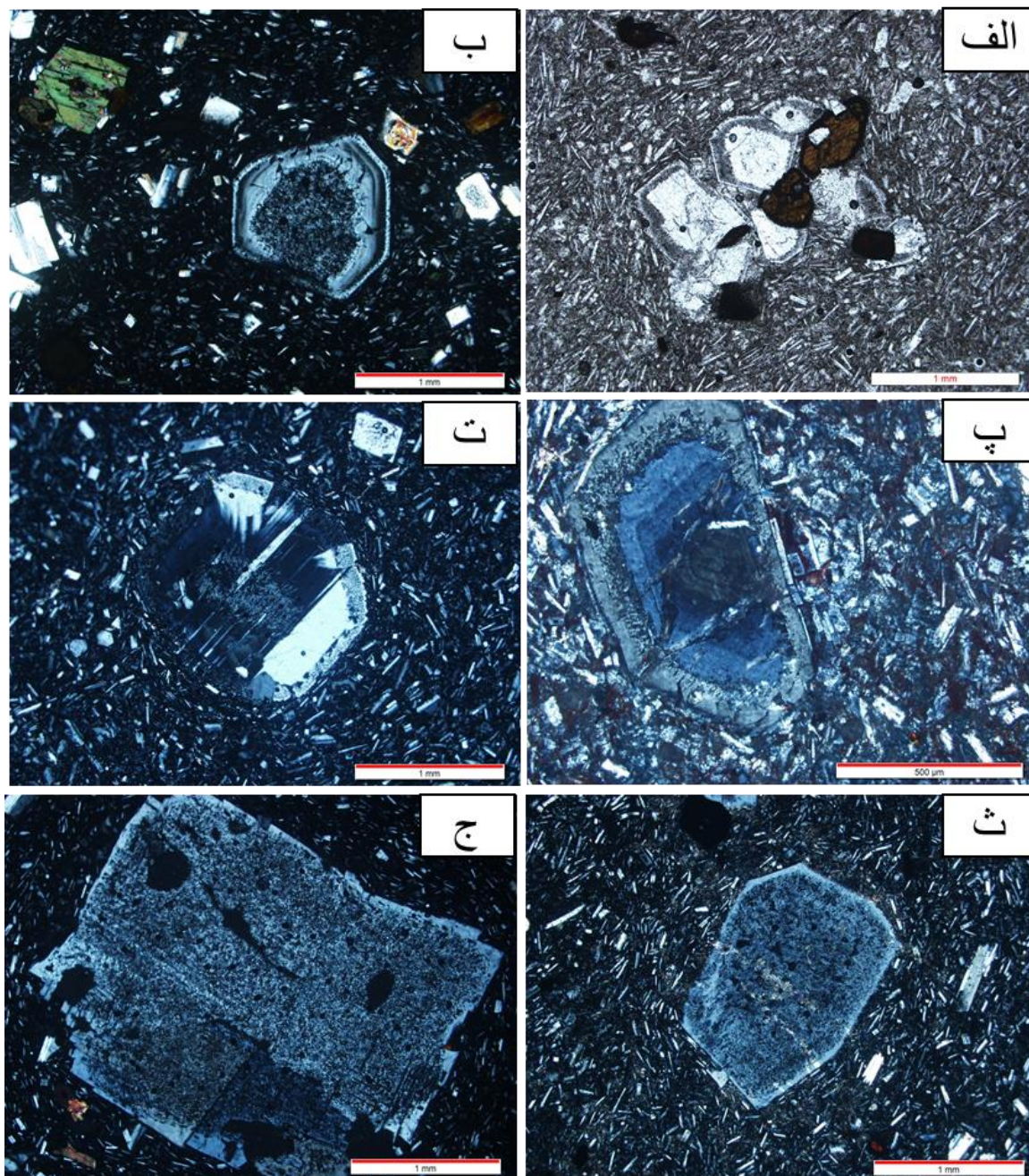
بافت‌های اصلی مشاهده شده در سنگ‌های آذرین منطقه شامل غربالی، پورفیری، گلوپورفیری، میکرولیتی، میکرولیتیک پورفیری، تراکیتی یا جریان‌ی می‌باشند. با توجه به اهمیت پترولوژیکی این بافت‌ها و نقش آن‌ها در روشن ساختن مراحل تشکیل و تکوین این سنگ‌ها، در ادامه به توضیح نحوه تشکیل آن‌ها می‌پردازیم.

در شکل ۲-۱۳ یکی از مهمترین بافت‌های مشاهده شده در پلاژیوکلازها که بافت غربالی است، دیده می‌شود. این بافت به نحوه‌های مختلف در پلاژیوکلازها به چشم می‌خورد. در تعدادی از این پلاژیوکلازها این بافت در مرکز آنها و به صورت درشت دیده می‌شود، این در حالی است که در تعدادی دیگر در حاشیه و به صورت ریز قابل مشاهده است. گاهی نیز این بافت هم در حاشیه و هم در مرکز بلور دیده می‌شود. بافت غربالی موجود در این پلاژیوکلازها می‌تواند ناشی از تغییر شرایط فیزیوشیمیایی حاکم بر ماگمای در حال تبلور باشد که معمولاً به دلیل کاهش فشار ناشی از صعود و گاززدایی ماگما، بروز فرایند همرفت در آشیانه ماگمایی، اختلاط، آلیش و یا ورود ماگمای داغ جدید رخ می‌دهد (شکل ۲-۱۳، Stewart and Pearce, 2004). وجود تنوعی از بافت‌های غربالی ریز و درشت در پلاژیوکلازهای کالدرای قره چای نشان می‌دهد که دو مخزن ماگمایی در زیر این آتشفشان وجود داشته است. پلاژیوکلازهای بافت غربالی درشت در مرکز و غربالی ریز در حاشیه که گاهی نیز اندازه بزرگتری دارند، در مخزن ماگمایی عمیق استقرار یافته در مرز پوسته و گوشته یا در طی صعود ماگما از مخزن عمیق به کم عمق نطفه‌زایی و رشد کرده‌اند. لذا به نظر می‌رسد که این بافت به خاطر کاهش فشار ایجاد شده باشد. بافت غربالی ریز در حاشیه این پلاژیوکلازها نیز بر اثر افزایش دما و در اثر تزریق پالس (های) ماگمایی بعدی به داخل این مخزن ماگمایی کم عمق و یا در طی صعود و فوران ماگما به سطح زمین تشکیل شده است (Renjith., 2014).

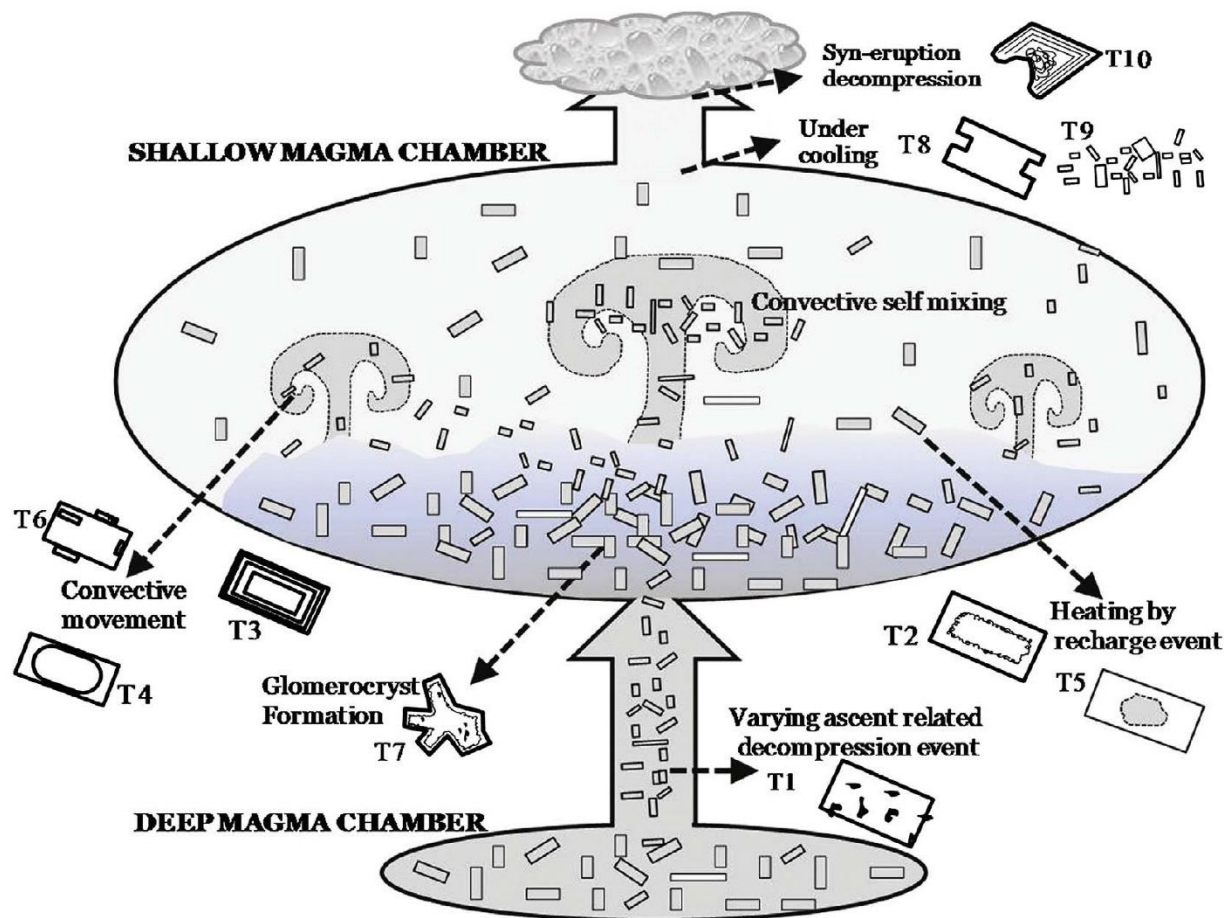
همانطور که در شکل ۲-۱۴ که از (Renjith., 2014) اقتباس شده است، مشاهده می‌کنید نحوه تشکیل برخی از بافت‌های سنگ‌های داسیتی از جمله بافت غربالی درشت (T1)، بافت غربالی ریز (T2)، منطقه بندی



نوسانی ریز (T3) و بافت میکروولیتی (T9) کالدرای قره چای در مخزن ماگمایی که در اعماق مختلف و طی پالس‌های مختلف ماگمایی به وجود آمده‌اند.



شکل ۲-۱۳: الف) بافت غربالی موجود در حاشیه پلاژیوکلاز. ب) بافت غربالی درشت در مرکز پلاژیوکلاز. پ) تشکیل بافت غربالی بین مرکز و حاشیه پلاژیوکلاز. ت) وجود بافت غربالی هم در مرکز و هم در حاشیه پلاژیوکلاز که می‌تواند در نتیجه تغییر فشار، دما، اختلاط ماگمایی باشد. ث و ج) کانی پلاژیوکلاز که تماماً غربالی شده است.



شکل ۲-۱۴: تصویر شماتیکی از نحوه احتمالی تشکیل بافت‌های مختلف موجود در سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای. این شکل از Renjith., 2014 اقتباس شده است.

منطقه‌بندی ترکیبی در پلاژیوکلاز را می‌توان به تغییرات بزرگ مقیاس در پارامترهای دما، فشار، میزان آب و ترکیب مذاب نسبت داد که احتمالاً با ورود مذاب جدید به آشیانه ماگمایی همراه است (شکل ۲-۱۵ الف؛ Foley et al., 2013).

تعدادی از هورنبلندهای موجود در سنگ‌های مورد مطالعه دارای حاشیه‌ی سوخته هستند (شکل ۲-۱۵ ب). حاشیه‌های واکنشی در کانی‌های هورنبلند بسیار رایج هستند، به طوری که سبب احاطه شدن یا جایگزینی فنوکریست‌های هورنبلند با بلورهای ریزی از اکسیدهای آهن می‌شوند. عموماً حاشیه‌های سوخته



مورفولوژی شکل‌دار بلور را حفظ می‌کند و به طور یکنواخت در اطراف بلور دیده می‌شوند. این حاشیه‌های سوخته در نتیجه‌ی کاهش فشار در طی بالا آمدن ماگما یا در پی جایگیری در مخزن ماگمایی کم عمق قبل از فوران تشکیل می‌شوند (Buckly et al., 2006). ضخامت حاشیه به مدت زمان و مقدار افزایش دما و همچنین به نرخ کاهش فشار وابسته است. هورنبلندهایی با حاشیه‌ی سوخته نازک تصور می‌شود که در طی بالا آمدن از مخزن ماگمایی کم عمیق در محدوده پایداری هورنبلند تشکیل شدند، در حالی که هورنبلندهایی با حاشیه سوخته ضخیم در طی بالا آمدن آرامتر به وجود آمده‌اند. Buckly و همکاران (۲۰۰۶) ثابت کردند که ضخامت حاشیه به فرایندهای جریان در مجرای فوران بستگی دارد به طوری که هورنبلندهایی با حاشیه سوخته ضخیم در طی بالا آمدن آهسته ماگما و یا در نزدیکی دیواره مجرا و یا شاید حتی در طی صعود ناگهانی پالس‌های مختلف ماگما باهم و اختلاط ماگما تشکیل می‌شوند (Buckly et al., 2006). وجود حاشیه سوخته در هورنبلندها را به افزایش فوگاسیته اکسیژن و فشار بخار آب در خلال صعود ماگما نسبت می‌دهد (Best, 2003). به اعتقاد (Deer et al., 1986)، ضمن صعود ماگمای داغ، هورنبلند در مجاورت با محیط اکسیدان به هورنبلند بازالتی یا اکسی هورنبلند تبدیل می‌شود، که احتمالاً این مکانیسم سبب تشکیل اکسی هورنبلندهای کالدرای قره چای شده است.

در سنگ‌های مورد مطالعه بافت گلومروپرفیری نیز مشاهده می‌شود (شکل ۲-۱۵ پ). تجمع بلورها و تشکیل گلومرول می‌تواند ناشی از نطفه‌بندی ناهمگن این بلورها باشد (Kirkpatrick, 1977). نیروی انبساطی و تنش برشی باعث قطعه قطعه شدن و برشی شدن بلورهای انباشتی در ماگما و تولید تجمع‌ها و لخته‌های گلومروپرفیری می‌شود که با صعود مذاب به طرف بالا آورده می‌شوند. در نهایت صعود و انجماد سریع مذاب‌های باقیمانده باعث انجماد زمینه و در برگرفتن تجمع‌های فنوکریستی و ایجاد بافت گلومروپرفیری می‌شود (Barker, 1998).

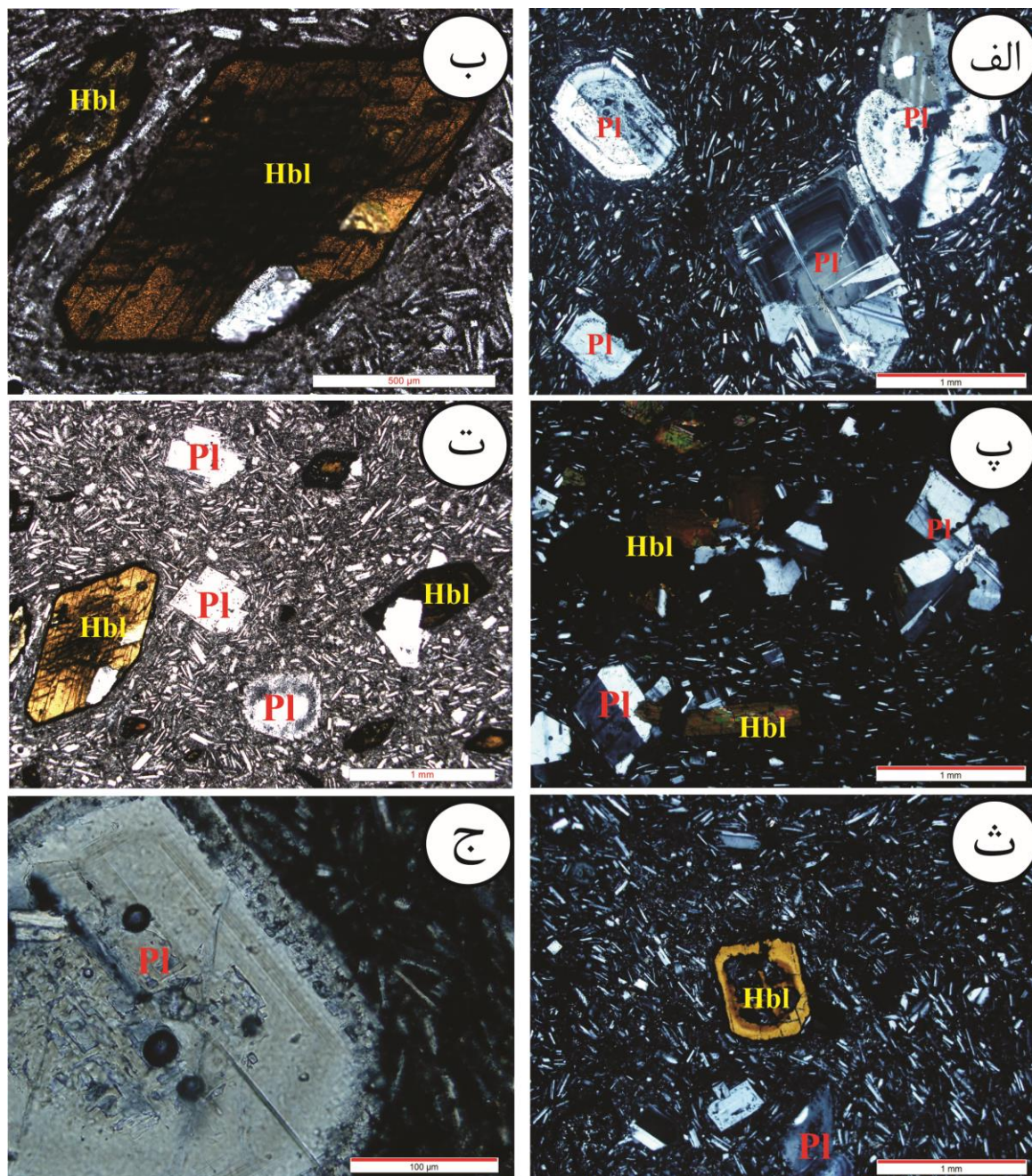
بافت پورفیری بخاطر وجود بلورهای درشت اولیه در زمینه‌ای ریز یا شیشه‌ای می‌باشند (شکل ۲-۱۵ ت).

منشأ این بافت ممکن است به دو صورت باشد. اول آنکه ماگما ابتدا در اعماق شروع به تبلور کرده و تشکیل بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول را داده است. سپس قبل از تبلور کامل از طریق شکستگی‌ها به طرف بالا صعود کرده و از دهانه آتشفشان به بیرون ریخته شده است. در این صورت ماگمای باقی مانده به سرعت سرد شده و زمینه‌ای از بلورهای ریز و شیشه‌ای را به وجود آورده باشد (Mackenzie et al., 1987).

بافت تراکیتی یا جریان‌ی موجود در نمونه‌های مورد مطالعه در نتیجه جهت یافتگی کانی‌های پلاژیوکلاز می‌باشد، که می‌تواند منعکس کننده‌ی جریان یافتن ماگما در خلال تبلور باشد و در همه‌ی مقاطع نازک تهیه شده به خوبی دیده می‌شود (شکل ۲-۱۵ ت؛ Mackenzie et al., 1987).

بافت میکرولیتی از تجمع میکرولیت‌ها در کنارهم تشکیل می‌شود. این بافت در سنگ‌های مورد مطالعه بر اثر میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و گاهاً سانیدین تشکیل شده است. فلدسپارهای دانه ریز به صورت تخته‌ای (میکرولیت) در متن سنگ و فضای بین دانه درشت را پر می‌کند و طول آنها از عرضشان بیشتر است. وجود فنوکریست‌های اکسی هورنبلند و پلاژیوکلازهای درشت در این زمینه میکرولیتی، بافت میکرولیتی پورفیری را در سنگ‌های مورد مطالعه بوجود آورده است (شکل ۲-۱۵ ث؛ Mackenzie et al., 1987).

منطقه بندی نوسانی ریز یکی از بافت‌های مهم است که اکثراً در پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود. این بافت اغلب در بلورهای متوسط و بندرت در حاشیه پلاژیوکلازهای بزرگ یافت می‌شود. تعداد این منطقه بندی‌ها از ۵ تا ۱۵ عدد بوده و ضخامتی کمتر از ۴ میکرومتر را در پلاژیوکلازها به وجود آورند. این زون‌ها در اثر جریان همرفت ماگما در مخزن ماگمایی و یا در اثر تزریق پالس‌های جدید به داخل مخزن بوجود می‌آیند (شکل ۲-۱۵ ج).



شکل ۲-۱۵: الف) منطقه بندی ترکیبی در فنوکریست پلاژیوکلاز در سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای. ب) اکسی هورنبلند با حاشیه اوپاسیتی (سوخته شده). پ). وجود بافت گلومروپورفیری ناشی از تجمع بلورهای پلاژیوکلاز و اکسی هورنبلند در سنگ‌های مورد مطالعه. ت) بافت پورفیری و جریان‌ی در سنگ‌های داسیتی واجد اکسی هورنبلند و پلاژیوکلاز. ب) بافت میکرولیتی و میکرولیتی پورفیری مشاهده شده در سنگ‌های داسیتی منطقه مورد مطالعه. پ) منطقه بندی نوسانی ریز که در حاشیه پلاژیوکلاز درشت. ت) تصویری از بلور پلاژیوکلاز شکسته شده.



فصل سوم

شیمی کانی و مطالعات دما- فشار سنجی

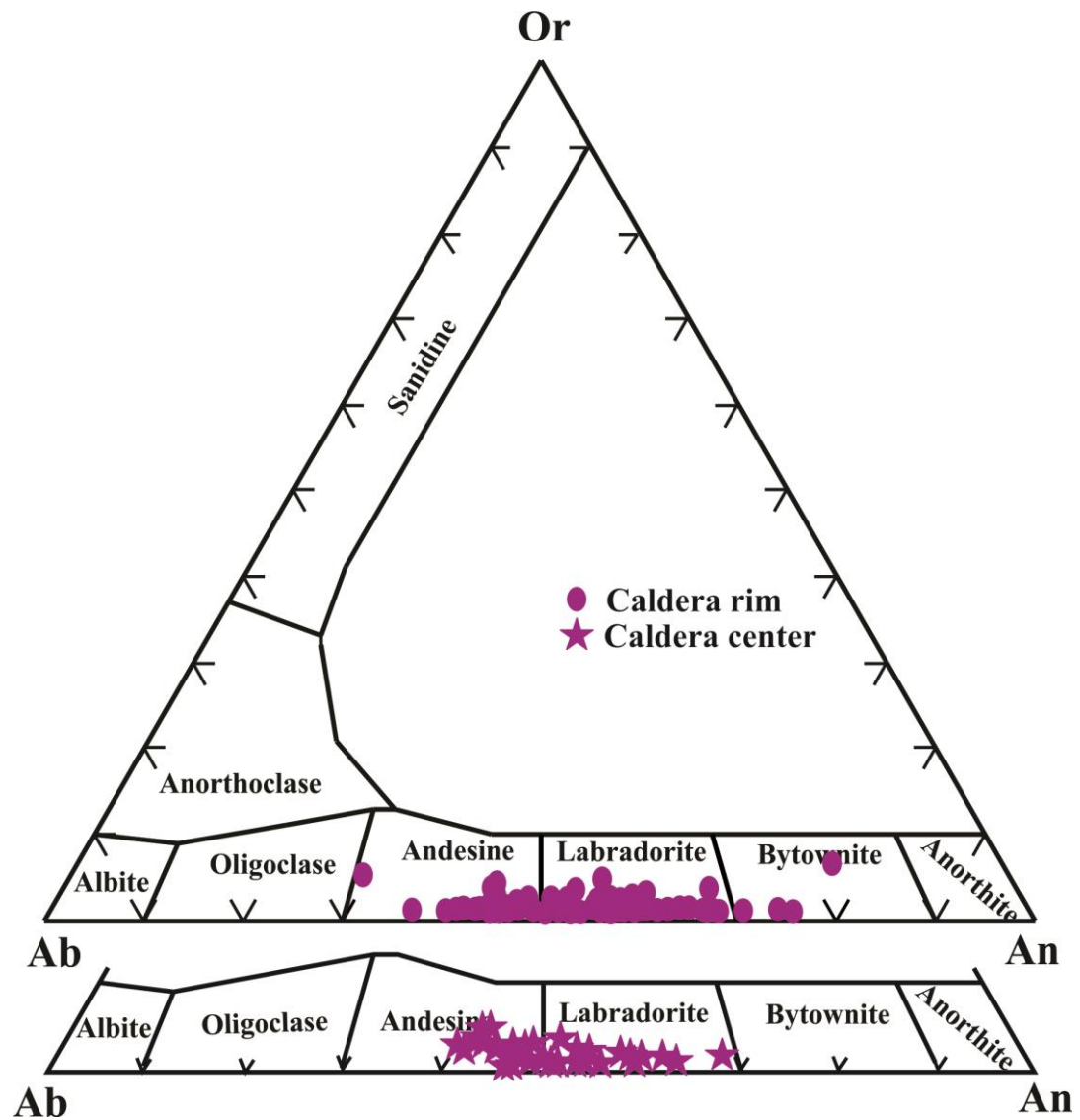
هدف این فصل بررسی شیمی کانی‌ها به منظور تعیین شرایط دما - فشار در زمان تشکیل داسیت‌های کالدرای قره چای (جنوب شرق قوچان) می‌باشد. یکی از روش‌های دقیق و مؤثر در مطالعات پترولوژیکی، استفاده از آنالیزهای الکترون میکروپروب کانی‌ها است که تحت عنوان میکرو آنالیزور پروب الکترونی (EPMA) شناخته می‌شود. پس از بررسی‌های دقیق صحرایی، ۶۰ نمونه سنگی از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه برداشته شد و مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه و مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفت، سپس ۵ نمونه با کمترین میزان دگرسانی انتخاب و پس از تهیه مقطع نازک صیقلی به روش (Energy Dispersive) EDS spectrometer) بررسی و مطالعه شده‌اند. تعداد ۲۲۳ نقطه از کانی‌ها توسط دستگاه میکروپروب (JEOL JSM-840A) در دانشگاه Aristotel University of Thessaloniki مورد آنالیز قرار گرفتند. در سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، تنها دو فنوکریست سیلیکاتی آمفیبول و فلدسپار وجود دارد. به همین منظور جهت تعیین شرایط تبلور و تحولات مخزن ماگمایی از روش دما - فشارسنجی آمفیبول (Ridolfi and Renzulli, 2012) استفاده شده است و همچنین از نتایج دما و فشار بدست آمده برای تعیین عمق تقریبی جایگیری ماگما در آشیانه ماگمایی استفاده گردیده است.

### ۳-۲- شیمی کانی

همان‌طور که در مطالعات پتروگرافی عنوان شد آمفیبول و فلدسپار جزء کانی‌های اصلی داسیت‌های کالدرای قره چای می‌باشند، و کانی سانیدین به مقدار خیلی کم به صورت میکرولیتی در این سنگ‌ها قرار دارد. بطور کلی به منظور انجام مطالعات میکروپروب ۲۲۳ نقطه، مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته است (جدول ۳-۱). که ۸۴ نقطه مربوط به آمفیبول و ۱۳۹ نقطه مربوط به کانی پلاژیوکلاز می‌باشند.

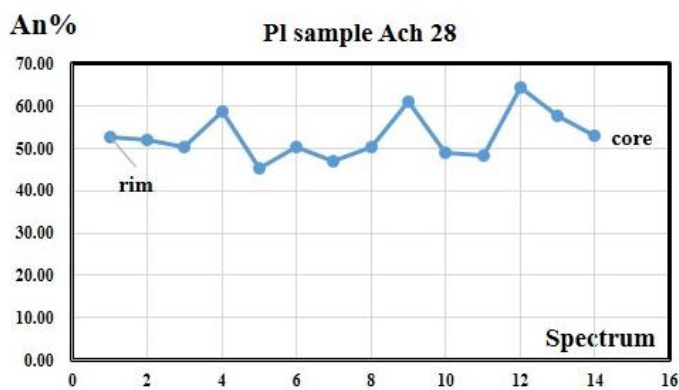
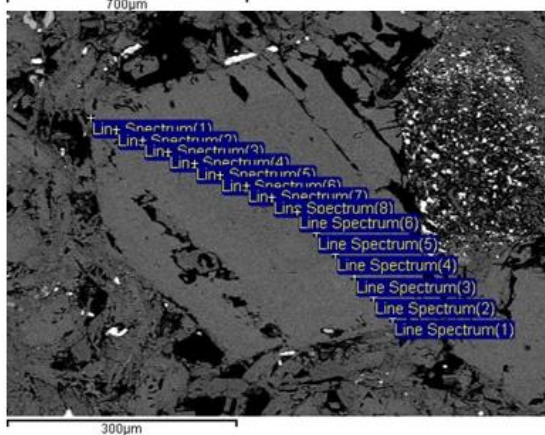
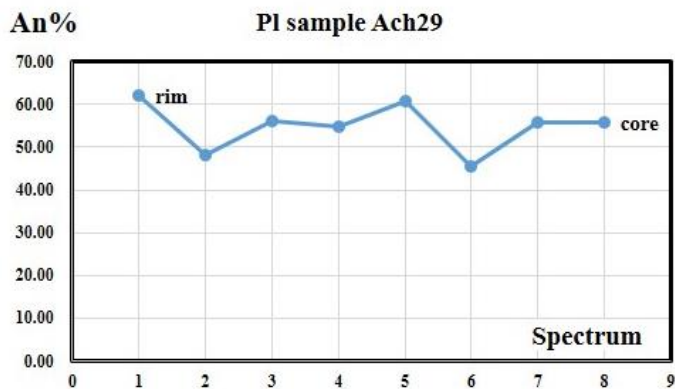
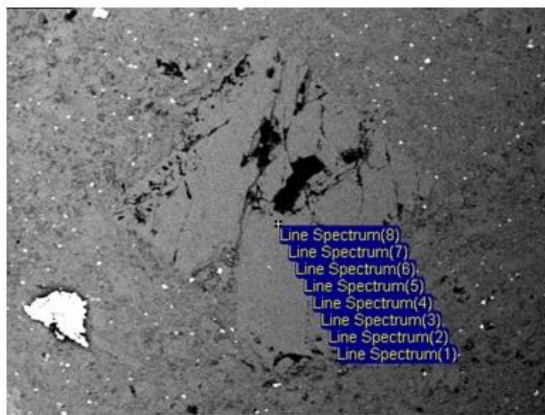
### ۳-۲-۱- شیمی پلاژیوکلاز

پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی تشکیل دهنده‌ی داسیت‌های آداکیتی منطقه مورد مطالعه است که به صورت فنوکریست و میکروولیت با فراوانی زیاد در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه یافت می‌شود. ترکیب پلاژیوکلازها نه تنها به ترکیب و دمای ماگما بستگی دارد بلکه به گازهای ماگمایی هم وابسته بوده و تغییر در ترکیب پلاژیوکلازها تابعی از هر سه مورد می‌باشد (هاتوری و ساتو، ۱۹۹۱). نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای و کاتیون‌های آن‌ها پس از محاسبه بر اساس فرمول ساختاری  $23$  اکسیژن در جدول ۳-۱ ذکر شده است. بر اساس نمودار مثلثی Ab-Or-An معرفی شده توسط Deer et al., (1996) ترکیب پلاژیوکلازهای انتخابی آنالیز شده از مرکز کالدرا ( $An_{45-65}$ ) در محدوده آندزین و لابرادوریت قرار می‌گیرند، این در حالی است که پلاژیوکلازهای موجود در حاشیه کالدرا از نوع الیگوکلاز، آندزین، لابرادوریت و بیتونیت می‌باشند ( $An_{23-77}$ ؛ شکل ۳-۱). پلاژیوکلازهای مرکز کالدرا دارای اندازه کوچکتر از ۷۰۰ میکرون هستند و منطقه بندی نوسانی نشان می‌دهند و مرکز آنها نسبت به حاشیه دارای مقدار آنورتیت کمتری می‌باشد. نوسان‌های کم با دامنه کم موجود در این کانی‌ها احتمالاً بر اثر جریان کنوکسیون داخل مخزن ماگمایی اتفاق افتاده است. در حالی که افزایش ناگهانی در مقدار آنورتیت بین هسته و حاشیه بر اثر تزریق پالس ماگمایی جدید به وجود آمده است (Renjith., 2014؛ ۳-۲؛ شکل ۳).



