

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران

پردیس علوم

دانشکده زمین‌شناسی

عنوان:

بررسی شیمی کانی‌های بیوتیت و آمفیبول در توده گرانیتوئیدی بروجرد (غرب ایران)

نگارنده :

مهدی نجفی

اساتید راهنما :

دکتر داریوش اسماعیلی

دکتر علی کنعانیان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی (گرایش پترولوژی)

خرداد ۱۳۸۷

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم، برادران و خواهر گرامیم که همواره مرا

در رسیدن به خواسته‌هایم یاری نموده‌اند

## چکیده

کمپلکس گرانیتوئیدی بروجرده بخشی از زون سنندج- سیرجان و یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی این زون محسوب می‌گردد. که در زمان ژوراسیک میانی تزریق ماگما به درون سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای باعث دگرگونی مجاورتی در اطراف آن شده است. این توده بیضی شکل با روند کلی شمال غرب - جنوب شرق و در شمال غرب زون سنندج- سیرجان واقع می‌باشد. قدیمی‌ترین نهشته‌های موجود در این ناحیه متعلق به پالئوزوئیک و پس از آن به تریاس بوده که در جنوب شرق بروجرده رخمون دارد.

ترکیب سنگ‌شناسی این توده عمدتاً کوارتزادیوریت، گرانودیوریت و مونزوگرانیت می‌باشد که واحد گرانودیوریت بخش اعظم توده نفوذی موجود در منطقه را تشکیل می‌دهد.

نتایج آنالیزهای میکروپروب انجام گرفته بر روی کانی بیوتیت نشان می‌دهد که بیوتیت‌های هر سه واحد اولیه بوده و بیوتیت‌های واحد کوارتزادیوریتی بین دو قطب آنیت و فلوگوپیت و متمایل به آنیت قرار می‌گیرند و در کل جزء بیوتیت‌های منیزیم‌دار بوده و از یک ماگمای ساب‌آلکانل متبلور شده‌اند. در حالی که بیوتیت‌های واحد گرانودیوریت و مونزوگرانیت بین دو قطب آنیت و سیدروفیلیت با روندی به سمت قطب سیدروفیلیت و جزء بیوتیت‌های آهن‌دار و از یک ماگمای کالک‌آلکانل بوجود آمده است.

روندهای خطی نمودارهای تغییرات نشان دهنده‌ای یک ناپیوستگی واضح بین واحد کوارتزادیوریتی با واحدهای گرانودیوریت و مونزوگرانیتی می‌باشد. کوارتزادیوریت‌ها در اثر تبلور تفریقی در اولین فاز تبلور از ماگمای خود جدا گشته‌اند و از کلر و عناصر سازگار غنی شده‌اند، به نحوی که واحد کوارتزادیوریتی دارای کمترین نسبت عناصر ناسازگار و بیشترین نسبت عناصر سازگار در درون بیوتیت‌های خود می‌باشد و جز گرانیتهای دارای آلودگی کم تا متوسط می‌باشند. وجود یک پیوستگی بین واحد مونزوگرانیتی و گرانودیوریتی

می‌تواند بیانگر تفریق بلوری از یک ماگمای واحد که در طی تبلور بخشی، ماگمایی باقی مانده در اثر هضم سنگهای دیواره در حین تبلور دچار آلودگی شده است و در رده‌های گرانیت‌های به شدت آلوده قرار می‌گیرند.

