

Petrography and petrology of the Ayghalesi granite, east of Takab area (northwest of Iran)

Saeed Kamran, Ahmad Jahangiri, Robab Hajialioghli* and Mohsen Moayyed
Earth Sciences Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

The investigated granite intrusion is located at the north of Ayghalesi village, east of Takab. The Ayghalesi granite has been intruded the Eocene sandstone and conglomerate rocks and low grade metamorphic hornfels have been metamorphosed host rocks. The main constituent minerals are K-feldspar, plagioclase, quartz and muscovite and minor garnet. The main texture is granular but pegmatitic, myrmektitic, graphic and perthitic occur as minor textures. Chemically, the rocks are granite on the various classification diagrams. The Ayghalesi intrusion body is classified as S-type, peraluminous composition, calc-alkaline nature and is calcic-alkali to alkali-calcic on the base of modified alkali lime index (MALI). The investigated body, on the tectonic discrimination diagrams, fall on syn-collisional tectonic setting domain, suggesting that it was originated during collision of Central Iranian and Arabian plates.

Key words: granite, peraluminous, S-type, syn-collision, Ayghalesi, Takab

* hajialioghli@tabrizu.ac.ir

بررسی سنگ‌نگاری و پتروژنز گرانیت آی‌قلعه‌سی در خاور تکاب (شمال‌باختری ایران)

سعید کامران، احمد جهانگیری، رباب حاجی‌علی‌اوغلی* و محسن مؤید
گروه علوم‌زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

توده گرانیتی بررسی‌شده در شمال روستای آی‌قلعه‌سی در خاور شهرستان تکاب رخنمون دارد. توده نفوذی آی‌قلعه‌سی با ترکیب اصلی گارنت-مسکوویت گرانیت درون واحد ماسه‌سنگی و کنگلومرای ائوسن نفوذ کرده و سنگ‌های هورنفلس با درجه دگرگونی ضعیف را در سنگ‌های میزبان پدید آورده است. پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکوویت از کانی‌های اصلی سازنده توده گرانیتی آی‌قلعه‌سی هستند. در این سنگ‌ها، گارنت کانی فرعی است. بافت اصلی سنگ گرانولار است و بافت‌های پگماتی، میرمکیتی، گرافیکی و پرتیتی نیز از بافت‌های فرعی مهم در این سنگ‌ها به‌شمار می‌روند. ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در نمودارهای رده‌بندی گوناگون در گستره گرانیت‌ها جای دارد. از دیدگاه زمین‌شیمیایی، توده نفوذی آی‌قلعه‌سی پراآلومینوس بوده و از سری ماگمایی کالک‌آلکالن و تیپ S است. در نمودار شاخص تصحیح‌شده کلسیک-آلکالی، نمونه‌های بررسی‌شده در گستره کلسیک-آلکالی تا آلکالی-کلسیک جای می‌گیرند. برپایه نمودار شناسایی پهنه زمین‌ساختی، نمونه‌های گرانیتی بررسی‌شده در گستره هم‌زمان با برخورد و وابسته به پهنه برخورد صفحه‌های قاره‌ای ایران مرکزی و عربستان جای گرفته است.

واژه‌های کلیدی: گرانیت، پراآلومینوس، تیپ S، هم‌زمان با برخورد، آی‌قلعه‌سی، تکاب

مقدمه

سیرجان (Alavi, 1994, 2004)، ایران مرکزی (Berberian and King, 1981; Stocklin, 1968) سلطانیه- میشو (Eftekhar Nejad, 1980)، خوی- مهاباد (Nabavi, 1976) و پهنه مرکزی (Central domain; Aghanabati, 2006) جای دارد. جایگاه زمین‌ساختاری این منطقه برپایه بررسی‌های Stocklin (۱۹۶۸) و Nabavi (۱۹۷۶) در شکل ۱ دیده می‌شود.

توده گرانیتی بررسی‌شده در مختصات جغرافیایی ۴۷°۲۳' تا ۴۷°۲۵' خاوری و ۳۶°۲۱' تا ۳۶°۲۲' شمالی، در شمال روستای آی‌قلعه‌سی (در خاور شهرستان تکاب) رخنمون دارد. برپایه پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختاری که پژوهشگران گوناگون پیشنهاد کرده‌اند، منطقه تکاب در پهنه‌های سنندج-

* hajialioghli@tabrizu.ac.ir

بررسی سنگ‌نگاری و پتروژنز گرانیت آی‌قلعه‌سی در خاور تکاب (شمال‌باختری ایران)

سعید کامران، احمد جهانگیری، رباب حاجی‌علی‌اوغلی* و محسن مؤید
گروه علوم‌زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

توده گرانیتی بررسی‌شده در شمال روستای آی‌قلعه‌سی در خاور شهرستان تکاب رخنمون دارد. توده نفوذی آی‌قلعه‌سی با ترکیب اصلی گارنت-مسکوویت گرانیت درون واحد ماسه‌سنگی و کنگلومرای ائوسن نفوذ کرده و سنگ‌های هورنفلس با درجه دگرگونی ضعیف را در سنگ‌های میزبان پدید آورده است. پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکوویت از کانی‌های اصلی سازنده توده گرانیتی آی‌قلعه‌سی هستند. در این سنگ‌ها، گارنت کانی فرعی است. بافت اصلی سنگ گرانولار است و بافت‌های پگماتی، میرمکیتی، گرافیکی و پرتیتی نیز از بافت‌های فرعی مهم در این سنگ‌ها به‌شمار می‌روند. ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در نمودارهای رده‌بندی گوناگون در گستره گرانیت‌ها جای دارد. از دیدگاه زمین‌شیمیایی، توده نفوذی آی‌قلعه‌سی پرآلومینوس بوده و از سری ماگمایی کالک‌آلکان و تیپ S است. در نمودار شاخص تصحیح‌شده کلسیک-آلکالی، نمونه‌های بررسی‌شده در گستره کلسیک-آلکالی تا آلکالی-کلسیک جای می‌گیرند. برپایه نمودار شناسایی پهنه زمین‌ساختی، نمونه‌های گرانیتی بررسی‌شده در گستره هم‌زمان با برخورد و وابسته به پهنه برخورد صفحه‌های قاره‌ای ایران مرکزی و عربستان جای گرفته است.

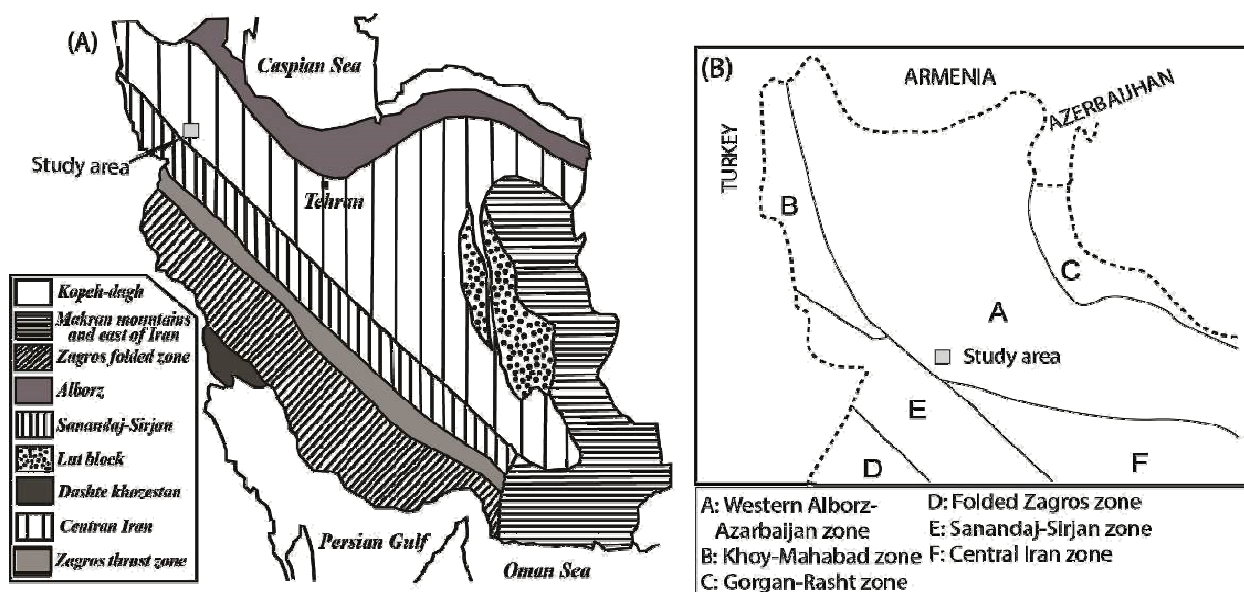
واژه‌های کلیدی: گرانیت، پرآلومینوس، تیپ S، هم‌زمان با برخورد، آی‌قلعه‌سی، تکاب

مقدمه

سیرجان (Alavi, 1994, 2004)، ایران مرکزی (Berberian and King, 1981; Stocklin, 1968) سلطانیه-میشو (Eftekhar Nejad, 1980)، خوی-مه‌باد (Nabavi, 1976) و پهنه مرکزی (Central domain; Aghanabati, 2006) جایگاه زمین‌ساختاری این منطقه برپایه بررسی‌های Stocklin (۱۹۶۸) و Nabavi (۱۹۷۶) در شکل ۱ دیده می‌شود.

توده گرانیتی بررسی‌شده در مختصات جغرافیایی ۳۶°۲۳' تا ۳۶°۲۵' خاوری و ۳۶°۲۱' تا ۳۶°۲۲' شمالی، در شمال روستای آی‌قلعه‌سی (در خاور شهرستان تکاب) رخنمون دارد. برپایه پهنه‌بندی‌های زمین‌ساختاری که پژوهشگران گوناگون پیشنهاد کرده‌اند، منطقه تکاب در پهنه‌های سنندج-

* hajialioghli@tabrizu.ac.ir



شکل ۱- جایگاه منطقه آق‌قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران) در نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران: (A) برگرفته از Stocklin (۱۹۶۸)؛ (B) برگرفته از Nabavi (۱۹۷۶)

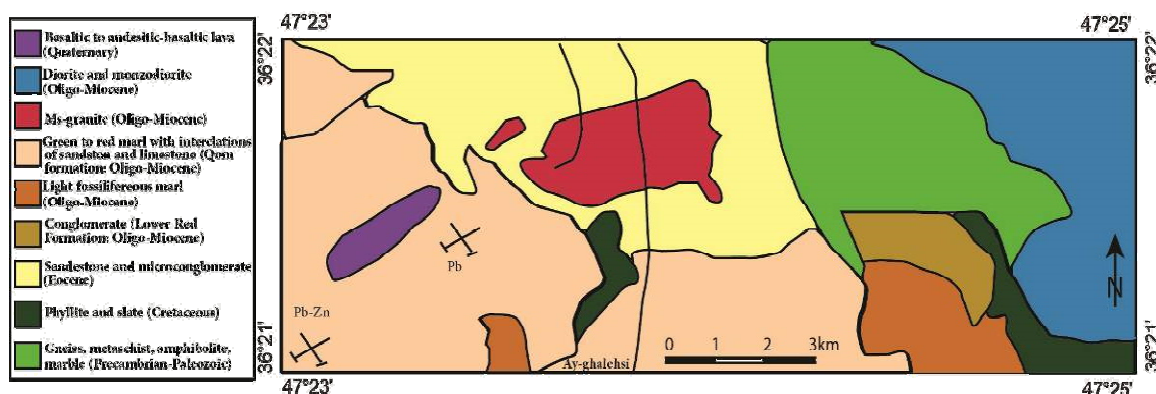
زمین‌شناسی

سنگ‌های منطقه آق‌قلعه‌سی، از قدیم به جدید، شامل سنگ‌های دگرگونی (گنیس، میکاشیست، مرمَر، اسلیت و فیلیت) منسوب به پرکامبرین- پالئوزوییک، رخساره‌های رسوبی ائوسن (ماسه‌سنگ) و الیگوسن- میوسن (مارن، آهک، کنگلومرا) و توده‌های نفوذی ژرف و نیمه‌ژرف هستند (Fonoudi and Hariri, 1999). سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین- پالئوزوییک در بخش خاوری منطقه برونزد دارند (شکل ۲). مرز زیرین سنگ‌های دگرگونی با واحدهای ائوسن راندگی است. مرز بالایی آنها نیز با ناپیوستگی با واحدهای جوان‌تر الیگوسن- میوسن شناخته می‌شود. در شمال خاوری روستای چیچکلو، مرز راندگی واحدهای دگرگونی بر روی ماسه‌سنگ‌های ائوسن آشکارا دیده می‌شود. در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب (Alavi et al., 1982) و برپایه جایگیری آنها در زیر آهک‌های نادگرگون پرمین، سن این دگرگونی‌ها پیش از پرمین دانسته شده است. توده

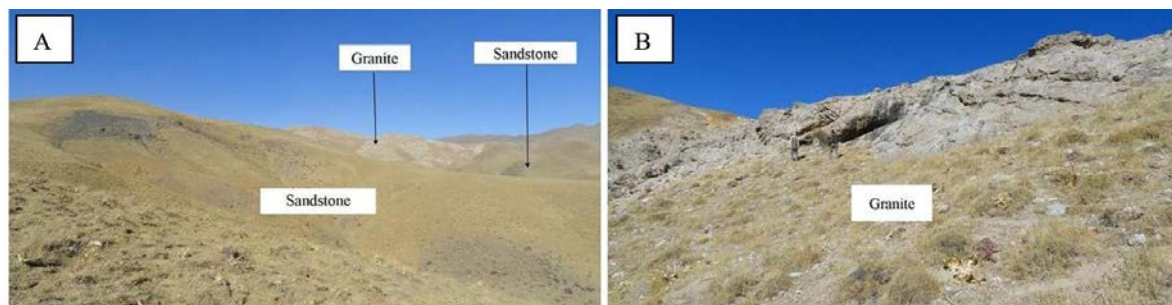
در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and Hariri, 1999)، این منطقه در محل برخورد پهنه‌های البرز- آذربایجان و سهند- سیرجان دانسته شده است. برونزد توده‌های نفوذی ژرف و نیمه‌ژرف فراوانی در منطقه تکاب دیده می‌شود و توده گرانیتی آق‌قلعه‌سی نیز یکی از آنهاست. پیرامون جایگاه و خاستگاه این توده‌ها، پرسش‌های اساسی مطرح شده است. پیدایش کانه‌زایی سرب و روی آق‌قلعه‌سی درون ماسه‌سنگ و آهک‌های الیگوسن- میوسن (شکل ۲) چه‌بسا به نفوذ گنبد‌های نیمه‌ژرف داسیتی وابسته باشد (Dahrazema et al., 2014). Ghorbani (۲۰۰۸) خاستگاه محلول‌های گرمابی شرکت‌کننده در پیدایش این کانسار را به توده گرانیتی آق‌قلعه‌سی وابسته دانسته است. درباره توده گرانیتی آق‌قلعه‌سی تا اکنون بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی انجام نشده است. در این پژوهش تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از یافته‌های به‌دست آمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، خاستگاه و پهنه زمین‌ساختی توده نفوذی آق‌قلعه‌سی بررسی شود.