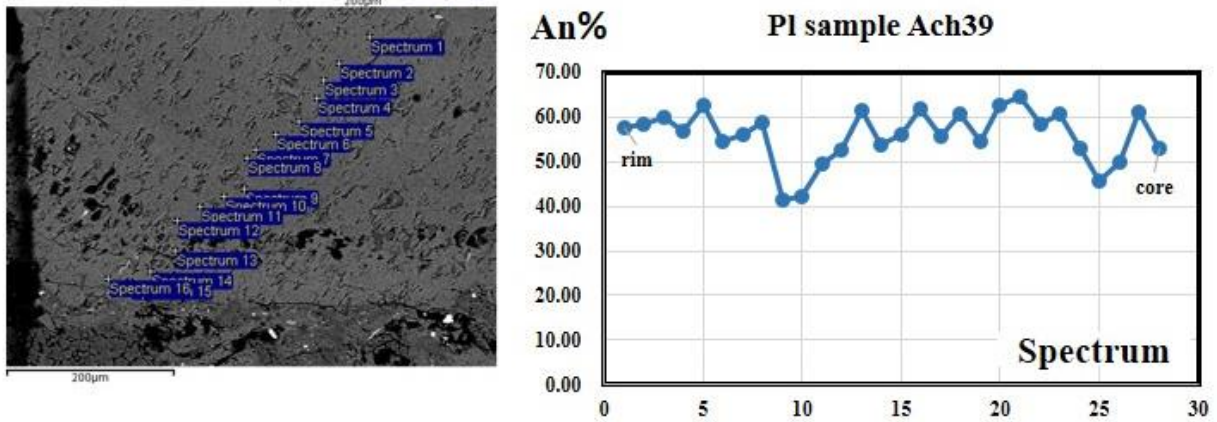
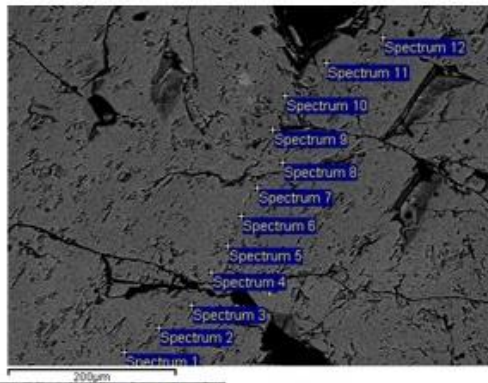
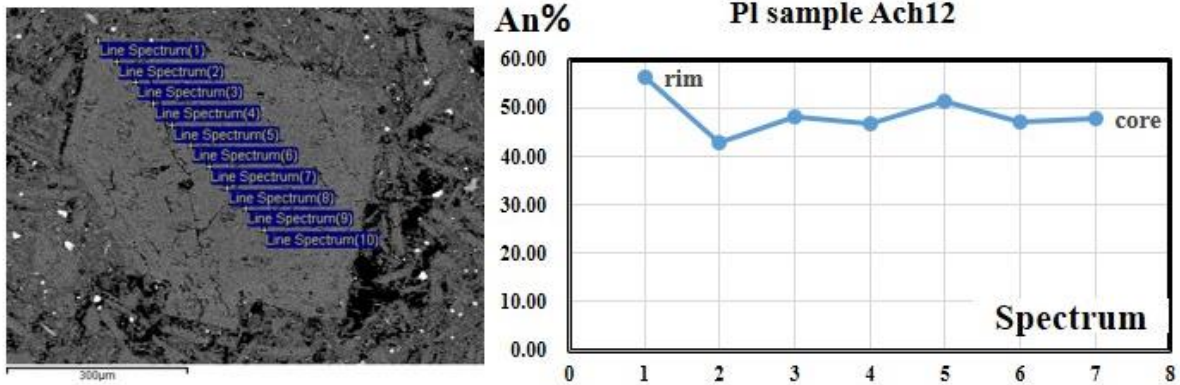
شکل ۳-۱: ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای انتخابی در نمودار مثلی ترکیب فلدسپارها (Deer et al., 1996). در این نمودار کانی‌های پلاژیوکلاز موجود در حاشیه و مرکز کالدرای از هم تفکیک شده است.





شکل ۳-۲: تصویر BSE از پلاژیوکلاز با منطقه بندی نوسانی. نمودار تغییرات ترکیبی An% پلاژیوکلاز دارای منطقه بندی نوسانی.

پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های حاشیه کالدر که اساساً سالم‌تر هستند و از طرف دیگر نیز همانطور که قبلاً در تصاویر پتروگرافی‌ها اشاره شد پلاژیوکلازها دارای زون‌های ریز و درشت هستند که بیانگر تشکیل این زون‌ها بر اثر جریان‌های کنوکسیون (همرفت) در مخزن ماگمایی می‌باشد. زون‌های درشت موجود در این پلاژیوکلازها و بافت غربالی درشت سبب نوسان ناگهانی و زیادی در مقدار آنورتیت نشان می‌دهند، که بر اثر تزریق پالس ماگمایی جدید به وجود آمده‌اند (شکل ۳-۳).



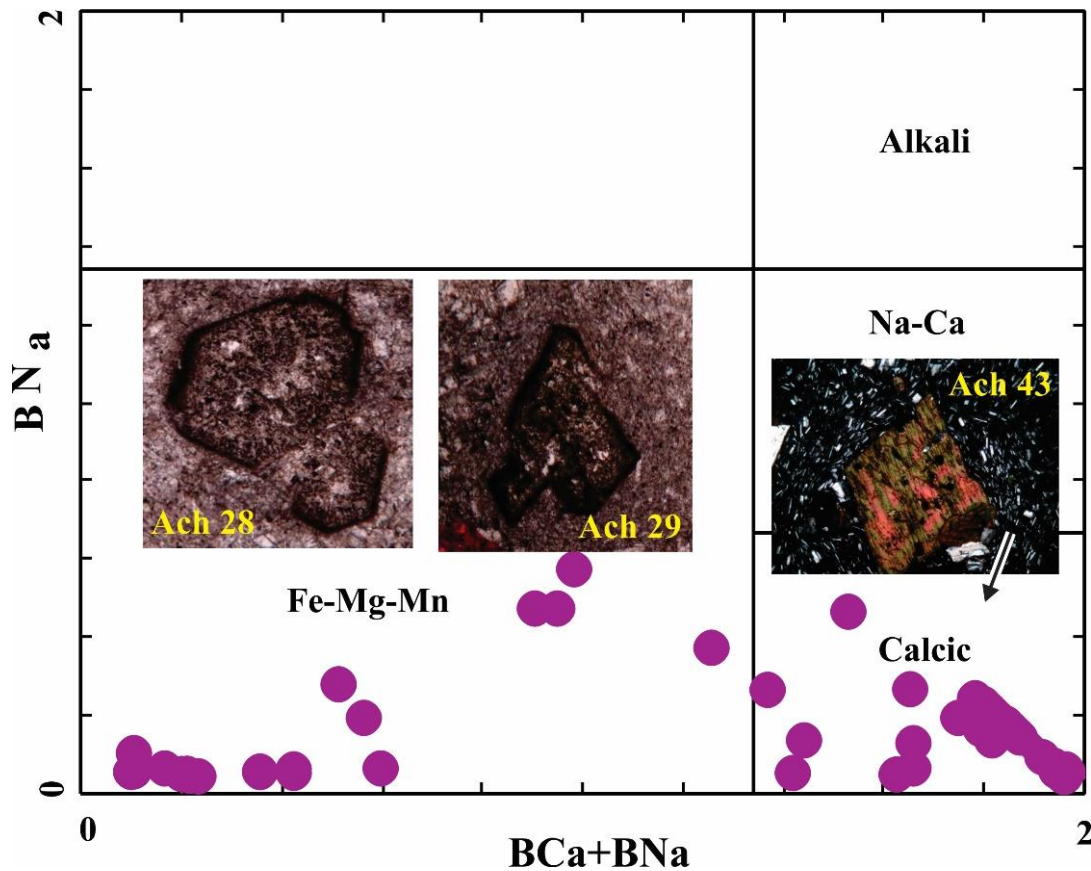
شکل ۳-۳: تصویر BSE از پلاژیوکلازهای حاشیه کالدرا با منطقه بندی نوسانی. ب) نمودار تغییرات ترکیبی An% پلاژیوکلاز دارای منطقه بندی نوسانی ریز و درشت و بافت غربالی درشت.

پلاژیوکلازهای موجود در حاشیه کالدرا سرنوشت طولانی‌تری را سپری کرده‌اند. مقدار درصد آنورتیت آنها بین ۲۳ تا ۷۶ درصد متغیر است و اساساً دو نوسان ناگهانی و تعدادی نوسان کوچکتر نشان می‌دهند. با توجه به اینکه این پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی درشت در مرکز و بافت غربالی ریز در حاشیه هستند و

دو نوسان ناگهانی در مقدار آنورتیت نشان می‌دهند، لذا بنظر می‌رسد که مرکز این پلاژیوکلازها در عمق بیشتری تشکیل شده سپس در طی صعود بافت غربالی ریز در آنها ایجاد شده است و این نوسان بندی که مربوط به نقاطی از پلاژیوکلاز است که دارای بافت غربالی ریز هستند طی جریان کنوکسیون و یا تزریق پالس ماگمایی جدید به مخزن ماگمایی کم عمق در کالدرای قره چای است (Renjith., 2014).

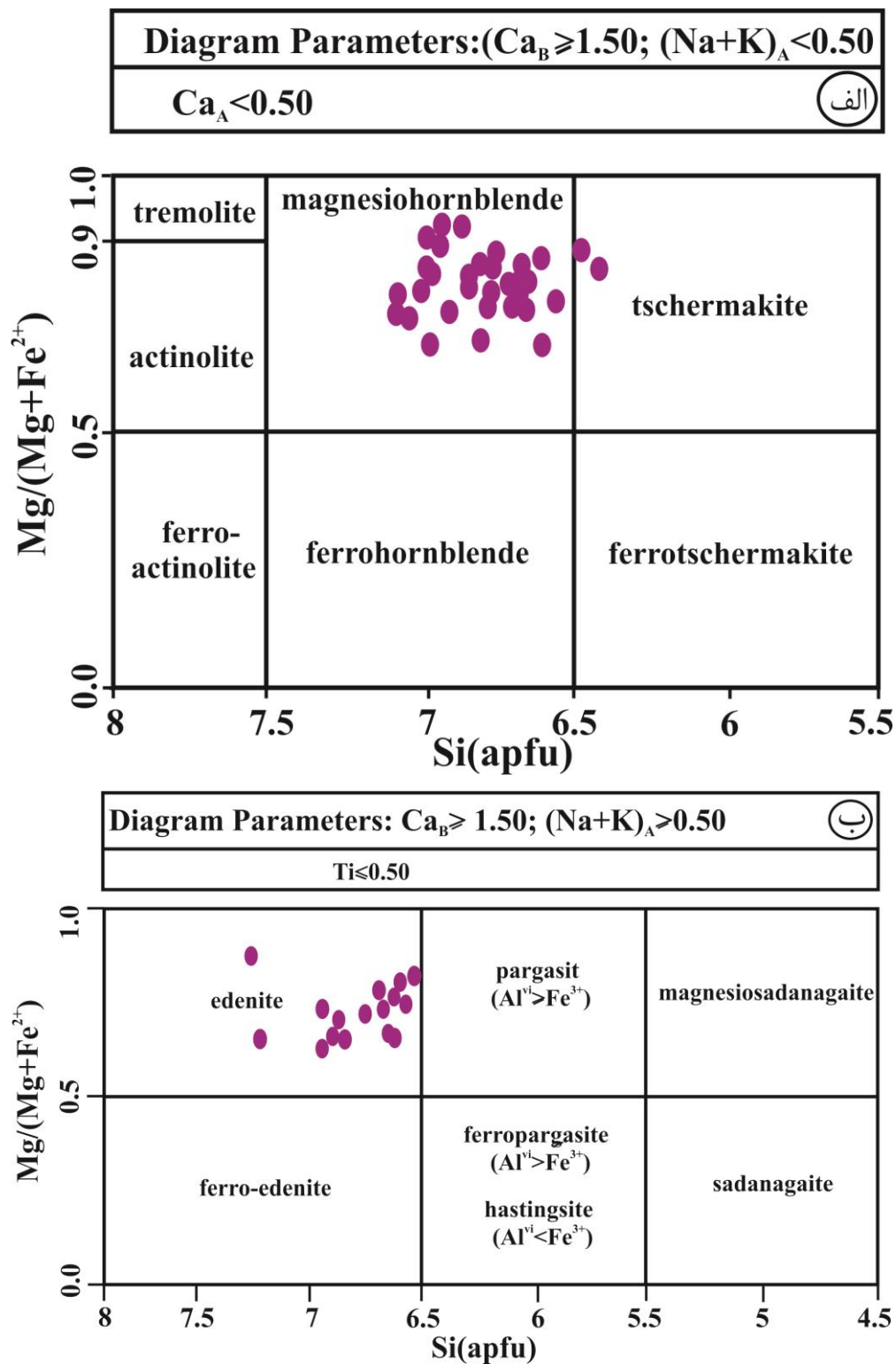
### ۳-۲-۲- شیمی آمفیبول

آمفیبول یکی از کانی‌های با ارزش در جهت مطالعات پترولوژی می‌باشد. این کانی یکی از سازندگان اصلی سنگ‌های آذرین به خصوص سنگ‌های درونی و بیرونی است که در دامنه‌ی گسترده‌ای از دما و فشار ظاهر می‌شود. بنابراین از این کانی برای تعیین شرایط تبلور و دما - فشار سنجی سنگ‌های کالدرای قره چای استفاده شده است. در سنگ‌های داسیتی منطقه مورد مطالعه آمفیبول به صورت درشت بلورهای خود شکل با منطقه بندی ترکیبی قابل مشاهده می‌باشد. برای به دست آوردن ترکیب اصلی آمفیبول‌ها و به منظور انجام آنالیز میکروپروپ تعداد ۱۱ آمفیبول کمتر دگرسان شده انتخاب شد، که نتایج حاصل از تجزیه در جدول ۳-۲ آورده شده است. فرمول کلی آمفیبول با ساختار  $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH, F, Cl)_2$  که در آن  $C = Mg, Fe^{2+}, Mn, Al, Fe^{3+}, Ti$  ؛  $B = Na, Zn, Li, Ca, Mn, Mg, Fe^{2+}$ ؛  $T = Si, Ti, Al$  ؛  $A = Na, K, Zn, Cr$  شناخته می‌شود. بر اساس مطالعات (Leake et al., 1997) آمفیبول‌های مورد مطالعه در گروه آمفیبول‌های کلسیک قرار می‌گیرند. آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های مرکز کالدرای تماماً اوپاسیته (سوخته) شده و فقط غالی از آنها باقی مانده است. این امر سبب گردیده، آنالیزهای به دست آمده از این آمفیبول‌ها و حاشیه سوخته آمفیبول‌های حاشیه کالدرای در محدوده آمفیبول‌های Fe-Mg-Mn واقع می‌شوند. (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: موقعیت آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای در نمودار طبقه بندی Leake et al., (1977)

جهت طبقه بندی جزئی‌تر آمفیبول‌های کلسیک از نمودارهای ارائه شده در شکل ۳-۵ استفاده شده است. همانطور که در جدول ۲-۳ مشاهده می‌شود اکثر نقاط آنالیز شده دارای  $(Na+K)_A < 0.5$  هستند لذا از شکل ۳-۵ الف جهت طبقه بندی آنها استفاده شد و مشاهده شد که این آمفیبول‌ها از نوع منیزیم هورنبلند هستند. تعدادی از این نقاط دارای  $(Na+K)_A \geq 0.5$  که از شکل ۳-۵ ب جهت طبقه بندی آنها استفاده گردید. این نقاط در محدوده ادنیت واقع می‌شوند.

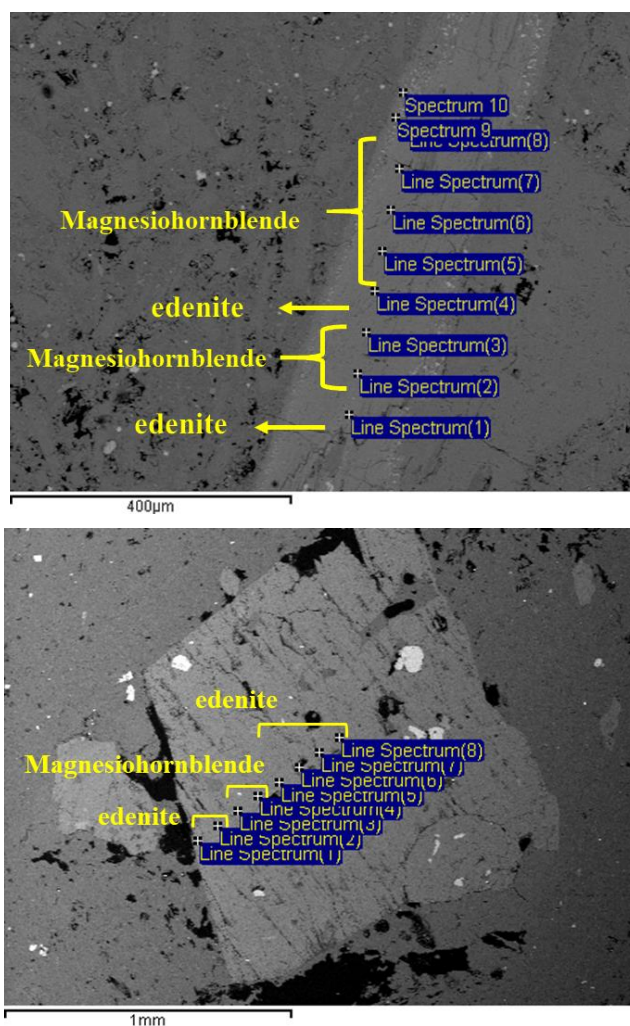


شکل ۳-۵: نمودار رده بندی و نامگذاری آمفیبول‌های کلسیک موجود در سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی Leake

et al., (1997)



همانطور که در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود، بعضی از نقاط آنالیز شده در محدوده ادنیت و برخی دیگر در محدوده منیزیو هورنبلند واقع شدند. اما سوالی که پیش می‌آید این است آیا در یک نمونه سنگی یکی از آمفیبول‌ها از نوع ادنیت بوده و آمفیبول دیگر از نوع منیزیو هورنبلند می‌باشد. سوال بعدی این است که آیا در یک نمونه سنگ کلیه آمفیبول‌ها از نوع ادنیت هستند و در نمونه دیگر تمامی آمفیبول‌ها از نوع منیزیو هورنبلند می‌باشند. با بررسی‌های دقیق‌تر مشخص شد که یک کانی آمفیبول هم می‌تواند ترکیب ادنیتی و هم منیزیو هورنبلند داشته باشد بطوریکه یک زون ترکیب ادنیتی و زون دیگر ترکیب منیزیو هورنبلند نشان می‌دهند.

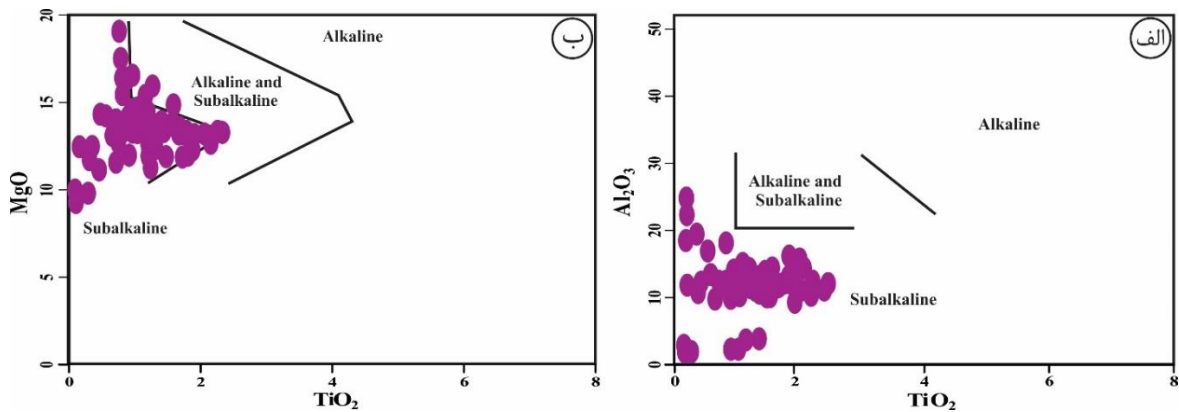


شکل ۳-۶: کانی‌های آمفیبول که دارای ترکیب ادنیتی و منیزیو هورنبلند می‌باشند.

### ۳-۳- تعیین محیط زمین ساختی و خاستگاه ماگمایی آمفیبول‌ها

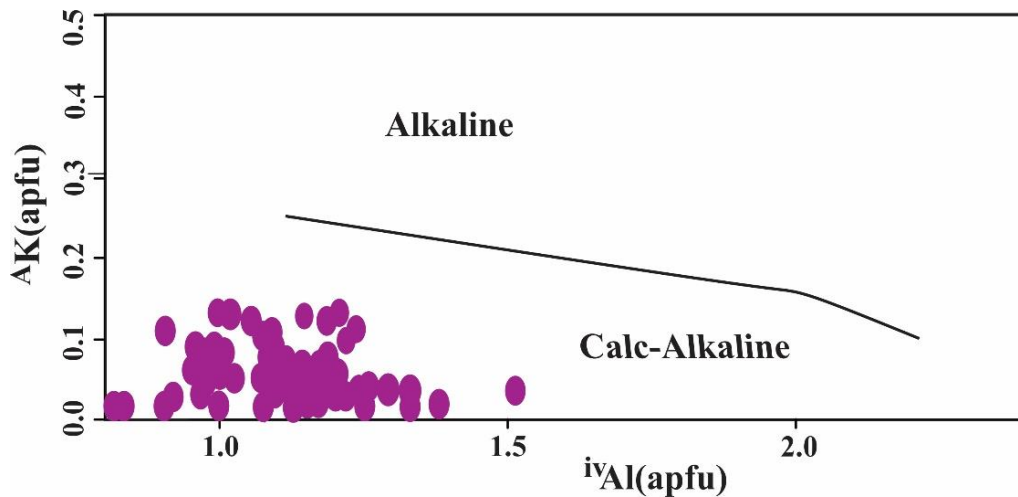
یکی از ویژگی‌های ژئوشیمیایی آمفیبول‌ها مقایسه محیط‌های تکتونوماگمایی مختلف (به ویژه محیط‌های فرورانش و درون ورقه‌ای) می‌باشد (Coltorti et al., 2007). آمفیبول‌های وابسته به فرورانش (S-Amph)  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{TiO}_2$  پایین‌تری نسبت به آمفیبول‌های درون ورقه‌ای (I-Amph) نشان می‌دهند. بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات سایر که بر روی گنبد‌های آداکیتی اطراف کالدرای قره چای را مطالعه کرده‌اند (رضایی کهنائی و همکاران، ۱۳۹۷) و گردیده و همکاران، (۱۳۹۷)، بنظر می‌رسد که سنگ‌های این کالدرای در محیط فرورانش تشکیل شده‌اند. جهت اثبات این امر از نمودارهای تعیین سری ماگمایی استفاده شده که توسط Molina et al., (2009) ارائه شده است. همانطور که از این دیاگرام‌ها مشاهده می‌شود تمام نقاط آنالیز شده از آمفیبول‌ها در محدوده ساب‌آلکان و کالک‌آلکان واقع می‌شوند (شکل ۳-۳-۷ و ۳-۸). این امر نشان دهنده تشکیل ماگمای والد این سنگ‌ها در محیط فرورانش می‌باشد (شکل ۳-۹؛ Coltorti et al., 2007).

آمفیبول‌های ماگمای ساب‌آلکان نسبت به آمفیبول‌های ماگماهای آلکان دارای مقادیر کمتری از اکسیدهای  $\text{Al}$ ،  $\text{Mg}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{K}$ ،  $\text{Ti}$  می‌باشند (Molina et al., 2009). با توجه به مقادیر اکسیدهای ذکر شده، آمفیبول‌های مورد مطالعه دارای ماهیت ساب‌آلکان می‌باشند (شکل ۳-۷).



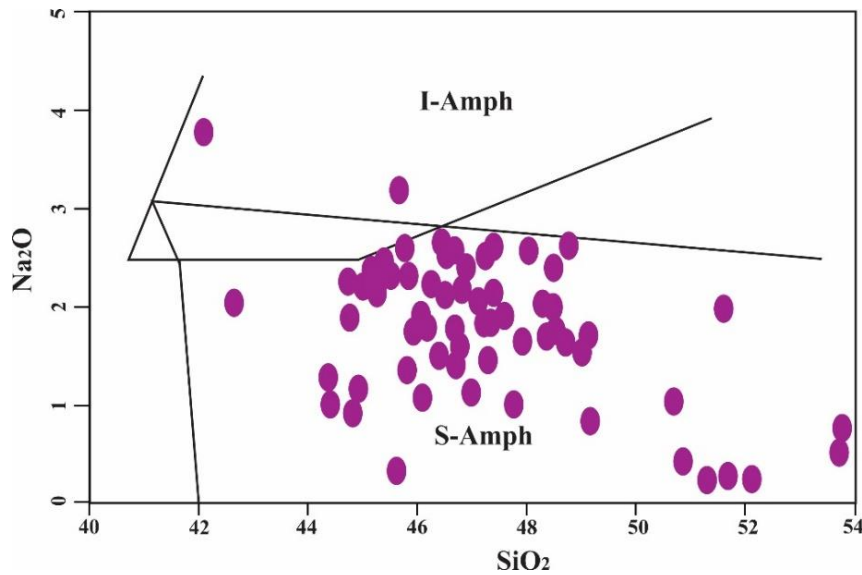
شکل ۳-۷: نمودار ارزیابی ماهیت سنگ‌های کالدرای قره چای با استفاده از ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها از Molina et al., (2009).

نمودار  $Al^{IV}$  در مقابل  $AK$  آمفیبول‌های سری کالک آلکالن را از سری آلکالن جدا می‌کند. از آنجایی که آمفیبول‌های سری کالک آلکالن پتاسیم پایین‌تری نسبت به سری آلکالن دارند بنابراین نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سری کالک آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: موقعیت نمونه‌های داسیتی کالدرای قره چای در نمودار (Molina et al., 2009).





شکل ۳-۹: نمودار  $\text{Na}_2\text{O}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  (Coltorti et al., 2007) جهت تعیین خاستگاه تکتونیکی سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد.

### ۳-۴- مطالعات دما- فشارسنجی

مطالعات زمین دما - فشارسنجی برای شناخت شرایط دما و فشار تشکیل سنگ‌ها، به عنوان یک روش مفید مطرح شده است (از قبیل Ridolfi and Renzulli, 2011). Putirka, (2016) بیان می‌کند که از بین دما و فشارسنج‌های مختلفی که بر اساس شیمی آمفیبول‌ها ارائه شده است معادلات Ridolfi and Renzulli (2011) بهترین معادلات پیش بینی دما با درصد خطای  $\pm 50$  درجه سانتی گراد است. از آنجایی که مدل Molina et al., (2015) برای تعیین دمای سنگ‌های دگرگونی و آذرین نفوذی کاربرد دارد، بنابراین بهترین روش جهت تعیین دما و فشار سنجی داده‌های کالدرای قره چای استفاده از مدل آمفیبولی Ridolfi and Renzulli, (2011) می‌باشد. همانطور که آمفیبول و پلاژیوکلاز به صورت گسترده در نمونه‌های سنگ‌های کالدرای قره چای حضور دارند، بنابراین از این روش جهت تعیین شرایط تبلور این کانی و تعیین عمق مخزن ماگمایی استفاده گردیده است.

### ۳-۴-۱- روش دما - فشارسنجی آمفیبول

آمفیبول یکی از کانی‌های مهم برای تعیین دما- فشارسنجی سنگ‌های کالک آلکان می‌باشد چرا که در دمای بین  $400^{\circ}\text{C}$  -  $1150^{\circ}\text{C}$  و در محدوده وسیعی از فشار بین ۱-۲۳ Kbr پایدار هستند (Leake et al., 1997).

با استفاده از معادلات (Ridolfi and Renzulli, 2011) که جهت تعیین فشار - دما سنجی آمفیبول ارائه شده‌اند، شرایط دما و فشار سنگ‌های کالدرای قره چای مورد ارزیابی قرار گرفت (معادلات ۱، ۲ و ۳). در این معادلات که بیشتر به ترکیب شیمیایی آمفیبول نیازمند است، تخمین شرایط فیزیکی - شیمیایی با خطای پایین ( $T \pm 23/5$  و  $P \pm 11/5\%$ ) برای ماگماهای آلکان و کالک‌آلکان تا  $1130^{\circ}\text{C}$  و  $2200\text{MPa}$  امکان پذیر است.