بررسی شیمی کانی آمفیبول که در واحد کوارتز دیوریتی موجود می‌باشد نشان می‌دهد که همه آمفیبول‌ها حاصل شده از فرایندهای آذرین و جزء گروه آمفیبول‌های کلسیک هستند که شاخص گرانیت‌های نوع I و در زیر گروه منیزیم‌هورنبلند قرار می‌گیرند و جزء رده‌های گرانیت‌های کم تا متوسط آلوده واقع می‌شوند که با نتایج حاصل از بیوتیت‌ها هماهنگی داشته و تصدیق‌کننده‌ای این مطلب می‌باشد. ژئوبارومتري براساس مقدار Al در آمفیبول‌های واحد کوارتز دیوریتی در محدوده‌های حداقل و حداکثر فشار ۰,۵ - ۱,۵ کیلوبار معادل عمق تقریبی ۱,۵ - ۴,۵ کیلومتر را نشان می‌دهند. ترمومتري واحد کوارتز دیوریتی دمای حدود ۷۰۰ - ۷۵۰ درجه سانتیگراد را برای تبلور هورنبلندهای خود نشان می‌دهد.

## پیش گفتار

سپاس و ستایش بیکران، خداوند یگانه رحمان را سزاست که در روی کره‌ای متحرک و لرزان، معلق و آویزان، کوه و صحرا رقم زد، جزیره و دریا ترسیم نمود، گیاه و جاندار آفرید و انسان و بشر پدید آورد، تا ظلمتکده تیره و تاریک زمین را به نور صفا زینت بخشد و در میان ویرانی، عمران و آبادی آرد.

خداوند رحمان را شاکرم که با عنایت او این پایان‌نامه به انجام رسید و بر خود واجب می‌دانم مراتب سپاس و تشکر از بزرگواران و اساتید محترمی که با زحمات و راهنمایی‌های خود مرا یاری نموده‌اند، ابراز دارم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر داریوش اسماعیلی که به عنوان استاد راهنمای این جانب در تمام مراحل این پژوهش با راهنمایی‌های استادانه خویش و مساعدت‌های علمی و عملی بی‌دریغ خود مرا مورد لطف و عنایت قرار داده است، صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و از خداوند منان توفیق روزافزون ایشان را در تمام مراحل زندگی خواستارم.

از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر علی کنعانیان که به عنوان استاد راهنمای دوم، در به انجام رسیدن این پژوهش با ارائه راهنمایی‌های بی‌شعبه و نظرات سازنده خود در کلیه زمینه‌ها مرا مورد لطف و مشوق این جانب بوده است. نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایم و امیدوارم در تمام عرصه‌های زندگی و علمی خویش موفق و موید باشید.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر فرامرز طوطی که به عنوان داور، با تمام وجود و دقت این پایان‌نامه را مطالعه و بررسی نموده و نکات ارزشمند و سازنده را در راستای ارتقای مباحث مختلف یادآور شده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورم.

از آقای هادی نجفی برادر بزرگوار این جانب به خاطر همراهی بی‌شعبه و همکاری در نمونه‌گیری از منطقه مورد مطالعه در تمام مدت نمونه‌برداری نهایت سپاس و تشکر و قدردانی را دارم.

از دوست و همراه شفیق این جانب، آقای وحید احدنژاد دانشجوی دکتری دانشگاه تهران که در تمام مراحل مختلف پایان‌نامه بویژه نمونه‌برداری صحرائی به مدت دوماه در منطقه مورد مطالعه با در اختیار گذاشتن تجربه‌کاری خویش در زمینه کارهای صحرائی مرا یاری نموده است، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید محترم دانشکده زمین‌شناسی آقایان دکتر محسن الیاسی، دکتر بهمن بهلولی، مهندس محمدعلی برقی، مهندس محسن رنجبران و همچنین آقای مهندس مصطفی حق طلب استاد دانشگاه ملایر – دانشگاه فنی، گروه عمران که در مدت دوره تحصیلات تکمیلی همواره مرا یاری نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از برادر گرامیم آقای حسین نجفی و دوستان عزیزم آقایان امیر اثنی‌عشری، آرش مومنیان، احمد احمدوند، علی یوسفی، ابوالفضل رضایی، رامین صمدی، عبدالله حسن‌پور که مرا در به ثمر رسیدن این رساله یاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزارم.