گرانیتی آی‌قلعه‌سی، با ترکیب اصلی گارنت-مسکوویت گرانیت، درون واحد ماسه‌سنگی ائوسن نفوذ کرده است (شکل‌های ۳ و ۴). سنگ‌های هورنفلس پیامد تزریق توده نفوذی گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن هستند (شکل‌های ۳ و ۴). در نمونه‌دستی، سنگ‌های هورنفلس تیره‌رنگ و ریزپلور هستند و درجه دگرگونی آنها بسیار ضعیف تا ضعیف (به اندازه رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس) است. همچنین، نفوذ توده گرانیتی درون واحد ماسه‌سنگی ائوسن، شکستگی و دگرسانی سنگ‌های دربرگیرنده را در پی داشته است در بخش خاوری، واحد دیوریتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن (در بیرون از گستره بررسی‌شده) نفوذ کرده است. در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and

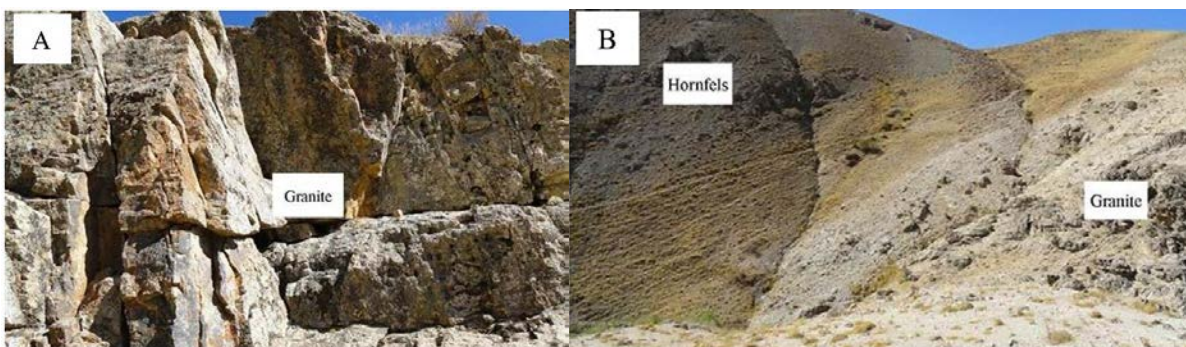
Hariri, 1999)، زمان نفوذ توده دیوریتی پس از الیگوسن-میوسن و چه‌بسا میوسن دانسته شده است (شکل ۲). برپایه جایگزینی توده گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن، سن توده گرانیتی پس از ائوسن (شاید الیگوسن-میوسن) است. در لبه باختری توده گرانیتی، برونزدی از سنگ‌های پگماتیته دیده می‌شود. همچنین، در شمال‌خاوری روستای آی‌قلعه‌سی، چندین آپوفیز کوچک در ماسه‌سنگ‌های ائوسن نفوذ کرده‌اند. درون توده نفوذی آی‌قلعه‌سی، دایک‌های پدیدآمده در مرحله‌های پایانی جدایش ماگمای گرانیتی، به‌صورت آپلیت و رگه‌های سیلیسی، دیده می‌شوند. همچنین، دایک‌های بازیک به سن کواترنری نیز درون سنگ‌های منطقه دیده می‌شوند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه آی‌قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران)، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and Hariri, 1999)



شکل ۳- تصویرهای صحرایی از منطقه آی‌قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران): (A) دورنمایی از نفوذ توده گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن (دید به‌سوی شمال‌خاوری)؛ (B) رخنمون توده نفوذی گرانیتی (دید به‌سوی شمال‌خاوری)



شکل ۴- تصویرهای صحرایی از منطقه آیقلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران): (A) رخنمون توده گرانیتی (دید به‌سوی شمال‌خاوری)؛ (B) مرز گرانیت با هورنفلس (دید به‌سوی شمال‌باختری)

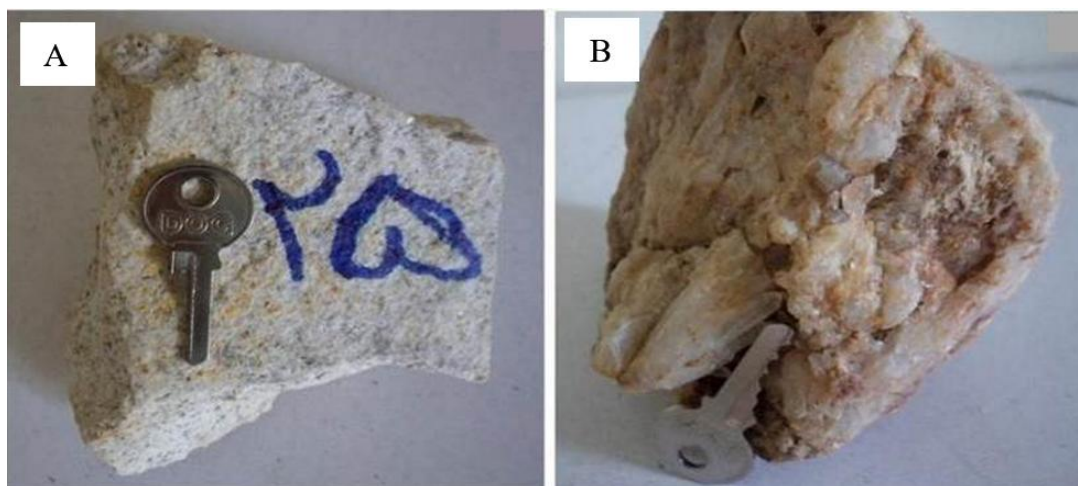
سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین

توده گرانیتی آیقلعه‌سی تنوع کانی‌شناسی و ترکیبی چندانی نداشته و کمابیش یکنواخت، از کانی‌های کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، مسکوویت و گارنت ساخته شده است. در این بخش، کانی‌شناسی و روابط بافتی سنگ‌های گرانیت و دایک‌های دیابازی درون آن بررسی می‌شوند.

(۱) **گرانیت:** گرانیت اصلی‌ترین سنگ سازنده توده‌های نفوذی در منطقه بررسی شده است. در لبه باختری این توده، سنگ‌های پگماتیت دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در نمونه‌دستی به‌رنگ روشن هستند و بافت دانه‌ای متوسط تا درشت بلور (پگماتیتی) دارند (شکل ۵).

روش انجام پژوهش

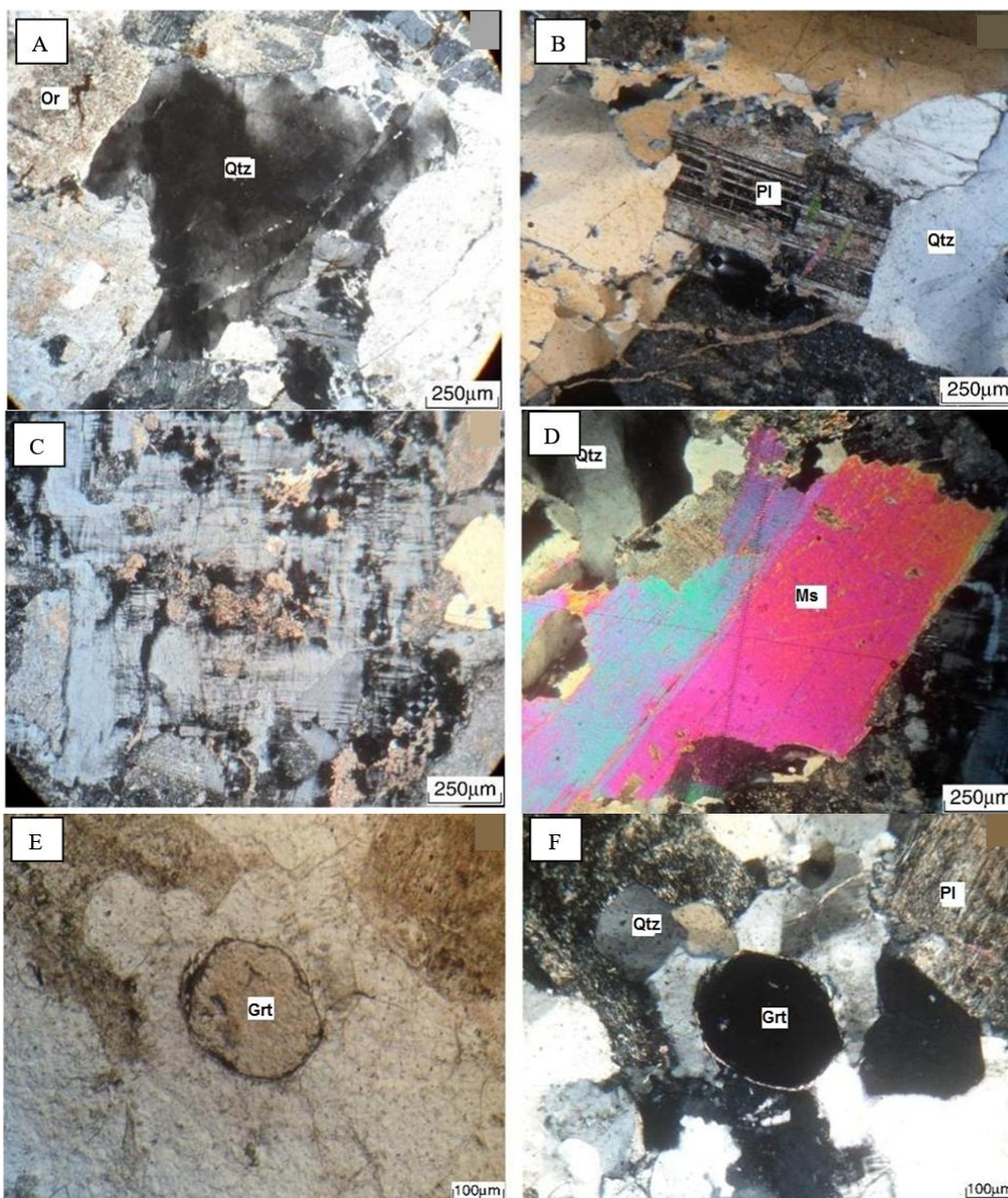
از توده گرانیتی آیقلعه‌سی، ۲۲ نمونه سنگی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری برداشته شد. سپس، کانی‌شناسی و روابط بافتی ۸ نمونه از این سنگ‌ها که کمترین دگرسانی را نشان می‌دادند، دقیق بررسی شد و برای شناسایی عنصرهای اصلی، به روش XRF و عنصرهای فرعی، کمیاب و خاکی، به روش ICP-MS، در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهران تجزیه شدند. جدول‌های ۱ و ۲ داده‌های تجزیه شیمیایی سنگ‌کل در نمونه‌های بررسی شده را نشان می‌دهند. نماد اختصاری کانی‌ها در تصویرهای میکروسکوپی از Kretz (۱۹۸۳) است.



شکل ۵ - نمونه‌های دستی سنگ‌ها در توده نفوذی آیقلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) گارنت - مسکوویت گرانیت؛ (B) پگماتیت

درصد است. در برخی نمونه‌ها، رگچه‌هایی از کوارتز ثانویه درون شکستگی‌های سنگ دیده می‌شوند. درصد مودال پلاژیوکلاز ۲۰ تا ۲۵ درصد است. پلاژیوکلاز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار، با ماکل پلی‌سینتتیک است و به سریسیت دگرسان شده است (شکل ۶- B).

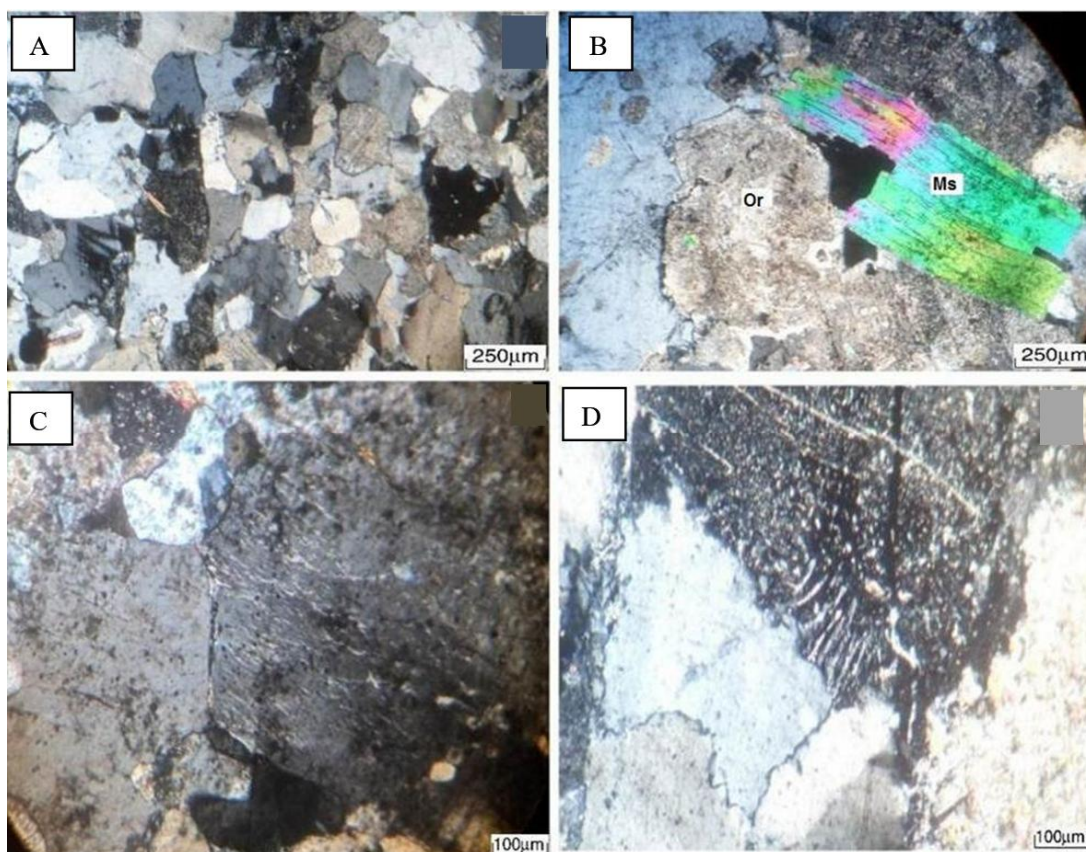
ویژگی‌های میکروسکوپی: کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار، مسکوویت و پلاژیوکلاز از کانی‌های اصلی سازنده گرانیت است (شکل ۶). کوارتزها دانه‌ریز و بی‌شکل بوده و خاموشی موجی دارند و فضای میان بلورهای دیگر را پر کرده‌اند (شکل ۶- A). درصد مودال کوارتز ۲۵ تا ۳۵



شکل ۶- تصویرهای میکروسکوپی از گرانیت آبریزه‌سی (شمال‌باختری ایران): A) کوارتز با خاموشی موجی به همراه ارتوز دگرسان‌شده به کانی‌های رسی (تصویر XPL)؛ B) پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سینتتیک (تصویر XPL)، C) میکروکلین با ماکل مشبک (تصویر XPL)؛ D) مسکوویت با رخ یک‌جهتی (تصویر XPL)؛ E) گارنت (تصویر PPL)؛ F) گارنت (تصویر XPL)

بی‌رنگ و دارای بلورهای خودشکل شش‌گوش تا گرد است. در برخی نمونه‌ها، گارنت لبه‌های کلیفیتی (دگرسانی به کلریت و اپیدوت) دارد (شکل‌های ۶-E و ۶-F). آپاتیت و زیرکن فراوانی بسیار کمی دارند. کانی‌های کدر از کانی‌های فرعی دیگر در این سنگ‌ها هستند. بافت اصلی در این سنگ‌ها گرانولار است. از بافت‌های فرعی دیگر می‌توان بافت‌های آپلیتی، پگماتیتی، پرتیتی، میرمکیتی و گرافیکی را نام برد (شکل‌های ۷-A و ۷-D).

پتاسیم‌فلدسپار به‌صورت ارتوز پرتیتی و میکروکلین با بافت مشبک در این سنگ‌ها دیده می‌شود (شکل‌های ۶-A و C). درصد مودال پتاسیم‌فلدسپار ۳۵ تا ۴۵ درصد است. به پتاسیم‌فلدسپار بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دگرسان‌شده به کانی‌های رسی دیده می‌شود. درصد مودال مسکوویت ۵ تا ۱۰ درصد است. مسکوویت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دارای رخ یک‌جهتی است (شکل ۶-D). درصد مودال گارنت کمتر از ۵ درصد است. این کانی، ایزوتروپ،



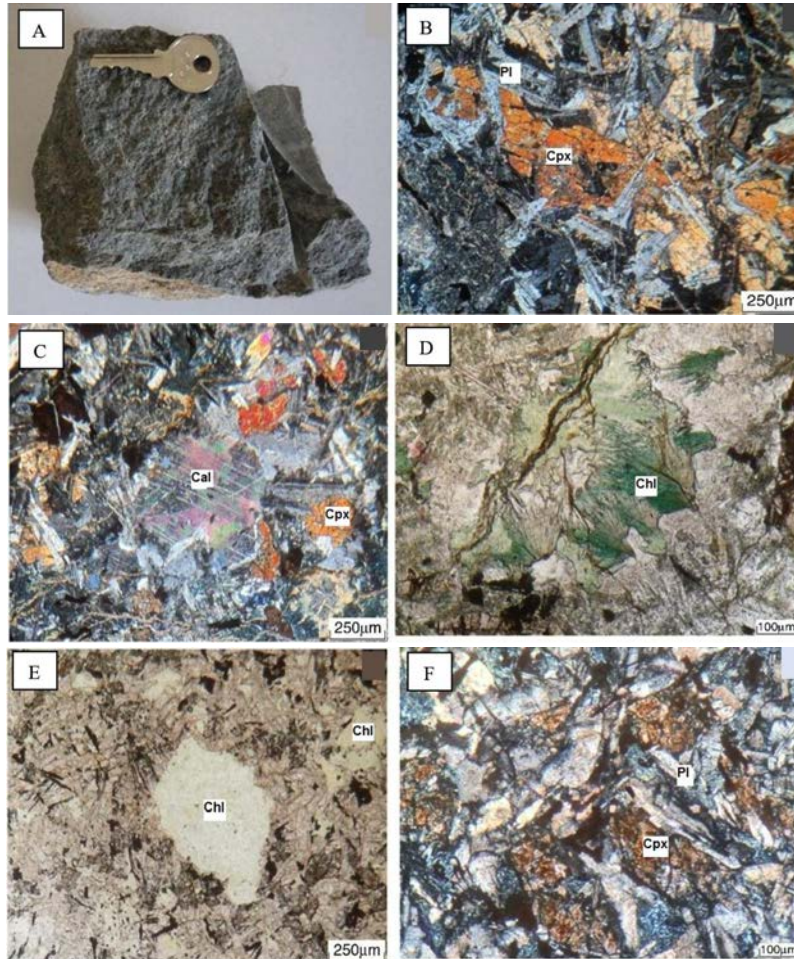
شکل ۷- انواع بافت‌ها در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) بافت آپلیتی؛ (B) بافت پگماتیت؛ (C) بافت پرتیت؛ (D) بافت میرمکیت. همه‌ی تصویرها در نور XPL هستند.

ویژگی‌های میکروسکوپی: پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن از کانی‌های اصلی در دیاباز هستند. در زمینه سنگ، بلورهای پلاژیوکلاز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دارای ماکل پلی‌سینتتیک هستند

(۲) دایک دیابازی: این سنگ‌ها به‌صورت دایک، توده گرانیتی بررسی‌شده را قطع کرده‌اند. سنگ‌های دیابازی در نمونه‌دستی به‌رنگ سبز تیره هستند (شکل ۸-A).

در این سنگ‌ها، کلسیت، سرسیت، ترمولیت/اکتینولیت و کلریت از کانی‌های ثانویه هستند (شکل‌های ۸- C تا ۸- E). بافت این سنگ‌ها ساب‌افتیک و اینترستال است (شکل ۸- F).

(شکل ۸- B). درصد مودال کلینوپیروکسن ۳۰ تا ۴۰ درصد است و بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار آن در میان بلورهای پلاژیوکلاز دیده می‌شود (شکل ۸- C).