#### معادله ۱

$$\text{Si}^* = \text{Si} + \frac{4\text{Al}}{15} - 2\frac{4\text{Ti}}{18} - \frac{6\text{Al}}{2} - \frac{6\text{Ti}}{18} + \frac{\text{Fe}^{3+}}{9} + \frac{\text{Fe}^{2+}}{3.3} + \frac{\text{Mg}}{26} + \frac{\text{Ca}}{5} + \frac{\text{Na}}{1.3} - \frac{\text{Na}}{15} + \frac{\text{A}}{2.3}$$

#### معادله ۲

$$T = -151.487\text{Si}^* + 2041$$

#### معادله ۳

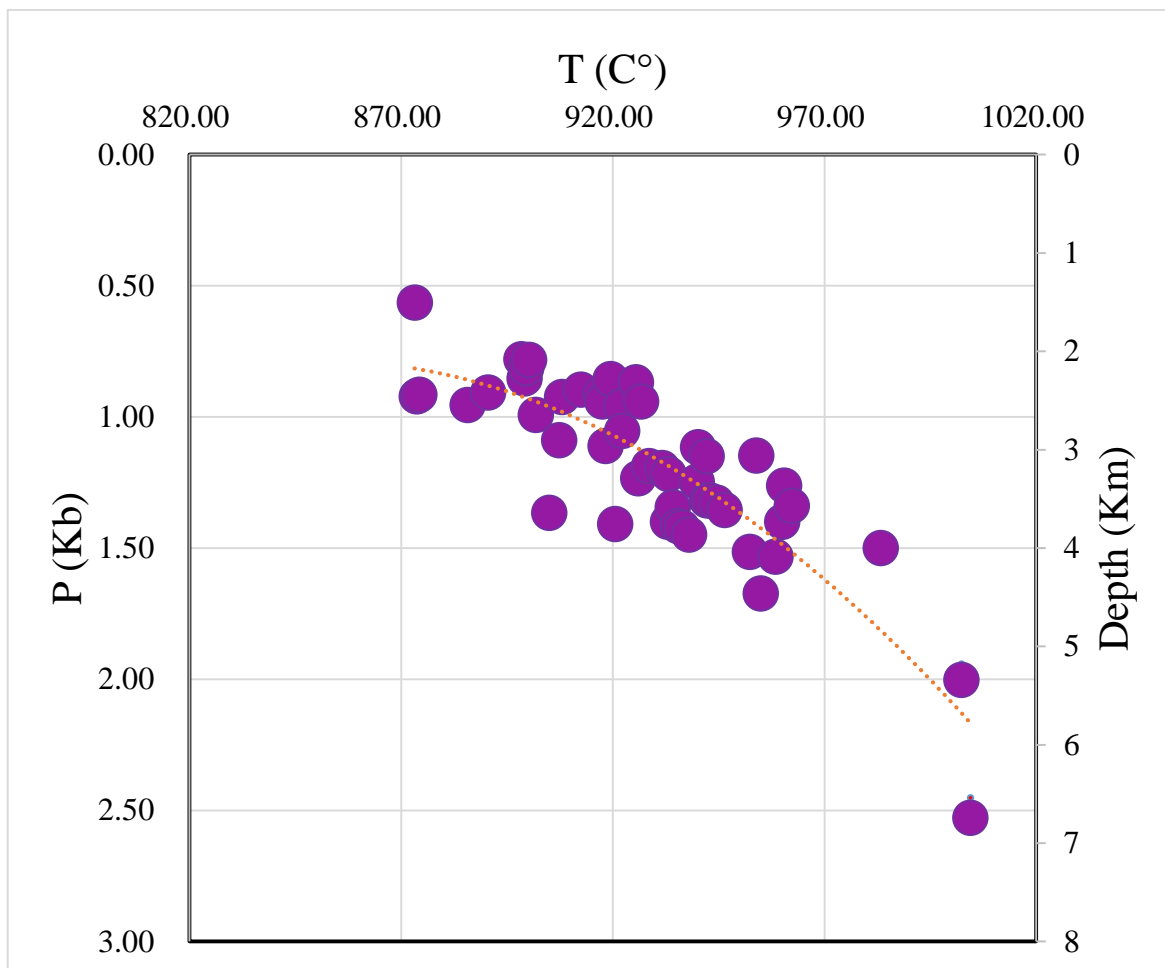
$$P = 19.209 e^{(1.438 \text{Al T Amp})}$$

از آنجایی که تمامی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های مرکز کالدرای قره چای اوپاسیتی شده‌اند، تخمین دما و فشار تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه فقط بر روی سنگ‌های حاشیه کالدرای انجام گرفت (جدول ۲-۳ پیوست). تعداد ۷ کانی آمفیبول از سنگ‌های حاشیه کالدرای مورد بررسی قرار گرفتند.

آمفیبول‌های موجود در این سنگ‌ها دارای اندازه‌ای بین ۴۰۰ تا ۲۸۰۰ میکرون می‌باشند. این کانی‌ها دارای زونینگ است، لذا دما و فشار برای هر زون محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبات نشان می‌دهد که این آمفیبول‌ها در دمای بین ۸۷۳ تا ۱۰۰۴ درجه سانتی‌گراد و فشار بین ۳۰ تا ۲۴۵ مگا پاسکال تشکیل

شده‌اند.

در بررسی جزئی‌تر این دما و فشارها نکات زیر استنتاج می‌شود: (۱) اکثر این آمفیبول‌ها در نمودارهای دوتایی فشار نسبت به نقاط آنالیز شده از مرکز به حاشیه دارای یک تحدب به سمت بالا دارند. (۲) مراکز این آمفیبول‌ها در اکثر موارد دمایی کمتر نسبت به نقاط آنالیز شده از زون‌های بین مرکز و حاشیه را نشان می‌دهند. (۳) تعداد کمی از آمفیبول‌ها نیز حاشیه آنها دارای دما و فشار بیشتری نسبت به نقاط همجوارشان (کمی دورتر از حاشیه) می‌باشند. (۴) بین فشار و دماهای محاسبه شده یک همبستگی مثبت وجود دارد. یعنی زون‌هایی که در دمای بالاتر تشکیل شده‌اند، معمولاً فشارهای بالاتری نیز نشان می‌دهند. نکات فوق بیانگر این است که پس از تشکیل هسته اکثر این آمفیبول‌ها، بر اثر جریان همرفت یا نیروی ثقل به اعماق بیشتر (گاهاً تا عمق ۶/۸ کیلومتر که معادل ۲۴۵ مگا پاسکال) فرو رفته‌اند، علاوه بر آن چون هیچکدام از آمفیبول‌ها در مرکز فشار کمتر از ۸۲ مگا پاسکال (معادل ۲/۲۴ کیلومتر) نشان نمی‌دهند، شاید بتوان نتیجه گیری کرد که حداقل عمق مخزن ماگمایی حدود ۲ کیلومتر بوده است. لذا فشارهای کمتر از این مقدار که معمولاً در حاشیه آمفیبول‌ها نیز مشاهده می‌شود، بیانگر تشکیل حاشیه آنها در طی صعود ماگما می‌باشد. بطور کلی در یک پوسته قاره‌ای با احتساب عمق کمتر از ۱۰-۱۵ کیلومتر برای پوسته فوقانی، عمق ۱۰-۱۵ تا ۲۰-۲۵ کیلومتر برای پوسته میانی و عمق بیش از ۲۰-۲۵ کیلومتر برای پوسته تحتانی (Rudnick and Fountain, 1995)، می‌توان نتیجه گرفت که تبلور آمفیبول‌های کالدرای قره چای در پوسته‌ی بالایی انجام شده است.



شکل ۳-۱۰: نمودار تعیین عمق مخزن ماگمایی با استفاده از دما و فشار.

به منظور اطمینان از نتایج به دست آمده از روش دما - فشارسنجی پلاژیوکلاز- هورنبلند پاتریکا (۲۰۰۸) استفاده شده است. جهت استفاده از این روش، باید کانی و مذاب با هم در تعادل باشند. بر اساس معادلات ارائه شده توسط پاتریکا (۲۰۱۶) ضریب توزیع Fe-Mg بین بلور و مذاب شاخص مناسبی جهت بررسی تعادل می‌باشد. فرمول ارائه شده به صورت زیر بیان شده است:

#### معادله ۴

$$[K_D = (x_{FeOT}^{Amph} / x_{MgO}^{Amph}) / (x_{FeOT}^{Liq} / x_{MgO}^{Liq})]$$

در این فرمول چنانچه مقدار  $K_D$  (ضریب تعادل) کمتر از  $0.11 \pm 0.28$  باشد، حاکی از شرایط تعادلی

است. در صورتی که این مقدار برای نمونه‌های مورد مطالعه بیش از ۰/۴ می‌باشد و نشان می‌دهد که پلاژیوکلز با مذاب در تعادل نمی‌باشد.

از ترکیب شیمیایی آمفیبول می‌توان ترکیب مذاب همزیست با آن را محاسبه کرد. از آنجایی که آمفیبول‌ها دارای زونینگ هستند، محاسبه مقدار  $\text{SiO}_2$  هر زون شاید بتواند ترکیب شیمیایی مذاب همزیست آن زون را ارائه دهد. جهت نیل به این مطلب از معادله ۵ استفاده شده است.

### معادله ۵

$$\text{SiO}_2 (\text{wt}\%) = 751.95 - 0/4 T (^\circ\text{C}) - 278000 / T(^\circ\text{C}) - 9.184 * \text{Al}^{\text{T-Amph}}$$

محاسبه  $\text{SiO}_2$  مذاب‌های همزیست زون‌های آمفیبول نشان می‌دهد کمترین مقدار  $\text{SiO}_2$  برابر  $57 \pm 3/6$  درصد وزنی باشد و لذا شاید بتوان اینطور نتیجه‌گیری کرد، ترکیب مذاب اولیه تزریق شده در مخزن ماگمایی حد واسط بوده که گاهی تا حدود  $\text{SiO}_2$  75 wt% نیز در مخزن ماگمایی تفریق حاصل کرده است.



## فصل چہارم

### ژئوشیمی و سٹروژنز

#### ۴-۱- مقدمه

واژه آداکیت، نخستین بار توسط Kay (1978) و سپس توسط Defant and Drummond (1990) برای تشریح گروهی از سنگ‌های سرشار از سیلیس آتشفشانی (آندزیت - داسیت - ریولیت) یا نفوذی (دیوریت - تونالیت - ترونجمیت - گرانودیوریت - گرانیت) موجود در کمان‌های ماگمایی سنوزوئیک مرتبط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی استفاده شده است. با این حال جدیدترین تعریف از آداکیت‌ها را (Castillo, 2006, 2012) پیشنهاد کرده است. این تعریف برای سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی غنی از سیلیکات با نسبت‌های Sr/Y و La/Yb بالا به کار می‌رود که در اثر ذوب بخشی لیتوسفر اقیانوسی جوان فرورونده به زیر پوسته قاره‌ای در مناطق فرورانش شکل می‌گیرند. به عبارت دیگر، آداکیت‌ها گدازه‌های آمفیبول و پلاژیوکلازدار سرشار از سیلیس (بیشتر از ۵۶ درصد وزنی) هستند که آلومینیوم بیشتر از ۱۵ درصد وزنی و سدیم بیشتر از ۳/۵ درصد وزنی دارند. داشتن مقادیرهای Sr بیشتر از ۳۰۰ ppm، Y کمتر از ۱۸ ppm، مقادیر بالای Na<sub>2</sub>O (۳/۵ % wt > Na<sub>2</sub>O > ۵/۷ % wt)، نسبت K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O پایین (۰/۴۲ ~)، نسبت Sr/Y بزرگتر از ۲۰ و نسبت La/Yb بیشتر از ۲۰، از ویژگی‌های شاخص آنهاست و در مقایسه با دیگر سنگ‌های آذرین معمول رخنمون یافته در مرزهای فعال قاره‌ای مقادیر Yb و Y کمتری دارند (Martin, 1999).

#### ۴-۲- روش آنالیز

پس از انجام دقیق مطالعات پتروگرافی بر روی بیش از ۶۰ نمونه سنگی، ۷ نمونه سالم انتخاب و برای انجام آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل به روش XRF و ICP-MS به کشور چین (آزمایشگاه شرکت Createch Testing Technology) ارسال شد (جدول ۴-۱). دقت این دستگاه برای عناصر اصلی ۰/۰۱ تا ۰/۱ درصد وزنی و برای عناصر کمیاب از ۰/۱ تا ۱۰ پی پی ام و برای عناصر کمیاب خاکی از ۰/۰۱ تا ۰/۵ پی پی ام متغیر می‌باشد. در پایان داده‌های تجزیه‌ای با نرم افزارهای سنگ‌شناسی و اکسل پردازش شدند. اکسیدهای عناصر اصلی به صورت درصد وزنی (wt/%) و مقادیر عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به



صورت قسمت در میلیون (ppm) بیان شده است.

جدول ۴-۱: نتایج آنالیز شیمیائی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های کالدرای قره چای. عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی (wt.%) و عناصر فرعی بر حسب ppm گزارش شده‌اند.

Sample	ACh24	ACh43	ACh12	ACh38	ACh28	ACh39	ACh29
SiO <sub>2</sub>	67.76	67.86	68.11	68.62	68.70	68.76	68.92
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.35	0.30	0.29	0.31	0.30	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.12	16.22	16.22	16.27	16.16	16.32	16.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.41	2.70	2.40	2.40	2.48	2.42	2.47
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
MgO	1.25	1.17	1.21	1.14	1.00	1.19	0.96
CaO	4.90	4.24	4.87	3.97	4.20	4.48	4.16
Na <sub>2</sub> O	4.33	4.27	4.34	4.13	4.16	4.39	4.43
K <sub>2</sub> O	1.25	1.66	1.40	1.65	1.66	1.43	1.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.12	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10
LOI	1.67	1.77	0.93	0.81	0.98	0.78	0.60
Total	100.13	100.41	99.98	99.43	99.80	100.21	99.98
V	41.68	41.12	40.50	35.73	20.94	39.97	41.24
Co	14.57	22.33	16.11	16.51	11.80	18.90	17.11
Zn	38.10	48.57	39.82	39.23	40.04	39.78	38.68
Sn	0.59	0.92	0.59	0.60	0.63	0.65	0.62
Ba	592.00	465.85	431.18	464.03	438.33	422.66	458.18
Sr	636.47	561.80	595.87	547.67	545.85	610.33	580.19
Rb	34.42	43.10	31.77	41.71	41.61	37.39	40.22
Nb	8.33	12.36	8.53	9.27	9.34	8.70	9.57
Y	6.38	9.11	6.42	6.36	6.66	6.46	6.50
Zr	118.46	153.79	116.72	124.33	124.23	122.12	128.68
Hf	2.58	3.44	2.58	2.79	2.72	2.70	2.82
Ta	1.58	2.15	1.91	1.17	1.36	1.79	1.54
Th	4.75	7.24	4.72	5.87	5.62	5.76	6.09
U	1.50	2.26	1.34	1.82	1.42	1.84	1.91
La	16.64	21.54	16.42	17.39	17.68	17.26	18.15
Ce	27.51	36.65	27.19	28.92	29.78	28.90	30.50
Pr	2.85	3.78	2.82	2.94	3.05	2.95	3.12
Nd	10.59	14.14	10.36	10.86	11.21	10.89	11.38
Sm	1.83	2.54	1.83	1.90	1.95	1.92	1.94
Eu	0.56	0.73	0.56	0.57	0.58	0.57	0.59
Gd	1.40	1.95	1.40	1.44	1.46	1.46	1.47
Tb	0.21	0.31	0.23	0.22	0.22	0.23	0.23
Dy	1.22	1.76	1.19	1.25	1.27	1.30	1.28
Er	0.71	0.98	0.71	0.69	0.74	0.69	0.72
Tm	0.10	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Yb	0.64	0.93	0.64	0.65	0.67	0.67	0.65
Lu	0.10	0.14	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10

<b>Cu</b>	14.19	19.13	21.12	21.94	19.82	21.39	26.84
<b>Li</b>	10.27	9.46	15.08	19.08	8.95	7.90	9.41
<b>Mo</b>	1.73	2.21	1.78	1.47	0.90	1.54	1.28
<b>Pb</b>	10.92	11.92	10.56	12.26	11.91	12.26	11.98
<b>Sc</b>	6.31	6.52	6.44	6.32	7.14	8.44	6.88
<b>Ti</b>	1586.10	1954.83	1596.43	1576.96	1621.83	1634.86	1652.55
<b>Tl</b>	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.16	0.20
<b>Be</b>	1.07	1.24	1.05	1.11	1.11	1.08	1.12
<b>Mn</b>	379.87	418.44	382.16	384.95	382.89	394.67	404.17
<b>Ni</b>	12.43	19.09	11.61	12.82	21.80	13.33	16.81
<b>Ga</b>	16.82	18.39	16.69	17.08	16.86	17.50	17.37
<b>Ho</b>	0.25	0.35	0.25	0.24	0.26	0.24	0.25
<b>W</b>	92.06	139.62	92.57	53.11	66.13	125.66	87.96
<b>Bi</b>	0.04	0.07	0.03	0.02	0.11	0.02	0.07
<b>Zr/Sm</b>	64.87	60.43	63.61	65.43	63.74	63.76	66.27
<b>(La/Yb)N</b>	26.10	23.18	25.62	26.82	26.33	25.77	27.87
<b>Sr/Y</b>	99.78	61.69	92.80	86.08	81.98	94.53	89.26
<b>Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O</b>	5.58	5.92	5.74	5.78	5.82	5.82	6.11
<b>Y/Yb</b>	10.00	9.80	10.02	9.81	9.92	9.64	9.98

#### ۴-۳- منابع بروز خطا در طی آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

در مراحل مختلف آماده کردن نمونه‌ها تا انجام آزمایش و صدور نتیجه به دلایل مختلف از جمله آلیش در مرحله خرد کردن و پودر کردن آنها، پوشش نازکی از رسوبات بر اثر فرآیندهای هوازدگی، آلودگی و آلیش در طبیعت، خطاهای ناشی از کالیبراسیون، خطاهای ناشی از همپوشانی پیک‌ها و آلیش حاصل از واکنشگرهای ناخالص مورد استفاده در انحلال و تهیه نمونه، دچار خطا می‌شوند (Rollinson, 1993). آلودگی در خلال آماده سازی نمونه‌ها (خرد و آسیاب کردن) می‌تواند مهم‌ترین منبع جدی خطا در تجزیه‌های ژئوشیمیایی باشد. جهت حذف این آلیش‌ها از بخش‌های داخلی نمونه‌های سنگی جهت پودر کردن استفاده شد. همچنین این نمونه‌ها در دانشکده علوم زمین دانشگاه تهران، توسط آسیاب دارای هاون تنگستن کارباید پودر شدند. هاون مورد نظر برای هر نمونه با آب، مایع صابون، الکل و کمپرسور هوا تمیز شد.

#### ۴-۴- تصحیح داده‌های حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی

قبل از استفاده از داده‌های به دست آمده از تجزیه‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه و پردازش آن‌ها، لازم است تغییرات و تصحیحات مربوط به حذف مواد فرآر (L.O.I) و نسبت  $Fe_2O_3/FeO$  بر روی آن‌ها صورت گیرد.

داده‌های حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی بیانگر میزان مواد فرآر (L.O.I) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی ۰/۷۷ تا ۱/۶۶ درصد است. برای حذف مواد فرآر، درصد L.O.I هر نمونه سنگی را از مقدار حاصل جمع اکسیدهای آن نمونه کم کرده، اعداد بدست آمده، مقدار جدید اکسیدهای سنگ خواهد بود که مواد فرآر آن حذف شده است. پس از آن، نسبت (۱۰۰ تقسیم بر مجموع جدید) را به صورت ضریبی در مقدار درصد هر یک از اکسیدهای سنگ ضرب کرده، درصد اکسیدها بدون مواد فرآر محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، ضریب حذف مواد فرآر (Z) برای نمونه شماره (Ach 39)، به صورت زیر قابل محاسبه است:

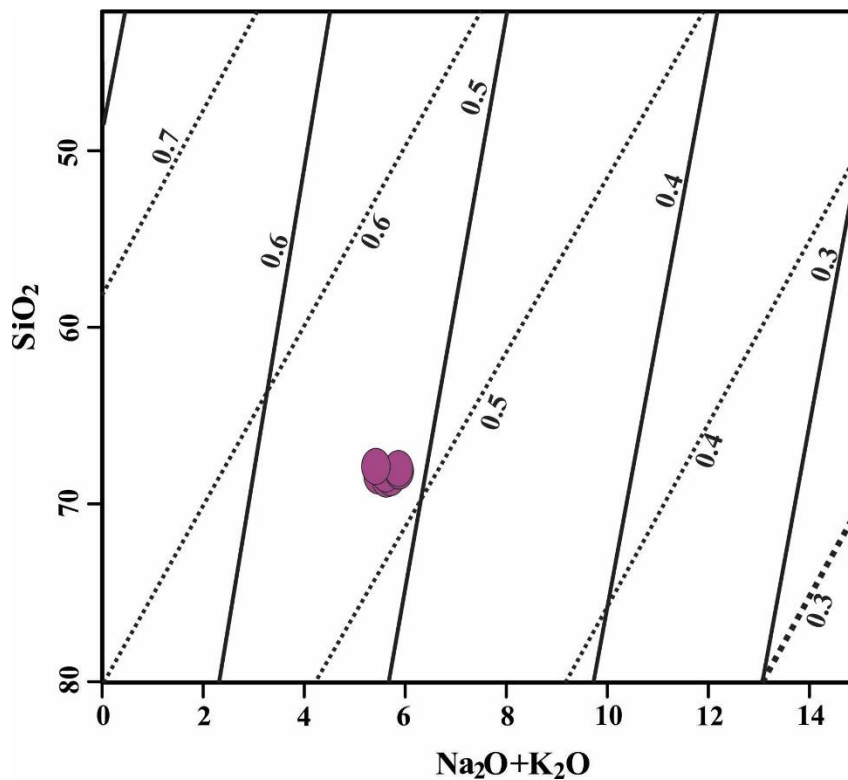
$$(N-1) \rightarrow \text{Sum} = 99.99, \text{L.O.I} = 0.77$$

$$\text{Sum}_{\text{new}} = (\text{Sum} - \text{L.O.I}) = 99.99 - 0.77 = 99.22$$

$$Z = 100 / 99.2 = 1.007$$

در تجزیه‌های شیمیایی سنگ‌ها، مقدار اکسید آهن به صورت  $Fe_2O_3$  کل ارائه می‌شود.  $FeO$  در ساختمان سیلیکات‌ها و  $Fe_2O_3$  در فازهای اکسیدی به صورت کانی‌های اپک وارد می‌شود. نسبت  $Fe_2O_3/FeO$  در سنگ‌های آذرین به دلیل دگرسانی در شرایط اکسیدان افزایش می‌یابد. بنابراین مقادیر محاسبه شده‌ی آهن فرو ( $FeO$ ) و آهن فریک ( $Fe_2O_3$ )، مقادیر واقعی نخواهد بود. این مسأله تأثیر قابل توجهی بر ترکیب کانی‌شناسی نورماتیو سنگ خواهد داشت، به طوری که در محاسبه‌ی نورم سنگ اکسید شده، به دلیل افزایش نسبت  $Fe_2O_3/FeO$ ، میزان مگنتیت نورماتیو، بیشتر از مقدار واقعی و مقادیر سیلیکات‌های آهن‌دار کمتر از مقدار حقیقی خواهد بود (Middlemost, 1994). برای تصحیح این خطا، از نمودار مجموع  $Na_2O+K_2O$  در مقابل  $SiO_2$  (Le Maitre, 1976) استفاده شده است (شکل ۴-۱). نسبت  $Fe_2O_3/FeO$  براساس این نمودار به دست آمده و مقادیر  $Fe_2O_3$  و  $FeO$  جدید محاسبه شده‌اند که به مقادیر حقیقی سنگ

نزدیک تر است. مقادیر تصحیح شده  $\text{FeO}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  برای هر نمونه سنگی، ارائه شده است.



شکل ۴-۱- نمودار درصد وزنی  $\text{SiO}_2$ - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  از لومتر (۱۹۷۶) که در آن خطوط نسبت‌های اکسیداسیون مساوی  $(\text{FeO}/[\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3])$  برای سنگ‌های آذرین درونی (با خطوط ممتد) و برای سنگ‌های آتشفشانی (با خط چین) نشان داده شده است. موقعیت ترکیبی نمونه‌های کالدرای قره چای بر روی این شکل نشان داده شده است و نتایج به دست آمده از آن مبنای محاسبات و تصحیح مقادیر  $\text{FeO}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  مد نظر قرار گرفته است.

#### ۴-۵- رده بندی و نامگذاری سنگ‌های کالدرای قره چای

به طور کلی از نتایج داده‌های عناصر اصلی برای رده بندی سنگ‌ها، تعیین سری ماگمایی و محیط زمین ساختی تشکیل سنگ‌های آذرین استفاده می‌شود (Rollinson, 1993).

#### ۴-۵-۱- رده بندی نورماتیو

مقادیر کانی‌های مجازی به دست آمده از طریق نورم به روش‌های مختلف در نام‌گذاری و رده‌بندی سنگ‌ها

استفاده می‌شود. نرم (CIPW+Hbl) پرکاربردترین روش محاسبه نرم است که در آن شیمی سنگ کل به نسبت مولکولی تبدیل می‌شود و در نهایت، نسبت کانی‌های نورماتیو دوباره با ضرب کردن در وزن مولکولی به درصد وزنی تبدیل می‌گردد که به نام نرم درصد وزنی شناخته می‌شود. مقادیر کانی‌های نورماتیو سنگ‌های کالدرای قره چای به کمک نرم افزار (GCDKIT) تعیین شده است (جدول ۴-۲).

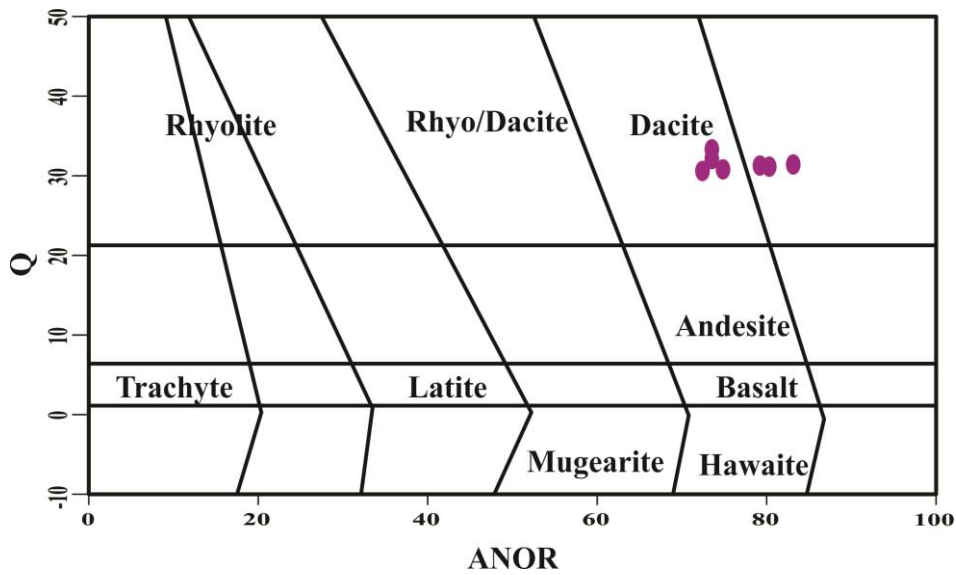
جدول ۴-۲: مقدار محاسبه شده نرم برای سنگ‌های داسیتی کالدرای قره چای.

	ACH- 12	ACH- 24	ACH- 28	ACH- 29	ACH- 38	ACH- 39	ACH- 43
<b>Q</b>	28.06	28.17	29.46	28.18	30.06	28.64	27.97
<b>C</b>	0.00	0.00	0.12	0.00	0.72	0.00	0.00
<b>Or</b>	5.02	4.04	7.03	7.26	6.63	5.20	6.56
<b>Ab</b>	36.69	36.63	35.16	37.45	34.98	37.18	36.11
<b>An</b>	20.67	20.85	20.18	19.62	19.01	20.59	20.20
<b>Wo</b>	1.07	1.18	0.00	0.15	0.00	0.41	0.02
<b>Mt</b>	1.81	1.82	1.87	1.86	1.81	1.82	2.04
<b>Il</b>	0.57	0.55	0.59	0.58	0.56	0.57	0.66
<b>Ap</b>	0.34	0.24	0.24	0.25	0.24	0.25	0.28
<b>Bi</b>	4.85	5.00	4.18	4.06	4.63	4.79	4.81
<b>Sum</b>	99.06	98.47	98.83	99.39	98.63	99.45	98.64

با استفاده از معادلات زیر و تعیین مقدار Q و ANOR و استفاده از نمودار ( ) مشاهده می‌شود که نمونه‌های مورد کالدرای قره چای در محدوده داسیت قرار می‌گیرند.

$$Q' = (Q / (Q + Or + Ab + An)) \times 100$$

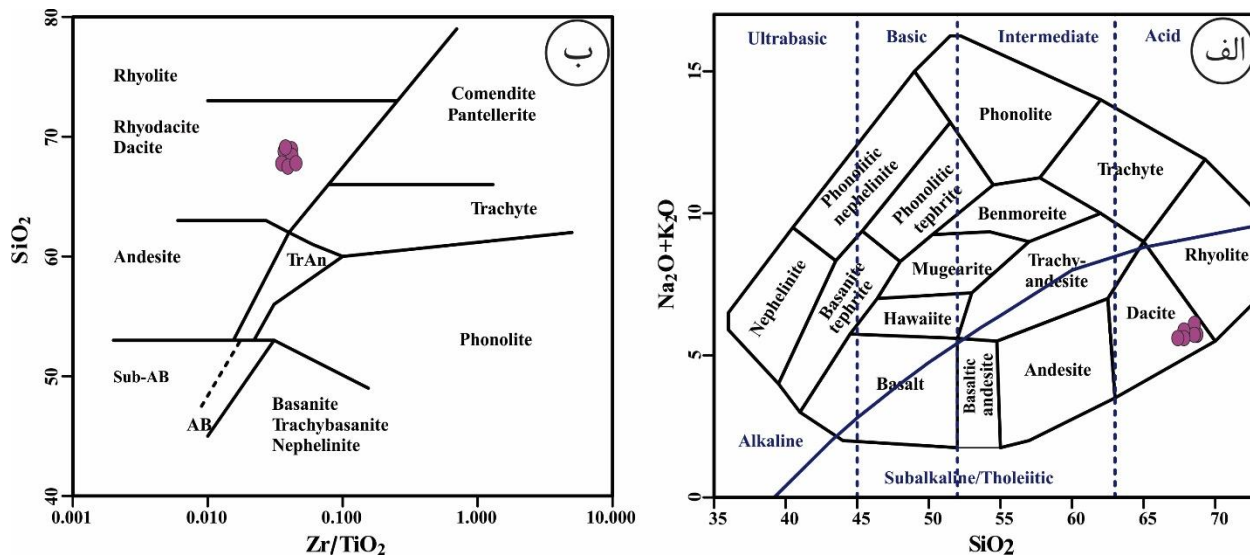
$$ANOR = An / (Or + An) \times 100$$



شکل ۲-۴: موقعیت سنگ‌های کالدرای قره چای براساس ترکیب نورماتیو و پارامترهای Q و ANOR در نمودار رده بندی اشترکایزن و لومتر (1979).