از خانواده محترم آقای قاسم نجفعلی عموی بزرگوار و گرانقدر خود که همواره مشوق و راهنمای اینجانب بوده‌اند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از خانواده بزرگوار و عزیزم که مرا یاری نموده و بخصوص در مدت چند ماه نمونه‌برداری خود و همراهان مرا یاری نموده و پا به پای من سختی‌ها را تحمل کرده‌اند، بی‌نهایت تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در نهایت از تمام عزیزانی که به هر نحوی مرا در به ثمر رسیدن این رساله یاری نموده‌اند سپاسگزارم.

## فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

### فصل اول : کلیات

- ۱ - ۱ : موقعیت جغرافیایی ..... ۲
- ۱ - ۲ : آب و هوا و ریخت شناسی ..... ۲
- ۱ - ۳ : پیشینه کارهای قبلی ..... ۵
- ۱ - ۴ : اهداف مطالعه ..... ۶
- ۱ - ۵ : روش های مطالعه ..... ۷

### فصل دوم : زمین شناسی عمومی

- ۲ - ۱ : زمین شناسی زون سنندج - سیرجان ..... ۹
- ۲ - ۲ : چینه شناسی زون سنندج - سیرجان ..... ۱۱
- ۲ - ۳ : زمین ساخت سنندج - سیرجان ..... ۱۳
- ۲ - ۴ : گسل ها و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۴
- ۲ - ۵ : توان معدنی سنندج - سیرجان ..... ۱۷

### فصل سوم : پتروگرافی

- ۳ - ۱ : مقدمه ..... ۱۹
- ۳ - ۲ : پتروگرافی و توصیف صحرائی سنگ های آذرین ..... ۱۹
- ۳ - ۲ - ۱ : واحد گرانودیوریت ..... ۱۹
- ۳ - ۲ - ۲ : واحد کوارتزیدیوریت ..... ۲۴
- ۳ - ۲ - ۳ : واحد مونزوگرانیت ..... ۲۶



- ۲۸ ..... ۳ - ۲ - ۴ : گرانیتهای روشن اسفن دار
- ۲۸ ..... ۳ - ۲ - ۵ : دایکهای اسیدی
- ۲۹ ..... ۳ - ۲ - ۶ : رگه‌های کوارتز - تورمالین
- ۲۹ ..... ۳ - ۲ - ۷ : دایکهای بازیگ و حد واسط
- ۲۹ ..... ۳ - ۲ - ۸ : آنکلاوها

### فصل چهارم: کانی شناسی

- ۳۳ ..... ۴ - ۱ : مقدمه
- ۳۴ ..... ۴ - ۲ : شیمی بیوتیت
- ۳۶ ..... ۴ - ۲ - ۱ : تمایز بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانوی
- ۳۷ ..... ۴ - ۲ - ۲ : رده‌بندی بیوتیت‌ها
- ۳۷ ..... ۴ - ۲ - ۱ : رده‌بندی دیبر
- ۳۷ ..... ۴ - ۲ - ۲ : رده‌بندی فورستر ( ۱۹۶۰ )
- ۳۹ ..... ۴ - ۲ - ۳ : درجه اشباع از آلومینیوم بیوتیت‌ها و سنگ میزبان
- ۴۱ ..... ۴ - ۲ - ۴ : تعیین سری ماگمای
- ۴۱ ..... ۴ - ۲ - ۱ : رده‌بندی ناشیت (۱۹۸۶)
- ۴۲ ..... ۴ - ۲ - ۲ : رده‌بندی عبدالرحمان (۱۹۹۴)
- ۴۶ ..... ۴ - ۲ - ۵ : توزیع عنصر در بیوتیت‌ها
- ۶۷ ..... ۴ - ۲ - ۶ : تعیین محیط تکنونیک

### فصل پنجم: شیمی آمفیبول

- ۳۳ ..... ۵ - ۱ : مقدمه
- ۷۹ ..... ۵ - ۲ : رده‌بندی آمفیبول‌ها

۸۲	.....	۵-۳ : توزیع عنصری در آمفیبول‌ها
۸۶	.....	۵-۴ : توزیع عناصر بین آمفیبول و بیوتیت
۸۸	.....	۵-۵ : ژئوبارومتري
۹۰	.....	۵-۵-۱ : روش‌های فشارسنجی
۹۳	.....	۵-۶ : ترمومتري