شکل ۸- سنگ‌نگاری دیابازهای آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) دیاباز در نمونه دستی؛ (B) کلینوپیروکسن در دیاباز (تصویر XPL)؛ (C) کلسیت ثانویه در دیاباز (تصویر XPL)؛ (D) کلریت (تصویر XPL)؛ (E) کلریت در دیاباز (تصویر PPL)؛ (F) بافت ساب‌افتیک با بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن (تصویر XPL)

جدول‌های ۱ تا ۲ آورده شده است. ترکیب شیمیایی نمونه‌های بررسی‌شده در نمودار مجموع مقدار Na_2O و K_2O در برابر SiO_2 ، در گستره گرانیت جای می‌گیرد (شکل ۹- A). در نمودار دو متغیره R_1-R_2 ، بیشتر نمونه‌ها در گستره گرانیت و شمار کمتری از آنها در گستره آلکالی‌گرانیت جای گرفته‌اند (شکل ۹- B).

بحث و بررسی

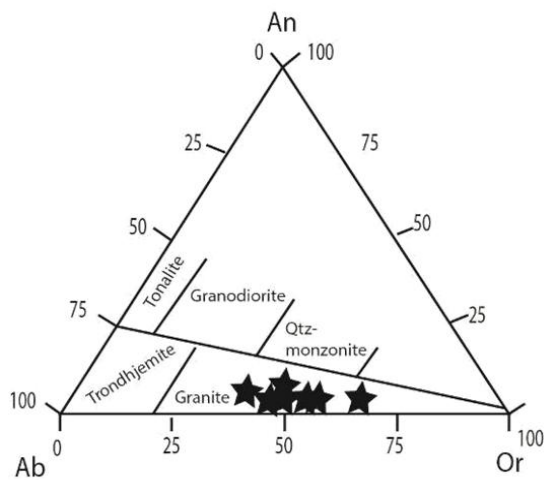
زمین‌شیمی توده گرانیتی آی‌قلعه‌سی: در این بخش زمین‌شیمی توده گرانیتی آی‌قلعه‌سی بر پایه داده‌های XRF (عنصرهای اصلی) و ICP-MS (عنصرهای کمیاب) در ۸ نمونه سنگی بررسی شده است. داده‌های عنصرهای اصلی، فرعی، کمیاب در سنگ‌های گرانیتی آی‌قلعه‌سی در

جدول ۱- داده‌های تجزیه عنصرهای اصلی (برپایه درصد وزنی) در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) به روش XRF

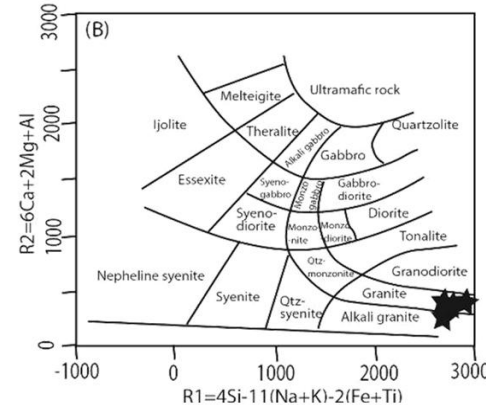
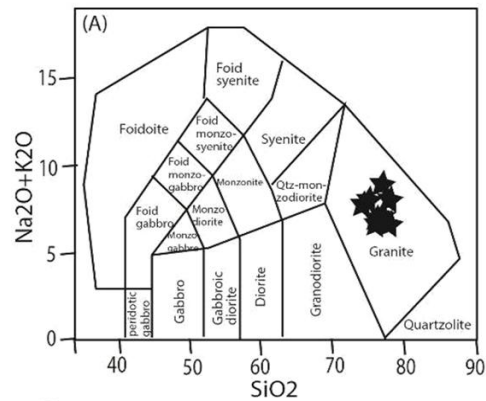
Sample No.	28	30	38	39	40	41	43	46
SiO ₂	77.03	75.48	75.40	71.56	73.91	75.72	76.88	74.41
Al ₂ O ₃	14.71	15.29	16.00	15.64	15.61	14.04	13.47	14.84
Fe ₂ O ₃	0.75	0.46	0.51	0.94	0.58	0.26	0.30	0.57
CaO	0.20	0.28	0.16	0.27	0.37	0.23	0.12	0.87
MgO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.14	<1	0.11	0.12
Na ₂ O	2.68	2.63	2.97	2.51	3.27	2.15	1.93	3.18
K ₂ O	3.92	4.46	3.62	4.73	3.58	6.81	5.84	4.77
SO ₃	<1	<1	<1	0.19	<1	<1	<1	<1
TiO ₂	<1	<1	<1	0.12	<1	<1	<1	<1
L.O.I.	0.36	1.12	1.04	3.72	2.40	0.60	1.26	0.94

جدول ۲- داده‌های تجزیه عنصرهای کمیاب و خاکی نادر (برپایه ppm) در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) به روش ICP-MS

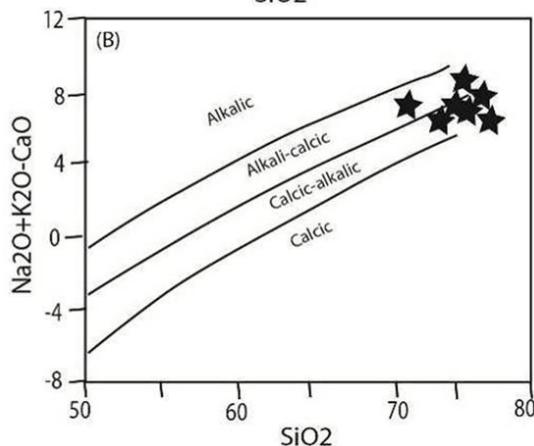
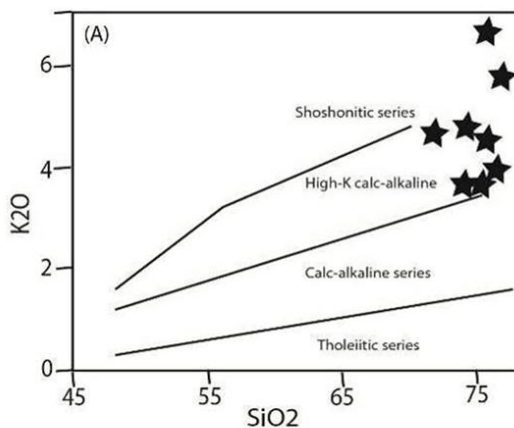
Sample No.	28	30	38	39	40	41	43	46
Ag	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
B	9.3	8.4	7.2	7.2	6.9	6.4	7.7	10.7
Ba	310.8	133.4	858.5	601.7	183.8	506.6	358.6	67.4
Be	0.8	0.7	0.7	1.1	1.5	0.6	0.6	1.7
Bi	0.8	0.9	1.3	0.7	0.3	1.2	1.4	0.7
Cd	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
Co	7.9	16.3	4.2	16.3	8.3	9.7	9.8	13.9
Cr	<1	<1	<1	<1	<1	1.4	0.9	<1
Cu	22.5	7.2	11.8	6	6.4	10.6	17.9	13.5
Ga	7.7	7	8.1	7.4	6.4	5.4	5.7	6.7
Ge	1.8	1.3	2.5	1.4	1.6	2.5	1.4	1.6
Hf	5.8	5.7	3.4	5	5	4.2	5.5	3.5
Hg	0.7	<0.05	2	4.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Li	2.7	6.1	3.4	8.5	4	1.8	3.7	2
Mn	27.7	28.7	21.3	32.8	47.2	254.6	30.1	51.6
Mo	4.4	5.8	1.9	3.4	3.6	3.7	5.9	1.6
Nb	10.4	19	16.8	18.6	12.3	3.9	11	38.8
Ni	4	11.4	2.1	7.5	4.7	6.4	8.7	6.7
P	67.9	9.9	68.1	75	161.4	27.6	<2	130.2
Pb	48.4	14.1	<3	<3	<3	22.5	2.4	17.1
Rb	187.5	201.3	126.3	184.1	137.2	213.2	203	271.8
S	253.2	148.3	245.4	377.4	132	101.7	129.1	165.9
Sn	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.2	0.4	0.4
Sr	99.2	65.5	75.8	151.3	125.2	132.8	79.2	44.8
Ta	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3	0.9	1	1.4
Th	7.2	4.9	6	6.6	6.2	4.9	5.2	5.6
Tl	0.3	1	1.3	0.6	0.3	0.9	0.2	0.2
Ti	459.1	361	568.5	608.5	366.3	203.1	204.1	236.4
U	2.1	2.5	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2	2.4
V	0.6	1.6	1.8	2.4	1.9	1.1	1.6	1.7
Zn	43.7	25	6.7	11.5	8.8	16.3	12.4	12.1
Zr	6	3.7	<1	1.7	4.3	3.5	<1	6.7
Sc	2.3	3.1	1.2	1.5	1.2	0.9	1.3	2.2
Y	16.1	6.1	3.5	4.2	4.6	9.5	4	10.6
La	11.5	7.4	9.1	15.9	13.1	2.6	4.2	6.9
Ce	24.4	11.3	20.4	22.1	19.5	2.2	7.6	10.6
Pr	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nd	8.5	7.5	7.6	11.1	6.4	8.2	0.8	6.3
Sm	2.4	0.5	1.3	0.6	1.4	0.4	<0.1	1.6
Eu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Gd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Dy	5	4.4	3.6	3.9	4.3	3.8	3.5	4.2
Ho	2.4	2.5	2.5	2.2	2.2	1.9	2.2	2.4
Er	3.7	1.4	0.7	0.8	1	1.1	0.3	2.2
Tm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	1.6	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	1.4	0.6	1
Lu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1



شکل ۱۰- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در رده‌بندی آل‌بیت- آنورتیت- ارتوز نورماتیو (Barker, 1979)

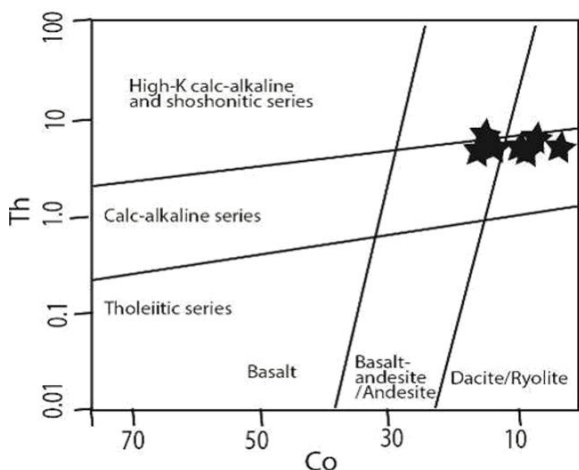


شکل ۹- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار رده‌بندی Na₂O+K₂O در برابر SiO₂ (Middlemost, 1985)؛ (B) نمودار R₁ در برابر R₂ (De la Roche et al., 1980)



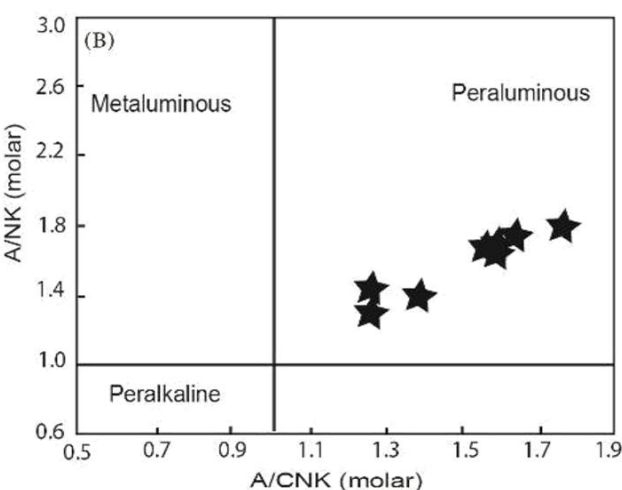
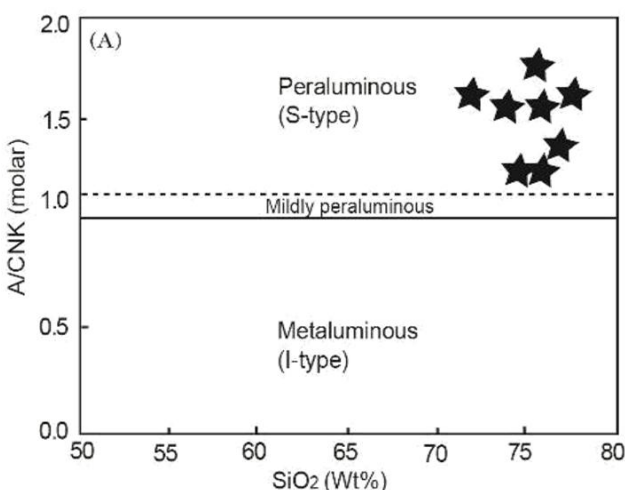
شکل ۱۱- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار K₂O در برابر SiO₂ (Middlemost, 1985)؛ (B) نمودار Na₂O+K₂O-CaO در برابر SiO₂ (Frost et al., 2001)

نمودار نورماتیو آل‌بیت- آنورتیت- ارتوز (Barker, 1979) نیز ترکیب گرانیتی نمونه‌های بررسی‌شده را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). نمودار نورماتیو Barker (۱۹۷۶) برای سنگ‌هایی با بیش از ۱۰ درصد کوارتز نورماتیو به‌کار گرفته می‌شود. برای شناسایی سری ماگمایی نمونه‌های بررسی‌شده از نمودار درصد وزنی SiO₂ در برابر K₂O بهره گرفته شد. در این نمودار، نمونه‌های بررسی‌شده در گستره کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۱۱- A). در نمودار شاخص تصحیح‌شده کلسیک-آلکالی (MALI=Na₂O+K₂O-CaO)، نمونه‌ها در گستره کلسیک-آلکالی تا آلکالی-کلسیک جای دارند (شکل ۱۱- B).



شکل ۱۲- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آیدله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار Co برابر Th (Hastie et al., 2007)

نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007) بر پایه تحرک‌ناپذیری عنصرهای Co و Th هنگام فرایندهای گرمایی پیشنهاد شده است. در این نمودار، بیشتر نمونه‌های بررسی شده در گستره کالک‌آلکان و شمار کمی از آنها در محدوده کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۱۲). برای شناسایی شاخص اشباع از آلومینیم (ASI)، نمودار درصد وزنی $Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O$ در برابر نسبت مولار SiO_2 (A/CNK) (Chappell and White, 1974) به کار برده شد. در این نمودار (شکل ۱۳ - A)، همه نمونه‌های بررسی شده در گستره پراآلمینوس جای گرفته‌اند.



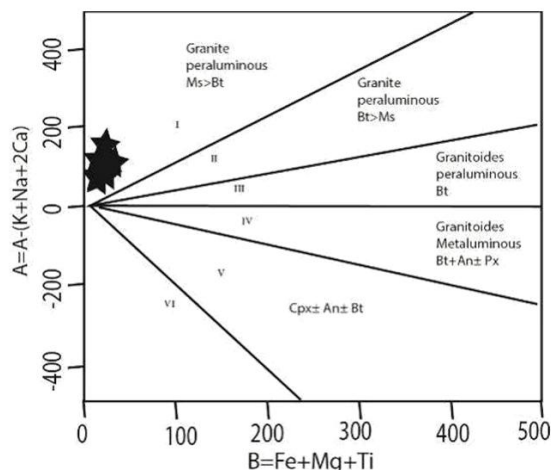
شکل ۱۳- شناسایی شاخص اشباع از آلومینیم برای توده نفوذی آیدله‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار A/CNK در برابر SiO_2 (Chappell and White, 1974)؛ (B) نمودار ACNK در برابر A/NK (Maniar and Piccoli, 1989)

بررسی شده ویژگی پراآلمینوس نشان می‌دهند. **بررسی نمودارهای عنکبوتی:** نمودارهای عنکبوتی (چندعنصری) بهنجار شده به ترکیب کندریت، پلازیوگرانیت، پوسته زیرین و پوسته بالایی برای سنگ‌های گرانیتی آیدله‌سی رسم شد (شکل‌های ۱۵- A تا ۱۵- D). در این نمودارها، عنصرهایی مانند Rb، K، U، Th و Gd آنومالی مثبت و عنصرهایی مانند Zr، Hf، Ti، P و Nb آنومالی منفی نشان می‌دهند.