#### ۲-۵-۴- رده بندی شیمیایی

طیف تغییرات  $\text{SiO}_2$  در سنگ‌های کالدرای قره چای از ۶۶ درصد وزنی تا ۶۸ درصد وزنی متغیر می‌باشد و در نمودار  $\text{SiO}_2$  در مقابل مجموع آلکالی ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) در قلمرو داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۲-۴ الف: Middlemost, 1994) که با مشاهدات پتروگرافی (حضور فنوکریست فراوان پلاژیوکلاز و کانی‌های آبدار هورنبلند و بلورهای ریز کوارتز و سانیدین) کاملاً مطابقت دارد. سنگ‌های قسمت مرکزی کالدرای قره چای کاملاً دگرسان شده و فقط قسمت کمی از این سنگ‌ها سالم می‌باشند (شکل ۳-۴). از آنجایی که فرایند دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی سنگ اثر می‌گذارد؛ بنابراین نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب (مانند  $\text{Zr}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ti}$  و  $\text{Y}$ ) که در درجات کم دگرسانی به صورت غیر متحرک باقی می‌مانند، می‌تواند ابزار مفیدتری جهت تعیین ترکیب و ماهیت این سنگ‌ها باشند. بر اساس نمودار طبقه بندی  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده داسیت و ریوداسیت واقع می‌شوند (شکل ۳-۴ ب؛ Winchester and Floyd., 1977).



شکل ۳-۴- الف) موقعیت نمونه‌های کالدرای قره چای در نمودار  $Na_2O+K_2O$  در مقابل  $SiO_2$  که در محدوده داسیت قرار می‌گیرند (Middlemost, 1994). ب) موقعیت نمونه‌های کالدرای قره چای در نمودار  $Zr/TiO_2$  در مقابل  $SiO_2$  که در این نمودار نیز در محدوده داسیت واقع می‌شوند (Winchester and Floyd, 1977).

#### ۴-۶- تعیین سری ماگمایی

در ادامه از نمودارهای مختلف معرفی شده توسط محققین جهت تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه استفاده خواهد شد.

#### الف- نمودار مثلثی (AFM) $(Na_2O+K_2O-FeO-MgO)$

جهت تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه از نمودار AFM  $(A=Na_2O+K_2O)$  و  $F=FeO$  و  $M=MgO$  معرفی شده توسط Irvine and Baragar (1971) استفاده شد (شکل ۴-۴ الف). این نمودار تغییرات درصد آهن را در طول تفریق نشان می‌دهد و قادر است سنگ‌های آذرین تولییتی و کالک‌آلکان را از یکدیگر متمایز سازد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود سنگ‌های مورد مطالعه دارای ماهیت کالک‌آلکان می‌باشند.

#### ب- نمودار $FeO_{Total}/MgO$ در مقابل $SiO_2$

همچنین در نمودارهای  $\text{FeO}_{\text{Total}}/\text{MgO}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  (شکل ۴-۴ ب: Miyashiro, 1974) نیز سنگ‌های کالدرای قره چای در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند. این موضوع با پژوهش‌های سایر محققین (از قبیل گریده و همکاران، ۱۳۹۷؛ رضائی کهخائی و همکاران، ۱۳۹۷) سازگاری دارد که بر روی گنبد‌های آداکیتی به سن الیگو-میوسن اطراف کالدرای قره چای مطالعه نموده‌اند و آنها را مرتبط به سری کالک‌آلکان دانسته‌اند.

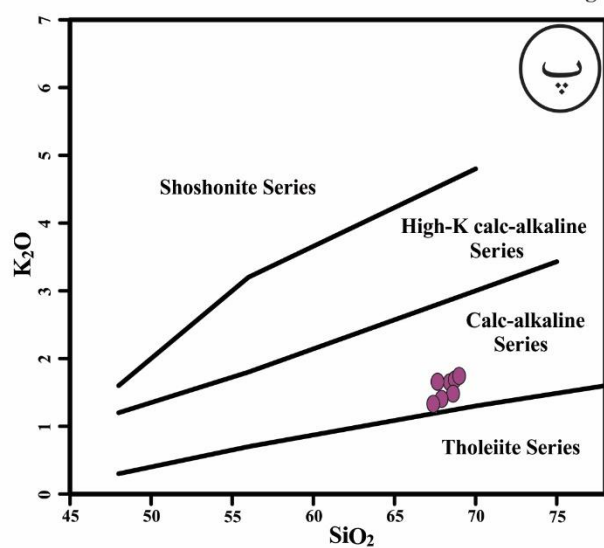
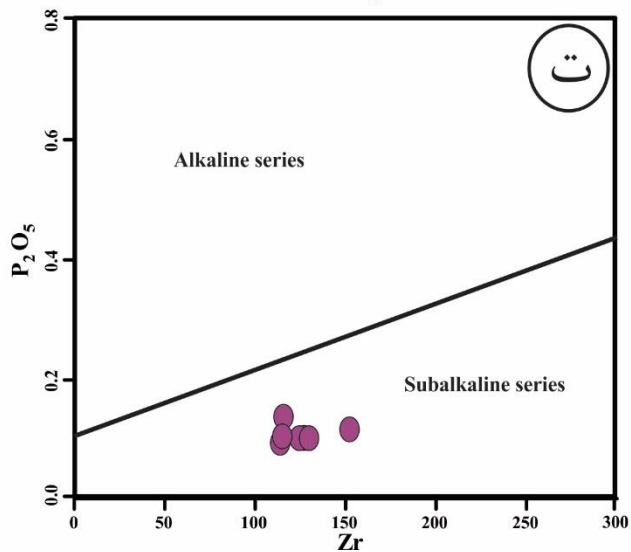
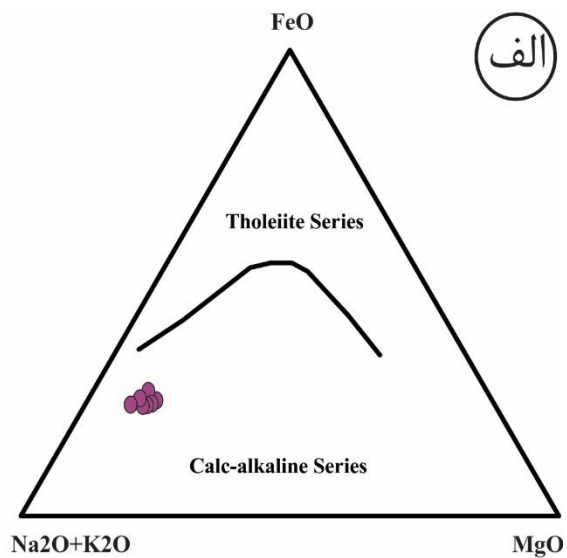
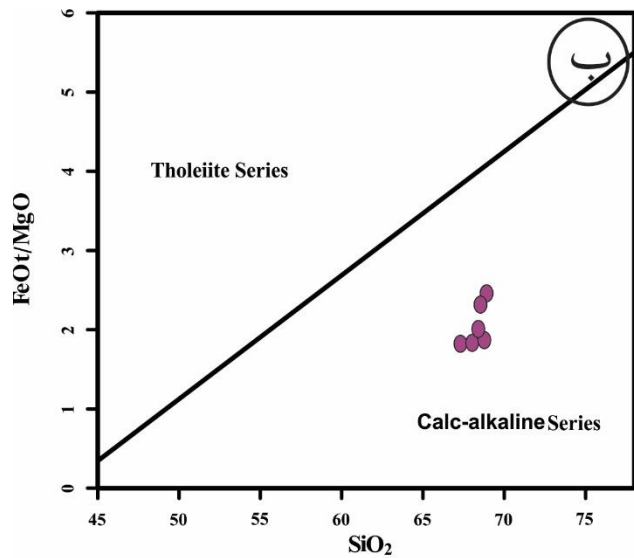
#### پ- نمودار $\text{K}_2\text{O}$ در مقابل $\text{SiO}_2$

در این نمودار چهار محدوده‌ی تولییتی، کالک‌آلکان، کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی مشخص شده است. بر اساس این نمودار سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده سری کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۴-۴ پ).

#### ت- نمودار $\text{Zr}$ در مقابل $\text{P}_2\text{O}_5$

از آنجایی که عناصر  $\text{Zr}$  و  $\text{P}$  دو عنصر مقاوم در برابر هوازدگی نسبت به عناصر آلکان هستند، استفاده از نمودارهای طراحی شده براساس این عناصر قابل اعتمادتر می‌باشند. در نمودار  $\text{Zr}$  در مقابل  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Winchester & Floyd, 1977) نیز نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ساب‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۴-۴ ت).





شکل ۴-۴-الف) نمونه‌های کالدرای قره چای در نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) در محدوده کالک آلکالن واقع می‌شوند. ب) در دیاگرام نمودار  $FeO_{Total}/MgO$  در برابر  $SiO_2$  (Miyashiro, 1974) نیز نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کالک آلکالن قرار می‌گیرند. پ) در نمودار  $K_2O-SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976) این کالدرای در محدوده کالک آلکالن با مقدار پتاسیم متوسط واقع می‌شوند. ت) نمودار  $Zr$  در مقابل  $P_2O_5$  (Winchester and Floyd, 1977) و قرار گیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ساب آلکالن.

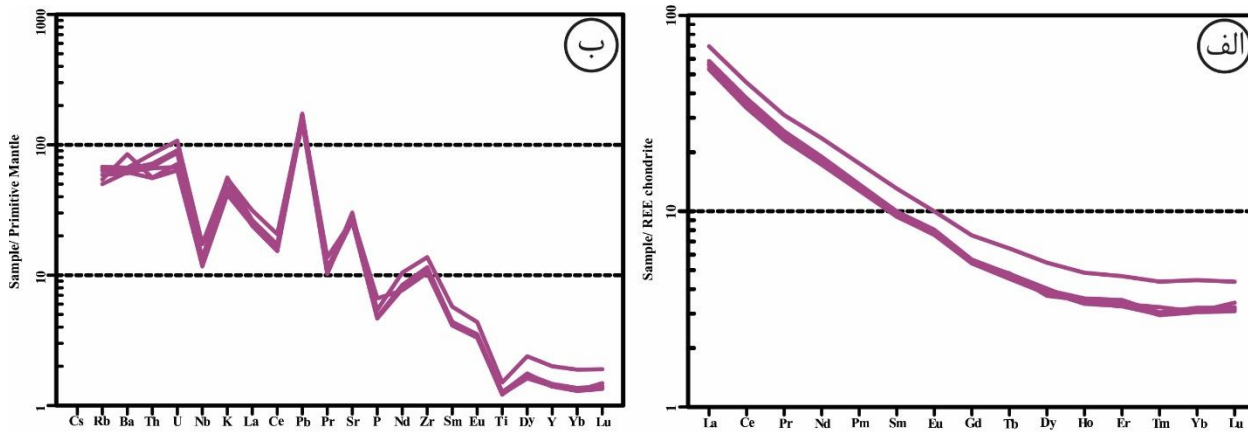
#### ۴-۷- نمودارهای چند عنصری بهنجار شده (نمودارهای عنکبوتی)

در نمودار بهنجار شده عناصر خاکی نادر سنگ‌ها کالدرای قره چای نسبت به کندریت (شکل ۴-۵ الف؛ Boynton, 1984) همه نمونه‌ها دارای روند موازی هستند که حاکی از ارتباط زایشی آن‌ها است. در این نمودار سنگ‌های مورد مطالعه از عناصر خاکی سبک (نظیر La، Ce) غنی شده‌اند و از عناصر خاکی نادر سنگین (از قبیل Lu، Yb) تهی‌شدگی نشان می‌دهند، که شاخص ماگماهای کالک آلکالن مناطق فرورانش است (Gill, 1981؛ Hawkesworth et al., 1993).

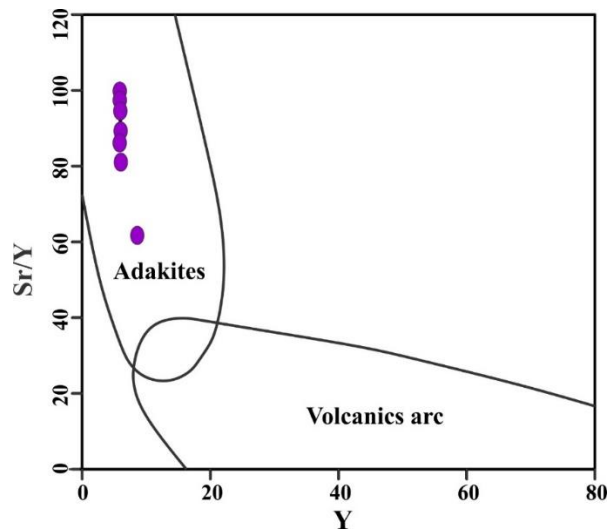
نمونه‌های کالدرای قره چای در نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه دارای آنومالی مثبت Pb و آنومالی‌های منفی از Nb، Ti و P می‌باشند (شکل ۴-۵ ب؛ San and McDonough, 1989). آنومالی مثبت Pb در این نمونه‌ها می‌تواند بخاطر متاسوماتیسم گوه گوشته‌ی ای و آلایش ماگمای والد سنگ‌های مورد مطالعه با مواد پوسته‌ای باشد (Rollinson, 1993). آنومالی منفی Nb و Ta (در نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه که از Wood et al., 1979 اقتباس شده و در اینجا نشان داده نشده) حکایت از تشکیل سنگ‌های کالدرای قره چای در حاشیه فعال قاره‌ای و در طی فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر لبه جنوبی پهنه البرز شرقی دارد. آنومالی منفی Ti توسط کانی‌های تیتان‌دار مانند اسفن، ایلمنیت، روتیل و بعضی از آمفیبول‌ها کنترل می‌شود. با افزایش فشار حلالیت کانی‌های تیتان‌دار در سیالات آب‌دار کاهش می‌یابد و کانی‌های مذکور که غنی از عناصر HFS هستند، در طی فرایندهای ذوب بخشی در اعماق بیش از ۳۰ کیلومتر به صورت فازهای بر جا باقی می‌مانند و باعث پیدایش آنومالی منفی Ti در مذاب حاصل می‌شوند (Gaetani, 2004). از آنجایی که فسفر در ماگماهای متآلومین به صورت یک عنصر سازگار رفتار می‌کند، تفریق آپاتیت باعث ایجاد آنومالی منفی P می‌شود (Kumar and Singh, 2014). بر این اساس سنگ‌های کالدرای قره چای از مقدار P تهی‌شدگی نشان می‌دهد.

سنگ‌های کالدرای قره چای دارای تمرکز بالای Sr (بین ۳۱۲ تا ۴۷۷ پی‌پی‌ام) و مقادیر پایین Y (ppm)

و  $Yb$  (۰/۳-۰/۶ ppm) در مقایسه با ماگماهای معمول کمان‌ها می‌باشند و ویژگی ماگماهای آداکیتی ( $Y < 18$  ppm و  $Yb < 1/8$  ppm،  $Sr > 300$  ppm) را دارند (Martin, 1999). همچنین مقادیر  $Y$  و عناصر نادر خاکی سنگین آن‌ها پایین و  $Sr$  و  $Sr/Y$  نیز زیاد است که مشابه ماگماهای آداکیتی حاصل از ذوب سنگ‌های گارنت آمفیبولیتی/اکلوژیستی در اعماق بیش از ۳۵ کیلومتر می‌باشد (Wang et al., 2006؛ شکل ۸). علاوه بر آن، سنگ‌های مورد مطالعه در نمودارهای  $Y$  در مقابل  $Sr/Y$  (شکل ۴-۶) و  $Yb_N$  در مقابل  $(La/Yb)_N$  (در اینجا نشان داده نشده است؛ Defant and Drummond, 1990) در محدوده‌ی آداکیت‌ها و دور از محدوده‌ی سنگ‌های معمول کمان‌های ماگمایی (Classical arc igneous rocks) قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۵-الف) تغییرات فراوانی عناصر REE نرمالیزه شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984). ب) عناصر اصلی و کمیاب نرمالیزه شده نسبت به گوشته اولیه (San and McDonough, 1989). براساس این دو نمودار سنگ‌های کالدرای قره‌چای غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون و تهی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین و عناصری با شدت میدان بالا نشان می‌دهند.



شکل ۴-۶: موقعیت نمونه‌های داسیتی کالدرای قره چای در نمودار Y در مقابل Sr/Y از (Defant and Drummond 1990) که در محدوده آداکیت‌ها قرار می‌گیرند.

#### ۴-۸- ماگماتیسم آداکیتی و خصوصیات سنگ‌شناسی آداکیت‌ها

سنگ‌های آداکیتی، اولین بار توسط Kay (1978) معرفی و برای تشریح گروهی از سنگ‌های آتشفشانی یا نفوذی موجود در کمان‌های ماگمایی سنوزوئیک مرتبط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی و با سن کمتر یا مساوی ۲۵ میلیون سال ارائه داده شده‌اند. ویژگی‌های شاخص آداکیت‌ها از نظر Defant and Drummond (1990) عبارت است از:  $\text{SiO}_2 > 56 \text{ wt.}\%$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15 \text{ wt.}\%$  مقادیر بالای  $\text{Na}_2\text{O} < 7 \text{ wt.}\%$  (عبارت  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  پائین ( $\sim 0.42$ ))، مقادیر Sr بالا ( $> 300 \text{ ppm}$ )، LILE بالا (بیشتر از 3000 ppm یا 400 - 3000 ppm و  $\text{Yb} \leq 1/8 \text{ ppm}$ ،  $\text{Y} \leq 18 \text{ ppm}$ ) (Martin, Defant and Drummond, 1990) (Castillo, 2006; 1999).

بنابر نظر Wang et al (2008) سنگ‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی معمول جزایر کمانی در مقایسه با آداکیت‌ها: (۱) Y و عناصر سنگین (HREE) زیادتری دارند، (۲) نسبت Sr/Y پایین، (۳) آنومالی منفی Eu و Sr دارند. با این حال جدیدترین تعریف از آداکیت‌ها را (Castillo 2006, 2012) پیشنهاد کرده است که

برای تعریف سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی غنی از سیلیکات با نسبت‌های Sr/Y و La/Yb زیاد به کار برده می‌شود که در اثر ذوب بخشی لیتوسفر اقیانوسی جوان فرورونده به زیر پوسته قاره‌ای در مناطق فرورانش شکل می‌گیرند. به عبارت دیگر، آداکیت‌ها گدازه‌های آمفیبول و پلاژیوکلازدار سرشار از سیلیس (بیشتر از ۵۶ درصد وزنی) هستند که آلومینیوم بیشتر از ۱۵ درصد وزنی و سدیم بیشتر از ۳/۵ درصد وزنی دارند. داشتن مقادیرهای Sr بیشتر از ۳۰۰ ppm، Y کمتر از ۱۸ ppm، مقادیر بالای  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{wt} \% > ۳/۵$ )، نسبت  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  پایین (۴۲/۰~)، نسبت Sr/Y بزرگتر از ۲۰ و نسبت La/Yb بیشتر از ۲۰، از ویژگی‌های شاخص آن‌هاست و در مقایسه با دیگر سنگ‌های آذرین معمول رخمون یافته در مرزهای فعال قاره‌ای مقادیر Yb و Y کمتری دارند (Martin, 1999).

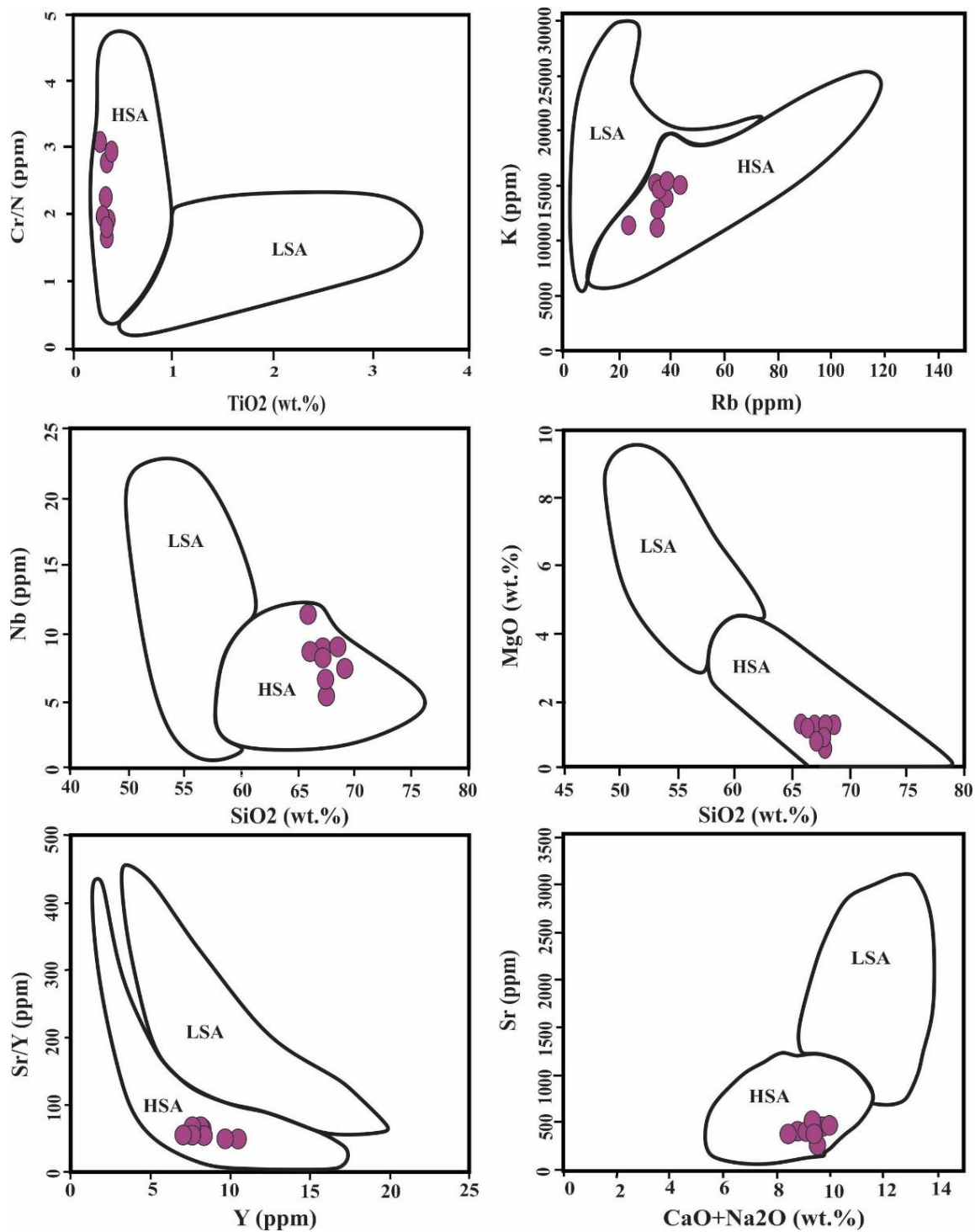
بررسی و مطالعه گسترده آداکیت‌ها توسط Martin (1999) منجر شد که آن‌ها را از نظر ترکیبی به دو گروه آداکیت‌های پر سیلیس (HSA) و آداکیت‌های کم سیلیس (LSA) تقسیم‌بندی نمایند.

آداکیت‌ها پر سیلیس، با ترکیب آندزیت هورنبلنددار تا داسیت و ریوداسیت، فاقد فنوکریست‌های پیروکسن هستند. این آداکیت‌ها به عنوان مذاب‌های حاصل از ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورونده با ترکیب اکلوزیت یا آمفیبولیت گارنت دار در فشار معادل با محدوده پایداری گارنت تفسیر می‌شود که در طول صعود از گوه گوشته‌ای با پریدوتیت آن واکنش داده اند (Martin et al., 2005). این مذاب‌ها در خلال صعود از میان گوه گوشته‌ای، پریدوتیت را هضم می‌کند (Rapp et al., 1999). به طور کلی می‌توان گفت که آداکیت‌های پر سیلیس شاخص مذاب‌های ورقه‌ای حاصل از ذوب سنگ‌های مافیک ورقه اقیانوسی فرورونده در فشار بالا (گستره پایداری گارنت = رخساره‌های اکلوزیت و یا گارنت آمفیبولیت) هستند (جمشیدی، ۱۳۹۴).

گدازه‌های LSA با ترکیب آندزیتی و بازالتی حاوی فنوکریست پیروکسن بوده و دارای ترکیبات ناسازگار با ذوب بازالت هستند (جمشیدی، ۱۳۹۴). این گروه آداکیتی از مذاب حاصل از ذوب پریدوتیت گوشته‌ای متاسوماتیسم شده حاصل می‌شوند که ترکیب آن در اثر واکنش با مذاب حاصل از لیتوسفر اقیانوسی (با

نسبت مذاب به پریدوتیت پائین) تغییر کرده است (Martin et al., 2005). سنگ‌های آداکیتی سیلیس پایین، معمولاً دارای ۵۰ تا ۶۰ درصد  $\text{SiO}_2$  هستند، در حالی که سنگ‌های آداکیتی پر سیلیس، دارای میزان  $\text{SiO}_2$  بیشتر از ۵۶ درصد می‌باشند (Moyen, 2009).

با توجه به دیاگرام‌های شکل ۴-۷، مقادیر K، MgO، Sr، Sr/Y و Nb در سنگ‌های کالداری قره چای کم است و در محدوده آداکیت‌های HSA واقع می‌شوند. قرار گرفتن این سنگ‌های در محدوده HSA نشان می‌دهد که ماگمای والد این سنگ‌ها احتمالاً از ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورونده با ترکیب اکلوژیت یا آمفیبولیت گارنت‌دار در محدوده پایداری گارنت بوجود آمده که با پریدوتیت گوه گوشته‌ای در طی صعود واکنش داده است (Martin et al., 2005).



شکل ۴-۷: موقعیت نمونه‌های داسیتی کالدرای قره چای در نمودارهای متمایز کننده آداکیت‌های پرسیلیس (HSA) و

آداکیت‌های کم سیلیس (LSA؛ Martin et al., 2005).

#### ۹-۴- محیط زمین ساختی تشکیل سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره چای

یکی از بهترین روش‌ها برای تشخیص محیط تکتونیکی تشکیل ماگما استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و نمودارهای متمایزکننده تکتونوماگمایی می‌باشد. عناصر کمیاب به دلیل غیر متحرک بودن در شرایط دگرسانی و گرمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بنابراین استفاده از نمودارهای متمایزکننده‌ای که بر پایه‌ی عناصر کمیاب بنا شده‌اند، کاربرد زیادی دارد. سرشت کالک آلکالن (شکل ۴-۴) و ناهنجاری منفی آشکار در عنصرهای با شدت میدان بالا (مانند Nb، Ti و P) و آنومالی مثبت Pb در این سنگ‌ها (شکل ۴-۵) نشان دهنده ویژگی‌های ماگماهای مرتبط با حاشیه فعال قاره‌ای است (Wood et al., 1979).

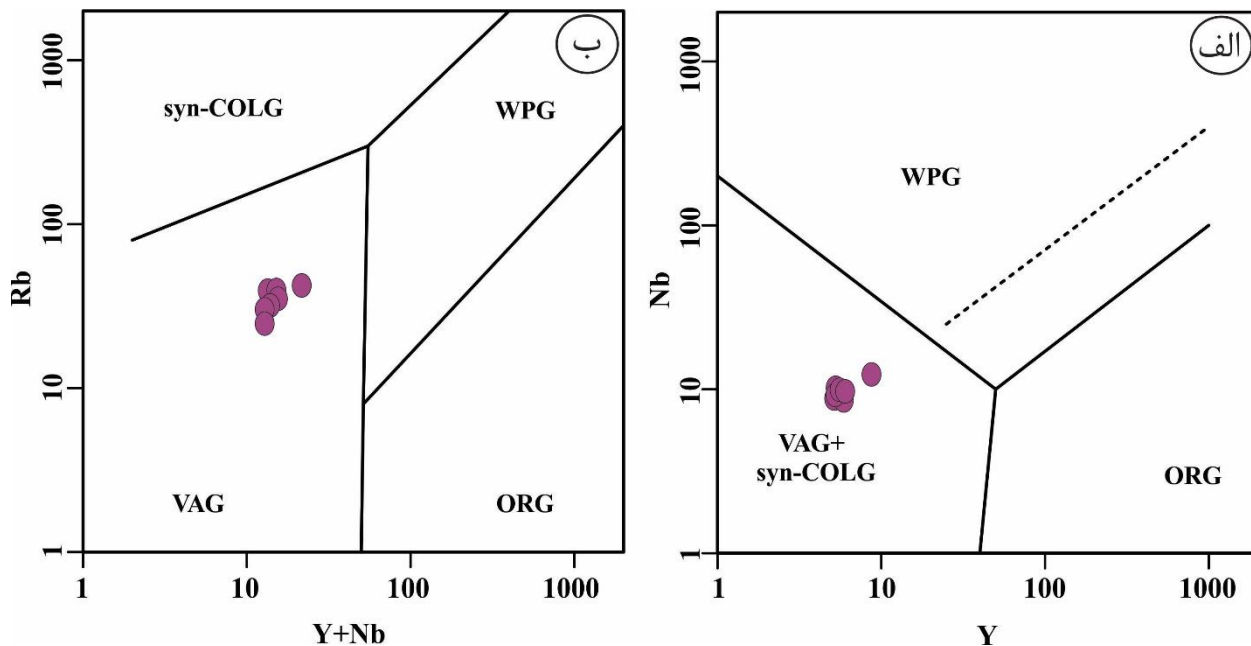
#### ۹-۴-۱- نمودارهای متمایز کننده Nb-Y و Rb-Y+Nb

در دیاگرام‌های دو متغیره Y در مقابل Nb گرانیوتئیدهای اقیانوسی (ORG)، درون صفحه‌ای (WPG) و کمان آتشفشانی (VPG) از هم تفکیک شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تمام نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در موقعیت گرانیوتئیدهای کمان آتشفشانی و همزمان با برخورد قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۸ الف). برای دستیابی به یک نتیجه بهتر، از نمودار متمایز کننده Rb در مقابل Y+Nb استفاده شده که می‌تواند گرانیوتئیدهای همزمان با برخورد را از کمان آتشفشانی به خوبی از هم تفکیک کند. بر این اساس نمونه‌های کالدرای قره چای در محدوده گرانیوتئیدهای کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۴-۸ ب).