### فصل ششم: نتیجه‌گیری

۹۶	.....	نتیجه‌گیری
۱۰۱	.....	منابع
۱۱۴	.....	ضمائم

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱ - ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ..... ۳
- شکل ۱ - ۲: تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه بروجرد ..... ۴
- شکل ۱ - ۳: دورنمایی از توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۶
- شکل ۲ - ۱: زیر پهنه‌های زون سنندج - سیرجان از نگاه مُخجل و سهندی (۱۳۷۸) ..... ۱۴
- شکل ۲ - ۲: ساختار گسل جوان و اصلی زاگرس و لرزه خیزی آن ..... ۱۶
- شکل ۳ - ۱: نقشه ساده شده‌ای از زمین‌شناسی منطقه (احمدی خلجی ۱۳۸۳) ..... ۲۰
- شکل ۳ - ۲: تصاویر میکروسکوپی از واحد گرانودیوریت ..... ۲۲
- شکل ۳ - ۳: تصاویر میکروسکوپی و صحرایی از واحد کوارتزیدیوریت ..... ۲۵
- شکل ۳ - ۴: تصاویر میکروسکوپی و صحرایی از واحد مونزوگرنایت ..... ۲۷
- شکل ۳ - ۵: نمایی از انواع آنکلاوها، رگه‌های کوارتز و دایک‌ها در توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۳۰
- شکل ۴ - ۱: نمودار سه‌تایی  $MgO$ ،  $10TiO_2$  و  $FeO+MnO$  (ناشیت و همکاران، ۲۰۰۵) ..... ۳۶
- شکل ۴ - ۲: طبقه‌بندی شیمیایی میکاهای توده بروجرد (دبیر و همکاران ۱۹۶۲ و اسپیر ۱۹۸۴) ..... ۳۸
- شکل ۴ - ۳: طبقه‌بندی شیمیایی میکاهای منطقه بروجرد به روش فورستر ۱۹۶۰ ..... ۳۸
- شکل ۴ - ۴: درجه اشباع از آلومینیوم در بیوتیت نسبت به سنگ میزبان (شعبانی و همکاران ۲۰۰۳) ..... ۴۰
- شکل ۴ - ۵: نمودار تغییرات  $SiO_2$  در مقابل نسبت مولی  $(Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O)$  چاپل و وایت ۱۹۷۴ ..... ۴۰
- شکل ۴ - ۶: تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مورد مطالعه بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت (ناشیت ۱۹۸۶) ..... ۴۱
- شکل ۴ - ۷: تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مورد مطالعه بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت (عبدالرحمان ۱۹۹۴) ..... ۴۴
- شکل ۴ - ۸: نمودار تفکیک سنگهای منیزیم‌دار و آهن‌دار (فراست ۲۰۰۱) ..... ۴۵
- شکل ۴ - ۹: نمودار تغییرات  $Ta / Yb$  در برابر  $Ce / Yb$  اقتباس از ورنیک و منز ۲۰۰۱ ..... ۴۶
- شکل ۴ - ۱۰: ترکیب شیمیایی میکاهای مورد مطالعه از لحاظ کاتیونهای موجود در فرمول ساختمانی آنها ..... ۴۷
- شکل ۴ - ۱۱: کسر مولی سیدروفیلت، آنیت و فلوگوپیت ..... ۴۸
- شکل ۴ - ۱۲: تغییرات درصد وزنی فلوتور در مقابل  $XMg$  برای بیوتیت‌های مورد مطالعه در منطقه بروجرد ..... ۵۰
- شکل ۴ - ۱۳: ترکیب شیمیایی میکاهای مورد مطالعه از لحاظ فلوتور و کلر ..... ۵۰
- شکل ۴ - ۱۴: نمودار تغییرات  $Log (Xf/XCl)$  در مقابل  $XMg$  (کیلزین و بریمهال ۱۹۸۳) ..... ۵۱
- شکل ۴ - ۱۵: ترکیب بیوتیت‌های توده گرانودیوریتی بروجرد بر روی نمودارهای آگو و بریمهال (۱۹۸۸) ..... ۵۴