همچنین، در نمودار A/CNK در برابر A/NK (این نسبت‌ها به صورت مولار $Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O = A$ و $Al_2O_3 / Na_2O + K_2O = B$)، نمونه‌های بررسی شده ویژگی پراآلمینوس نشان می‌دهند (شکل ۱۳ - B). در نمودار دو متغیره A-B، دو گستره پراآلمینوس و متاآلمینوس با پارامترهای $A = Al - (K + Na + 2Ca)$ و $B = Fe + Mg + Ti$ از یکدیگر جدا می‌شوند. بر پایه شکل ۱۴، نمونه‌های

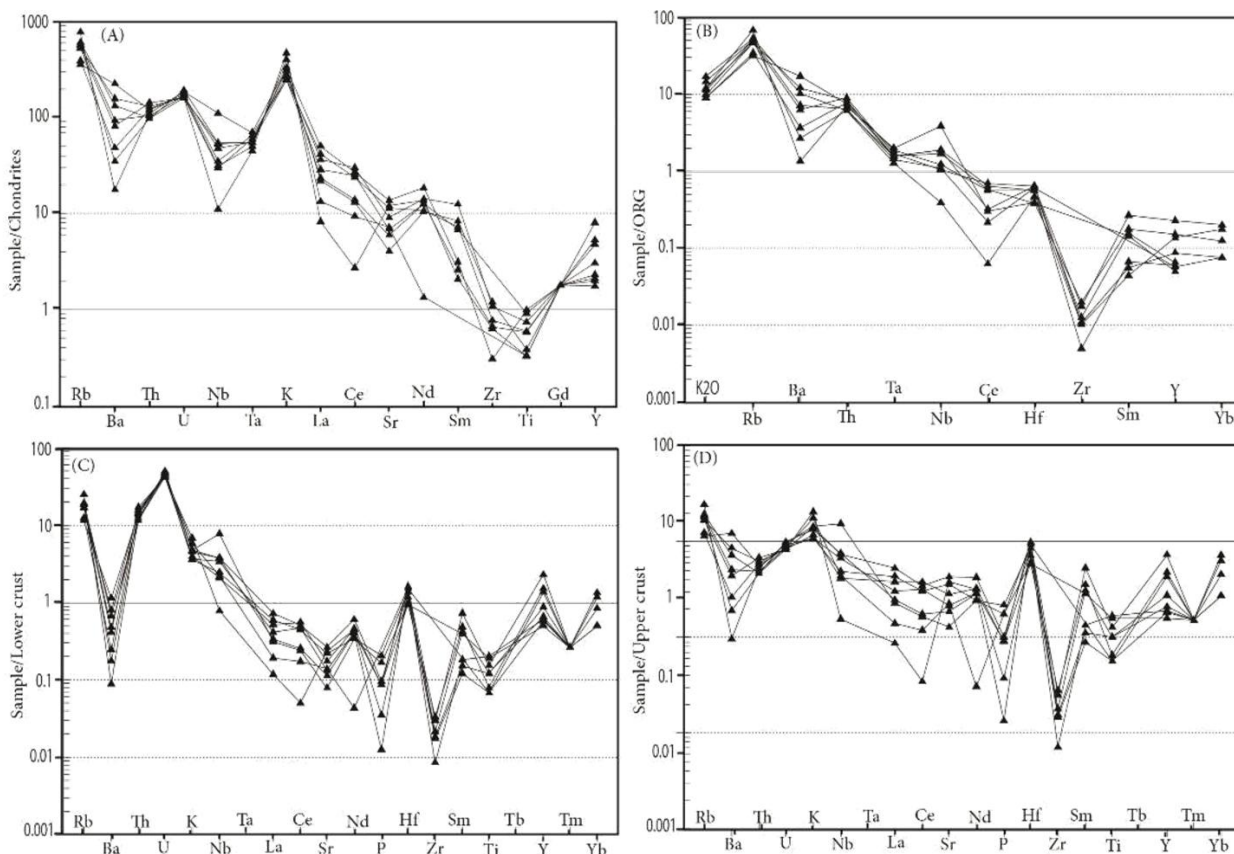
پهنه‌های برخورد و پس از برخورد است و نشان می‌دهد که توده‌های یادشده در پوسته‌ای قاره‌ای با ستبرای متوسط تا بسیار جایگیری کرده و یا دچار فرآیند آلیش پوسته‌ای شده‌اند (Pearce *et al.*, 1984). دارا بودن آنومالی مثبت در عنصرهایی مانند K و Th، نشان‌دهنده نقش پوسته قاره‌ای در تحولات ماگمای سازنده این توده نفوذی است (Harris, 1983; Harris *et al.*, 1986).

آنومالی عنصر Zr می‌تواند در پی جدایش کانی زیرکن از مذاب و پیش از تبلور سنگ‌های بررسی‌شده روی داده باشد. درباره آنومالی منفی Nb و Ti (Wilson, 1989) بر این باور است که این آنومالی نشانه پیامد فرورانش بر خاستگاه ماگمایی گوشته است.



شکل ۱۴- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار دو متغیره A-B (Debon and Le Fort, 1983)

آنومالی مثبت Rb، از شاخص‌های اصلی گرانیت‌های



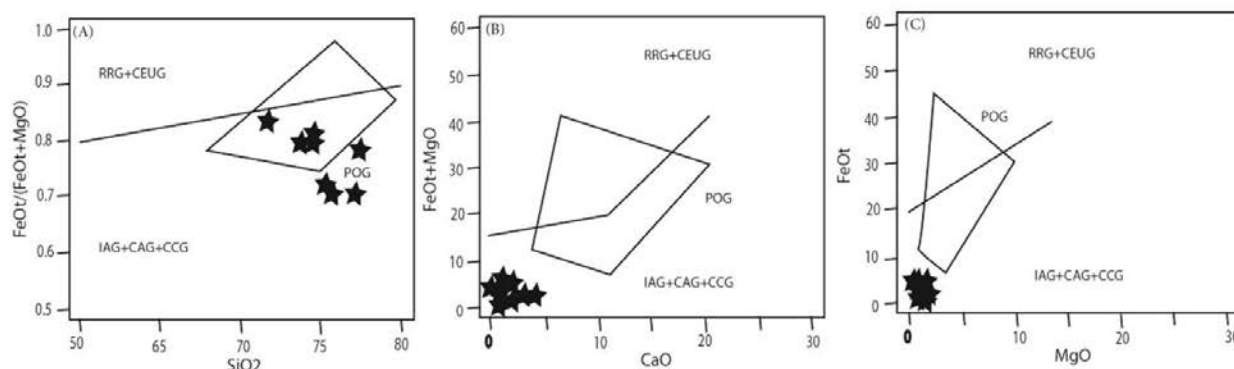
شکل ۱۵- نمودارهای عنکبوتی برای گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) داده‌های بهنجارشده به ترکیب کندریت (Sun, 1980); (B) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پلاژیوگرانیت (Pearce *et al.*, 1984); (C) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پوسته زیرین (Weaver and Tarney, 1984); (D) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پوسته بالایی (Taylor and McLennan, 1985)

Ti و را پیامد پیدایش ماگما در پهنه‌های فرورانشی دانسته‌اند. آنومالی منفی P نیز می‌تواند نشان‌دهنده تبلور و جدایش آپاتیت از ماگمای سازنده این توده‌ها باشد.

سنگ‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی توده نفوذی

آی‌قلعه‌سی: برای بررسی پهنه زمین‌ساختی گرانیت آی‌قلعه‌سی از نمودارهای شناسایی گوناگون بهره گرفته شد. در نمودار $FeO^t/(FeO^t+MgO)$ در برابر SiO_2 ، نمونه‌های بررسی شده در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی جای گرفته‌اند (شکل ۱۶ - A).

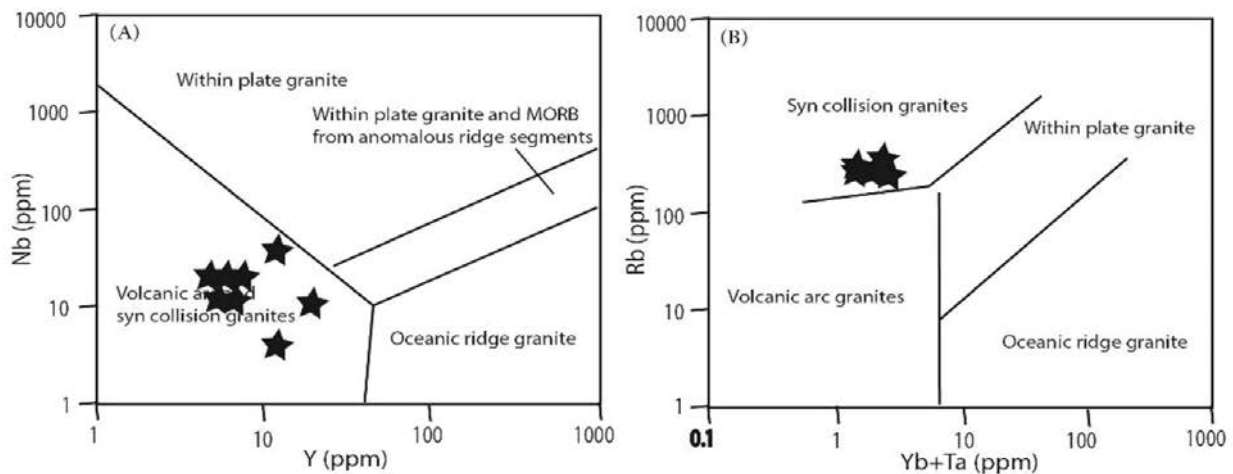
همچنین، به باور Saunders و همکاران (۱۹۹۲) و Nagudi و همکاران (۲۰۰۳)، جدایش فازهای کانیاپی دما بالا در آغاز تبلور کانی‌هایی مانند ایلمنیت، روتیل و اسفن نیز می‌تواند چنین آنومالی را پدید آورد. به باور Nagudi و همکاران (۲۰۰۳)، میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای از Nb بسیار تهی شده بوده است؛ از این‌رو، هر ماگمای آرایش‌یافته با مواد پوسته‌ای این آنومالی را در شیمی خود نشان می‌دهد. از این‌رو، آنومالی منفی Nb در الگوی نمودارهای عنکبوتی می‌تواند ویژگی همه ماگماهایی باشد که با سنگ‌های پوسته قاره‌ای آلوده شده‌اند. Pearce و همکاران (۱۹۸۴) آنومالی منفی Nb



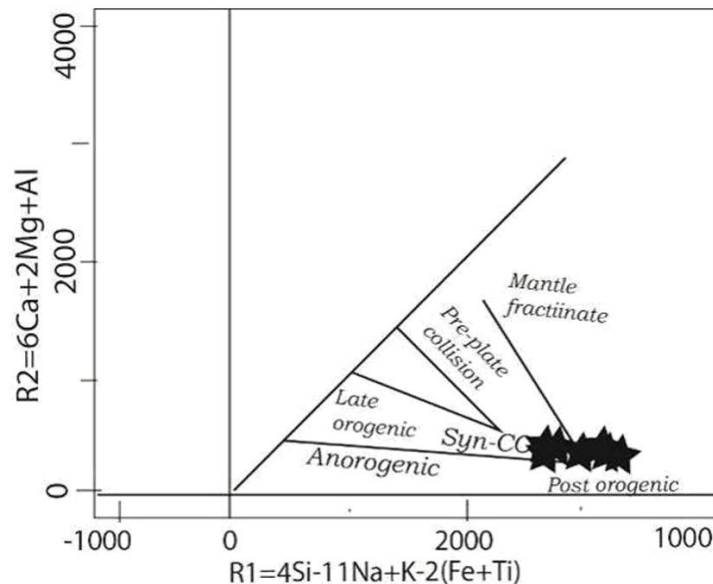
شکل ۱۶- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: A تا C) نمودارهای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی گرانیتوئیدها (Maniar and Piccoli, 1989) (IAG: Island Arc Granitoids; CAG: Continental Arc Granitoids; CCG: Continental Collision; RRG: Oceanic Plagiogranites; OP: Post Orogenic Granitoids; POG: Granitoids; CEUG: Rif Related Granitoids; RR: Continental (Epeirogenic Uplift Granitoids)

Yb+Ta، برای جدایش پهنه‌های زمین‌ساختی کمان آتشفشانی از برخورد قاره‌ای به کار برده شد. برپایه این نمودار، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های همزمان با برخورد (Syn-COLG) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۷ - B). برپایه نمودار R_2 در برابر R_1 نمونه‌های گرانیت آی‌قلعه‌سی ویژگی‌های Syn-collision (همزمان با برخورد) را نشان می‌دهند (شکل ۱۸).

برای شناسایی گرانیتوئیدهای کوهزایی از نمودارهای FeO^t+MgO در برابر CaO و FeO^t در برابر MgO بهره برده شد. بر پایه این نمودارها، نمونه‌های بررسی‌شده در گستره IAG+CAG+CCG جای گرفته‌اند (شکل‌های ۱۶ - B و C). در نمودار Nb در برابر Y (شکل ۱۶ - A) نمونه‌ها در گستره کمان آتشفشانی و برخورد قاره‌ای جای گرفته‌اند. نمودار Rb در برابر



شکل ۱۷- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آیفله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودارهای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی گرانیتوئیدها (Pearce et al., 1984): (A) نمودار Nb در برابر Y؛ (B) نمودار Rb در برابر Yb+Ta



شکل ۱۸- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آیفله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار R2 در برابر R1 (Batchelor and Bowden, 1985)

خاستگاه آنها (ترکیب سنگ‌مادر) باشد. غلظت بالای Al_2O_3 می‌تواند پیامد واکنش‌های ذوب آبزدای (Dehydration melting) متاپلیت‌ها در پی شکسته‌شدن کانی‌های بیوتیت و مسکوویت باشد؛ اما در متاگرایی‌های سرشار از پلاژیوکلاز و یا در سنگ‌های ماگمایی حد واسطه، رخداد ذوب همراه با آبزدایی بیوتیت یا آمفیبول، پیدایش ماگمای فلسیک را در پی دارد (Montel and

بررسی ترکیب و پهنه زمین‌ساختی سنگ‌مادر گرانیت آیفله‌سی: توده‌های گرانیتوئیدی S-type در پی برخورد دو سنگ‌کره قاره‌ای و پیامد ناشی از این برخورد (که همان ذوب‌بخشی رسوب‌ها در پی افزایش گرادیان زمین‌گرایی است) پدید می‌آیند (Chappel and White, 1974). پس ترکیب شیمیایی این گروه از گرانیتوئیدها می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب شیمیایی

عربستان و ایران بوده و در پی فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی پدید آمده است. برپایه پیشنهاد Agard و همکاران (۲۰۰۵)، این برخورد در زمان الیگوسن - میوسن و در پی کوهزایی آلپی روی داده است. گارنت - مسکوویت گرانیتهای بررسی شده در منطقه آی قلعہ سی از ذوب بخشی مواد پوسته‌ای پدیده آمده‌اند.

نتیجه‌گیری

(۱) برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری، ترکیب توده گرانیتهی آی قلعہ سی گارنت - مسکوویت گرانیته بوده و پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکوویت از کانی‌های اصلی سازنده آن هستند. به مقدار کمی گارنت و کانی‌های تیره در این سنگ‌ها دیده می‌شوند؛

(۲) در نمودارهای رده‌بندی گوناگون، ترکیب شیمیایی نمونه‌های بررسی شده در گستره گرانیتهاست؛

(۳) از دیدگاه شاخص اشباع آلومینیم، سنگ‌های بررسی شده از نوع پرآلومینوس هستند؛

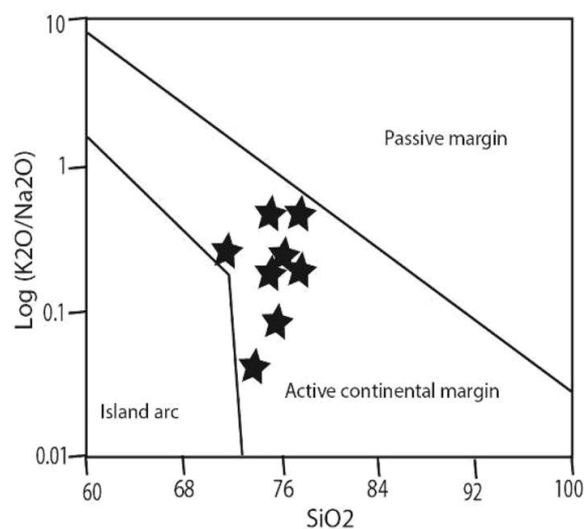
(۴) سری ماگمایی سازنده توده گرانیتهی بررسی شده از نوع کالک‌آلکان بوده و در پهنه کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای و هم‌زمان با برخورد قاره - قاره پدید آمده است؛

(۵) آنومالی مثبت عنصرهایی مانند U، Th، K و Rb، نشان‌دهنده ریشه‌گرفتن ماگمای سازنده توده نفوذی از مواد پوسته قاره‌ای است؛

درباره الگوی تکتونوماگمایی توده گرانیتهی بررسی شده به نظر می‌رسد در پی برخورد دو صفحه عربستان و ایران و فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، ستبرای پوسته در محل برخورد و نیز گرادیان زمین گرمایی سنگ‌های منطقه افزایش یافته است.

Vielzeuf, 1997; Patino Douce and Harris, 1998; Springer and Seck, 1997).

ماگماهای برآمده از ذوب آمفیبول دارای ترکیب سرشار از CaO و Na₂O هستند؛ اما مذاب پدیدآمده از ذوب مسکوویت و بیوتیت دارای درصد بالای Al₂O₃ و مقدار کم CaO است و افزون بر این، نسبت Rb/Sr در چنین مذابی بالا و نسبت Sr/Ba در آن کمتر است. برپایه آنچه گفته شد و نیز داده‌های به‌دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌های بررسی شده، به نظر می‌رسد که سنگ‌مادر فرضی سنگ‌های بررسی شده، سنگ‌های رسی پدیدآمده در حاشیه فعال قاره‌ای باشند (شکل ۱۹).