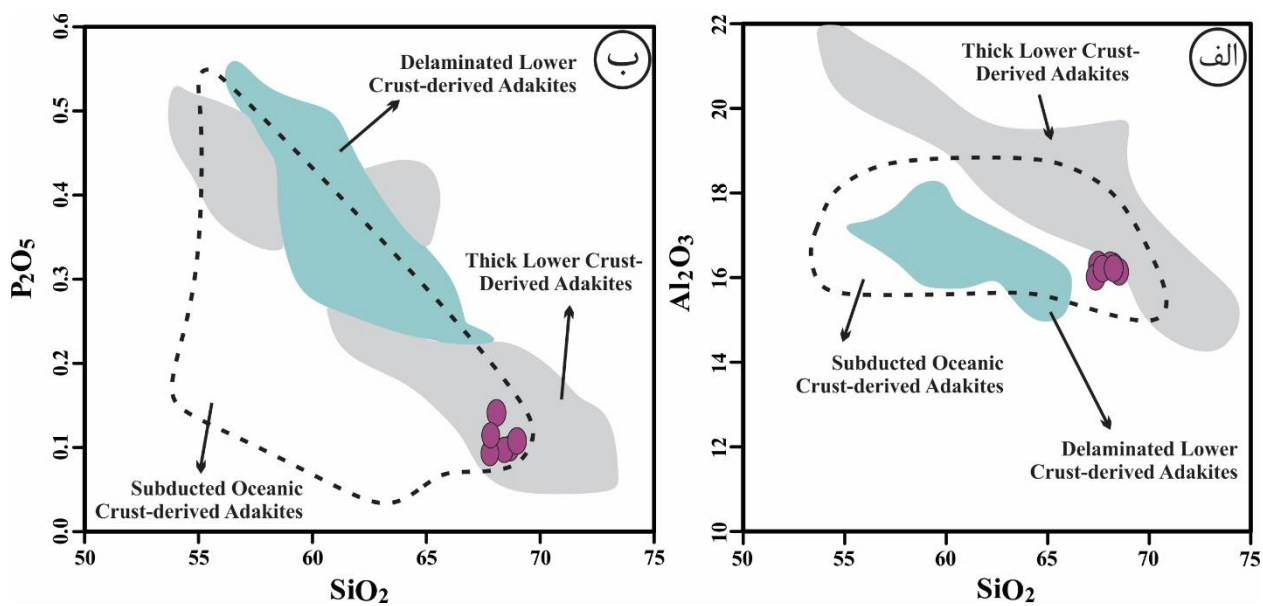
#### ۹-۴-۱۰- منشأ سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره چای

نمودارهای (Wang et al 2006, 2008) که بر اساس نسبت اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $P_2O_5$  در مقابل  $SiO_2$  طراحی شده، قابلیت تعیین منشأ را برای سنگ‌ها دارند. در این نمودارها سنگ‌های کالدرای قره چای در محدوده آداکیت‌های مشتق شده از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی فرورانده شده، قرار می‌گیرند (شکل ۴-۹).



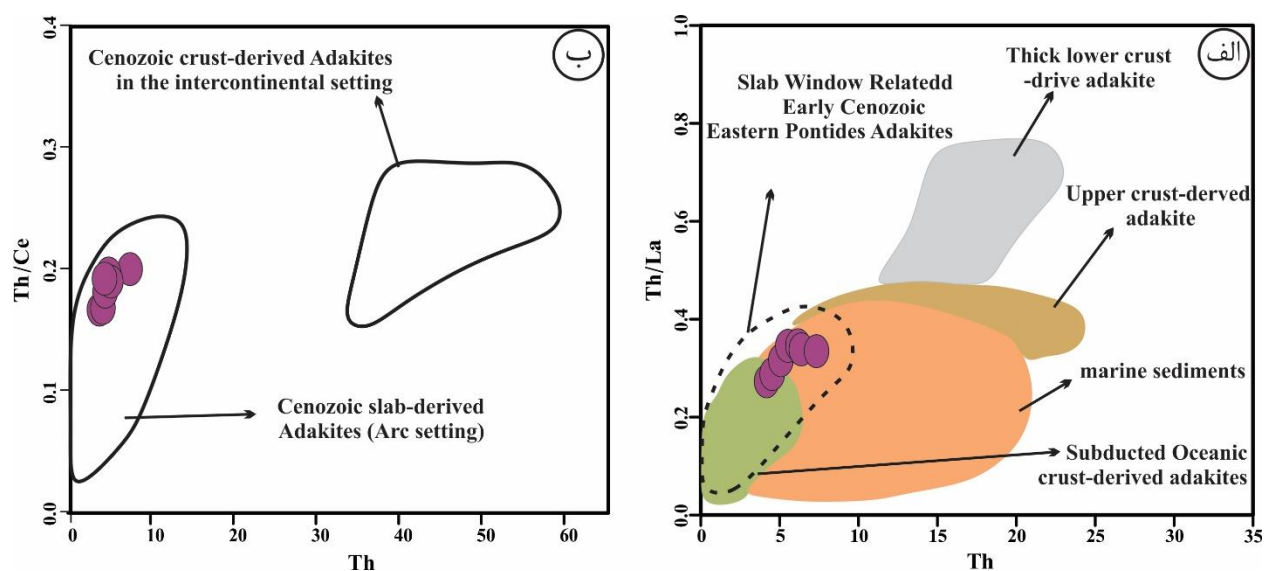


شکل ۴-۸: موقعیت قرارگیری نمونه‌های کالدرای قره چای در نمودار تمایز محیط تکتونیکی از Pearce et al. (1984) که نشانگر قرار گرفتن نمونه‌ها در موقعیت گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی می‌باشد.



شکل ۴-۹: نمودار تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در مقابل SiO<sub>2</sub> جهت تعیین منشأ آداکیت‌های کالدرای قره چای (Wang et al., 2006, 2008). بر اساس این نمودارها، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های مشتق شده از ذوب بخشی لیتوسفر اقیانوسی فرورونده، قرار می‌گیرند.

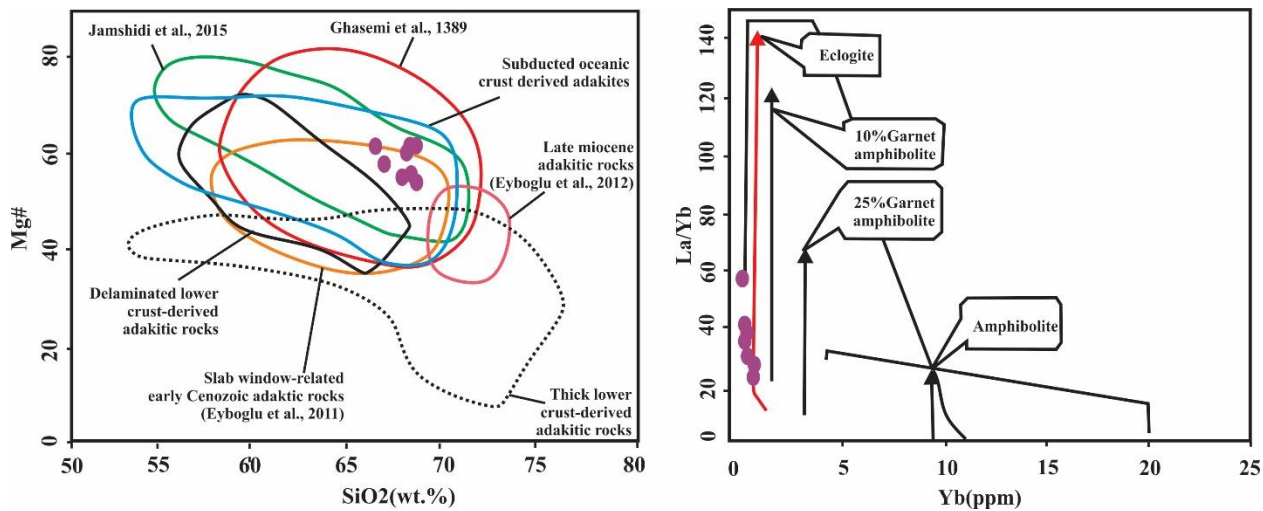
با توجه به نمودارهای Th/La در برابر Th (Wang et al., 2006) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های آداکیتی مشتق شده از لیتوسفر اقیانوسی فرورانش یافته و آداکیت‌های مرتبط با پنجره اقیانوسی اسلب (Slab) قرار می‌گیرند (شکل ۴-۱۰ الف). همچنین طبق نمودار Th/Ce در برابر Th (Wang et al., 2008)، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های مشتق شده از ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورونده حاصل شده‌اند (شکل ۴-۱۰ ب).



۴-۱۰ الف: نمودار Th/La در مقابل Th از Wang et al. (2006) ب: نمودار تغییرات Th در برابر Th/Ce از Wang et al (2008) که نشان دهنده محل قرارگیری سنگ‌های مورد مطالعه بر روی نمودارهای تعیین منشأ آداکیت‌ها که در آن نمونه‌های در محدوده سنگ‌های آداکیتی مشتق شده از لیتوسفر اقیانوسی فرورانش شده قرار می‌گیرند.

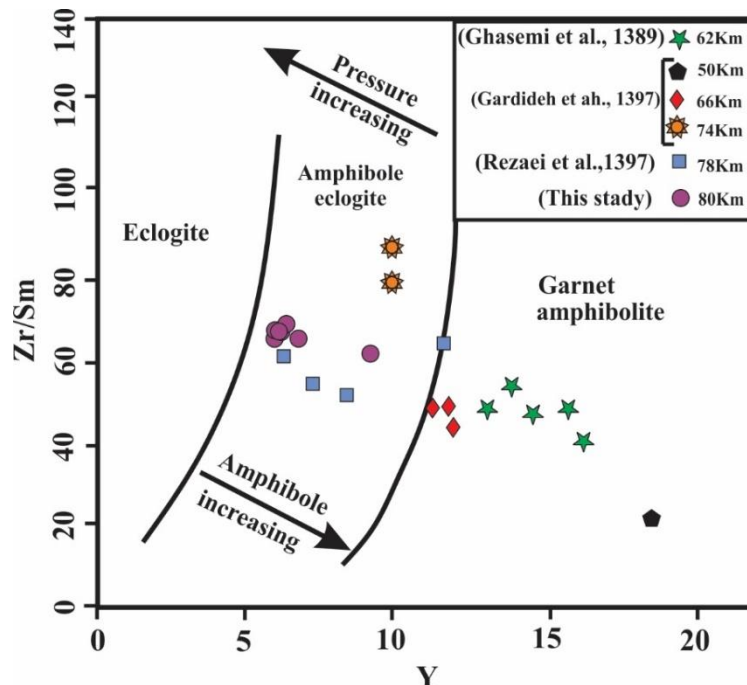
قرار گرفتن سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده HSA نشان می‌دهد (شکل ۴-۷) که ماگمای والد این سنگ‌ها احتمالاً از ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورونده با ترکیب اکلوزیت یا گارنت آمفیبولیت‌دار در فشار معادل با محدوده پایداری گارنت بوجود آمده که با پریدوتیت گوه گوشته‌ای در طی صعود واکنش داده است (شکل ۴-۱۱ الف؛ Martin et al., 2005). به عبارت دیگر، سنگ‌های آداکیت‌های مورد مطالعه احتمالاً از ذوب لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس در محدوده گستره پایداری گارنت رخساره‌های اکلوزیت و یا گارنت

آمفیبولیت و در طی فرورانش آن به زیر پهنه جنوبی رشته کوه البرز در زمان میوسن تشکیل شده است. واقع شدن نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های مرتبط با فرورانش نیز موضوع فوق را تأیید می‌کند (شکل ۴-۱۱ ب). این موضوع همچنین با نتایج سایر محقق (از قبیل قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ رضائی کهخانی و همکاران، ۱۳۹۷) هم سازگار است که گنبد‌های آداکیتی نیمه عمیق جنوب کالدرای قره چای با سن میوسن را مطالعه کرده‌اند؛ و آن‌ها را به ذوب لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس در طی فرورانش به سمت شمال شرق به زیر پهنه جنوبی رشته کوه البرز نسبت داده‌اند.



شکل ۴-۱۱ الف: محل قرارگرفتن نمونه‌های آداکیتی مورد مطالعه در دیاگرام (Drummond and Defant 1990) که با ذوب بخشی یک منشأ اکلوزیتی مطابقت دارند. ب: واقع شدن نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های مرتبط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر پهنه‌ی جنوبی رشته کوه البرز.

نکته جالب در مورد ذوب لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس این است که با افزایش مسافت به سمت شمال شرق و فاصله گرفتن از محل فرورانش (که اکنون با موقعیت فعلی افیولیت‌های سبزوار مشخص می‌شود)، ذوب این لیتوسفر در اعماق بیشتری اتفاق افتاده است (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲: موقعیت نمونه‌های سنگ‌های آداکیتی کالدرای قره چای و گنبد‌های نیمه عمیق آداکیتی شمال شرق سبزوار در نمودار Y در مقابل Zr/Sm (Deng et al., 2017). اعداد مجاور سیمبل‌ها، فاصله نقاط نمونه برداری شده از محل افیولیت های سبزوار را نشان می‌دهند. برای توضیحات بیشتر به متن مقاله مراجعه شود.

براساس تعیین سن‌های اخیر انجام شده بر روی سنگ‌های آداکیتی شمال شرق سبزوار مشخص می‌شود که سن این سنگ‌ها با فاصله گرفتن از زون افیولیتی سبزوار کاهش پیدا می‌کند. بطوریکه آداکیت‌های نزدیک به سنگ‌های افیولیتی سبزوار دارای سن‌های ۴۴ تا ۴۹ میلیون سال بوده (Jamshidi et al., 2015)؛ اما هر چه به سمت شمال شرق پیشروی می‌کنیم و از افیولیت دور می‌شویم، سن این گنبد‌های آداکیتی کاهش پیدا کرده و به کمتر از ۲ میلیون سال می‌رسد (شکل ۴-۱۳؛ گردیده و همکاران، ۱۳۹۷؛ Spies et al., 1983, Omrani, 2018). لذا به نظر می‌رسد که احتمالاً بر اثر فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس شاخه سبزوار به زیر لبه شرقی پهنه البرز، این لیتوسفر به گارت آمفیبولیت دگرگون شده و بر اثر ذوب آن سنگ‌های آداکیتی همجوار با افیولیت‌های سبزوار در حدود ۴۹ میلیون سال قبل بوجود آمده و در پی فرو رفتن آن به اعماق بیشتر با دور شدن از محل فرورانش، ترکیب آن به اکلوزیت تغییر یافته و سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای و گنبد‌های مجاور آن را تشکیل داده است (شکل ۴-۱۱).

#### ۴-۱۱- نحوه تشکیل کالدرا قره چای

کالدرای قره چای در فروافتادگی بین رشته کوه بینالود در جنوب و زون کپه داغ در شمال واقع شده است. این کالدرا در محل تقاطع دو دسته گسل اصلی امتدادلغز با روند شمالی - جنوبی (گسل قوچان) و شمال باختر - جنوب خاور (گسل دره گز) قرار گرفته است. در ادامه نقش گسل‌ها در نحوه تشکیل کالدرای قره چای مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ارائه شده شامل دو بخش قبل از فروریزش کالدرا و تشکیل آتشفشان و بعد از فروریزش کالدرا است.

#### ۱) مرحله قبل از فروریزش کالدرا و تشکیل آتشفشان

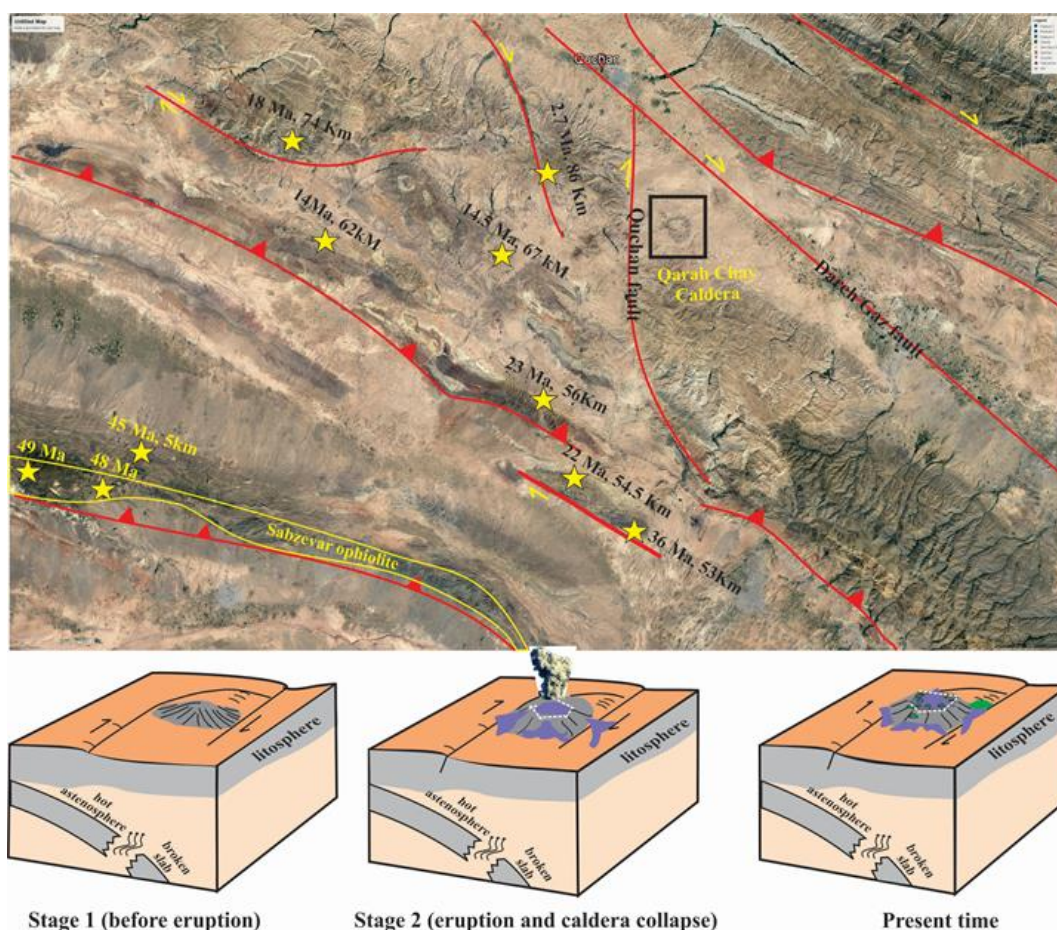
در منطقه قره چای، جابه‌جایی‌های افقی و عمودی توسط گسل‌های بزرگ تراکشی شکنا - شکل‌پذیر قوچان و دره گز به ترتیب با راستای شمالی - جنوبی و شمال باختر - جنوب خاور سبب ایجاد بازشدگی‌های محلی، کشیدگی و نازک‌شدگی پوسته و کاهش فشار بر گوشته بالایی گردیده است. این امر منجر به صعود ماگما به زیر پوسته نازک‌شده گردید و بالآمدگی گنبدی شکل آن را ایجاد کرد. گرمای ناشی از صعود ماگمای داغ با ایجاد رفتار شکل‌پذیر در سنگ‌ها سبب کنترل ساختار گنبدی گردید و ریخت دایره‌ای شکلی را در منطقه به وجود آورد. سپس سنگ‌های موجود در برآمدگی گنبد، قطعه قطعه شده و در پاسخ به بالا آمدن گنبد به طور نامنظم چرخیده و شکستگی‌های دندریتی و شعاعی متفاوت با ساختارهای همجوار را تشکیل دادند (شکل ۱۲).

#### ۲) مرحله فروریزش کالدرا

در این مرحله، خروج ماگمای داسیتی گازدار به صورت فعالیت انفجاری شدید سبب خالی شدن آشیانه ماگمایی زیر کالدرا و فروریزش بخش مرکزی کالدرا گردید. فوران انفجاری ماگمای گازدار داسیتی سبب تشکیل روانه‌های ایگنیمبریتی شده است. در ادامه، باقی‌مانده ماگمای داسیتی غلیظ با گرانروی بالای موجود در آشیانه از دهانه آتشفشان خارج شده است که فقط در بخش کوچکی از جنوب غرب این کالدرا

قابل مشاهده است (شکل ۴-۱۲).

این مدل بر نقش مهم کنترل‌های ساختاری و فشار ماگمای اسیدی گازدار در تشکیل ساختار کالدرای قره‌چای تأکید دارد. در این مدل، شکستگی‌های ناشی از گسلش و گنبدی شدن پوسته سبب صعود ماگما و خروج انفجاری آن به صورت روانه‌های خاکستر جریانی (ایگنمبریت) شده است. سپس خالی شدن آشیانه ماگمایی زیر کالدرا نیز در نهایت، باعث فروریزش دهانه شد (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳: محل گنبد‌های نیمه‌عمیق و سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره‌چای با ماهیت آداکیتی نسبت به افیولیت‌های سبزوار. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش فاصله از افیولیت‌ها، سن سنگ‌های آداکیتی کاهش می‌یابد. نحوه تشکیل کالدرای قره‌چای. Stage 1: قبل از فروریزش کالدرا و تشکیل آتشفشان؛ Stage 2: فروریزش کالدرا و Present time: وضعیت کنونی این کالدرای آتشفشانی. گسل‌های موجود در شکل‌ها از Shabanian et al., (2012) اقتباس شده‌اند.

## فصل پنجم

### تجربہ گیری و پیشہدات



## ۵ - ۱ - نتیجه گیری

کالدرای قره چای در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق قوچان واقع شده است و بخشی از نوار ماگمایی قوچان - اسفراین محسوب می‌شود. سنگ‌های داسیتی این کالدرای متشکل از کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول، دارای بافت‌های متنوع پورفیری، غربالی، گلوپورفیری و جریانی می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه قدیمی‌ترین سنگ‌ها متعلق به سازند کشف رود مربوط به ژوراسیک میانی هستند و شامل شیل‌ها و ماسه سنگ‌های زیتونی تا خاکستری تیره به همراه لایه‌های فرعی مارن ماسه‌ای به رنگ سبز می‌باشد.

در نمودارهای بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه، این سنگ‌ها از عناصر نادر خاکی سبک و لیتوفیل بزرگ یون (LILE) غنی‌شدگی و از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) و عناصری با شدت میدان بالا (HFS) تهی‌شدگی نشان می‌دهند. سرشت کالک‌آلکالن و ناهنجاری منفی آشکار در عنصرهای با شدت میدان بالا (مانند Ti، Nb و P)، آنومالی مثبت Pb، مقادیر زیاد Sr، Sr/Y، Na<sub>2</sub>O /K<sub>2</sub>O و مقدارهای کم K و MgO در این سنگ‌ها، نشانگر ویژگی‌های ماگماهای آداکیتی پرسیلیس (HSA) مرتبط با محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای است. این ویژگی‌ها بیانگر تشکیل ماگمای والد این سنگ‌ها بر اثر ذوب بخشی یک سنگ منشأ اکلوزیتی حاصل از دگرگونی لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده نئوتتیس حوضه سبزوار به زیر لبه جنوبی پهنه البرز شرقی در زمان میوسن تشکیل شده است. آنومالی مثبت Pb در این نمونه‌ها بخاطر متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای و آرایش ماگما با مواد پوسته‌ای است. آنومالی منفی Nb نیز حکایت از تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه در حاشیه فعال قاره‌ای و در طی فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر لبه جنوبی پهنه البرز جنوبی دارد.

مطالعات شیمی کانی‌ها و تعیین شرایط دما - فشار نشان می‌دهند که آمفیبول‌های موجود در این سنگ‌ها در محدوده ادنیت تا هورنبلند منیزیم‌دار قرار دارند. ترکیب این کانی‌ها منطبق بر آمفیبول‌ها موجود در سری ماگمایی آهکی - قلیایی است. ترکیب پلاژیوکلازها در محدوده بیتونیت تا آندزین هستند.



نتایج حاصل از دما - فشار سنجی بر روی کانی آمفیبول بیانگر تبلور آن در دمای بین در دمای ۸۷۳ تا ۱۰۰۴ درجه سانتی گراد و بازه فشاری ۵۵ تا ۲۴۵ مگاپاسکال می باشد.

#### ۲-۵- پیشنهادات

مطالعات ایزوتوپی برای تعیین سن و منشا دقیق سنگ‌های آذرین این کالدر را پیشنهاد می‌شود.



# منابع

بازوبندی، م.ج.، (۱۳۷۹) " مطالعه پتروگرافی و پترولوژی مجموعه دگرگونی سلطان آباد در ارتباط با مجموعه افیولیت ملانژ سبزوار ". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه تهران.

بربریان م، (۱۳۶۲) "دگرریختی قارهای در فلات ایران زمین". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش شماره ۵۲.

پور لطیفی، ا.، (۱۳۸۵) "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش اخلمد". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تنها، ع.، (۱۳۸۸) "پتروژن سنگ های آذرین نئوژن در شمال انبر آباد (مشکان)". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

جمشیدی، خ.، قاسمی، ح.، صادقیان، م.، (۱۳۹۳) "سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ های آداکیتی پرسیلیس پساافیولیتی سبزوار".

مجله پترولوژی، سال ۵ (۱۷)، ص ۵۱-۶۸.

جمشیدی، خ.، قاسمی، ح.، صادقیان، م.، (۱۳۹۲) "سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ های آداکیتی پرسیلیس پساافیولیتی سبزوار". مجله پترولوژی، ص ۵۱-۶۸.

جمشیدی، خ.، (۱۳۹۴) "پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژن گنبد های آداکیتی شمال باشتین، سبزوار". رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

جمشیدی، خ.، قاسمی، ح.، میائو، ل.، (۱۳۹۴) "سن سنجی U-Pb و تعیین ترکیب محل منشأ گنبد های آداکیتی پساافیولیتی سبزوار". مجله پترولوژی، سال ۸ (۲۳)، ص ۱۲۱ تا ۱۳۸.

دهنوی، ن.خ.، مهدی زاده شهری، ح.، صادقیان، م.، (۱۳۸۷) "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های ساب ولکانیک شهر فیروزه (بزغان) در غرب نیشابور". مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ص ۱۸۴۴ تا ۱۸۴۸.

رضایی کهخایی، م.، طاهری سرتشیزی، ا.، قاسمی، ح.، گردیده، س.، (۱۳۹۷) "زمین شیمی و زمین شناسی ایزوتوپی گنبد های آداکیتی منطقه چکنه جنوب غرب قوچان (شمال خاوری ایران)". پترولوژی، ۹ (۳۶)، صفحات ۲۵-۴۸.

صالحی نژاد رنجبر، ح.، (۱۳۸۷) "پترولوژی و ژئوشیمی گنبد های ساب ولکانیک منطقه باشتین (غرب سبزوار)". پایان نامه

کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صالحی نژاد، ح.، صادقیان، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۸۶) "ماگماتیسیم آداکیتی در منطقه باشتین، غرب سبزوار". یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی، مشهد.

صادقیان، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۸۶) "پترولوژی و ژئوشیمی توده های آذرین بعد از ائوسن نوار افیولیتی سبزوار". یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

طاهری، ا.، (۱۳۹۷) "ژئوشیمی سنگ کل و ژئوشیمیایی ایزوتوپی گنبد های داسیتی منطقه چکنه، جنوب غرب قوچان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

فارسی، ز.، (۱۳۸۶) "پترولوژی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی چاه سالار (جنوب غرب نیشابور)". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده

علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

فتح آبادی، ف.، (۱۳۹۳) "زمین شناسی، پترولوژی و ژئوشیمی گنبد های ساب ولکانیک منطقه مقیسه (جنوب غرب سبزوار)". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قاسمی، ح.، فتاحی، ا.، (۱۳۸۳) "ماگماتیسیم نئوژن در منطقه سر ولایت، جنوب قوچان". مجموعه مقالات هشتمین همایش انجمن

زمین شناسی ایران، شاهرود.

قاسمی، ح.، صادقیان، م.، خانعلیزاده، ع.، تنها، ع.، (۱۳۸۹) "سنگ شناسی، ژئوشیمی و سن تابش سنجی گنبد های آداکیتی پرسیلیس

کمان قارهای نئوژن، جنوب قوچان". مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۸)، ص ۳۴۷-۳۷۰.

قاسمی، ح.، برهمند، م.، صادقیان، م.، (۱۳۹۰) "گدازه های بازالتی الیگوسن شرق و جنوب شرق شاهرود: شاهدهی بر جایگاه پشت کمائی حوضه الیگو میوسن ایران مرکزی". مجله پترولوژی، شماره ۷ (۲)، ص ۵۱-۶۸.

گردیده، س.، (۱۳۹۷)، "پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز گنبد های آداکیتی نئوژن، (نوار ماگمایی قوچان - اسفراین)، شمال شرق ایران". رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

گردیده، س.، قاسمی، ح.، صادقیان، م.، (۱۳۹۷) "سنسنجی U-Pb بر بلورهای زیرکن، نسبت‌های ایزوتوپی Sr-Nd و زمین شیمی گنبد‌های آداکیتی نفوژن کمان ماگمایی قوچان-اسفراین، شمال شرق ایران". مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۶(۲)، صفحات ۴۵۵ - ۴۷۸.

گردیده، س.، قاسمی، ح.، صادقیان، م.، (۱۳۹۷) "سنسنجی U-Pb بر بلورهای زیرکن، نسبت‌های ایزوتوپی Sr-Nd و زمین شیمی گنبد‌های آداکیتی نفوژن کمان ماگمایی قوچان-اسفراین، شمال شرق ایران". مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۶(۲)، صفحات ۴۵۵ - ۴۷۸.

مصلحی، ز.، (۱۳۸۳) "کانی‌شناسی و پترولوژی رودنژیت‌های بخشی از ازیولیت‌های سبزواری (مناطق باغجر و سلیمانیه)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدی گورجی، ا.، (۱۳۹۱) "ژئوشیمی و پتروژنز گنبد‌های ساب و لکانیک منطقه شمال غرب سبزواری با تکیه بر مطالعات ایزوتوپی Sr-Nd". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه دامغان.

## Refrence

- Allen M., Jackson J., Walker R., (2004) "Late Cenozoic reorganization of the arabia-Eurasia collision and the comparison of short term and long-term deformation rates", Tectonics, 23, Tc2008.
- Azizi H., & Jahangiri A., (2008) "Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", Journal of Geodynamics 45, 178-190.
- Allegre C. J., Provost A., Jaupart C., (1981) "Oscillatory zoning: a pathological case of crystal growth", Nature, 294, 223-228.
- Bauman A., Spies O., Lensch G., (1983) "Strantium isotopic composition of post-ophiolitic tertiary volcanics between kashmar, sabzevar and Quchan NE Iran Geodynamic project (geotraverse) in Iran, Final report", Geological Survey of Iran. Report No.51.
- Baker D. R., (1998) "Granitic melt viscosity and dike formation", Journal of Structural Geology, 20, 1395-1404.
- Best G., (2003) "Igneous and metamorphic petrology", Blackwell Science, 729pp.