- شکل ۴ - ۱۶: ترکیب شیمی سنگ کل توده گرانیتوئیدی بروجرد بر روی نمودارهای آگو و بریمهال (۱۹۸۸)..... ۵۵
- شکل ۴ - ۱۷: موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل..... ۵۸
- شکل ۴ - ۱۸: مقایسه مقادیر فلوتور و کلر بیوتیت با استفاده از روابط میدلار و کیت (۱۹۹۰)..... ۵۹
- شکل ۴ - ۱۹: رابطه بین  $SiO_2$  با اکسیدهای مختلف در بیوتیت‌های توده گرانیتوئیدی بروجرد..... ۶۰
- شکل ۴ - ۲۰: رابطه بین کاتیونهای اکتاهدرال  $Ti, Al^{VI}, Fe^{3+}$  در بیوتیت‌های گرانیتوئید بروجرد..... ۶۱
- شکل ۴ - ۲۱: نمودار باریم در مقابل استرانسیم ( آرسلان و اسلان ۲۰۰۶)..... ۶۳
- شکل ۴ - ۲۲: نمودار وانادیم در مقابل زیرکیم (ترویل و جورون ۱۹۷۵ و عبدالله و همکاران ۱۹۹۷)..... ۶۳
- شکل ۴ - ۲۳: نمودار تغییرات عناصر کمیاب و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه توده گرانیتوئیدی بروجرد..... ۶۴
- شکل ۴ - ۲۴: نسبت بین  $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$  با اتمهای مختلف در بیوتیت‌های آنالیز شده در توده گرانیتوئیدی بروجرد..... ۶۶
- شکل ۴ - ۲۵: مقایسه مقادیر  $Ti$  و  $Fe+3$  در مقابل  $Al^{VI}$  در توده گرانیتوئیدی بروجرد..... ۶۷
- شکل ۴ - ۲۶: نمودار تغییرات نسبت  $Fe+2 / Mg + Fe^{2+}$  در مقابل  $Al^{IV}$ ..... ۶۸
- شکل ۴ - ۲۷: موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات  $Rb/Y$  در مقابل نسبت  $Nb/Y$  (تمل ۱۹۹۸)..... ۶۸
- شکل ۴ - ۲۸: نمودار AFM (بودن و همکاران ۱۹۸۴) خطوط ترسیمی تمایز محیط‌های تکتونیک از (مانیار و پیکولی ۱۹۸۹)..... ۶۹
- شکل ۴ - ۲۹: نمودار عنکبوتی فراوانی عنصر کمیاب خاکی به گوشته اولیه (سان و مک دونوف ۱۹۸۹)..... ۷۳
- شکل ۴ - ۳۰: نمودار الگوی تغییرات فراوانی عنصر کمیاب خاکی به پوسته (تایلور و مک لنا ۱۹۸۵)..... ۷۴
- شکل ۵ - ۱: طبقه‌بندی آمفیبول‌های توده گرانیتوئیدی بروجرد بر اساس ترکیب شیمیایی آنها (لیک و همکاران ۱۹۹۷)..... ۸۱
- شکل ۵ - ۲: ترکیب آمفیبول‌های واحد کوارتز دیوریتی توده گرانیتوئیدی بروجرد در نمودار پیشنهادی آگو و بریمهال ۱۹۸۱..... ۸۲
- شکل ۵ - ۳: محدوده تمایز آمفیبول‌های حاصل از فرآیند دگرگونی و آذرین در نمودار پیشنهادی سیال ۱۹۹۸..... ۸۵
- شکل ۵ - ۴: تغییرات  $Al^{IV}$  در برابر مجموع کاتیون  $K, Na$  و  $AL^{VI} + Fe^{3+} + Ti + (Na+k)$  (بلوندی و هولاند ۱۹۹۰)..... ۸۴
- شکل ۵ - ۵: نمودار تغییرات اکسیدهای مختلف در مقابل  $SiO_2$ ..... ۸۵
- شکل ۵ - ۶: توزیع عنصری بین بیوتیت و آمفیبول در توده گرانیتوئیدی بروجرد..... ۸۷
- شکل ۵ - ۷: ترکیب آمفیبول‌های واحد کوارتز دیوریتی توده گرانیتوئیدی بروجرد در نمودار  $Al_{tot} - Al^{IV}$ ..... ۸۹
- شکل ۵ - ۸: نمودار  $Al_{tot}$  در مقابل XFe از اشمیت ۱۹۹۲..... ۹۳
- شکل ۵ - ۹: محاسبه دمای تشکیل آمفیبول‌های واحد کوارتز دیوریتی توده گرانیتوئیدی بروجرد (هلز ۱۹۷۳)..... ۹۴