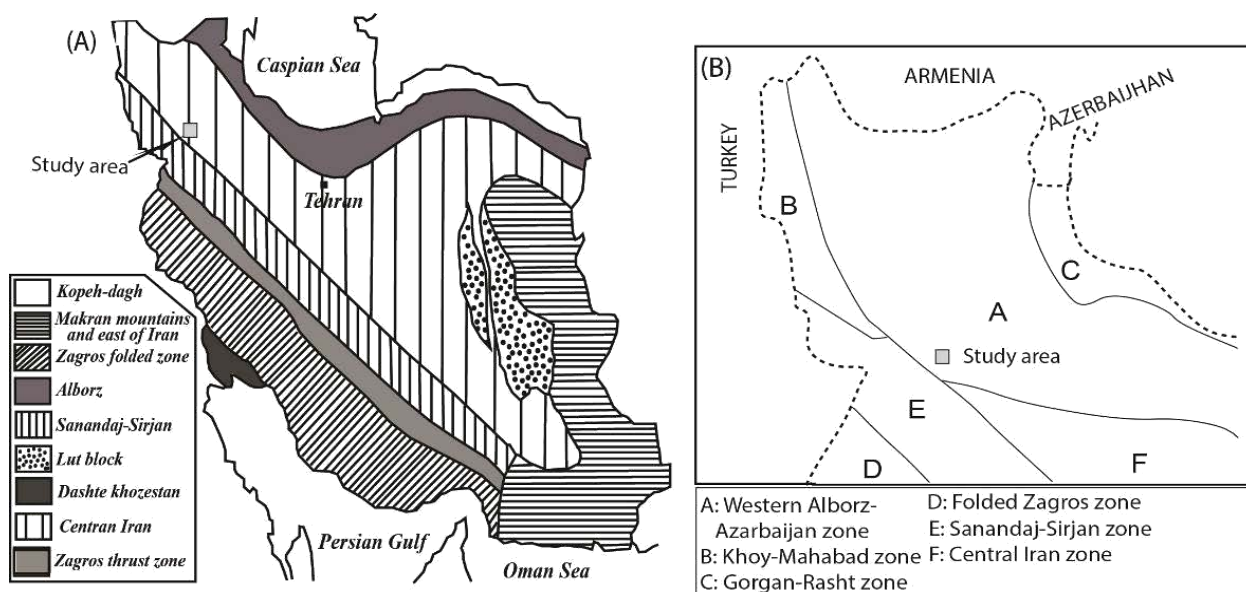
شکل ۱۹ - شناسایی جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌مادر در گرانیته تیپ S منطقه آی قلعہ سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار $\text{Log}(K_2O/Na_2O)$ در برابر SiO_2 (Roser and Korsch, 1986)

برپایه یافته‌های به‌دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، گرانیتهای بررسی شده در منطقه آی قلعہ سی در پهنه هم‌زمان با برخورد پدید آمده‌اند. به نظر می‌رسد توده نفوذی بررسی شده وابسته به پهنه برخورد دو صفحه

منابع

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F. (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences* 94: 401-19.
- Aghanabati, S. A. (2006) *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Alavi, M. (1994) Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* 229: 211-238.
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Sciences* 304: 1-20.
- Alavi, M., Hajian, J., Amidi, M. and Bolourchi, H. (1982) *Geology of Takab-Shahin-Dez Quadrangle*. The Ministry of Mines and Metals of Iran, Tehran, Iran.
- Barker, F. (1979) Trondjemites: Definition, environment and hypotheses of origin. In: *Trondjemites, dacites and related rocks*. (Ed. Barker, F.) 1-12. Elsevier Amsterdam.
- Batchelor, R. A. and Bowden, P. (1985) Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology* 48: 43-55.
- Berberian, M. and King, G. C. (1981) Towards a paleogeographical and tectonics evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Chappell, B. W. and White, A. J. R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8: 173-174.
- Dahrazema, B., Azarpeykan, A., Modaberi, S. and Sayareh, A. R. (2014) Assessment of heavy metals pollution in abandoned lead and zinc mine soil from Ayghalesi, SE Takab. *Environment and Geology Engineering* 94: 129-138.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grande, C. P. and Marchal, M. (1980) A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses, its relationship with current nomenclature. *Chemical Geology* 29: 183-210.
- Debon, F. and Le Fort, P. (1983) A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and association. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 73: 135-149.
- Eftekhari Nejad, J. (1980) Tectonic classification of Iranian relation to depositional basins. *Journal of Iranian Petroleum Society* 82: 19-28 (in Persian).
- Fonoudi, M. and Hariri, A. (1999) *Geological map of Iran, 1:100000 series sheet Takab*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. and Frost, C. D. (2001) A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42: 2033-2048.
- Ghorbani, M. (2008) *Economic geology of ores and mineral indexes in Iran*. Aryan Zamin Publishers, Tehran (in Persian).
- Harris, C. (1983) The petrology of lavas and associated plutonic inclusions of Ascension Island. *Journal of Petrology* 24: 424-470.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. and Tindle, A. G. (1986) Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In: *Collision tectonics*. (Eds. Coward, M. P. and Reis, A. C.) Special Publication 19: 67-81. Geological Society of London.
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F. (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48(12): 2341-2354.

- Kretz, R. (1983) Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Maniar, P. O. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonics discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101: 635-643.
- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magma and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology*. Longman Group, London, UK.
- Montel, J. M. and Vielzeuf, D. (1997) Partial melting of metagreywackes: part II. Composition of minerals and melt. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 128: 176-196.
- Nabavi, M. H. (1976) *An Introduction to the Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Nagudi, N., Koberl, C. and Kurat, G. (2003) Petrography and geochemistry of the Sigo granite, Uganda and implications for origin. *Journal of African Earth Sciences* 36: 1-14.
- Patino Douce, A. E. and Harris, N. (1998) Experimental constraints on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology* 39: 689-710.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Peccerillo, A. and 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.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J. (1986) Discrimination of tectonic setting of sandstone- mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. *Journal of Geology* 94: 635-650.
- Saunders, A. D., Storey, M., Kent, R. and Norry, M. J. (1992) Consequences of plume lithosphere interactions. In: *Magmatism and the causes of continent break-up* (Eds. Storey, B. C., Alabaster and Pankhurst, R. G.) Special Publication 68: 41-60. Geological Society of London.
- Springer, W. S. and Seck, H. A. (1997) Partial fusion of basaltic granulites at 5-15 kbar: implications for the origin of TTG magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 127: 30-45.
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52: 1229-1258.
- Sun, S. S. (1980) Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society A297*: 409-445.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- Weaver, B. and Tarney, J. (1984) Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* 310: 575-57.
- Wilson, M. (1989) *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*. Unwin Hyman Ltd, London.



شکل ۱- جایگاه منطقه آی قلعہ‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران) در نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران: (A) برگرفته از Stocklin (۱۹۶۸)؛ (B) برگرفته از Nabavi (۱۹۷۶)

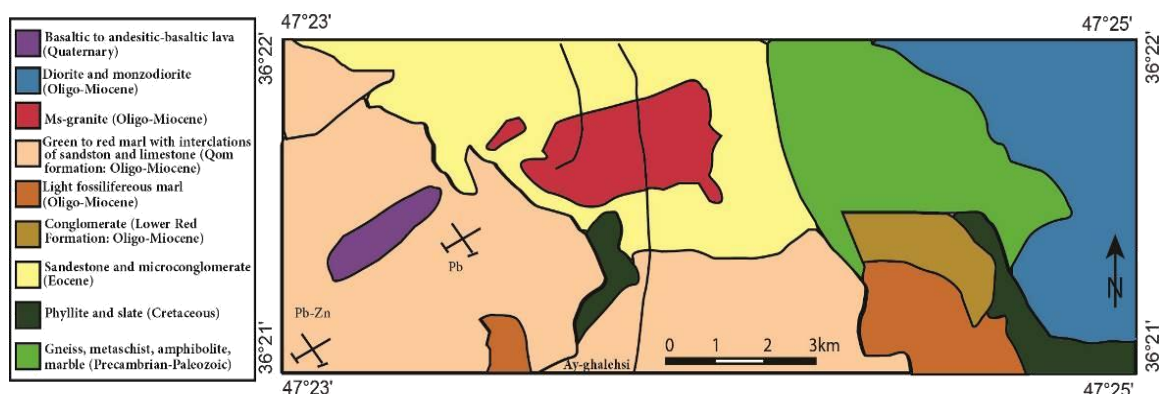
زمین‌شناسی

سنگ‌های منطقه آی قلعہ‌سی، از قدیم به جدید، شامل سنگ‌های دگرگونی (گنیس، میکاشیست، مرمز، اسلیت و فیلیت) منسوب به پرکامبرین-پالئوزویک، رخساره‌های رسوبی ائوسن (ماسه‌سنگ) و الیگوسن-میوسن (مارن، آهک، کنگلومرا) و توده‌های نفوذی ژرف و نیمه‌ژرف هستند (Fonoudi and Hariri, 1999). سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین-پالئوزویک در بخش خاوری منطقه برونزد دارند (شکل ۲). مرز زیرین سنگ‌های دگرگونی با واحدهای ائوسن راندگی است. مرز بالایی آنها نیز با ناپیوستگی با واحدهای جوان‌تر الیگوسن-میوسن شناخته می‌شود. در شمال خاوری روستای چیچکلو، مرز راندگی واحدهای دگرگونی بر روی ماسه‌سنگ‌های ائوسن آشکارا دیده می‌شود. در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب (Alavi et al., 1982) و برپایه جایگیری آنها در زیر آهک‌های نادگرگون پرمین، سن این دگرگونی‌ها پیش از پرمین دانسته شده است. توده

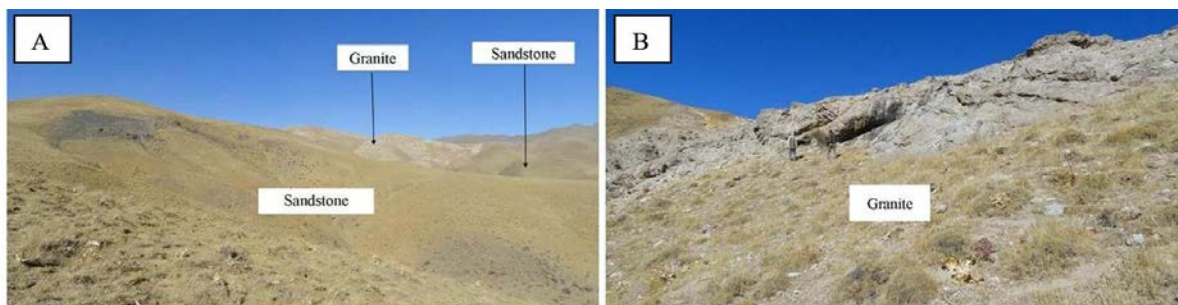
در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and Hariri, 1999)، این منطقه در محل برخورد پهنه‌های البرز-آذربایجان و سنندج-سیرجان دانسته شده است. برونزد توده‌های نفوذی ژرف و نیمه‌ژرف فراوانی در منطقه تکاب دیده می‌شود و توده گرانیتی آی قلعہ‌سی نیز یکی از آنهاست. پیرامون جایگاه و خاستگاه این توده‌ها، پرسش‌های اساسی مطرح شده است. پیدایش کانه‌زایی سرب و روی آی قلعہ‌سی درون ماسه‌سنگ و آهک‌های الیگوسن-میوسن (شکل ۲) چه‌بسا به نفوذ گنبد‌های نیمه‌ژرف داسیتی وابسته باشد (Dahrazema et al., 2014). Ghorbani (۲۰۰۸) خاستگاه محلول‌های گرمایی شرکت‌کننده در پیدایش این کانسار را به توده گرانیتی آی قلعہ‌سی وابسته دانسته است. درباره توده گرانیتی آی قلعہ‌سی تا اکنون بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی انجام نشده است. در این پژوهش تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از یافته‌های به‌دست آمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، خاستگاه و پهنه زمین‌ساختی توده نفوذی آی قلعہ‌سی بررسی شود.

گرانیتی آی‌قلعه‌سی، با ترکیب اصلی گارنت-مسکوویت گرانیت، درون واحد ماسه‌سنگی ائوسن نفوذ کرده است (شکل‌های ۳ و ۴). سنگ‌های هورنفلس پیامد تزریق توده نفوذی گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن هستند (شکل‌های ۳ و ۴). در نمونه‌دستی، سنگ‌های هورنفلس تیره‌رنگ و ریزبلور هستند و درجه دگرگونی آنها بسیار ضعیف تا ضعیف (به اندازه رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس) است. همچنین، نفوذ توده گرانیتی درون واحد ماسه‌سنگی ائوسن، شکستگی و دگرسانی سنگ‌های دربرگیرنده را در پی داشته است در بخش خاوری، واحد دیوریتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن (در بیرون از گستره بررسی‌شده) نفوذ کرده است. در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and

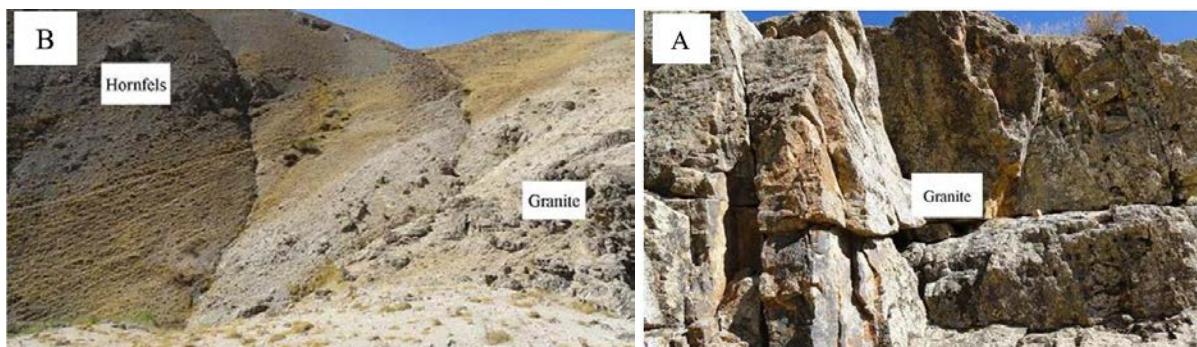
Hariri, 1999)، زمان نفوذ توده دیوریتی پس از الیگوسن-میوسن و چه‌بسا میوسن دانسته شده است (شکل ۲). برپایه جایگزینی توده گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن، سن توده گرانیتی پس از ائوسن (شاید الیگوسن-میوسن) است. در لبه باختری توده گرانیتی، برونزدی از سنگ‌های پگماتیته دیده می‌شود. همچنین، در شمال خاوری روستای آی‌قلعه‌سی، چندین آپوفیز کوچک در ماسه‌سنگ‌های ائوسن نفوذ کرده‌اند. درون توده نفوذی آی‌قلعه‌سی، دایک‌های پدیدآمده در مرحله‌های پایانی جدایش ماگمای گرانیتی، به‌صورت آپلیت و رگه‌های سیلیسی، دیده می‌شوند. همچنین، دایک‌های بازیگ به سن کواترنری نیز درون سنگ‌های منطقه دیده می‌شوند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه آی‌قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران)، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (Fonoudi and Hariri, 1999)



شکل ۳- تصویرهای صحرایی از منطقه آی‌قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران): (A) دورنمایی از نفوذ توده گرانیتی درون ماسه‌سنگ‌های ائوسن (دید به‌سوی شمال خاوری)؛ (B) رخنمون توده نفوذی گرانیتی (دید به‌سوی شمال خاوری)



شکل ۴- تصویرهای صحرایی از منطقه آی قلعه‌سی (خاور تکاب، شمال‌باختری ایران): (A) رخنمون توده گرانیتی (دید به‌سوی شمال‌خاوری)؛ (B) مرز گرانیت با هورنفلس (دید به‌سوی شمال‌باختری)

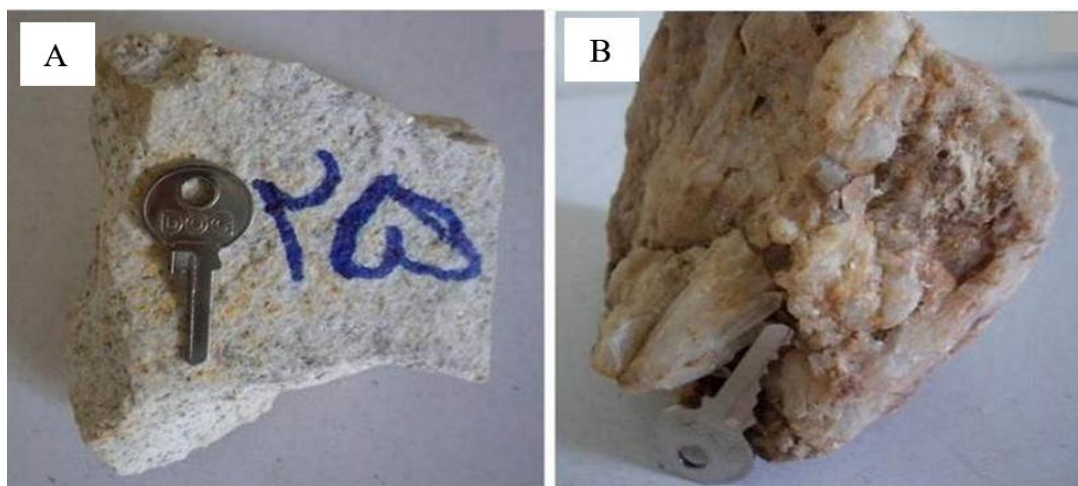
سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین

توده گرانیتی آی قلعه‌سی تنوع کانی‌شناسی و ترکیبی چندانی نداشته و کمابیش یکنواخت، از کانی‌های کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، مسکوویت و گارنت ساخته شده است. در این بخش، کانی‌شناسی و روابط بافتی سنگ‌های گرانیت و دایک‌های دیابازی درون آن بررسی می‌شوند.

(۱) **گرانیت:** گرانیت اصلی‌ترین سنگ سازنده توده‌های نفوذی در منطقه بررسی شده است. در لبه باختری این توده، سنگ‌های پگماتیت دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در نمونه‌دستی به‌رنگ روشن هستند و بافت دانه‌ای متوسط تا درشت بلور (پگماتیتی) دارند (شکل ۵).