- Buckley V. J., Sparks R. S. J., Wood B. J., (2006) “**Hornblende dehydration reactions during magma ascent at Soufriere Hills Volcano, Montserrat**”, *Journal of Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151, 121-140.
- Bottinga Y., Kudo A., Weill D., (1966) “**Some observation on oscillatory zoning and crystallization of magmatic plagioclase**”, *American Mineralogist*, 51, 792-806.
- Blundy J. D., Holland T. J. B., (1990) “**Calcic amphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer**”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104, 208-224.
- Boynnton, W.V., (1984) “**Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies, in Henderson, P., ed., Rare earth element geochemistry: Henderson, P. (Ed)**”, *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, 63-114.
- Castillo P.R., (2006) “**An overview of adakite petrogenesis Chin**”, *Science Bulletin*, 51, 257-268.
- Castillo P.R., (2012) “**Adakite petrogenesis**”, *Lithos*, 134, 304-316.
- Coltorti M., Bonadiman C., Faccini B., Grégoire M. O., Reilly S. Y., Powell W., (2007) “**Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle**”, *Lithos*, 99, 68-84.
- Deer W. A., Howie R. A., Sussman J. Z., (1986) “**An Introduction to the Rock Forming Minerals**”, Longman Ltd, 528 pp.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., (1996) “**An Introduction to Rock-Forming Minerals**”, 17th Edition, Longman Ltd., London, 528 pp.
- Defant M. J., Drummond M. S., (1990) “**Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere**”, *Nature*, 347, 662–665.
- Deng J., Yang X., Qi H., Zhang Z. F., Mastoi A. F., Sun W., (2017) “**Early Cretaceous high Mg adakites associated with Cu-Au mineralization in the Cebu Island, Central Philippines: Implication for partial melting of the Paleo-Pacific Plate**”, *Ore Geology Reviews* 88, 251-269.
- Foley F., Norman J., Pearson N. J., Rushmer T., Turner S., Adam J., (2013) “**Magmatic Evolution and Magma Mixing of Quaternary Adakites at Solander and Little Solander Islands, New Zealand**”, *Journal of Petrology*, 54, 1-42.



- Ghasemi A., Talbot C. J., (2006) “**A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)**”, International Journal of Earth Sciences., 26, 683-693.
- Gaetani G. A., (2004) “**the influence of melt structure on trace element partitioning near the peridotite solidus**”, Contributions to Mineralogy and Petrology, 147, 511-527.
- Holland T., Blundy J., (1994) “**Non-Ideal Interactions in Calcic Amphiboles and Their Bearing on Amphibole-Plagioclase Thermometry**”, Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, 4, 433-447.
- Hawkesworth C.J., Gallagher K., Hergt J. M., (1993) “**Mantle and slab contributions in arc magmas**”, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 21, 175-204.
- Irvine T. N., Baragar W. R. A., (1971) “**A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks**”, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Jamshidi Kh., Ghasemi H., Troll V. R., Sadeghian M., Dahren B., (2015) “**Magma storage and plumbing of adakite-type post-ophiolite intrusions in the Sabzevar ophiolitic zone, NE Iran**”, Journal of Solid Earth, 6, 49-72.
- Jamshidi Kh., Ghasemi H., Miao L., Sadeghian M., (2018) “**Adakite magmatism within the Sabzevar ophiolite zone, NE Iran: U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopic evidences**”, Geopersia, 8 (1): 111-130.
- Juteau T., Maury R., (1997) “**Geologie de la croûte océanique**”, pétrologie et dynamique endogènes. Masson, Paris.
- Kirkpatrick R.G., (1977) “**Nucleation and growth of plagioclase, Makaopuhi and Alana lava lakes Kilauea volcano, Hawaii**”, Geological Society of America Bulletin, 88, 78-84.
- Kay R. W., (1978) “**Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust**”, J. Volcanol. Geoth. Res., 4, 117-132.
- Kumar S., Singh R.N., (2014) “**Modelling of Magmatic and Allied Processes**”, Springer, 240pp.
- L'Heureux I., (1997) “**Oscillatory zoning in plagioclase: thermal effects**”, Physica A., 239, 137-146.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A.,

- Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G., (1997) **“Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names”**, Am. Mineral., 82, 1019-1037.
- Molina J., Scarrow J., Montero P.G., Bea F., (2009) **“High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: evidence for mildly alkalic- hybrid melts during evolution of Variscan basic-ultrabasic magmatism of Central Iberia”**, Contribution to Mineralogy and Petrology 158, 69-98.
- Martin H., (1999) **“Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids”**, Lithos, 3, 411-429.
- Miyashiro A., (1974) **“Volcanic rock series in island arcs and active continental margins”**, American Journal of Sciences, 274, 321-355.
- Moyen J. F., (2009) **“High Sr/Y and La/Yb ratios: The meaning of the Adakitic signature”**, Lithos, 112, 556-574.
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.F., Champion D., (2005) **“An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution”**, Lithos, 79, 1-24.
- Middlemost E. A., (1994) **“Naming materials in the magma/igneous rock system”**, Earth-Science Reviews, 37, 215-224.
- Omrani H., (2018) **“Island-arc and Active Continental Margin Adakites from the Sabzevar Zone, Iran”**, Petrology, 26, 96–113.
- Putirka K.D., (2008) **“Thermometers and barometers for volcanic systems, in: Minerals, inclusions and volcanic processes, edited by: Putirka, K. and Tepley, F.” Rev”**, Mineralogy and Geochemistry, 69, 61-120.
- Peccerillo R., Taylor S.R., (1976) **“Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey”**, Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.
- Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., (1984) **“Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks”**, Journal of Petrology, 25, 956-983.

- Ridolfi F., Renzulli A., (2012) “**Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 °C and 2.2 GPa**”, Contributions to Mineralogy and Petrology, 163, 877–895.
- Rollinson H., (1993) “**Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation**”, Published by Routledge, New York, USA, 352pp.
- Rapp R. P., Shimizu N., Norman M. D., Applegate G. S., (2006) “**Reaction between slabs derived melts and peridotite in the mantle wedge: experimental constraints at 3.8 GPA**”, Chemical Geology, 160, 335-356.
- Schandi E. S., Gorton M. P., (2002) “**Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments**”, Economic Geology, 97, 629-642.
- Stewart M. L., Pearce T. H., (2004) “**Sive-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results**”, American Mineralogist, 89, 348–351.
- Sun S. S., McDonough W. S., (1989) “**Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes**”, Geological Society, London, Special Publications, 42, 313-345.
- Spies O., Lensch G., Mihem A., (1983) “**Geochemistry of the post- ophiolitic Tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan (NE Iran)**”, Geological Sun of Iran, Report no. 51, 247-266.
- Shojaat B., Hassanipak A. A., Mobasher K., Ghazi A. M., (2003) “**Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran**”, Journal of Asian Earth Science, 21, 1053-1067.
- Shabanian E., Acocella V., Gioncada A., Ghasemi H., Bellier O., (2012) “**Structural control on volcanism in intraplate post collisional settings: Late Cenozoic to Quaternary examples of Iran and Eastern Turkey**”, Tectonics, 31, 3013-3042.
- Shojaat B., Hassanipak A. A., Mobasher K., Ghazi A. M., (2003) “**Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran**”, Journal of Asian Earth Science, 21, 1053-1067.
- Shafaii Moghadam H., Corfu F., Chiaradia M., Stern R., Ghorbani G., (2014) “**Sabzevar**

- Ophiolite NE Iran: progress from embryonic oceanic lithosphere into magmatic arc constrained by new isotopic and geochemical data**", *Lithos*, 20-211, 224-241.
- Shand S. J., (1943) **"Eruptive rocks: their genesis, composition, and classification, with a chapter on meteorites"**, John Wiley & sons, inc., Nature, 444 pp.
- Shelley D., (1993) **"Igneous and metamorphic rocks under the microscope"**, Dept of Geology, University of Canterbury, New Zealand. Chapman and Hall-London, 234 pp.
- Turner S., Arnaud N., Liu J., Rogers N., Hawkesworth C., Harris N., Kelley S., Calsteren P., Deng W., (1996) **"Post-collisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts"**, *Journal of Petrology*, 37, 45-71.
- Winchester J. A., Floyd P. A., (1977) **"Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements"**, *Chemical geology*, 20, 325-343.
- Wood D. A., Joron J. L., Treuil M., Norry M., Tarney J., (1979) **"Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor"**, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 70, 319-339.
- Wang Q., Wyman D. A., Xu J. F., Wan Y. S. Li C. F. Zi F., Jiang X. Q., Qiu H. N., Chu Z. Y., Zhao Z. H., Dong Y. H., (2008) **"Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge"**, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155, 473-490.
- Wang Q., Wyman D. A., Xu J. F., Zhao Z. H., Jian P., Xiong X. L., Bao Z. W., Li C. F., Bai Z. H., (2006) **"Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (Eastern China): implication for geodynamics and Cu- Au mineralization"**, *Lithos*, 89, 424-446.
- Zhang S., Zhao Y., Song B., (2006) **"Hornblende thermobarometry of the Carboniferous granitoids from the Inner Mongolia Paleo-uplift: implications for the tectonic evolution of the northern margin of North China block"**, *Mineralogy and Petrology*, 87, 123-141.

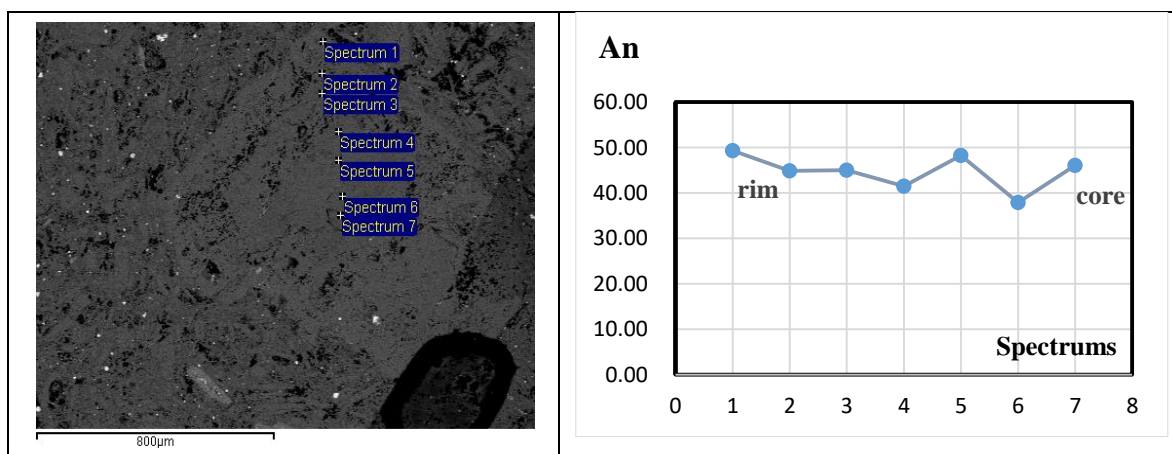


سوستا

جدول ۳-۱: نتایج آنالیز میکروپروب پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای به همراه محل نقاط

آلیز شده بر روی شکل و نمودار تغییرات درصد آنورتیت (An%).

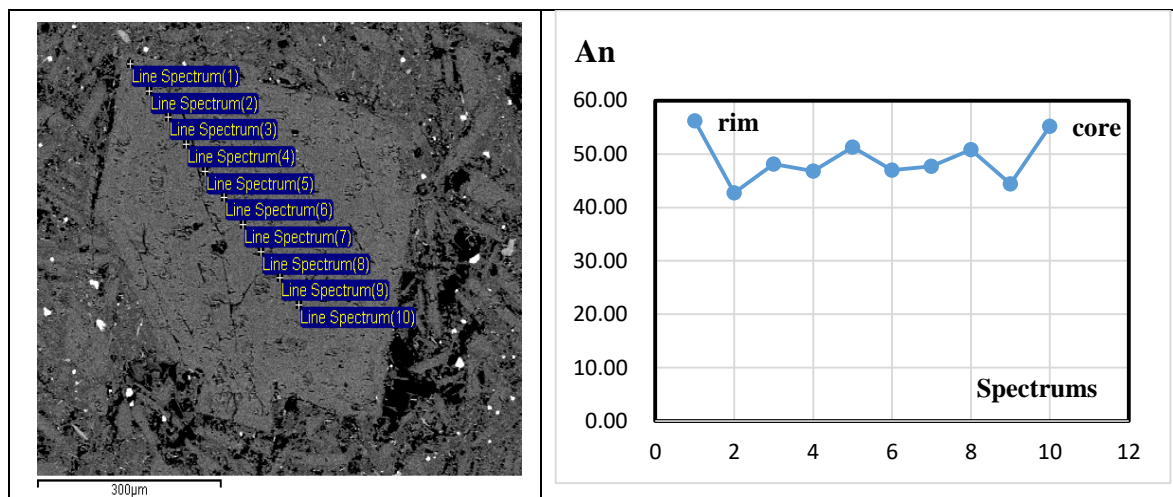
Location	Ach 12						
	Rim			to			core
SiO <sub>2</sub>	55.32	57.03	56.93	57.60	55.86	58.33	56.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.83	26.86	27.05	26.03	27.44	26.16	27.45
FeO	0.32	0.62	0.46	0.92	0.67		0.43
CaO	10.18	9.34	9.36	8.63	9.99	7.87	9.60
Na <sub>2</sub> O	5.55	5.99	6.32	6.65	5.77	7.13	6.21
K <sub>2</sub> O	0.37	0.51		0.11	0.20		
Si	10.02	10.24	10.22	10.37	10.09	10.47	10.16
Al	5.94	5.68	5.72	5.52	5.84	5.53	5.79
Fe <sub>2</sub>	0.05	0.09	0.07	0.14	0.10	0.00	0.06
Ca	1.98	1.80	1.80	1.67	1.93	1.51	1.84
Na	1.95	2.09	2.20	2.32	2.02	2.48	2.16
K	0.09	0.12	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00
Ab	48.60	52.20	55.00	57.90	50.50	62.10	53.90
An	49.30	44.90	45.00	41.50	48.30	37.90	46.10
Or	2.10	2.90	0.00	0.60	1.20	0.00	0.00
Xab	49.64	53.76	55.00	58.25	51.11	62.10	53.90
Xan	50.36	46.24	45.00	41.75	48.89	37.90	46.10





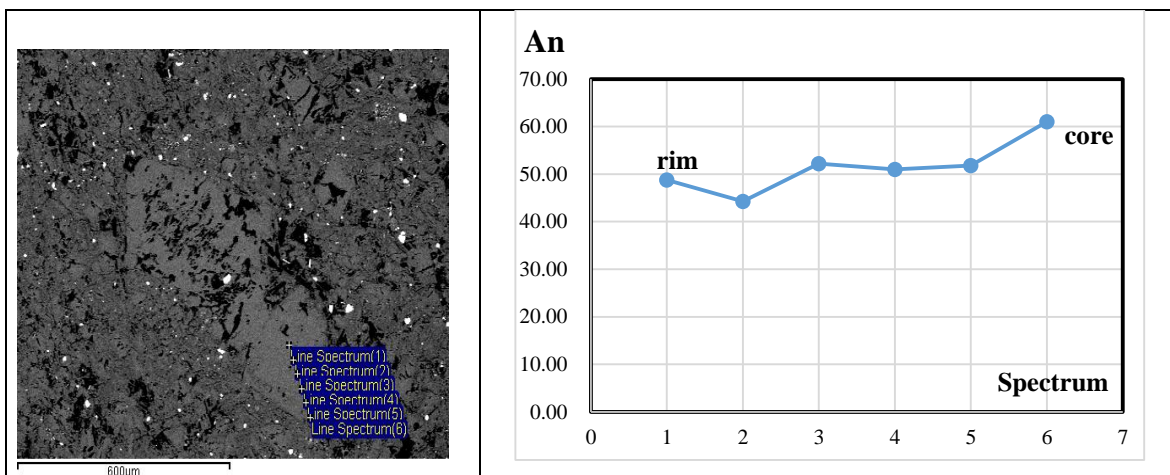
جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach 12										
Location	Rim					to					core
SiO2	53.26	57.63	55.86	56.20	55.21	56.30	56.33	55.31	57.05	54.33	
Al2O3	28.85	27.04	27.40	27.37	27.95	27.94	27.71	28.57	27.32	29.28	
FeO	0.70		0.47	0.43	0.47		0.31		0.08	0.31	
CaO	11.53	8.92	9.92	9.72	10.58	9.80	9.92	10.55	9.27	11.47	
Na2O	4.92	6.50	5.72	6.10	5.55	5.97	5.95	5.40	6.41	5.15	
K2O	0.06	0.17	0.29			0.22	0.11	0.36			
Si	9.72	10.30	10.10	10.13	9.98	10.10	10.11	9.95	10.22	9.77	
Al	6.20	5.69	5.84	5.81	5.95	5.90	5.85	6.05	5.76	6.20	
Fe2	0.11	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	0.05	0.00	0.01	0.05	
Ca	2.26	1.71	1.92	1.88	2.05	1.88	1.91	2.03	1.78	2.21	
Na	1.74	2.25	2.01	2.13	1.95	2.08	2.07	1.88	2.23	1.80	
K	0.01	0.04	0.07	0.00	0.00	0.05	0.03	0.08	0.00	0.00	
Ab	43.40	56.30	50.20	53.20	48.70	51.80	51.70	47.10	55.60	44.80	
An	56.20	42.70	48.10	46.80	51.30	47.00	47.70	50.80	44.40	55.20	
Or	0.30	1.00	1.70	0.00	0.00	1.20	0.60	2.10	0.00	0.00	
Xab	43.57	56.87	51.07	53.20	48.70	52.43	52.01	48.11	55.60	44.80	
Xan	56.43	43.13	48.93	46.80	51.30	47.57	47.99	51.89	44.40	55.20	



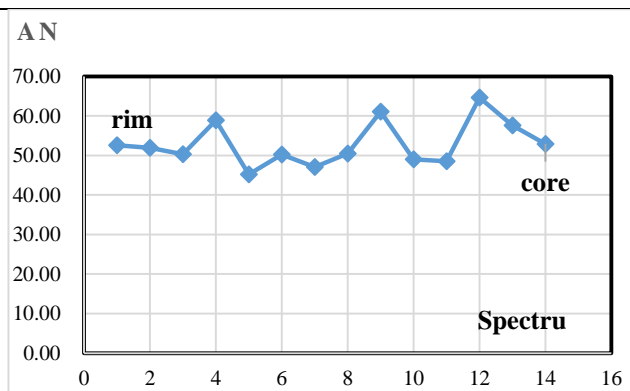
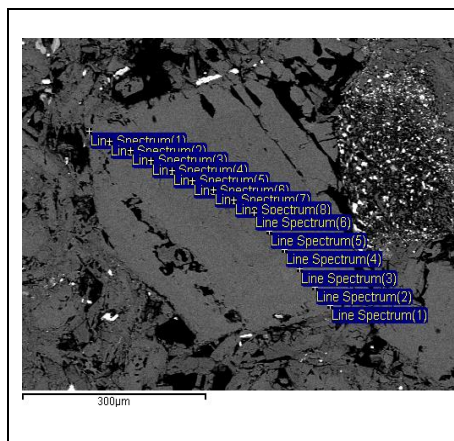
جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach28					
	Location	Core				rim
SiO2	52.63	55.33	55.40	54.96	56.63	55.79
Al2O3	29.59	28.45	28.54	28.78	27.17	27.68
FeO	0.98	0.13	0.15		0.02	0.33
CaO	12.58	10.73	10.59	10.83	9.15	10.08
Na2O	4.45	5.49	5.58	5.48	6.09	5.76
K2O		0.06	0.08		0.40	0.14
Si	9.56	9.95	9.95	9.90	10.22	10.07
Al	6.33	6.03	6.04	6.10	5.78	5.88
Fe2	0.15	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05
Ca	2.45	2.07	2.04	2.09	1.77	1.95
Na	1.57	1.91	1.94	1.91	2.13	2.02
K	0.00	0.01	0.02	0.00	0.09	0.03
Ab	39.00	47.90	48.60	47.80	53.40	50.40
An	61.00	51.80	51.00	52.20	44.30	48.80
Or	0.00	0.40	0.50	0.00	2.30	0.80
Xab	39.00	48.04	48.80	47.80	54.66	50.81
Xan	61.00	51.96	51.20	52.20	45.34	49.19



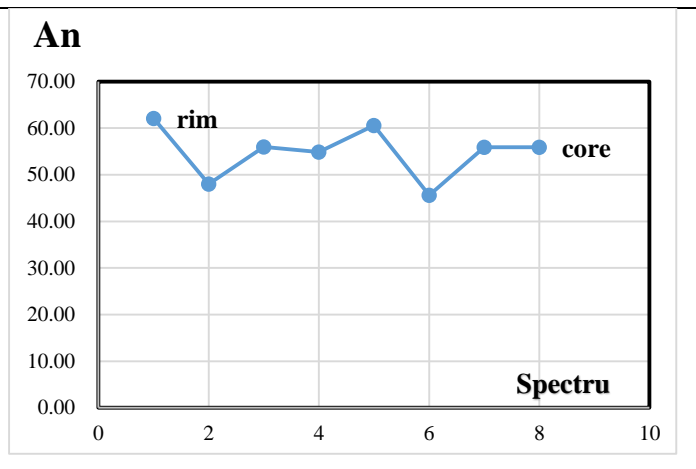
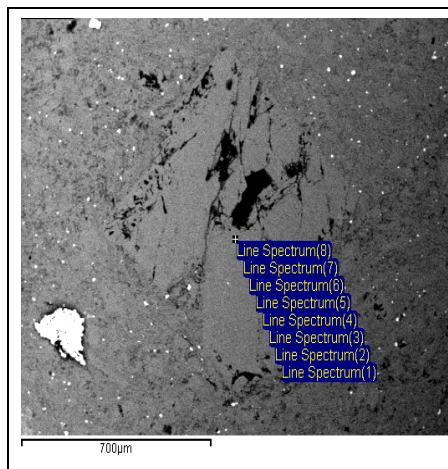
جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach 28														
Location	Rim													to	rim
SiO2	54.58	55.12	55.69	53.31	56.54	55.63	55.85	54.99	52.33	55.90	55.94	51.98	53.42	54.75	
Al2O3	28.57	28.51	28.29	29.48	27.31	28.39	27.86	27.62	29.85	27.68	28.13	30.74	29.47	28.72	
FeO	0.31	0.07		0.14				0.90	0.35	0.46		0.07	0.46	0.23	
CaO	10.86	10.75	10.53	12.13	9.36	10.45	9.77	10.43	12.55	10.16	10.08	13.29	11.91	10.93	
Na2O	5.29	5.36	5.56	4.54	5.93	5.59	5.80	5.36	4.32	5.62	5.70	3.96	4.75	5.36	
K2O	0.18	0.22	0.29	0.21	0.52	0.20	0.39	0.43	0.13	0.33	0.31	0.09	0.15	0.04	
Si	9.88	9.93	10.00	9.67	10.19	9.99	10.08	9.99	9.54	10.07	10.05	9.42	9.67	9.88	
Al	6.09	6.05	5.98	6.30	5.80	6.00	5.92	5.91	6.41	5.87	5.95	6.56	6.28	6.10	
Fe2	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.14	0.05	0.07	0.00	0.01	0.07	0.04	
Ca	2.11	2.08	2.03	2.36	1.81	2.01	1.89	2.03	2.45	1.96	1.94	2.58	2.31	2.11	
Na	1.86	1.87	1.94	1.60	2.07	1.95	2.03	1.89	1.53	1.96	1.99	1.39	1.67	1.88	
K	0.04	0.05	0.07	0.05	0.12	0.05	0.09	0.10	0.03	0.08	0.07	0.02	0.04	0.01	
Ab	46.40	46.80	48.10	39.90	51.80	48.60	50.60	47.00	38.10	49.10	49.70	34.90	41.60	46.90	
An	52.60	51.90	50.30	58.90	45.20	50.20	47.10	50.50	61.10	49.00	48.50	64.60	57.60	52.90	
Or	1.00	1.30	1.60	1.20	3.00	1.10	2.20	2.50	0.70	1.90	1.80	0.50	0.90	0.20	
Xab	46.87	47.42	48.88	40.38	53.40	49.19	51.79	48.21	38.41	50.05	50.61	35.08	41.94	46.99	
Xan	53.13	52.58	51.12	59.62	46.60	50.81	48.21	51.79	61.59	49.95	49.39	64.92	58.06	53.01	



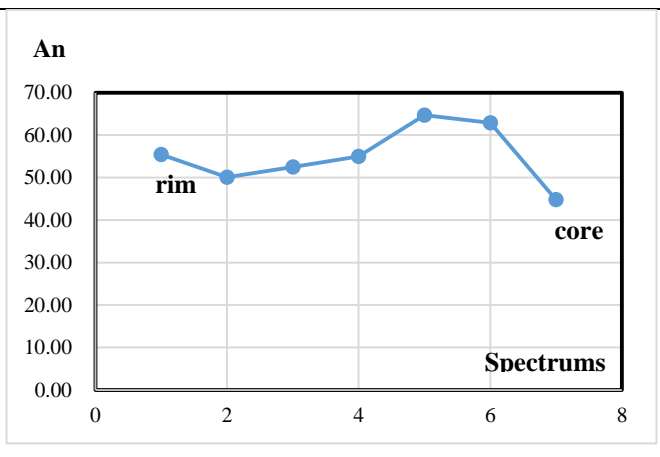
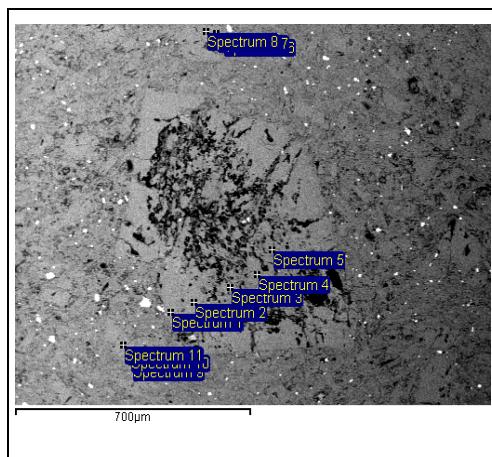
جدول ۱-۳: ادامه

Sample	Ach29								
	Location	Rim			to			core	
SiO2		52.70	56.14	54.15	54.41	52.81	56.47	53.73	54.17
Al2O3		30.26	27.88	29.14	29.37	29.76	27.48	28.70	29.07
FeO						0.39		0.63	0.50
CaO		12.78	9.99	11.53	11.42	12.46	9.45	11.46	11.58
Na2O		3.84	5.79	4.85	5.03	4.36	5.82	4.93	5.04
K2O		0.71	0.29	0.24	0.24	0.17	0.63	0.10	
Si		9.54	10.09	9.79	9.78	9.59	10.17	9.78	9.77
Al		6.45	5.90	6.20	6.22	6.36	5.83	6.15	6.17
Fe2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.10	0.08
Ca		2.48	1.92	2.23	2.20	2.42	1.82	2.23	2.24
Na		1.35	2.02	1.70	1.75	1.54	2.03	1.74	1.76
K		0.16	0.07	0.06	0.06	0.04	0.15	0.02	0.00
Ab		33.80	50.30	42.60	43.70	38.40	50.80	43.50	44.10
An		62.10	48.00	56.00	54.90	60.60	45.60	55.90	55.90
Or		4.10	1.60	1.40	1.40	1.00	3.60	0.60	0.00
Xab		35.25	51.17	43.20	44.32	38.79	52.70	43.76	44.10
Xan		64.75	48.83	56.80	55.68	61.21	47.30	56.24	55.90



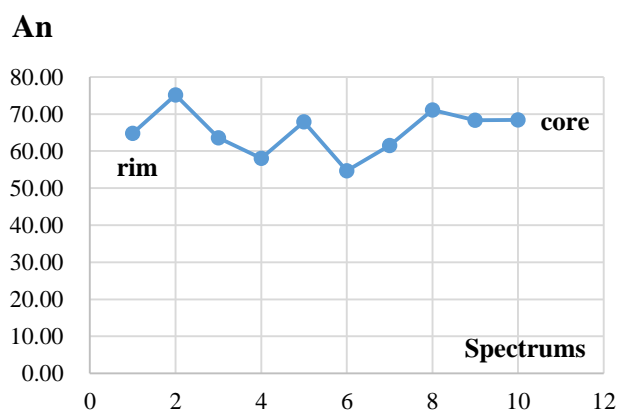
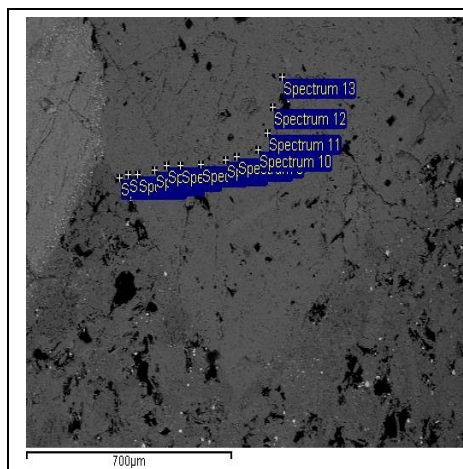
جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach 29										
	Location	Rim					to				
						core					
SiO <sub>2</sub>	54.01	51.66	52.06	56.86	49.80	54.78	54.21	54.04	54.65	55.51	54.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.79	30.64	30.12	26.82	31.94	28.81	28.56	28.66	28.68	28.06	28.72
FeO	0.47	0.15	0.45	0.67	0.26	0.22	0.61	0.38		0.52	0.79
CaO	11.30	13.31	12.93	9.29	14.72	10.90	11.18	11.34	10.86	10.44	11.45
Na <sub>2</sub> O	4.95	3.96	4.03	5.98	3.00	5.46	5.22	5.07	5.02	5.56	5.10
K <sub>2</sub> O	0.24	0.07	0.27	0.52	0.27			0.06	0.61	0.27	
Si	9.80	9.41	9.48	10.23	9.10	9.87	9.83	9.82	9.89	9.99	9.79
Al	6.15	6.57	6.46	5.69	6.87	6.11	6.10	6.13	6.11	5.95	6.12
Fe <sub>2</sub>	0.07	0.02	0.07	0.10	0.04	0.03	0.09	0.06	0.00	0.08	0.12
Ca	2.20	2.60	2.52	1.79	2.88	2.10	2.17	2.21	2.11	2.01	2.22
Na	1.74	1.40	1.42	2.09	1.06	1.91	1.84	1.79	1.76	1.94	1.79
K	0.06	0.02	0.06	0.12	0.06	0.00	0.00	0.01	0.14	0.06	0.00
Ab	43.60	34.90	35.50	52.20	26.50	47.50	45.80	44.60	43.90	48.30	44.60
An	55.00	64.70	62.90	44.80	71.90	52.50	54.20	55.10	52.50	50.10	55.40
Or	1.40	0.40	1.60	3.00	1.60	0.00	0.00	0.30	3.50	1.50	0.00
Xab	44.22	35.04	36.08	53.81	26.93	47.50	45.80	44.73	45.54	49.09	44.60
Xan	55.78	64.96	63.92	46.19	73.07	52.50	54.20	55.27	54.46	50.91	55.40