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۵ - ۱ : محاسبه فشار و عمق تبلور هورنبلند در واحد کوارتز دیوریتی توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۹۲
- جدول الف: نتایج آنالیز میکروپروپ کانی بیوتیت - واحد کوارتز دیوریت ..... ۱۱۵
- جدول الف: نتایج آنالیز میکروپروپ کانی بیوتیت - واحد گرانودیوریت ..... ۱۱۶
- جدول الف: نتایج آنالیز میکروپروپ کانی بیوتیت - واحد مونزوگرانیت ..... ۱۲۰
- جدول الف: نتایج آنالیز میکروپروپ کانی آمفیبول - واحد کوارتز دیوریت ..... ۱۲۲
- جدول - ب: نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل واحد کوارتز دیوریت (اقتباس شده از احمدی خلجی ۱۳۸۵) ..... ۱۲۳
- جدول - ب: نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل واحد گرانودیوریت (اقتباس شده از احمدی خلجی ۱۳۸۵) ..... ۱۲۴
- جدول - ب: نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل واحد (اقتباس شده از احمدی خلجی ۱۳۸۵) ..... ۱۲۵
- جدول - ج: محاسبه فرمول بیوتیت کوارتز دیوریت‌های توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۱۲۶
- جدول - ج: محاسبه فرمول بیوتیت گرانودیوریت‌های توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۱۲۸
- جدول - ج: محاسبه فرمول بیوتیت مونزوگرانیت‌های توده گرانیتوئیدی بروجرد ..... ۱۳۴

# فصل اول



## ۱ - ۱ : موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی  $45^{\circ} 48'$  تا  $30^{\circ} 49'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ} 38'$  تا  $34^{\circ}$  شمالی با وسعت تقریبی ۶۰۰ کیلومتر مربع در استان‌های لرستان و مرکزی، در شرق و جنوب شرق شهرستان بروجرد واقع گردیده است. راه‌های ارتباطی به منطقه شامل جاده آسفالتی بروجرد- اراک در قسمت مرکزی و جاده آسفالتی ازنا- شازند و راه آهن تهران- جنوب در قسمت شرقی و جاده آسفالتی بروجرد- ملایر در قسمت غربی آن است. از این جاده‌ها، راه‌های فرعی زیادی به سوی منطقه مورد نظر منشعب می‌شود که اکثراً خاکی و شن ریزی شده و از نوع راه‌های شوسه‌ای بوده و ارتباط روستاهای منطقه را با یکدیگر و با شهرها امکان پذیر می‌سازند. این منطقه مشتمل بر کوه‌های مرتفع زاگرس در غرب، دشت سیلاخور در مرکز و پیش کوه‌های داخلی زاگرس در شرق است (شکل ۱-۱ و ۱-۲).