روش انجام پژوهش

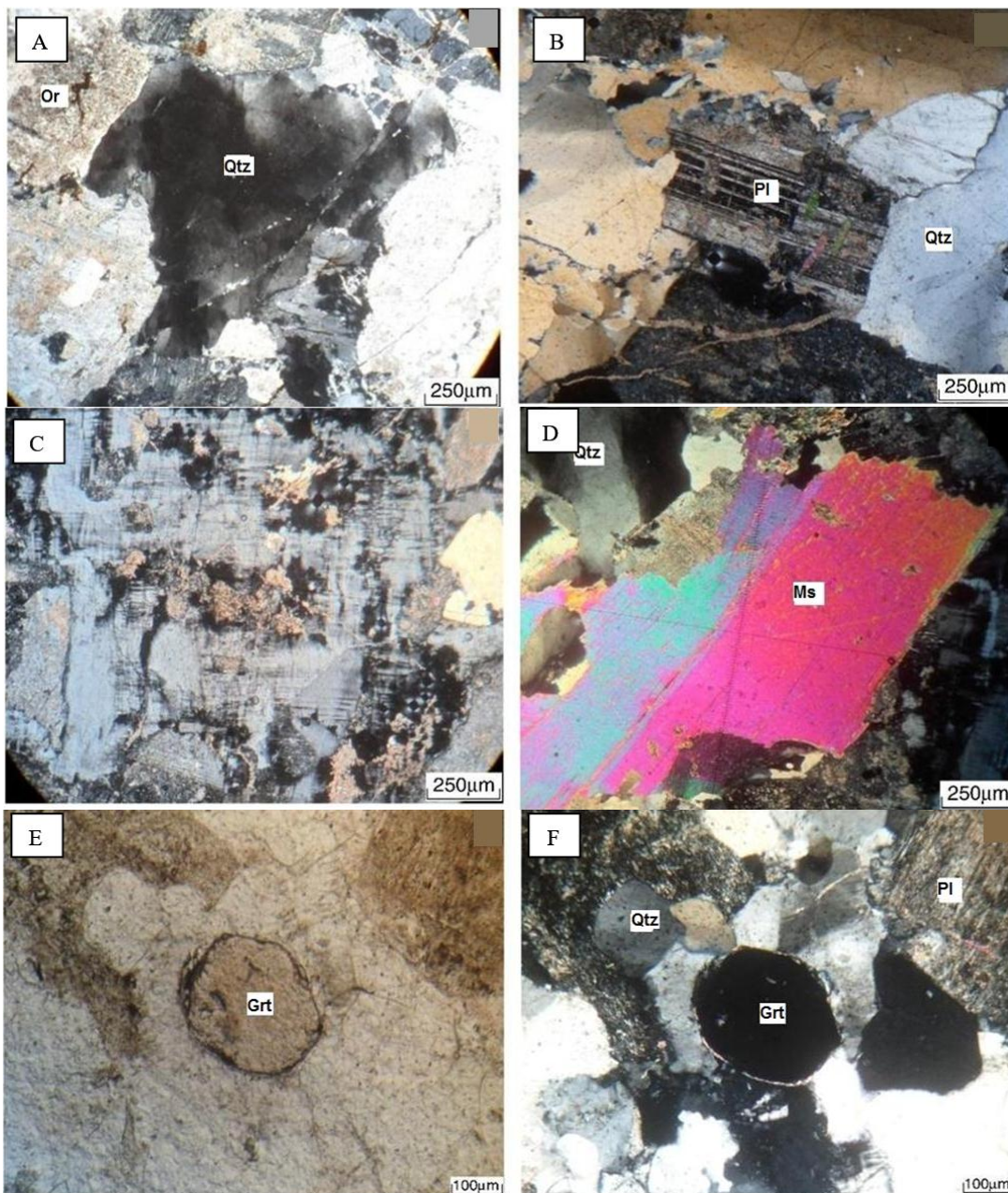
از توده گرانیتی آی قلعه‌سی، ۲۲ نمونه سنگی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری برداشته شد. سپس، کانی‌شناسی و روابط بافتی ۸ نمونه از این سنگ‌ها که کمترین دگرسانی را نشان می‌دادند، دقیق بررسی شد و برای شناسایی عنصرهای اصلی، به روش XRF و عنصرهای فرعی، کمیاب و خاکی، به روش ICP-MS، در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهران تجزیه شدند. جدول‌های ۱ و ۲ داده‌های تجزیه شیمیایی سنگ‌کل در نمونه‌های بررسی شده را نشان می‌دهند. نماد اختصاری کانی‌ها در تصویرهای میکروسکوپی از Kretz (۱۹۸۳) است.



شکل ۵ - نمونه‌های دستی سنگ‌ها در توده نفوذی آی قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) گارنت- مسکوویت گرانیت؛ (B) پگماتیت

درصد است. در برخی نمونه‌ها، رگچه‌هایی از کوارتز ثانویه درون شکستگی‌های سنگ دیده می‌شوند. درصد مودال پلاژیوکلاز ۲۰ تا ۲۵ درصد است. پلاژیوکلاز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار، با ماکل پلی‌سینتتیک است و به سریسیت دگرسان شده است (شکل ۶- B).

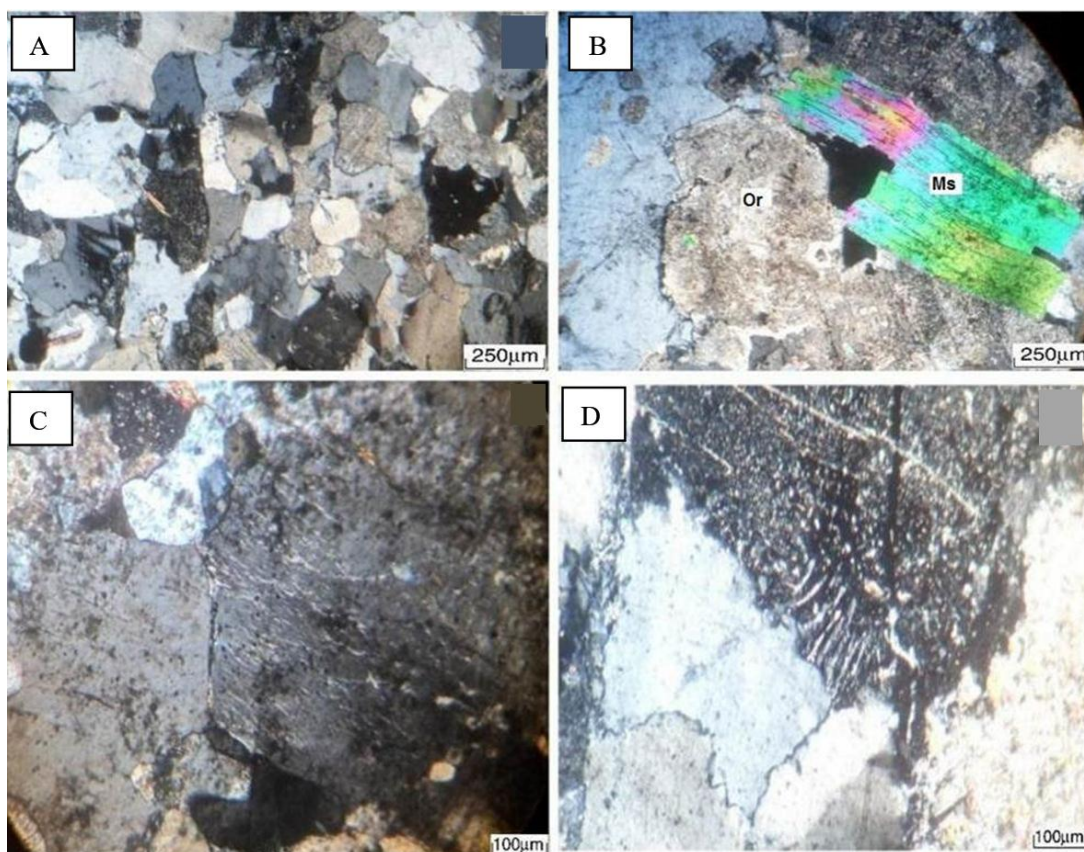
ویژگی‌های میکروسکوپی: کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار، مسکوویت و پلاژیوکلاز از کانی‌های اصلی سازنده گرانیت است (شکل ۶). کوارتزها دانه‌ریز و بی‌شکل بوده و خاموشی موجی دارند و فضای میان بلورهای دیگر را پر کرده‌اند (شکل ۶- A). درصد مودال کوارتز ۲۵ تا ۳۵



شکل ۶- تصویرهای میکروسکوپی از گرانیت آق‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) کوارتز با خاموشی موجی به‌همراه ارتوز دگرسان‌شده به کانی‌های رسی (تصویر XPL); (B) پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سینتتیک (تصویر XPL); (C) میکروکلین با ماکل مشبک (تصویر XPL); (D) مسکوویت با رخ یک‌جهتی (تصویر XPL); (E) گارنت (تصویر PPL); (F) گارنت (تصویر XPL)

بی‌رنگ و دارای بلورهای خودشکل شش‌گوش تا گرد است. در برخی نمونه‌ها، گارنت لبه‌های کلیفیتی (دگرسانی به کلریت و اپیدوت) دارد (شکل‌های ۶- E و ۶- F). آپاتیت و زیرکن فراوانی بسیار کمی دارند. کانی‌های کدر از کانی‌های فرعی دیگر در این سنگ‌ها هستند. بافت اصلی در این سنگ‌ها گرانولار است. از بافت‌های فرعی دیگر می‌توان بافت‌های آپلیتی، پگماتیتی، پرتیتی، میرمکیتی و گرافیکی را نام برد (شکل‌های ۷- A و ۷- D).

پتاسیم‌فلدسپار به‌صورت ارتوز پرتیتی و میکروکلین با بافت مشبک در این سنگ‌ها دیده می‌شود (شکل‌های ۶- A و C). درصد مودال پتاسیم‌فلدسپار ۳۵ تا ۴۵ درصد است. به پتاسیم‌فلدسپار بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دگرسان‌شده به کانی‌های رسی دیده می‌شود. درصد مودال مسکوویت ۵ تا ۱۰ درصد است. مسکوویت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دارای رخ یک‌جهتی است (شکل ۶- D). درصد مودال گارنت کمتر از ۵ درصد است. این کانی، ایزوتروپ،



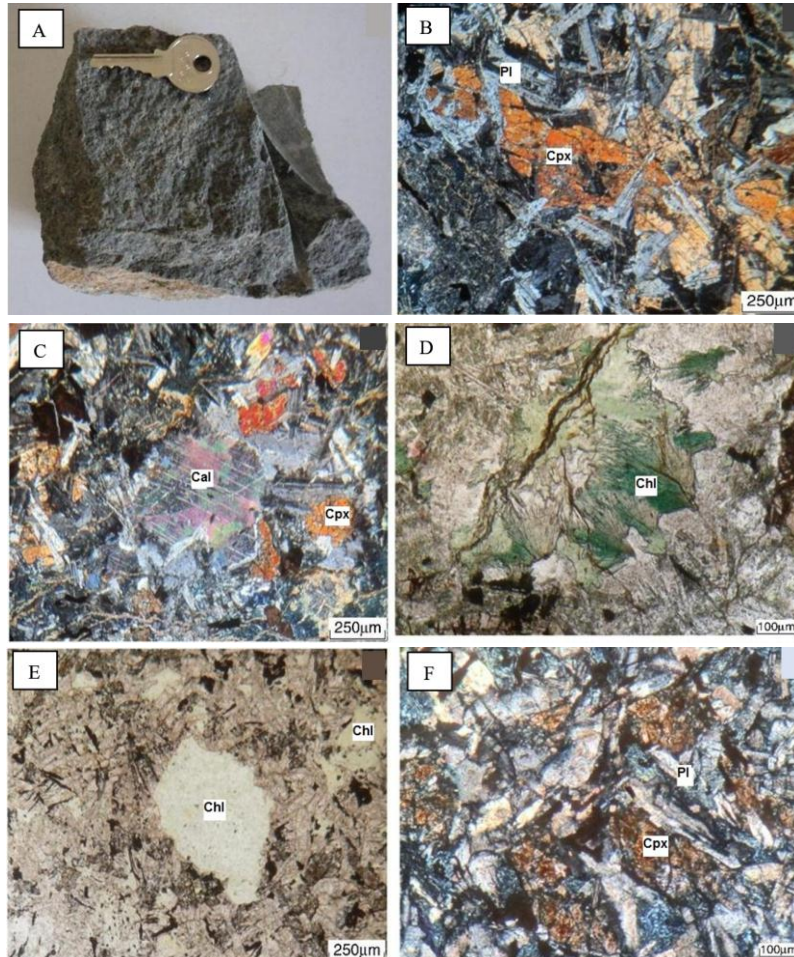
شکل ۷- انواع بافت‌ها در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) بافت آپلیتی؛ (B) بافت پگماتیت؛ (C) بافت پرتیت؛ (D) بافت میرمکیت. همه‌ی تصویرها در نور XPL هستند.

ویژگی‌های میکروسکوپی: پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن از کانی‌های اصلی در دیاباز هستند. در زمینه سنگ، بلورهای پلاژیوکلاز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و دارای ماکل پلی‌سینتتیک هستند

(۲) **دایک دیابازی:** این سنگ‌ها به‌صورت دایک، توده‌گرانیتی بررسی‌شده را قطع کرده‌اند. سنگ‌های دیابازی در نمونه‌دستی به‌رنگ سبز تیره هستند (شکل ۸- A).

در این سنگ‌ها، کلسیت، سرسیت، ترمولیت/اکتینولیت و کلریت از کانی‌های ثانویه هستند (شکل‌های ۸- C تا ۸- E). بافت این سنگ‌ها ساب‌افتیک و اینترستال است (شکل ۸- F).

(شکل ۸- B). درصد مودال کلینوپیروکسن ۳۰ تا ۴۰ درصد است و بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار آن در میان بلورهای پلاژیوکلاز دیده می‌شود (شکل ۸- C).



شکل ۸- سنگ‌نگاری دیابازهای آیفله‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) دیاباز در نمونه دستی؛ (B) کلینوپیروکسن در دیاباز (تصویر XPL)؛ (C) کلسیت ثانویه در دیاباز (تصویر XPL)؛ (D) کلریت (تصویر XPL)؛ (E) کلریت در دیاباز (تصویر PPL)؛ (F) بافت ساب‌افتیک با بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن (تصویر XPL)

جدول‌های ۱ تا ۲ آورده شده است. ترکیب شیمیایی نمونه‌های بررسی شده در نمودار مجموع مقدار Na_2O و K_2O در برابر SiO_2 ، در گستره گرانیت جای می‌گیرد (شکل ۹- A). در نمودار دو متغیره R_1 - R_2 ، بیشتر نمونه‌ها در گستره گرانیت و شمار کمتری از آنها در گستره آلکالی‌گرانیت جای گرفته‌اند (شکل ۹- B).

بحث و بررسی

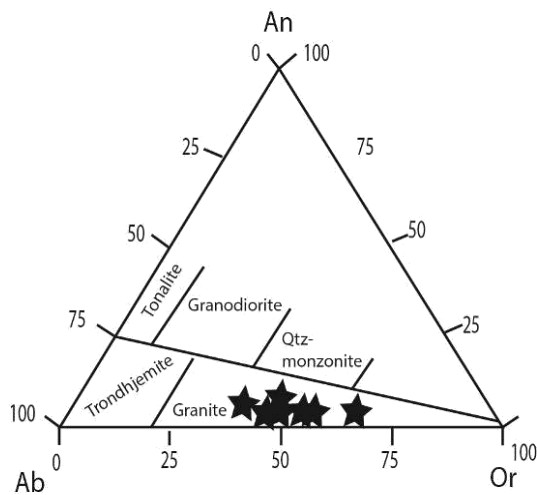
زمین‌شیمی توده گرانیتی آیفله‌سی: در این بخش زمین‌شیمی توده گرانیتی آیفله‌سی بر پایه داده‌های XRF (عنصرهای اصلی) و ICP-MS (عنصرهای کمیاب) در ۸ نمونه سنگی بررسی شده است. داده‌های عنصرهای اصلی، فرعی، کمیاب در سنگ‌های گرانیتی آیفله‌سی در

جدول ۱- داده‌های تجزیه عنصرهای اصلی (برپایه درصد وزنی) در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) به روش XRF

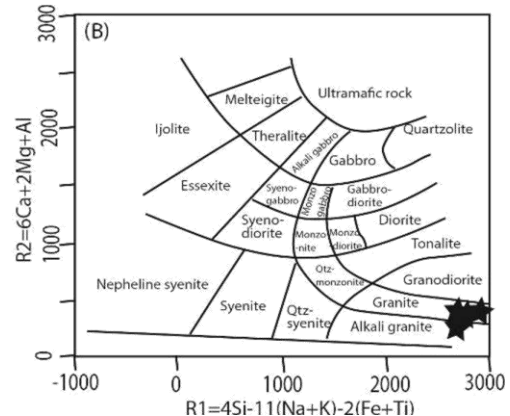
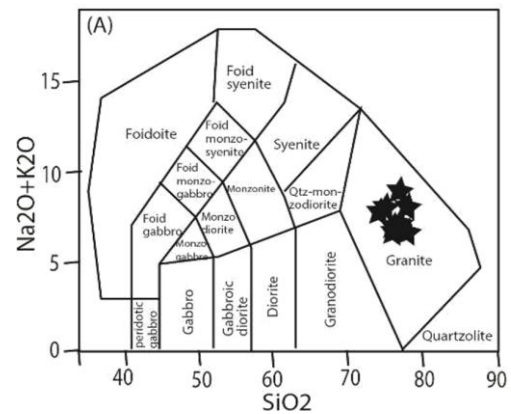
Sample No.	28	30	38	39	40	41	43	46
SiO ₂	77.03	75.48	75.40	71.56	73.91	75.72	76.88	74.41
Al ₂ O ₃	14.71	15.29	16.00	15.64	15.61	14.04	13.47	14.84
Fe ₂ O ₃	0.75	0.46	0.51	0.94	0.58	0.26	0.30	0.57
CaO	0.20	0.28	0.16	0.27	0.37	0.23	0.12	0.87
MgO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.14	<1	0.11	0.12
Na ₂ O	2.68	2.63	2.97	2.51	3.27	2.15	1.93	3.18
K ₂ O	3.92	4.46	3.62	4.73	3.58	6.81	5.84	4.77
SO ₃	<1	<1	<1	0.19	<1	<1	<1	<1
TiO ₂	<1	<1	<1	0.12	<1	<1	<1	<1
L.O.I.	0.36	1.12	1.04	3.72	2.40	0.60	1.26	0.94