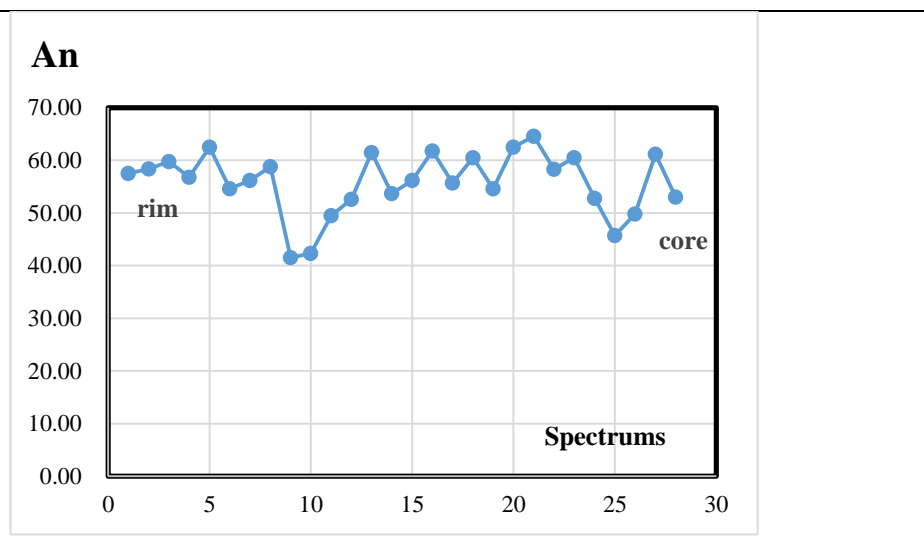
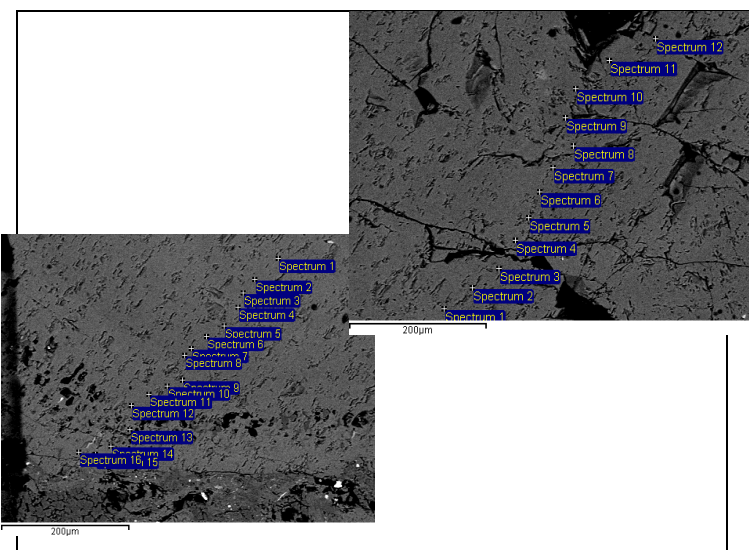
جدول ٣-١: ادامه

Sample	Ach 39												
	Location	rim					to					core	
SiO2	51.54	49.20	52.11	53.42	50.88	54.19	52.71	50.08	51.00	51.07	51.07	52.19	53.43
Al2O3	30.73	32.26	30.41	29.71	31.42	29.02	29.97	31.88	31.08	31.10	31.11	30.38	29.56
FeO	0.18	0.21	0.11	0.10	0.25	0.10	0.11		0.26	0.21	0.16	0.15	0.32
CaO	13.32	15.32	13.04	11.97	13.92	11.28	12.66	14.52	13.97	13.98	13.81	12.84	11.99
Na2O	3.87	2.81	4.02	4.71	3.64	5.14	4.34	3.25	3.59	3.46	3.61	4.20	4.78
K2O	0.18		0.16	0.13		0.04	0.06	0.02		0.16	0.09	0.12	0.05
Si	9.39	9.01	9.47	9.66	9.25	9.80	9.57	9.14	9.29	9.30	9.31	9.48	9.67
Al	6.59	6.96	6.51	6.33	6.73	6.18	6.41	6.86	6.67	6.67	6.68	6.50	6.30
Fe2	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
Ca	2.60	3.01	2.54	2.32	2.71	2.19	2.46	2.84	2.73	2.73	2.70	2.50	2.32
Na	1.37	1.00	1.42	1.65	1.28	1.80	1.53	1.15	1.27	1.22	1.28	1.48	1.68
K	0.04	0.00	0.04	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01
Ab	34.10	24.90	35.50	41.30	32.10	45.10	38.10	28.80	31.70	30.70	31.90	36.90	41.80
An	64.80	75.10	63.60	58.00	67.90	54.70	61.50	71.10	68.30	68.40	67.50	62.40	57.90
Or	1.00	0.00	0.90	0.70	0.00	0.20	0.30	0.10	0.00	0.90	0.50	0.70	0.30
Xab	34.48	24.90	35.82	41.59	32.10	45.19	38.25	28.83	31.70	30.98	32.09	37.16	41.93
Xan	65.52	75.10	64.18	58.41	67.90	54.81	61.75	71.17	68.30	69.02	67.91	62.84	58.07



**Ach 39**

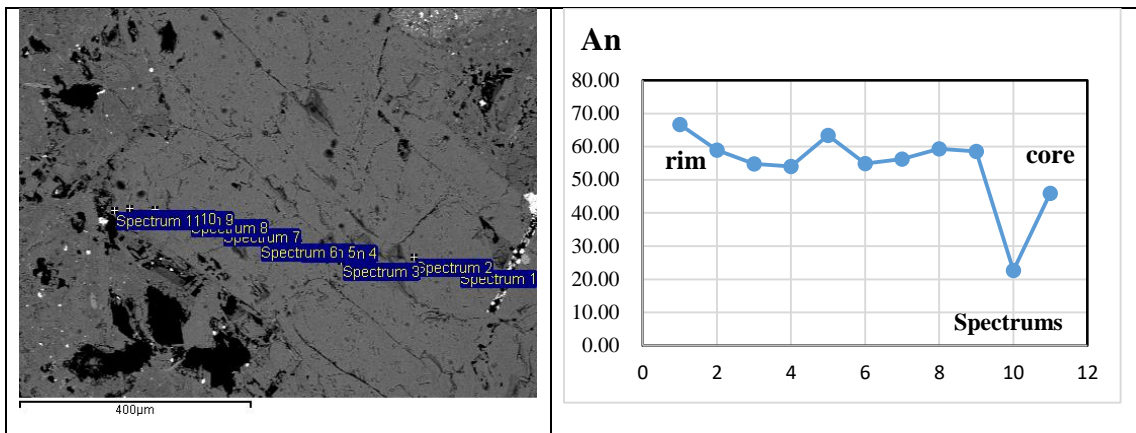
to																									
52.49	55.14	54.25	49.74	53.77	53.51	53.07	57.59	57.36	55.53	54.54	52.52	54.72	53.98	52.74	55.30	53.09	56.83	52.02	51.72	53.54	52.60	54.71	56.67	55.72	52.52
28.95	31.04	29.50	28.69	28.61	29.18	29.50	26.94	27.07	28.05	28.79	30.27	28.84	28.91	30.10	29.80	30.38	30.24	30.01	30.77	29.56	30.05	28.79	27.33	28.08	30.27
0.50	0.52	0.38	0.26		0.33	0.43	0.16		0.25	0.23	0.08		0.45	0.24	0.44	0.08		0.28	0.15	0.19	0.22	0.26	0.39	0.06	0.08
11.86	12.86	11.85	12.23	11.15	11.57	12.14	8.67	8.82	10.27	10.93	12.69	11.13	11.63	12.73	11.78	12.55	11.79	12.79	13.25	12.06	12.49	10.94	9.53	10.32	12.69
4.55	4.50	4.91	3.93	4.89	4.90	4.67	6.68	6.56	5.74	5.32	4.36	5.22	4.88	4.31	5.17	4.39	5.17	4.11	3.98	4.74	4.49	5.38	6.11	5.71	4.55
0.18	0.41	0.09	0.18	0.37	0.13	0.04	0.11	0.12	0.06	0.18	0.04	0.13	0.18	0.05		0.22	0.39	0.19	0.04	0.04	0.02	0.03	0.21	0.07	0.18
9.66	9.59	9.73	9.51	9.83	9.72	9.64	10.31	10.29	10.01	9.85	9.52	9.87	9.77	9.55	9.76	9.55	9.83	9.50	9.40	9.68	9.55	9.86	10.17	10.03	9.66
6.28	6.36	6.23	6.46	6.16	6.24	6.31	5.68	5.72	5.96	6.12	6.46	6.12	6.16	6.42	6.19	6.44	6.16	6.46	6.59	6.29	6.43	6.11	5.78	5.95	6.28
0.08	0.08	0.06	0.04	0.00	0.05	0.07	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.07	0.04	0.07	0.01	0.00	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.01	0.08
2.34	2.40	2.28	2.50	2.18	2.25	2.36	1.66	1.69	1.98	2.12	2.47	2.15	2.26	2.47	2.23	2.42	2.19	2.50	2.58	2.34	2.43	2.11	1.83	1.99	2.34
1.62	1.52	1.71	1.46	1.73	1.73	1.64	2.32	2.28	2.01	1.86	1.53	1.83	1.71	1.51	1.77	1.53	1.73	1.46	1.40	1.66	1.58	1.88	2.13	1.99	1.62
0.04	0.09	0.02	0.04	0.09	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.00	0.05	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0.04
40.50	37.90	42.60	36.40	43.30	43.10	40.90	57.90	57.00	50.10	46.40	38.30	45.60	42.70	37.90	44.30	38.30	43.30	36.40	35.10	41.50	39.40	47.00	53.10	49.80	40.50
58.40	59.80	56.80	62.50	54.60	56.20	58.80	41.50	42.30	49.50	52.60	61.50	53.70	56.20	61.80	55.70	60.50	54.60	62.50	64.60	58.30	60.50	52.80	45.70	49.80	58.40
1.00	2.30	0.50	1.10	2.10	0.70	0.20	0.60	0.70	0.30	1.00	0.20	0.70	1.00	0.30	0.00	1.30	2.10	1.10	0.20	0.20	0.10	0.20	1.20	0.40	1.00
40.95	38.79	42.86	36.80	44.23	43.40	41.02	58.25	57.40	50.30	46.87	38.38	45.92	43.17	38.01	44.30	38.77	44.23	36.80	35.21	41.58	39.44	47.09	53.74	50.00	40.95
59.05	61.21	57.14	63.20	55.77	56.60	58.98	41.75	42.60	49.70	53.13	61.62	54.08	56.83	61.99	55.70	61.23	55.77	63.20	64.79	58.42	60.56	52.91	46.26	50.00	59.05





جدول ۱-۳: ادامه

Sample	Ach 39										
	Location	Rim									core
SiO2	51.32	53.08	54.10	54.37	52.14	54.14	53.61	53.08	53.22	61.19	56.38
Al2O3	31.11	29.80	29.16	28.55	30.57	28.96	29.42	29.94	30.20	22.09	27.22
FeO	0.05	0.25	0.27	0.41	0.17	0.22	0.25	0.12		1.12	0.48
CaO	13.70	12.14	11.34	11.15	13.10	11.33	11.62	12.21	12.16	4.65	9.56
Na2O	3.76	4.59	5.07	5.19	4.15	5.10	4.85	4.57	4.63	4.53	5.96
K2O	0.04	0.12	0.14	0.08	0.04	0.08	0.19	0.10	0.18	6.38	0.39
Si	9.33	9.62	9.77	9.85	9.45	9.80	9.71	9.61	9.60	11.14	10.16
Al	6.66	6.36	6.20	6.09	6.53	6.17	6.27	6.38	6.41	4.74	5.78
Fe2	0.01	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03	0.04	0.02	0.00	0.17	0.07
Ca	2.67	2.36	2.20	2.17	2.54	2.20	2.25	2.37	2.35	0.91	1.85
Na	1.33	1.61	1.78	1.82	1.46	1.79	1.70	1.60	1.62	1.60	2.08
K	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	1.48	0.09
Ab	33.10	40.30	44.40	45.50	36.40	44.70	42.60	40.20	40.40	40.10	51.80
An	66.70	59.00	54.80	54.00	63.40	54.90	56.30	59.30	58.60	22.70	45.90
Or	0.20	0.70	0.80	0.40	0.20	0.40	1.10	0.60	1.00	37.10	2.20
Xab	33.17	40.58	44.76	45.73	36.47	44.88	43.07	40.40	40.81	63.85	53.02
Xan	66.83	59.42	55.24	54.27	63.53	55.12	56.93	59.60	59.19	36.15	46.98





جدول ۳-۱: ادامه

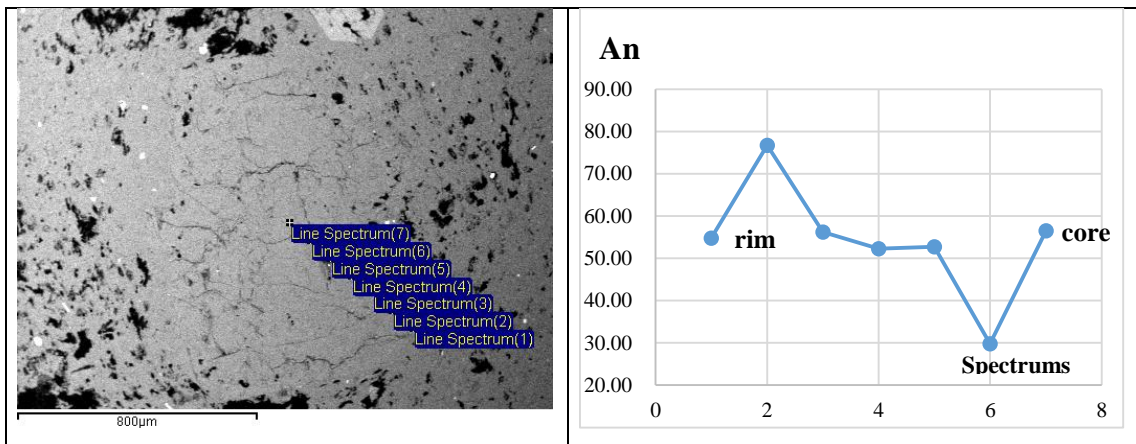
Sample	Ach 39											
Location	microlite											
SiO2	55.17	55.79	55.67	57.26	55.42	56.32	55.11	54.51	54.97	57.04	54.88	54.94
Al2O3	28.25	27.81	27.86	26.12	28.07	27.14	28.03	28.97	28.53	26.88	28.40	28.31
FeO	0.42	0.28	0.41	0.83	0.38	0.41	0.69	0.18	0.13	0.47	0.38	0.47
CaO	10.49	9.94	9.95	8.56	10.48	9.37	10.50	11.03	10.70	9.08	10.80	10.78
Na2O	5.34	5.80	5.63	6.37	5.38	6.03	5.34	5.15	5.23	6.14	5.15	5.25
K2O	0.45	0.32	0.54	0.51	0.33	0.40	0.40	0.31	0.46	0.53	0.44	0.33
Si	9.96	10.06	10.04	10.35	9.99	10.18	9.96	9.83	9.92	10.25	9.91	9.92
Al	6.00	5.91	5.92	5.56	5.96	5.78	5.97	6.15	6.06	5.69	6.04	6.02
Fe2	0.06	0.04	0.06	0.13	0.06	0.06	0.10	0.03	0.02	0.07	0.06	0.07
Ca	2.03	1.92	1.92	1.66	2.03	1.81	2.03	2.13	2.07	1.75	2.09	2.09
Na	1.87	2.03	1.97	2.23	1.88	2.11	1.87	1.80	1.83	2.14	1.80	1.84
K	0.10	0.07	0.12	0.12	0.08	0.09	0.09	0.07	0.11	0.12	0.10	0.08
Ab	46.70	50.40	49.00	55.70	47.20	52.60	46.80	45.00	45.70	53.40	45.20	46.00
An	50.70	47.70	47.90	41.40	50.90	45.10	50.90	53.20	51.70	43.60	52.30	52.10
Or	2.60	1.80	3.10	2.90	1.90	2.30	2.30	1.80	2.60	3.00	2.50	1.90
Xab	47.95	51.38	50.57	57.36	48.11	53.84	47.90	45.82	46.92	55.05	46.36	46.89
Xan	52.05	48.62	49.43	42.64	51.89	46.16	52.10	54.18	53.08	44.95	53.64	53.11

جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach 43					
Location	microlite					
SiO2	57.64	57.71	58.05	57.16	57.23	54.81
Al2O3	26.65	26.25	26.52	26.87	26.23	28.53
FeO	0.14	0.87	0.35	0.38	1.07	0.09
CaO	8.45	8.60	8.59	8.96	8.97	10.64
Na2O	6.76	6.68	6.75	6.53	6.55	5.02
K2O	0.14	0.17	0.11			0.79
Si	10.35	10.35	10.37	10.27	10.31	9.91
Al	5.64	5.55	5.58	5.69	5.56	6.08
Fe2	0.02	0.13	0.05	0.06	0.16	0.01
Ca	1.63	1.65	1.64	1.73	1.73	2.06
Na	2.35	2.32	2.34	2.28	2.29	1.76
K	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.18
Ab	58.70	57.90	58.30	56.90	56.90	44.00
An	40.50	41.20	41.00	43.10	43.10	51.50
Or	0.80	1.00	0.60	0.00	0.00	4.50
Xab	59.17	58.43	58.71	56.90	56.90	46.07
Xan	40.83	41.57	41.29	43.10	43.10	53.93

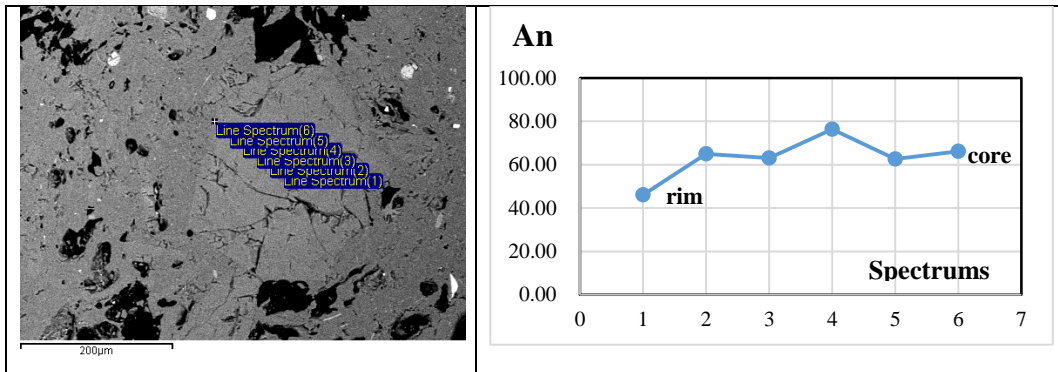
جدول ۱-۳: ادامه

Sample	Ach 43							
	Location	Rim		to			core	
SiO2		54.00	48.70	53.95	54.92	54.82	60.17	54.01
Al2O3		29.21	32.37	29.24	28.73	28.90	23.87	29.31
FeO		0.15	0.22	0.26	0.19		1.19	0.23
CaO		11.31	15.57	11.62	10.85	10.95	6.21	11.72
Na2O		4.64	1.87	4.99	5.22	5.03	7.46	4.98
K2O		0.79	1.13	0.02	0.36	0.60	0.92	
Si		9.77	8.95	9.75	9.89	9.87	10.82	9.74
Al		6.22	7.01	6.22	6.09	6.13	5.05	6.23
Fe2		0.02	0.03	0.04	0.03	0.00	0.18	0.04
Ca		2.19	3.07	2.25	2.09	2.11	1.20	2.27
Na		1.63	0.67	1.75	1.82	1.76	2.60	1.74
K		0.18	0.27	0.01	0.08	0.14	0.21	0.00
Ab		40.70	16.70	43.70	45.60	43.80	64.90	43.50
An		54.80	76.70	56.20	52.30	52.70	29.80	56.50
Or		4.50	6.60	0.10	2.10	3.40	5.30	0.00
Xab		42.62	17.88	43.74	46.58	45.39	68.53	43.50
Xan		57.38	82.12	56.26	53.42	54.61	31.47	56.50



جدول ۳-۱: ادامه

Sample	Ach 43						
	Location	Rim		to		core	
SiO2		51.06	52.23	49.03	51.96	51.76	56.31
Al2O3		29.16	29.93	32.31	30.00	31.05	27.29
FeO		2.35	0.73	0.77	0.53		0.38
CaO		13.47	12.88	15.64	12.93	13.39	9.52
Na2O		3.41	4.18	2.63	4.14	3.91	6.14
K2O		0.60	0.12	0.05	0.07	0.11	0.07
Si		9.40	9.50	8.96	9.48	9.38	10.16
Al		6.32	6.41	6.95	6.45	6.63	5.80
Fe2		0.36	0.11	0.12	0.08	0.00	0.06
Ca		2.66	2.51	3.06	2.53	2.60	1.84
Na		1.22	1.47	0.93	1.47	1.37	2.15
K		0.14	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02
Ab		30.30	36.70	23.30	36.50	34.40	53.60
An		66.20	62.60	76.40	63.10	65.00	46.00
Or		3.50	0.70	0.30	0.40	0.60	0.40
Xab		31.40	36.96	23.37	36.65	34.61	53.82
Xan		68.60	63.04	76.63	63.35	65.39	46.18

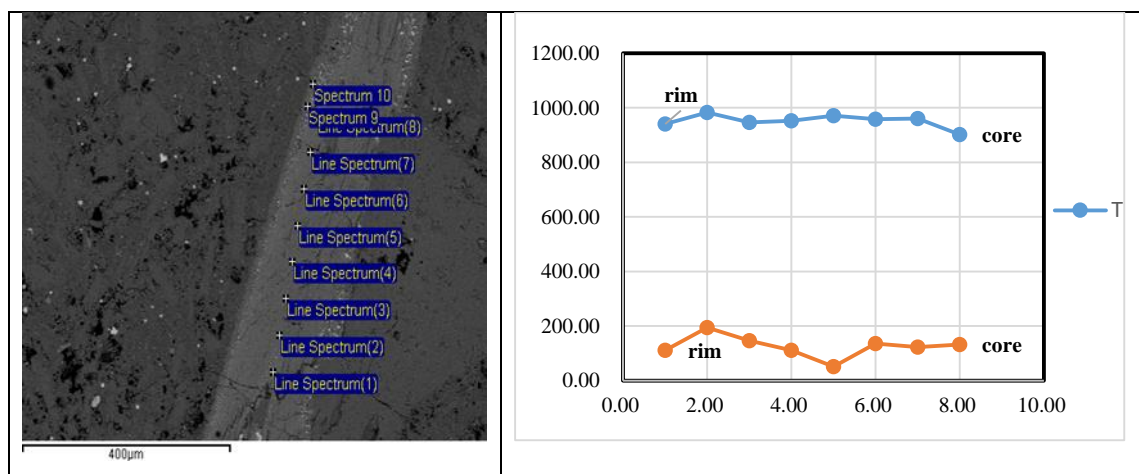


جدول ۳-۲: نتایج آنالیز میکروپروب آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی کالدرای قره چای به همراه محل

نقاط آلیز شده بر روی شکل و نمودار دما (T) و فشار (P) بر حسب فاصله از حاشیه به مرکز.

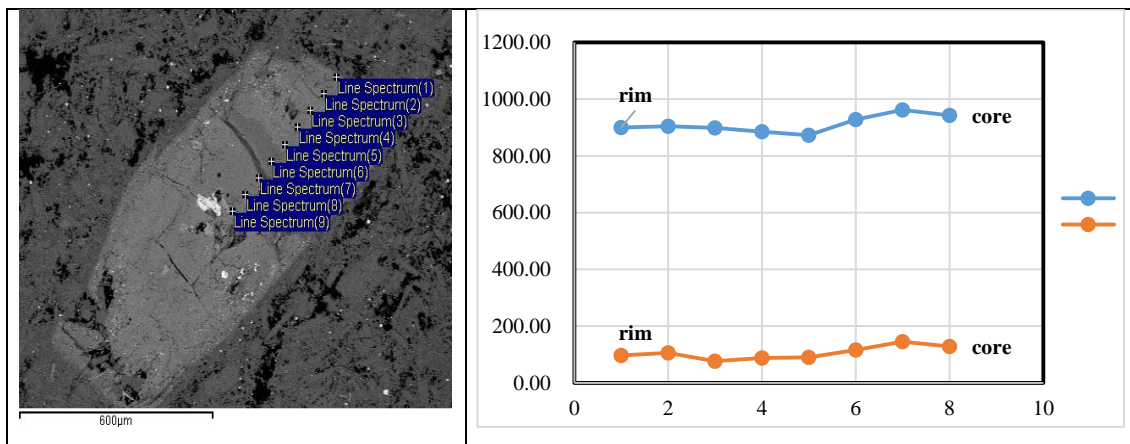
Sample	Amp12									
	Location	Core				to				rim
SiO <sub>2</sub>	45.08	47.65	46.34	51.65	47.36	45.59	44.39	46.72	44.77	44.46
TiO <sub>2</sub>	0.89	1.11	1.32	0.80	1.75	0.61	1.83	1.55	0.83	1.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.05	13.31	12.55	17.00	12.66	12.16	12.88	12.95	11.36	11.40
FeO	13.65	9.40	10.14	6.61	9.88	11.98	12.37	11.67	12.75	14.02
MgO	12.97	14.54	14.19	11.38	13.66	14.12	13.57	11.84	12.22	13.44
MnO			0.23	0.13	0.11	0.09			0.72	0.18
CaO	12.04	10.47	10.62	7.29	10.14	9.95	10.55	11.04	12.60	10.79
Na <sub>2</sub> O	2.23	1.89	2.17	1.98	1.43	2.34	1.23	1.43	2.28	0.99
K <sub>2</sub> O	0.64	0.16	0.08	1.26	0.42	0.03	0.06	0.54	0.08	0.17
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.65	0.80	0.78	0.76	0.77	0.78	0.78	0.66	0.63	0.79
Na+Ca+K	2.67	2.13	2.25	1.88	2.03	2.20	1.98	2.22	2.66	1.99
Si	6.66	6.71	6.64	7.31	6.78	6.59	6.39	6.78	6.60	6.45
Mg	2.86	3.05	3.03	2.38	2.91	3.04	2.91	2.56	2.68	2.91
Fe <sup>+2</sup>	1.57	0.75	0.87	0.76	0.85	0.85	0.81	1.33	1.56	0.77
Fe <sup>+3</sup>	0.12	0.36	0.35	0.03	0.33	0.60	0.68	0.08	0.01	0.93
Na	0.64	0.52	0.60	0.54	0.40	0.66	0.34	0.40	0.65	0.28
Ca	1.91	1.58	1.63	1.11	1.56	1.54	1.63	1.72	1.99	1.68
K	0.12	0.03	0.02	0.23	0.08	0.01	0.01	0.10	0.02	0.03
Mn	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.09	0.02
AK	0.12	0.03	0.02	0.23	0.08	0.01	0.01	0.10	0.02	0.03
Bca	1.91	1.58	1.63	1.11	1.56	1.54	1.63	1.72	1.99	1.68
BNa	0.05	0.22	0.20	0.26	0.20	0.24	0.17	0.15	0.01	0.14
<sup>iv</sup> Al	1.34	1.29	1.36	0.69	1.22	1.42	1.61	1.22	1.40	1.55
<sup>vi</sup> Al	0.41	0.92	0.76	2.15	0.91	0.65	0.58	0.99	0.57	0.40
T	901.76	959.99	958.37	970.74	952.33	946.35	983.22	940.06	935.26*	953.95*
P	132.48	122.40	135.76	51.73	111.32	146.93	194.20	111.48	144.41*	178.92*

\*: این نقاط مربوط به حاشیه سوخته آمفیبول‌ها هستند.