## ۱ - ۲ : آب و هوا و ریخت شناسی

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد است که حداکثر دما گاه به ۴۰ و حداقل آن به منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میزان بارندگی این منطقه ۴۸۰ میلی‌متر در سال است که در فصول سرما بارش‌ها بیشتر به صورت برف می‌باشند. منطقه مورد مطالعه از نقاط زلزله خیز کشور است و زلزله سیلاخور بروجرد با بزرگای  $7/2$  ریشتر یکی از بزرگترین زمین لرزه‌های ثبت شده ایران است.

شهر بروجرد در دامنه ارتفاعات زاگرس و بر روی آبرفت‌های دشت سیلاخور و در حالت پایکوهی قرار دارد. این شهر در ارتفاع ۱۵۸۰ متری از سطح دریا و در  $33^{\circ} 09'$  درجه شمالی و  $48^{\circ} 08'$  درجه شرقی واقع می‌باشد. بلندترین نقطه منطقه قله ولاش با ارتفاع ۳۶۲۳ متر در کوه گرین در غرب شهر بروجرد و پست‌ترین ناحیه در دشت سیلاخور با ارتفاع تقریبی ۱۵۰۰ متر قرار دارد. عواملی چون نوع لیتولوژی موجود در ناحیه، آب و هوا و زمین ساخت منطقه باعث ایجاد ریخت شناسی متفاوتی در منطقه شده بطوری که در منطقه مورد مطالعه از ارتفاعات خشن تا دشت‌های مسطح را می‌توان مشاهده کرد. پیکره‌های دگرگونی بیشتر به صورت نواحی کم







شکل ۱-۲) تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه بروجرد

H: هورنفلس Gr: گرانیتوئید بروجرد Q: رسوبات کواترنر Mj: سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک

ارتفاع با حداکثر ارتفاع ۱۹۰۰ متر و بلندترین ارتفاعات منطقه مربوط به توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی می‌باشد و از شرق به غرب از ارتفاعات کوهها کاسته و حالت تپه ماهوری پیدا می‌کنند. بدلیل فرسایش توده‌های گرانیتوئیدی دشت‌های آبرفتی موجود در منطقه به صورت کرم رنگ تا خاکستری روشن دیده می‌شوند (شکل ۱-۳).

### ۱ - ۳: پیشینه کارهای قبلی:

تیبله و سید امامی (۱۹۶۸) مشاهدات زمین‌شناسی خود را در ناحیه بروجرد- شازند به صورت مقاله‌ای ارائه نموده‌اند که به صورت گزارش داخلی در سازمان زمین‌شناسی موجود است. در این مقاله مرمرهای موجود در منطقه را به عنوان قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه و به زمان پرکامبرین نسبت می‌دهند.

اولین مطالعات سیستماتیک و کامل در سال ۱۹۷۴ توسط برتیه و همکاران در قالب رساله دکتری تحت عنوان پترولوژی، چینه‌شناسی و تکتونیک چهار گوش خرم آباد انجام گرفته است. سنگ‌های مرمر موجود در منطقه را که تیله و سید امامی (۱۹۶۸) به پرکامبرین نسبت داده بودند، با یافتن ساقه کرینوئید بریوزوا به زمان تریاس میانی و فوقانی نسبت داده‌اند.

در نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران توسط فرقانی (۱۳۴۹) مقاله تحت عنوان کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین و دگرگونی شرق بروجرد منتشر شده است.

نبوی (۱۳۵۵) در کتاب دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، نفوذ توده گرانیتوئیدی بروجرد را به فاز لارامید نسبت داده است.

رادفر (۱۳۶۶) پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود را تحت عنوان بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه- گوشه ارائه داده و نقشه زمین‌شناسی از قسمت جنوب شرق ناحیه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه نموده و سن نهشته شدن فیلیت‌ها را تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین در نظر می‌گیرد.