جدول ۲- داده‌های تجزیه عنصرهای کمیاب و خاکی نادر (برپایه ppm) در گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) به روش ICP-MS

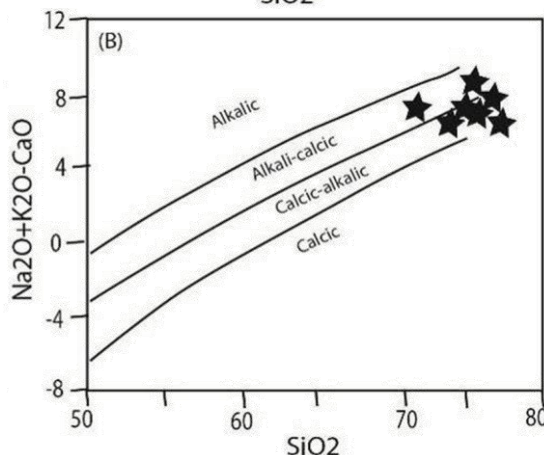
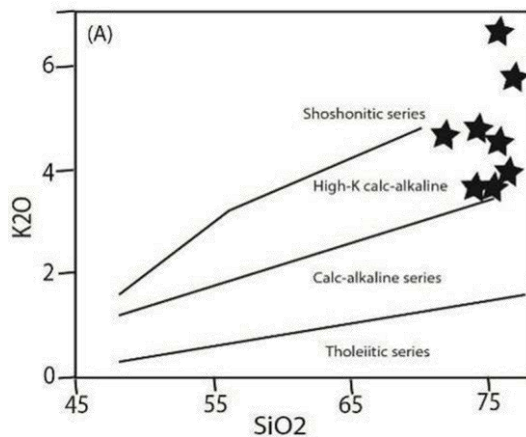
Sample No.	28	30	38	39	40	41	43	46
Ag	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
B	9.3	8.4	7.2	7.2	6.9	6.4	7.7	10.7
Ba	310.8	133.4	858.5	601.7	183.8	506.6	358.6	67.4
Be	0.8	0.7	0.7	1.1	1.5	0.6	0.6	1.7
Bi	0.8	0.9	1.3	0.7	0.3	1.2	1.4	0.7
Cd	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
Co	7.9	16.3	4.2	16.3	8.3	9.7	9.8	13.9
Cr	<1	<1	<1	<1	<1	1.4	0.9	<1
Cu	22.5	7.2	11.8	6	6.4	10.6	17.9	13.5
Ga	7.7	7	8.1	7.4	6.4	5.4	5.7	6.7
Ge	1.8	1.3	2.5	1.4	1.6	2.5	1.4	1.6
Hf	5.8	5.7	3.4	5	5	4.2	5.5	3.5
Hg	0.7	<0.05	2	4.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Li	2.7	6.1	3.4	8.5	4	1.8	3.7	2
Mn	27.7	28.7	21.3	32.8	47.2	254.6	30.1	51.6
Mo	4.4	5.8	1.9	3.4	3.6	3.7	5.9	1.6
Nb	10.4	19	16.8	18.6	12.3	3.9	11	38.8
Ni	4	11.4	2.1	7.5	4.7	6.4	8.7	6.7
P	67.9	9.9	68.1	75	161.4	27.6	<2	130.2
Pb	48.4	14.1	<3	<3	<3	22.5	2.4	17.1
Rb	187.5	201.3	126.3	184.1	137.2	213.2	203	271.8
S	253.2	148.3	245.4	377.4	132	101.7	129.1	165.9
Sn	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.2	0.4	0.4
Sr	99.2	65.5	75.8	151.3	125.2	132.8	79.2	44.8
Ta	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3	0.9	1	1.4
Th	7.2	4.9	6	6.6	6.2	4.9	5.2	5.6
Tl	0.3	1	1.3	0.6	0.3	0.9	0.2	0.2
Ti	459.1	361	568.5	608.5	366.3	203.1	204.1	236.4
U	2.1	2.5	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2	2.4
V	0.6	1.6	1.8	2.4	1.9	1.1	1.6	1.7
Zn	43.7	25	6.7	11.5	8.8	16.3	12.4	12.1
Zr	6	3.7	<1	1.7	4.3	3.5	<1	6.7
Sc	2.3	3.1	1.2	1.5	1.2	0.9	1.3	2.2
Y	16.1	6.1	3.5	4.2	4.6	9.5	4	10.6
La	11.5	7.4	9.1	15.9	13.1	2.6	4.2	6.9
Ce	24.4	11.3	20.4	22.1	19.5	2.2	7.6	10.6
Pr	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nd	8.5	7.5	7.6	11.1	6.4	8.2	0.8	6.3
Sm	2.4	0.5	1.3	0.6	1.4	0.4	<0.1	1.6
Eu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Gd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Dy	5	4.4	3.6	3.9	4.3	3.8	3.5	4.2
Ho	2.4	2.5	2.5	2.2	2.2	1.9	2.2	2.4
Er	3.7	1.4	0.7	0.8	1	1.1	0.3	2.2
Tm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	1.6	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	1.4	0.6	1
Lu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1



شکل ۱۰- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در رده‌بندی آل‌بیت- آنورتیت- ارتوز نورماتیو (Barker, 1979)

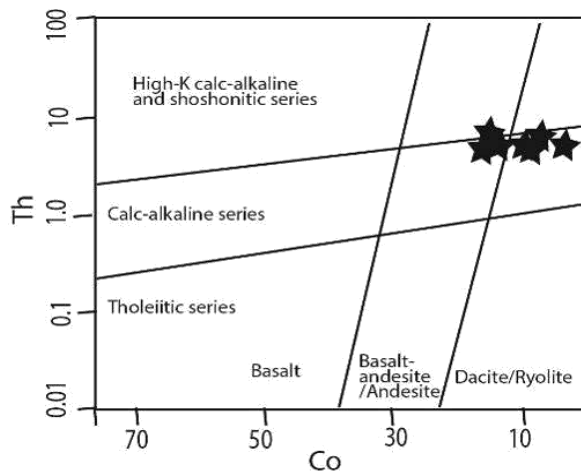


شکل ۹- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار رده‌بندی Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Middlemost, 1985)؛ (B) نمودار R_1 در برابر R_2 (De la Roche et al., 1980)



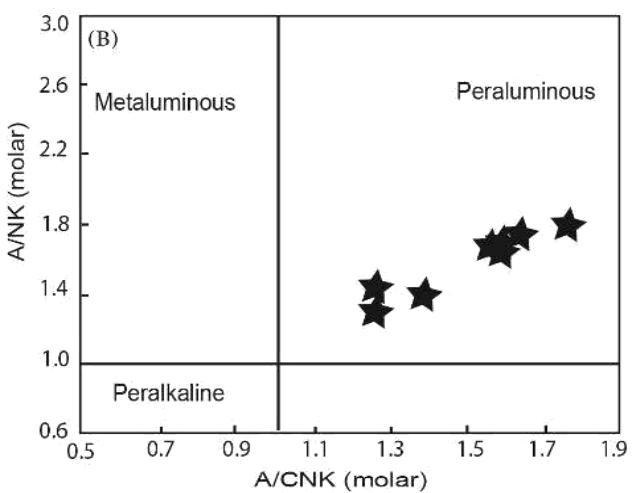
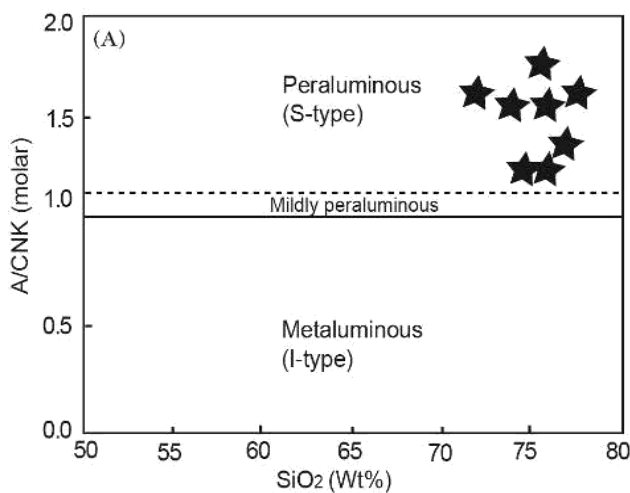
شکل ۱۱- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Middlemost, 1985)؛ (B) نمودار Na_2O+K_2O-CaO در برابر SiO_2 (Frost et al., 2001)

نمودار نورماتیو آل‌بیت- آنورتیت- ارتوز (Barker, 1979) نیز ترکیب گرانیتی نمونه‌های بررسی شده را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). نمودار نورماتیو Barker (۱۹۷۶) برای سنگ‌هایی با بیش از ۱۰ درصد کوارتز نورماتیو به کار گرفته می‌شود. برای شناسایی سری ماگمایی نمونه‌های بررسی شده از نمودار درصد وزنی SiO_2 در برابر K_2O بهره گرفته شد. در این نمودار، نمونه‌های بررسی شده در گستره کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۱۱- A). در نمودار شاخص تصحیح‌شده کلسیک-آلکالی $(MALI=Na_2O+K_2O-CaO)$ ، نمونه‌ها در گستره کلسیک-آلکالی تا آلکالی-کلسیک جای دارند (شکل ۱۱- B).



شکل ۱۲- جایگاه ترکیبی توده‌های نفوذی آیدله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007)

نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007) برپایه تحرک‌ناپذیری عنصرهای Co و Th هنگام فرایندهای گرمایی پیشنهاد شده است. در این نمودار، بیشتر نمونه‌های بررسی شده در گستره کالک‌آلکان و شمار کمی از آنها در محدوده کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۱۲). برای شناسایی شاخص اشباع از آلومینیم (ASI)، نمودار درصد وزنی $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$ در برابر نسبت مولار SiO_2 (A/CNK) (Chappell and White, 1974) به کار برده شد. در این نمودار (شکل ۱۳ - A)، همه نمونه‌های بررسی شده در گستره پراآلمینوس جای گرفته‌اند.



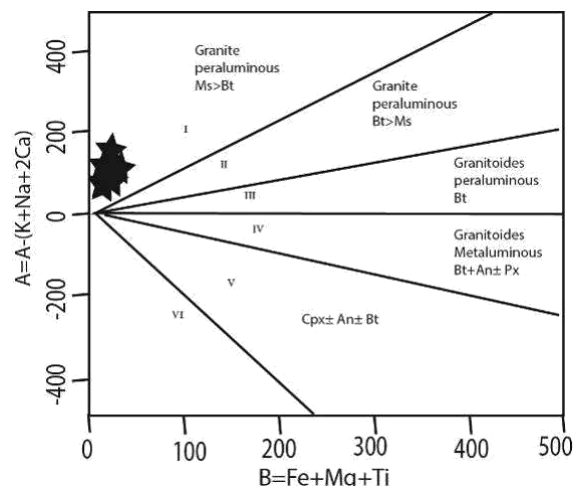
شکل ۱۳- شناسایی شاخص اشباع از آلومینیم برای توده نفوذی آیدله‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A) نمودار A/CNK در برابر SiO_2 (Chappell and White, 1974)؛ (B) نمودار A/CNK در برابر A/NK (Maniar and Piccoli, 1989)

بررسی شده ویژگی پراآلمینوس نشان می‌دهند. **بررسی نمودارهای عنکبوتی:** نمودارهای عنکبوتی (چندعنصری) به‌نجارشده به ترکیب کندریت، پلاژیوگرانیت، پوسته زیرین و پوسته بالایی برای سنگ‌های گرانیتی آیدله‌سی رسم شد (شکل‌های ۱۵-۱۵). در این نمودارها، عنصرهایی مانند Rb، K، U، Th و Gd آنومالی مثبت و عنصرهایی مانند Zr، Hf، Ti، P و Nb آنومالی منفی نشان می‌دهند.

همچنین، در نمودار A/CNK در برابر A/NK (این نسبت‌ها به صورت مولار $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ و $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ به دست می‌آیند)، نمونه‌های بررسی شده ویژگی پراآلمینوس نشان می‌دهند (شکل ۱۳ - B). در نمودار دو متغیره A-B، دو گستره پراآلمینوس و متاآلمینوس با پارامترهای $A=Al-(K+Na+2Ca)$ و $B=Fe+Mg+Ti$ از یکدیگر جدا می‌شوند. برپایه شکل ۱۴، نمونه‌های

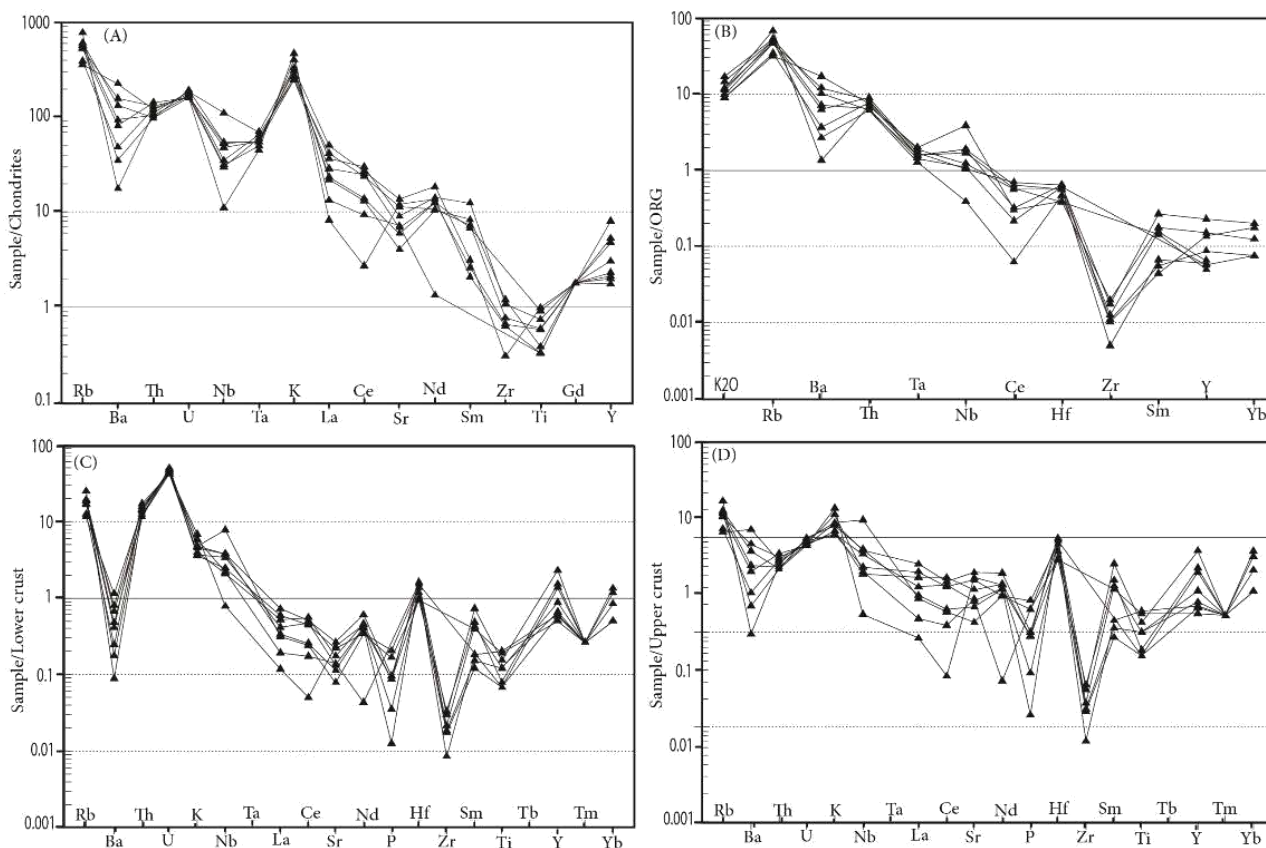
پهنه‌های برخورد و پس از برخورد است و نشان می‌دهد که توده‌های یادشده در پوسته‌ای قاره‌ای با ستبرای متوسط تا بسیار جایگیری کرده و یا دچار فرآیند آلیش پوسته‌ای شده‌اند (Pearce *et al.*, 1984). دارا بودن آنومالی مثبت در عنصرهایی مانند K و Th، نشان‌دهنده نقش پوسته قاره‌ای در تحولات ماگمای سازنده این توده نفوذی است (Harris, 1983; Harris *et al.*, 1986).

آنومالی عنصر Zr می‌تواند در پی جدایش کانی زیرکن از مذاب و پیش از تبلور سنگ‌های بررسی‌شده روی داده باشد. درباره آنومالی منفی Nb و Ti (Wilson, 1989) بر این باور است که این آنومالی نشانه پیامد فرورانش بر خاستگاه ماگمایی گوشته است.