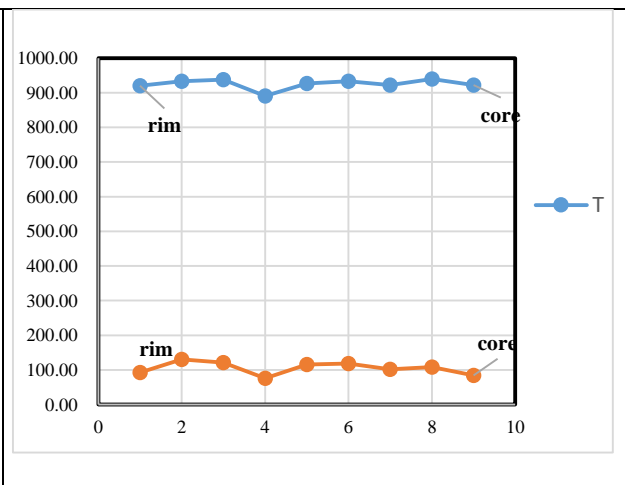
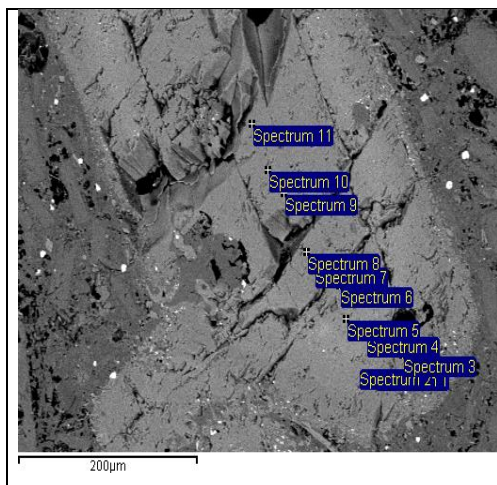
جدول ٣-٢: ادامه

Sample	Amp12							
	Location	Rim to core						core
SiO <sub>2</sub>	47.40	46.16	49.22	47.82	47.30	46.78	42.68	45.82
TiO <sub>2</sub>	1.53	0.67	1.20	1.89		0.75	1.01	1.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.13	9.77	10.26	9.12	9.68	11.58	10.13	11.83
FeO	12.15	11.69	9.88	12.00	13.01	11.14	8.21	11.80
MgO	13.26	14.01	13.91	13.29	13.02	13.88	11.72	12.65
MnO	0.42		0.01		0.19	0.23	0.53	
CaO	10.51	11.10	12.29	12.30	11.88	10.78	21.30	12.26
Na <sub>2</sub> O	1.82	1.05	0.82	0.99	2.50	1.74	2.05	2.67
K <sub>2</sub> O	0.26		0.01	0.35	0.41	0.18	0.54	0.08
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.65	0.80	0.78	0.76	0.77	0.78	0.78	0.66
Na+Ca+K	2.46	2.18	2.36	2.30	2.22	2.29	2.28	2.23
Si	6.88	6.82	7.04	6.94	6.93	6.75	6.57	6.68
Mg	2.86	3.05	3.03	2.38	2.91	3.04	2.91	2.56
Fe <sup>+2</sup>	1.57	0.75	0.87	0.76	0.85	0.85	0.81	1.33
Fe <sup>+3</sup>	0.30	0.48	0.00	0.02	0.02	0.38	0.44	0.00
Na	0.78	0.42	0.47	0.33	0.27	0.59	0.17	0.30
Ca	1.63	1.76	1.88	1.91	1.87	1.67	2.00	1.91
K	0.05	0.00	0.00	0.07	0.08	0.03	0.11	0.02
Mn	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
AK	0.05	0.00	0.00	0.07	0.08	0.03	0.11	0.02
Bca	1.63	1.76	1.88	1.91	1.87	1.67	2.00	1.91
BNa	0.19	0.13	0.06	0.05	0.07	0.18	0.00	0.05
<sup>iv</sup> Al	1.12	1.19	0.96	1.06	1.07	1.25	1.41	1.32
<sup>vi</sup> Al	0.61	0.51	0.77	0.50	0.60	0.72	0.43	0.71
T	900.19	904.92	899.48	885.65	873.20	928.55	962.22	942.88
P	96.28	105.56	75.94	87.94	89.34	115.90	145.56	128.72



جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp12											
	Location	Rim			to			core				
SiO <sub>2</sub>	55.93	55.00	48.44	45.43	45.91	48.77	46.54	46.99	48.00	47.48	48.54	
TiO <sub>2</sub>	1.01	0.08	1.05	2.03	1.37	1.28	2.19	1.15	0.97	1.71	0.99	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.53	2.07	10.75	10.93	12.23	10.42	10.77	11.17	10.78	11.75	12.07	
FeO	8.59	5.84	7.48	11.68	10.78	10.56	11.32	10.56	7.76	8.37	9.95	
MgO	17.48	29.53	16.30	13.39	12.95	13.55	13.53	14.65	16.33	14.86	13.49	
MnO	0.52		0.24	0.44	0.36	0.40			0.34			
CaO	2.59	3.85	10.29	10.04	10.47	10.14	11.01	11.01	10.55	11.14	10.18	
Na <sub>2</sub> O	1.60	0.53	2.00	2.54	2.33	1.62	1.47	1.12	1.67	1.83	1.98	
K <sub>2</sub> O	0.52	0.31	0.42	0.30	0.67	0.58	0.30	0.11	0.64	0.55	0.11	
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.86	0.99	0.86	0.73	0.71	0.74	0.72	0.79	0.87	0.78	0.74	
Na+Ca+K	0.87	0.72	2.20	2.36	2.43	2.13	2.18	2.02	2.19	2.32	2.14	
Si	7.43	7.09	6.90	6.67	6.72	7.05	6.75	6.74	6.84	6.80	6.97	
Mg	3.19	4.83	3.46	2.93	2.83	2.92	2.93	3.13	3.47	3.17	2.89	
Fe <sup>+2</sup>	0.51	0.07	0.54	1.09	1.15	1.05	1.13	0.82	0.53	0.88	0.99	
Fe <sup>+3</sup>	0.45	0.16	0.35	0.34	0.17	0.23	0.24	0.45	0.39	0.12	0.20	
Na	0.41	0.13	0.55	0.72	0.66	0.45	0.41	0.31	0.46	0.51	0.55	
Ca	0.37	0.53	1.57	1.58	1.64	1.57	1.71	1.69	1.61	1.71	1.57	
K	0.09	0.05	0.08	0.06	0.13	0.11	0.06	0.02	0.12	0.10	0.02	
Mn	0.06	0.00	0.03	0.06	0.05	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	
AK	0.09	0.05	0.08	0.06	0.13	0.11	0.06	0.02	0.12	0.10	0.02	
Bca	0.37	0.53	1.57	1.58	1.64	1.57	1.71	1.69	1.61	1.71	1.57	
BNa	0.19	0.06	0.23	0.22	0.19	0.22	0.15	0.15	0.21	0.15	0.23	
<sup>iv</sup> Al	0.57	0.31	1.10	1.33	1.28	0.95	1.25	1.26	1.16	1.20	1.03	
<sup>vi</sup> Al	1.23	0.00	0.71	0.56	0.83	0.82	0.60	0.62	0.65	0.78	1.01	
T	925.01	903.78	920.51	933.13	937.97	890.48	926.63	932.97	921.93	939.76	922.18	
P	43.72	30.17	93.01	130.40	121.00	75.61	115.23	118.08	102.12	108.17	84.22	



جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp28					
	Location	rim	to	core	28.00	28.00
SiO <sub>2</sub>	55.44	62.12	61.54	57.83	54.59	56.73
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.16			0.15	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.50	17.59	12.42	13.64	22.97	1.52
FeO	5.86	2.55	2.77	3.21	2.93	3.03
MnO	0.12		0.85	0.85		0.45
MgO	10.85	9.38	17.08	15.92	9.03	34.12
CaO	5.89	3.41	1.66	2.82	3.17	0.38
Na <sub>2</sub> O	2.48	1.76	1.09	3.24	3.28	0.50
K <sub>2</sub> O	0.49	0.38			1.29	0.25
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.77	0.87	0.95	0.94	0.85	1.00
Na+Ca+K	1.65	1.05	0.52	1.27	1.61	0.21
Si	7.79	8.61	8.16	7.89	7.68	7.06
Mg	2.27	1.94	3.38	3.24	1.90	6.33
Mn	0.01	0.00	0.10	0.10	0.00	0.05
Ca	0.89	0.51	0.24	0.41	0.48	0.05
Na	0.68	0.47	0.28	0.86	0.90	0.12
K	0.09	0.07	0.00	0.00	0.23	0.04
BCa	0.89	0.43	0.24	0.41	0.48	0.05
BNa	0.37	0.47	0.28	0.57	0.47	0.06
AK	0.09	0.07	0.00	0.00	0.23	0.04
Fe <sup>+2</sup>	0.69	0.30	0.16	0.19	0.35	0.00
Fe <sup>+3</sup>	0.00	0.00	0.14	0.17	0.00	0.32
<sup>iv</sup> Al	0.26	0.00	0.18	0.28	0.37	0.22
<sup>vi</sup> Al	2.47	2.87	1.76	1.91	3.44	0.00
T	932.44*	858.04*	867.40*	880.91*	1027.62*	917.16*
P	28.00*	19.21*	24.81*	28.69*	32.56*	26.47*

جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp29							
	Location	Core		to			rim	
<b>SiO<sub>2</sub></b>		52.09	57.12	54.77	53.74	54.80	50.92	52.09
<b>TiO<sub>2</sub></b>			0.20	0.22	1.00		1.10	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		1.06	0.23	0.13	1.53	2.67	2.94	0.34
<b>FeO</b>		15.90	14.36	17.32	13.94	13.83	16.69	14.98
<b>MnO</b>		0.37	1.75		1.01	0.22		0.34
<b>MgO</b>		25.64	23.47	24.00	24.92	24.15	23.75	26.77
<b>CaO</b>		1.31	0.53	0.73	0.74	1.53	1.06	1.67
<b>Na<sub>2</sub>O</b>		0.20	0.10		0.54		0.41	
<b>K<sub>2</sub>O</b>		0.67	0.07	0.07		0.36	0.20	0.09
<b>Mg/(Mg+Fe<sup>+2</sup>)</b>		0.92	0.85	0.85	0.88	0.87	0.88	0.96
<b>Na+Ca+K</b>		0.35	0.11	0.12	0.24	0.28	0.29	0.25
<b>Si</b>		6.89	7.52	7.25	7.07	7.20	6.78	6.87
<b>Mg</b>		5.05	4.61	4.74	4.89	4.73	4.71	5.26
<b>Mn</b>		0.04	0.20	0.00	0.11	0.02	0.00	0.04
<b>Ca</b>		0.19	0.08	0.10	0.10	0.22	0.15	0.24
<b>Na</b>		0.05	0.03	0.00	0.14	0.00	0.11	0.00
<b>K</b>		0.11	0.01	0.01	0.00	0.06	0.03	0.02
<b>Fe<sup>+2</sup></b>		0.44	0.85	0.81	0.68	0.72	0.65	0.22
<b>Fe<sup>+3</sup></b>		1.32	0.74	1.11	0.86	0.80	1.20	1.44
<b>BNa</b>		0.02	0.03	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00
<b>BCa</b>		0.19	0.08	0.10	0.10	0.22	0.15	0.24
<b>AK</b>		0.11	0.01	0.01	0.00	0.06	0.03	0.02
<b><sup>iv</sup>Al</b>		0.17	0.02	0.02	0.24	0.36	0.46	0.05
<b><sup>vi</sup>Al</b>		0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
<b>T</b>		908.88*	820.50*	857.16*	891.78*	866.00*	929.16*	927.01*
<b>P</b>		24.35*	19.68*	19.77*	27.01*	32.42*	37.27*	20.73*

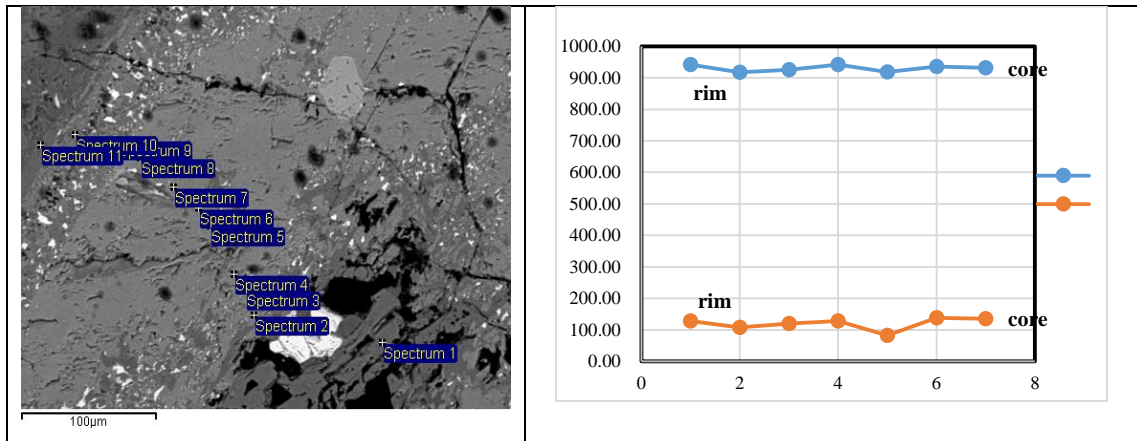


جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp29						
	Location	Rim		to		core	
<b>SiO<sub>2</sub></b>		58.45	60.68	58.85	51.78	61.62	53.75
<b>TiO<sub>2</sub></b>		0.87					1.28
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		0.79	6.01	14.06	2.54	7.66	3.35
<b>FeO</b>		6.72	18.51	4.53	6.85	14.15	5.71
<b>MnO</b>		0.29	0.65				
<b>MgO</b>		19.03	8.68	6.24	15.10	9.53	15.27
<b>CaO</b>		10.84	2.65	11.37	20.97	3.44	18.00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>		0.25	0.10	1.58	0.22	0.16	0.69
<b>K<sub>2</sub>O</b>			0.63	1.02	0.25	1.03	0.07
<b>Mg/(Mg+Fe<sup>+2</sup>)</b>		0.86	0.59	0.71	0.87	0.63	0.83
<b>Na+Ca+K</b>		1.69	0.55	2.45	3.47	0.75	3.03
<b>Si</b>		8.17	8.65	8.71	7.74	8.75	7.88
<b>Mg</b>		3.97	1.84	1.38	3.36	2.02	3.34
<b>Mn</b>		0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ca</b>		1.62	0.41	1.80	3.36	0.52	2.83
<b>Na</b>		0.07	0.03	0.45	0.06	0.04	0.20
<b>K</b>		0.00	0.12	0.19	0.05	0.19	0.01
<b>Fe<sup>+2</sup></b>		0.64	1.29	0.56	0.49	1.18	0.70
<b>Fe<sup>+3</sup></b>		0.15	0.92	0.00	0.37	0.50	0.00
<b>BNa</b>		0.07	0.03	0.45	0.00	0.04	0.00
<b>BCa</b>		1.59	0.33	1.19	2.00	0.38	2.00
<b>AK</b>		0.00	0.12	0.19	0.05	0.19	0.01
<b><sup>iv</sup>Al</b>		0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.18
<b><sup>vi</sup>Al</b>		0.13	1.01	2.45	0.23	1.28	0.40
<b>T</b>		709.48*	701.34*	772.51*	727.02*	709.77*	750.96*
<b>P</b>		19.21*	19.21*	19.21*	26.09*	19.21*	24.81*

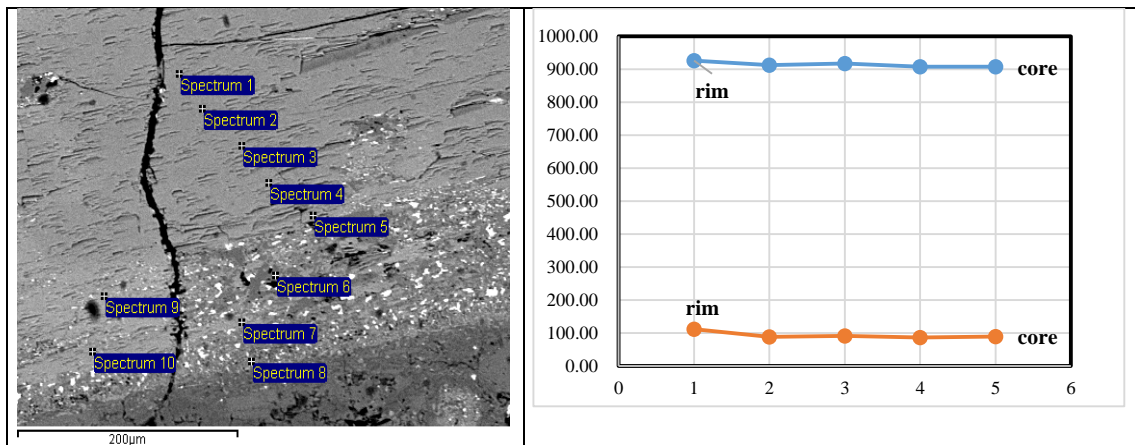
جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp
Location	Core to rim									
SiO <sub>2</sub>	46.12	46.07	48.15	46.82	46.60	46.68	46.20	45.69	51.36	62.87
TiO <sub>2</sub>	1.33	1.12	1.48	1.10	1.51	1.05	1.82	1.89	1.20	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.21	11.60	11.53	12.05	10.99	11.24	11.85	15.01	12.77	21.09
FeO	12.69	12.18	9.83	10.83	11.25	11.41	11.18	11.59	9.15	1.19
MnO	0.16			0.14	0.13	0.25	0.17	0.29	0.24	0.29
MgO	13.70	13.99	13.16	14.20	14.20	13.20	13.37	11.52	13.64	0.85
CaO	10.58	10.46	10.84	10.92	10.32	10.99	10.78	10.39	9.32	7.09
Na <sub>2</sub> O	1.90	1.74	2.58	1.62	2.66	2.55	1.79	0.22	0.22	4.31
K <sub>2</sub> O	0.08	0.27	0.34	0.24	0.31	0.40	0.36	0.19		0.28
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.74	0.76	0.70	0.77	0.75	0.69	0.73	0.73	0.83	0.56
Na+Ca+K	2.18	2.15	2.47	2.16	2.40	2.51	2.24	1.69	1.45	1.50
Si	6.64	6.63	6.98	6.68	6.73	6.80	6.68	6.56	7.15	9.34
Mg	2.94	3.00	2.85	3.02	3.06	2.87	2.88	2.47	2.83	0.19
Mn	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
Ca	1.63	1.61	1.68	1.67	1.60	1.72	1.67	1.60	1.39	0.20
Na	0.53	0.49	0.73	0.45	0.74	0.72	0.50	0.06	0.06	1.24
K	0.02	0.05	0.06	0.04	0.06	0.07	0.07	0.04	0.00	0.05
Fe <sup>+2</sup>	1.04	0.95	1.19	0.91	1.04	1.28	1.08	0.93	0.59	0.15
Fe <sup>+3</sup>	0.49	0.52	0.00	0.39	0.32	0.11	0.27	0.46	0.47	0.00
BCa	1.63	1.61	1.68	1.67	1.60	1.72	1.67	1.60	1.39	0.20
BNa	0.20	0.21	0.17	0.18	0.21	0.15	0.18	0.03	0.03	1.24
AK	0.02	0.05	0.06	0.04	0.06	0.07	0.07	0.04	0.00	0.05
<sup>iv</sup> Al	1.36	1.37	1.02	1.32	1.27	1.20	1.32	1.44	0.85	0.00
<sup>vi</sup> Al	0.54	0.60	0.95	0.71	0.60	0.73	0.70	1.09	1.24	3.69
T	931.65	935.32	918.25	942.10	925.46	917.46	942.20	1014.50*	957.31*	743.66*
P	135.76	137.92	83.02	127.80	119.62	107.70	127.80	152.96*	65.39*	19.21*



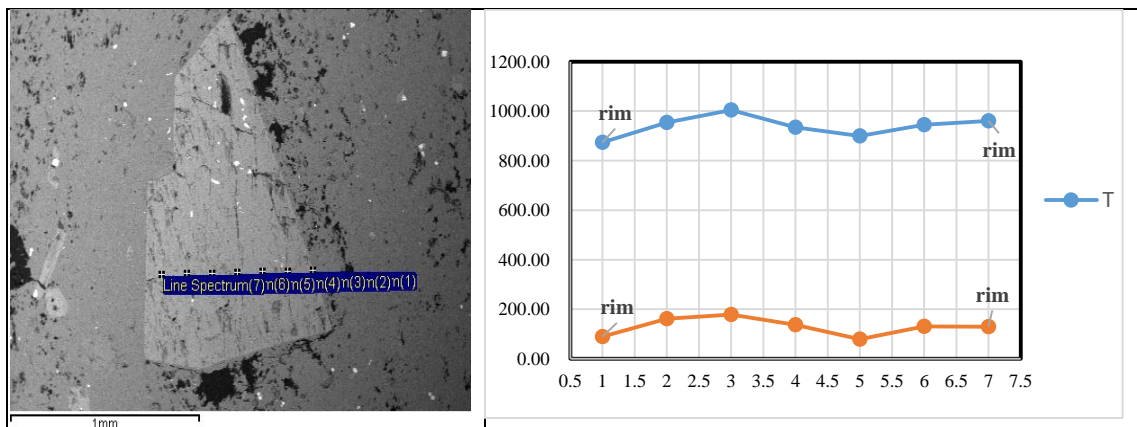
جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp
Location	core			to			rim	
SiO <sub>2</sub>	48.44	49.07	49.16	48.55	47.47	47.19	50.75	46.70
TiO <sub>2</sub>	0.99	1.40	1.10	1.19	1.10	1.05	0.27	1.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.21	10.09	10.32	11.05	11.09	11.38	17.86	12.00
FeO	9.02	8.81	8.04	9.88	10.11	10.74	9.00	11.99
MnO	0.34		0.13		0.11	0.26	0.33	
MgO	15.26	15.92	16.42	14.50	14.86	14.18	9.62	12.62
CaO	11.25	10.56	11.20	10.37	11.08	10.46	8.59	9.88
Na <sub>2</sub> O	1.72	1.52	1.65	1.78	2.06	2.08	1.02	2.53
K <sub>2</sub> O	0.27	0.24	0.02	0.29	0.21	0.28		0.24
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.76	0.78	0.74	0.77	0.75	0.70	0.65	0.75
Na+Ca+K	2.26	2.13	2.42	2.13	2.43	2.44	1.77	1.86
Si	6.93	6.95	6.92	6.94	6.78	6.78	7.19	6.80
Mg	3.25	3.36	3.44	3.09	3.16	3.04	2.03	2.74
Mn	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04
Ca	1.72	1.60	1.69	1.59	1.70	1.61	1.30	1.54
Na	0.48	0.49	0.72	0.49	0.69	0.78	0.46	0.27
K	0.05	0.04	0.00	0.05	0.04	0.05	0.00	0.05
Fe <sup>+2</sup>	1.04	0.95	1.19	0.91	1.04	1.28	1.08	0.93
Fe <sup>+3</sup>	0.22	0.37	0.31	0.29	0.28	0.35	0.10	0.26
BCa	1.72	1.60	1.69	1.59	1.70	1.61	1.30	1.54
BNa	0.15	0.21	0.17	0.22	0.16	0.21	0.14	0.24
AK	0.05	0.04	0.00	0.05	0.04	0.05	0.00	0.05
<sup>iv</sup> Al	1.07	1.05	1.08	1.06	1.22	1.22	0.81	1.20
<sup>vi</sup> Al	0.65	0.63	0.63	0.80	0.64	0.71	2.17	0.86
T	907.32	907.93	917.13	912.41	926.27*	925.31**	927.74*	912.21*
P	89.60	89.93	91.29	88.44	11.48*	110.53*	107.39*	76.38*



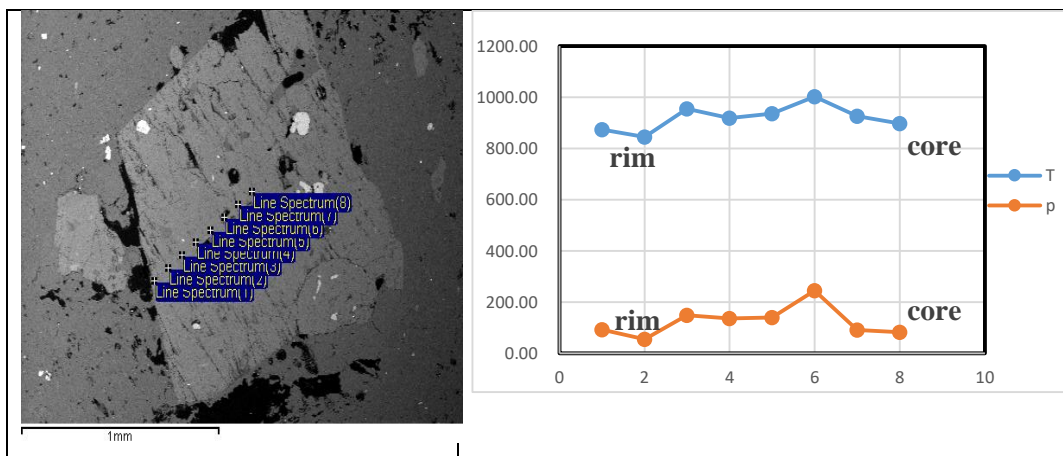
جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp
Location	Rim			to			rim
SiO <sub>2</sub>	46.98	44.91	44.83	45.36	48.55	45.95	45.72
TiO <sub>2</sub>	0.16	1.45	1.92	1.67	0.38	2.45	2.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.58	12.03	13.73	11.38	11.53	11.41	13.40
FeO	12.26	13.34	11.41	11.49	11.86	11.80	11.41
MnO	0.06	0.65			0.59		0.06
MgO	12.28	12.62	13.36	13.88	12.47	13.32	12.03
CaO	10.10	10.70	9.94	9.98	10.01	10.30	9.93
Na <sub>2</sub> O	2.38	1.10	0.94	2.21	2.38	1.36	3.17
K <sub>2</sub> O	2.17	0.20		0.69	0.12	0.30	0.36
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.65	0.73	0.80	0.75	0.69	0.74	0.67
Na+Ca+K	2.69	2.01	1.79	2.32	2.24	2.04	2.52
Si	6.94	6.52	6.45	6.63	7.02	6.66	6.67
Mg	2.70	2.73	2.87	3.03	2.69	2.88	2.62
Mn	0.01	0.08	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01
Ca	1.60	1.66	1.53	1.56	1.55	1.60	1.55
Na	0.68	0.31	0.26	0.63	0.67	0.38	0.90
K	0.41	0.04	0.00	0.13	0.02	0.06	0.07
Fe <sup>+2</sup>	1.47	1.01	0.70	0.99	1.21	1.02	1.31
Fe <sup>+3</sup>	0.04	0.61	0.68	0.42	0.23	0.42	0.08
BNa	0.21	0.15	0.13	0.23	0.24	0.19	0.24
BCa	1.60	1.66	1.53	1.56	1.55	1.60	1.55
AK	0.41	0.04	0.00	0.13	0.02	0.06	0.07
<sup>iv</sup> Al	1.07	1.48	1.55	1.37	0.98	1.34	1.33
<sup>vi</sup> Al	0.95	0.57	0.78	0.59	0.98	0.61	0.97
T	873.65	953.87	1004.40	934.14	899.13	944.47	960.40
P	88.83	162.25	178.66	137.55	78.95	131.34	129.48



جدول ۳-۲: ادامه

Sample	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp
Location	Rim				to			core
SiO <sub>2</sub>	46.58	48.88	44.87	45.37	45.25	42.14	47.36	46.80
TiO <sub>2</sub>	0.37		2.20	0.82	2.42	1.93	1.34	1.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.50	10.60	11.76	11.18	11.08	14.28	12.92	10.18
FeO	15.00	12.04	11.88	14.09	12.13	13.61	11.18	11.91
MnO		0.73	0.93		0.07			0.47
MgO	11.50	11.25	12.19	13.00	13.33	11.66	11.73	11.16
CaO	10.15	9.71	11.57	9.91	10.24	10.19	10.03	13.13
Na <sub>2</sub> O	2.11	2.67	1.93	2.31	2.44	3.80	2.62	2.12
K <sub>2</sub> O	0.69	1.59	0.11	0.24	0.51	0.13	0.70	0.42
Mg/(Mg+Fe <sup>+2</sup> )	0.62	0.62	0.67	0.71	0.71	0.65	0.65	0.63
Na+Ca+K	2.35	2.62	2.39	2.25	2.39	2.73	2.44	2.75
Si	6.91	7.27	6.58	6.64	6.62	6.23	6.92	6.98
Mg	2.54	2.50	2.66	2.84	2.91	2.57	2.55	2.48
Mn	0.00	0.09	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06
Ca	1.61	1.55	1.82	1.55	1.60	1.61	1.57	2.05
Na	0.61	0.77	0.55	0.66	0.69	1.09	0.74	0.61
K	0.13	0.30	0.02	0.05	0.10	0.03	0.13	0.08
Fe <sup>+2</sup>	1.57	1.50	1.33	1.16	1.18	1.40	1.37	1.49
Fe <sup>+3</sup>	0.29	0.00	0.13	0.56	0.31	0.28	0.00	0.00
BNa	0.21	0.24	0.10	0.24	0.21	0.20	0.23	0.00
BCa	1.61	1.55	1.82	1.55	1.60	1.61	1.57	2.00
AK	0.13	0.30	0.02	0.05	0.10	0.03	0.13	0.08
<sup>iv</sup> Al	1.09	0.73	1.42	1.36	1.38	1.77	1.08	1.02
<sup>vi</sup> Al	0.74	1.13	0.61	0.56	0.52	0.72	1.14	0.77
T	874.25	844.98	954.91	919.48	936.34	1002.27	925.96	898.33
P	92.61	54.71	148.63	136.54	140.52	245.14	91.29	82.78



جدول ۳-۳:  $\text{SiO}_2$  محاسبه شده براساس شیمی آمفیبول و سنگ کل

$\text{SiO}_2$ محاسبه شده بر اساس شیمی آمفیبول	$\text{SiO}_2$ شیمی سنگ کل
64.70	68.11
67.72	68.11
68.97	68.11
61.14	68.11
66.65	68.11
67.88	68.11
70.95	68.11
66.04	68.11
66.54	68.11
70.63	68.11
72.76	68.11
71.89	68.11
74.31	68.11
74.08	68.11
74.48	68.11
69.66	68.11
65.22	68.11
67.81	68.11
76.16	68.11
79.96	68.11
71.66	68.11
68.54	68.11
68.62	68.11
74.81	68.11
69.84	68.11
69.19	68.11
70.96	68.11
69.19	68.11
72.18	68.11
78.42	68.70
84.74	68.70
82.86	68.70
81.44	68.70
67.00	68.70
79.93	68.70
81.01	68.92
84.78	68.92
84.58	68.92
81.33	68.92
81.19	68.92
76.86	68.92
80.77	68.92
76.38	68.92
75.03	68.92

83.08	68.92
76.80	68.92
76.37	68.92
79.74	68.92
80.66	68.76
70.80	68.76
58.87	68.76
67.91	68.76
70.94	68.76
69.69	68.76
67.92	68.76
72.55	68.76
68.01	68.76
68.40	68.76
73.50	68.76
70.21	68.76
66.65	68.76
70.21	68.76
70.08	68.76
72.55	68.76
72.02	68.76
72.94	68.76
72.79	68.76
74.50	67.86
65.33	67.86
59.16	67.86
68.13	67.86
74.08	67.86
67.54	67.86
66.12	67.86
74.22	67.86
78.27	67.86
65.79	67.86
69.29	67.86
67.80	67.86
57.41	67.86
71.38	67.86
73.82	67.86

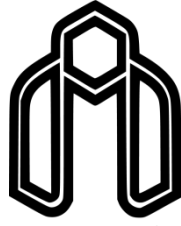




## **Abstract**

The Qarah Chay Neogene caldera is located at 30 km SE Quchan in the Binalud Zone. The volcanic rocks of the caldera are mainly dacite in composition and composed of plagioclase and amphibole. The rocks present a variety of porphyry, microlitic porphyry, sieve, trachytic and glomeroporphyritic textures. These rocks are enriched in light rare earth elements and large ion lithophyll (LILE) and depleted in heavy rare earth elements (HREE) and high field strength elements (HFSE). Calc-alkaline nature, apparent negative anomalies of high field strength elements (such as Ti, Nb and P), Pb positive anomaly, high Sr, Sr / Y, Na<sub>2</sub>O / K<sub>2</sub>O values, and low K and MgO values indicating the adakitic character of Persilis (HSA). The rocks are composed of continental marginally active environments. Also, the Nb and Ti depletion and high concentration of Rb, Ba, K and Th indicate the crustal contamination of the magma-forming rocks of the rocks. According to the results of mineral chemistry analysis, plagioclases are oligoclase to andesine and amphiboles are magmatic to hornblende. Calculations on amphiboles in dacitic rocks show that amphiboles crystallize at temperatures of 814 to 970 ° C and a compressive range of 55 to 245 MPa. Considering the relationship between depth and pressure, it can be concluded that magmatic crystallization It lies 6 to 1 km deep and then explodes and accumulates as microfiber facies. Due to the high temperature of the rock cut, there is significant corrosion between them.

**Keyword:** Dacite, Geochemistry, Adakite, Caldera, Qarah Chay, Quchan.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Petrology and Economic Geology

**Mineral chemistry of volcanic rocks Qarah Chay crater, NW  
Sabzevar**

**Author:**

**Marzye asadi- Avargani**

**Supervisor:**

**Dr. Mahdi Rezaei- Kahkhaei**

**Advisor:**

**Dr. Habibollah Ghasemi**

**September 2019**