فرهادیان (۱۳۷۰) ژئوشیمی و کانی‌شناسی کانسار تنگستن نظام آباد را مورد بررسی و نقشه ۱:۵۰۰۰ این منطقه را تهیه نموده است.

ولی زاده (۱۳۷۱) در مقاله‌ای تحت عنوان گرانیتوئیدها، و مسئله تحول پوسته‌ای در غرب ایران توده گرانیتوئیدی بروجرد را از این دیدگاه مورد بررسی قرار داده است.

گودرزی ۱۳۷۴ پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود را تحت عنوان متامورفیسم و ماگماتیسم منطقه ملایر بروجرد ارائه نموده است.



شکل ۱-۳) دورنمایی از توده گرانیتوئیدی بروجرد که بدلیل فرسایش به دشتهای آبرفتی و کشاورزی تبدیل گردیده‌اند.

مجله (۱۹۹۷) رساله دکترای خود را در مورد تحولات ساختاری و تکتونیکی پهنه دورود - ازنا ارائه و تکامل تکتونیکی زون سنندج - سیرجان را مرتبط با زایش اقیانوس نئوتتیس در چهار مرحله می‌داند. احمدی خلجی (۱۳۷۸) پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان بررسی پترولوژی و پتروفابریک توده‌های نفوذی و دگرگونی مجاورتی منطقه بروجرد به پایان رسانده و توده گرانیتوئیدی بروجرد را دارای یک فولیاسیون مشخص می‌داند و سنگهای دگرگونی منطقه را به دو سری دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین و مجاورتی درجه پایین تا درجه بالا تقسیم نموده است.

احمدی خلجی (۱۳۸۳) رساله دکتری خود را با عنوان پترولوژی توده‌ای گرانیتوئیدی بروجرد به پایان رسانده و با استفاده از روش  $U-Pb$ ، بروی کانی زیرکن به یک فاز ماگماتیسیم غالب در مقیاس ناحیه‌ای و با محدوده سنی نسبتاً کوتاه ۱۷۵ - ۱۷۱ میلیون سال اعتقاد دارد.

#### ۱ - ۴ : هدف مطالعه

بررسی شیمی کانی‌های بیوتیت و آمفیبول در واحدهای مختلف کمپلکس گرانیتوئیدی بروجرد به منظور اطلاع از سرگذشت زمین‌شناسی و تحولات ماگمایی آنها و نیز تجزیه و تحلیل سنگ‌شناختی و چگونگی ارتباط و یا عدم ارتباط بین واحدهای مختلف این کمپلکس موضوع اصلی این تحقیق است.

## ۱ - ۵ : روش‌های مطالعه

- گردآوری اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه شامل مطالعه پایان نامه‌ها، گزارشات، مقالات و...
- گردآوری نقشه‌های توپوگرافی برگه‌های بروجرد، زنگنه، هندودر، شازند، آشورآباد و ژان به مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ : ۱ بروجرد و شازند از سازمان زمین‌شناسی و نقشه‌برداری کشور
- مطالعه پتروگرافی و کانی‌شناسی مقاطع نازک تهیه شده از واحدهای مختلف توده گرانیتوئیدی مورد مطالعه
- بررسی روابط صحرایی واحدهای سنگی موجود در منطقه
- انجام آنالیز نقطه‌ای به تعداد ۷۰ نقطه بر روی کانی‌های بیوتیت و آمفیبول در سنگهای مختلف منطقه مورد نظر در آزمایشگاه الکترون میکروپروب دانشگاه پل ساباتیه، شهر تولوز، کشور فرانسه توسط استاد راهنما
- استفاده از نرم افزارهای Micro soft office ,Minpet ,Igpct ,Photo shop ,Coreldraw
- و... جهت ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی و پترولوژیکی
- تجزیه و تحلیل نمودارها و تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی، ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی به منظور بازسازی سرگذشت زمین‌شناسی توده گرانیتوئیدی بروجرد.