شکل ۱۴- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار دو متغیره A-B (Debon and Le Fort, 1983)

آنومالی مثبت Rb، از شاخص‌های اصلی گرانیت‌های



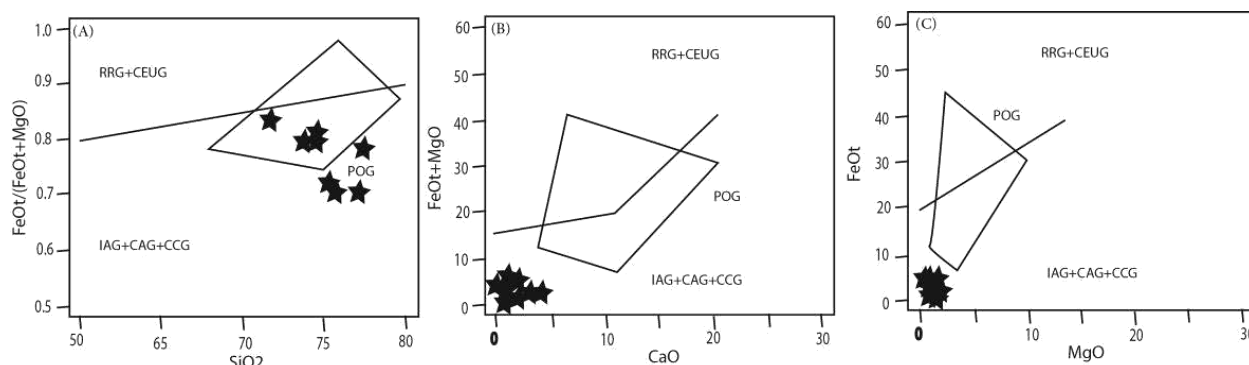
شکل ۱۵- نمودارهای عنکبوتی برای گرانیت آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران): (A) داده‌های بهنجارشده به ترکیب کندریت (Sun, 1980); (B) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پلاژیوگرانیت (Pearce *et al.*, 1984); (C) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پوسته زیرین (Taylor and McLennan, 1985); (D) داده‌های بهنجارشده به ترکیب پوسته بالایی (Weaver and Tarney, 1984)

و Ti را پیامد پیدایش ماگما در پهنه‌های فرورانشی دانسته‌اند. آنومالی منفی P نیز می‌تواند نشان‌دهنده تبلور و جدایش آپاتیت از ماگمای سازنده این توده‌ها باشد.

سنگ‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی توده نفوذی

آی‌قلعه‌سی: برای بررسی پهنه زمین‌ساختی گرانیت آی‌قلعه‌سی از نمودارهای شناسایی گوناگون بهره گرفته شد. در نمودار $FeO^t/(FeO^t+MgO)$ در برابر SiO_2 ، نمونه‌های بررسی شده در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی جای گرفته‌اند (شکل ۱۶ - A).

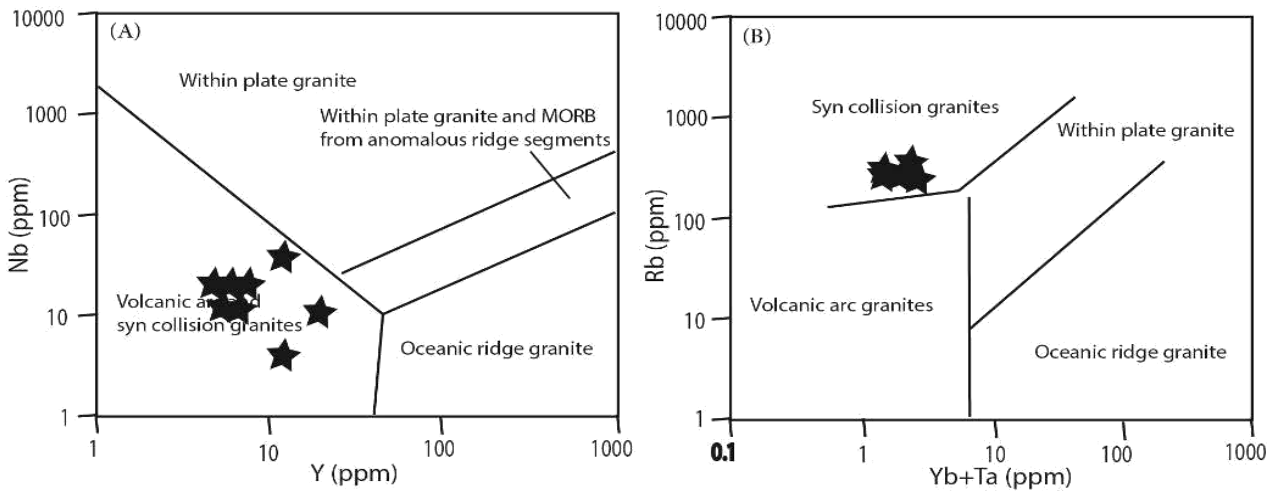
همچنین، به باور Saunders و همکاران (۱۹۹۲) و Nagudi و همکاران (۲۰۰۳)، جدایش فازهای کانیاپی دما بالا در آغاز تبلور کانی‌هایی مانند ایلمنیت، روتیل و اسفن نیز می‌تواند چنین آنومالی را پدید آورد. به باور Nagudi و همکاران (۲۰۰۳)، میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای از Nb بسیار تهی شده بوده است؛ از این‌رو، هر ماگمای آرایش‌یافته با مواد پوسته‌ای این آنومالی را در شیمی خود نشان می‌دهد. از این‌رو، آنومالی منفی Nb در الگوی نمودارهای عنکبوتی می‌تواند ویژگی همه ماگماهایی باشد که با سنگ‌های پوسته قاره‌ای آلوده شده‌اند. Pearce و همکاران (۱۹۸۴) آنومالی منفی Nb



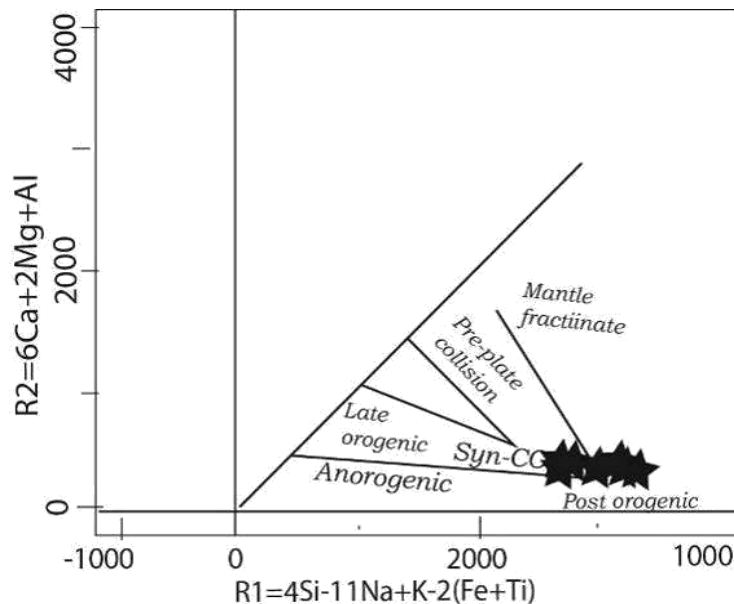
شکل ۱۶- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در: (A تا C) نمودارهای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی گرانیتوئیدها (Maniar and Piccoli, 1989) (Continental Collision: CCG; Continental Arc Granitoids: CAG; Island Arc Granitoids: IAG) (Continental Granitoids: CEUG; Rif Related Granitoids: RRG; Oceanic Plagiogranites: OP; Post Orogenic Granitoids: POG; Granitoids (Epirogenic Uplift Granitoids)

برای شناسایی گرانیتوئیدهای کوهزایی از نمودارهای FeO^t+MgO در برابر CaO و FeO^t در برابر MgO بهره برده شد. بر پایه این نمودارها، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های همزمان با برخورد (Syn-COLG) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۷ - B). بر پایه نمودار R_2 در برابر R_1 (شکل ۱۷ - B)، نمونه‌های گرانیت آی‌قلعه‌سی ویژگی‌های Syn-collision (همزمان با برخورد) را نشان می‌دهند (شکل ۱۸).

برای شناسایی گرانیتوئیدهای کوهزایی از نمودارهای FeO^t+MgO در برابر CaO و FeO^t در برابر MgO بهره برده شد. بر پایه این نمودارها، نمونه‌های بررسی‌شده در گستره گرانیت‌های IAG+CAG+CCG جای گرفته‌اند (شکل‌های ۱۶ - B و ۱۶ - C). در نمودار Nb در برابر Y (شکل ۱۷ - A) نمونه‌ها در گستره کمان آتشفشانی و برخورد قاره‌ای جای گرفته‌اند. نمودار Rb در برابر



شکل ۱۷- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آیفله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودارهای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی گرانیتوئیدها (Pearce et al., 1984): (A) نمودار Nb در برابر Y؛ (B) نمودار Rb در برابر Yb+Ta



شکل ۱۸- جایگاه ترکیبی توده نفوذی آیفله‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار R₂ در برابر R₁ (Batchelor and Bowden, 1985)

خاستگاه آنها (ترکیب سنگ‌مادر) باشد. غلظت بالای Al_2O_3 می‌تواند پیامد واکنش‌های ذوب آبزدای (Dehydration melting) متاپلیت‌ها در پی شکسته‌شدن کانی‌های بیوتیت و مسکوویت باشد؛ اما در متاگریت‌های سرشار از پلاژیوکلاز و یا در سنگ‌های ماگمایی حد واسطه، رخداد ذوب همراه با آبزدایی بیوتیت یا آمفیبول، پیدایش ماگمای فلسیک را در پی دارد (Montel and

بررسی ترکیب و پهنه زمین‌ساختی سنگ‌مادر گرانیت آیفله‌سی: توده‌های گرانیتوئیدی S-type در پی برخورد دو سنگ‌کره قاره‌ای و پیامد ناشی از این برخورد (که همان ذوب‌بخشی رسوب‌ها در پی افزایش گرادیان زمین‌گرمایی است) پدید می‌آیند (Chappel and White, 1974). پس ترکیب شیمیایی این گروه از گرانیتوئیدها می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب شیمیایی

عربستان و ایران بوده و در پی فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی پدید آمده است. برپایه پیشنهاد Agard و همکاران (۲۰۰۵)، این برخورد در زمان الیگوسن-میوسن و در پی کوهزایی آلپی روی داده است. گارنت-مسکوویت گرانیت‌های بررسی شده در منطقه آی‌قلعه‌سی از ذوب‌بخشی مواد پوسته‌ای پدیده آمده‌اند.

نتیجه‌گیری

(۱) برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری، ترکیب توده گرانیتی آی‌قلعه‌سی گارنت-مسکوویت گرانیت بوده و پتاسیم‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکوویت از کانی‌های اصلی سازنده آن هستند. به مقدار کمی گارنت و کانی‌های تیره در این سنگ‌ها دیده می‌شوند؛

(۲) در نمودارهای رده‌بندی گوناگون، ترکیب شیمیایی نمونه‌های بررسی شده در گستره گرانیت‌هاست؛

(۳) از دیدگاه شاخص اشباع آلومینیم، سنگ‌های بررسی شده از نوع پرآلومینوس هستند؛

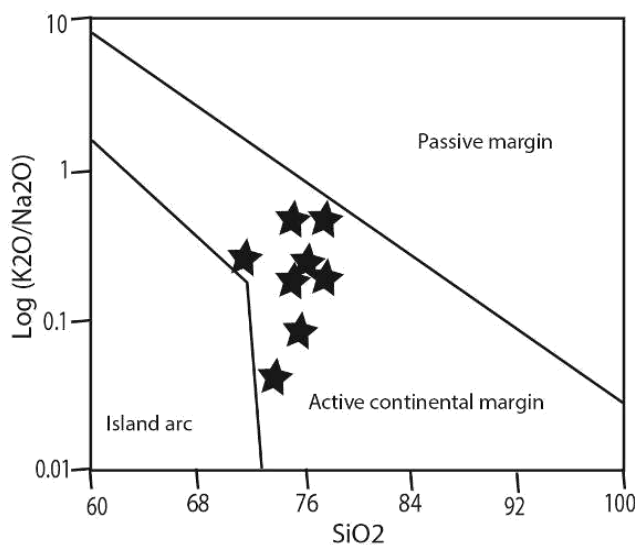
(۴) سری ماگمایی سازنده توده گرانیتی بررسی شده از نوع کالک‌آلکان بوده و در پهنه کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای و هم‌زمان با برخورد قاره-قاره پدید آمده است؛

(۵) آنومالی مثبت عنصرهایی مانند U، Th، K و Rb، نشان‌دهنده ریشه‌گرفتن ماگمای سازنده توده نفوذی از مواد پوسته قاره‌ای است؛

درباره الگوی تکتونوماگمایی توده گرانیتی بررسی شده به‌نظر می‌رسد در پی برخورد دو صفحه عربستان و ایران و فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، ستبرای پوسته در محل برخورد و نیز گرادیان زمین گرمایی سنگ‌های منطقه افزایش یافته است.

Vielzeuf, 1997; Patino Douce and Harris, 1998; Springer and Seck, 1997).

ماگماهای برآمده از ذوب آمفیبول دارای ترکیب سرشار از CaO و Na₂O هستند؛ اما مذاب پدیدآمده از ذوب مسکوویت و بیوتیت دارای درصد بالای Al₂O₃ و مقدار کم CaO است و افزون بر این، نسبت Rb/Sr در چنین مذابی بالا و نسبت Sr/Ba در آن کمتر است. برپایه آنچه گفته شد و نیز داده‌های به‌دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌های بررسی شده، به‌نظر می‌رسد که سنگ‌مادر فرضی سنگ‌های بررسی شده، سنگ‌های رسی پدیدآمده در حاشیه فعال قاره‌ای باشند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- شناسایی جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌مادر در گرانیت تیپ S منطقه آی‌قلعه‌سی (شمال‌باختری ایران) در نمودار $\text{Log}(K_2O/Na_2O)$ در برابر SiO_2 (Roser and Korsch, 1986)

برپایه یافته‌های به‌دست‌آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، گرانیت‌های بررسی شده در منطقه آی‌قلعه‌سی در پهنه هم‌زمان با برخورد پدید آمده‌اند. به‌نظر می‌رسد توده نفوذی بررسی شده وابسته به پهنه برخورد دو صفحه

منابع

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F. (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences* 94: 401-19.
- Aghanabati, S. A. (2006) *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Alavi, M. (1994) Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* 229: 211-238.
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Sciences* 304: 1-20.
- Alavi, M., Hajian, J., Amidi, M. and Bolourchi, H. (1982) *Geology of Takab-Shahin-Dez Quadrangle*. The Ministry of Mines and Metals of Iran, Tehran, Iran.
- Barker, F. (1979) Trondjemites: Definition, environment and hypotheses of origin. In: *Trondjemites, dacites and related rocks*. (Ed. Barker, F.) 1-12. Elsevier Amsterdam.
- Batchelor, R. A. and Bowden, P. (1985) Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology* 48: 43-55.
- Berberian, M. and King, G. C. (1981) Towards a paleogeographical and tectonics evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Chappell, B. W. and White, A. J. R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8: 173-174.
- Dahrazema, B., Azarpeykan, A., Modaberi, S. and Sayareh, A. R. (2014) Assessment of heavy metals pollution in abandoned lead and zinc mine soil from Ayghalesi, SE Takab. *Environment and Geology Engineering* 94: 129-138.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grande, C. P. and Marchal, M. (1980) A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses, its relationship with current nomenclature. *Chemical Geology* 29: 183-210.
- Debon, F. and Le Fort, P. (1983) A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and association. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 73: 135-149.
- Eftekhari Nejad, J. (1980) Tectonic classification of Iranian relation to depositional basins. *Journal of Iranian Petroleum Society* 82: 19-28 (in Persian).
- Fonoudi, M. and Hariri, A. (1999) *Geological map of Iran, 1:100000 series sheet Takab*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. and Frost, C. D. (2001) A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42: 2033-2048.
- Ghorbani, M. (2008) *Economic geology of ores and mineral indexes in Iran*. Aryan Zamin Publishers, Tehran (in Persian).
- Harris, C. (1983) The petrology of lavas and associated plutonic inclusions of Ascension Island. *Journal of Petrology* 24: 424-470.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. and Tindle, A. G. (1986) Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In: *Collision tectonics*. (Eds. Coward, M. P. and Reis, A. C.) Special Publication 19: 67-81. Geological Society of London.
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F. (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48(12): 2341-2354.

- Kretz, R. (1983) Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Maniar, P. O. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonics discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101: 635-643.
- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magma and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology*. Longman Group, London, UK.
- Montel, J. M. and Vielzeuf, D. (1997) Partial melting of metagreywackes: part II. Composition of minerals and melt. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 128: 176-196.
- Nabavi, M. H. (1976) *An Introduction to the Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Nagudi, N., Koberl, C. and Kurat, G. (2003) Petrography and geochemistry of the Sigo granite, Uganda and implications for origin. *Journal of African Earth Sciences* 36: 1-14.
- Patino Douce, A. E. and Harris, N. (1998) Experimental constraints on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology* 39: 689-710.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Peccerillo, A. and 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.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J. (1986) Discrimination of tectonic setting of sandstone- mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. *Journal of Geology* 94: 635-650.
- Saunders, A. D., Storey, M., Kent, R. and Norry, M. J. (1992) Consequences of plume lithosphere interactions. In: *Magmatism and the causes of continent break-up* (Eds. Storey, B. C., Alabaster and Pankhurst, R. G.) Special Publication 68: 41-60. Geological Society of London.
- Springer, W. S. and Seck, H. A. (1997) Partial fusion of basaltic granulites at 5-15 kbar: implications for the origin of TTG magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 127: 30-45.
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52: 1229-1258.
- Sun, S. S. (1980) Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society A297*: 409-445.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- Weaver, B. and Tarney, J. (1984) Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* 310: 575-57.
- Wilson, M. (1989) *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*. Unwin Hyman Ltd, London.