



پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش پترولوژی

**عنوان:**

**بررسی پتروژنز سنگ‌های دگرگونی غرب و شمال غرب منطقه  
قنداب (جنوب شرق فریمان) با نگرش ویژه بر پتانسیل  
اقتصادی آندالوزیت شیست‌ها**

**اساتید راهنما:**

**دکتر خسرو ابراهیمی**

**دکتر سید مسعود همام**

**استاد مشاور:**

**دکتر بهنام رحیمی**

**نگارش:**

**زهرا امیرچخماقی**

**بهار ۱۳۹۰**

## همت‌م بدرقه ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نوسفرم

خداوندا والاترین سپاس، تو راست که به من توان دادی تا این مختصر را که به لطف تو حاصل شده به انجام رسانم و حال از تو می‌خواهم که کرامت خود را افزون نمایی تا آنچه را که نشأت گرفته از احساس و قدرشناسی ام می‌باشد، تقدیم این انسانهای والا و گرانقدر نمایم...

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی **مادر دلسوز و مهربانم** که سجده‌ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامن گهربارش لحظه‌های مهربانی را به من آموخت.

و سپاس بیکران از **خواهران و برادر مهربانم** که همواره و در همه لحظه‌های سخت زندگی مشوق اصلی من بودند تا توانایی‌های خود را در مسیر پرتلاطم هدف والای خود و در به ثمر رساندن آن با موفقیت و سربلندی به پایان برسانم.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است تشکر نمایم از اساتید محترم راهنما جناب آقای **دکتر خسرو ابراهیمی** و جناب آقای **دکتر سید مسعود همام** که با قبول راهنمایی این پژوهش و ارائه طریقه‌های ارزنده منت بر من نهادند. راهنمایی مشفقانه و دلسوزانه ایشان در امر تحصیل در این دانشکده و انجام این پژوهش را همواره به یاد خواهم داشت.

تشکر می‌نمایم از جناب آقای **دکتر بهنام رحیمی** که مشاورت این پروژه را به عهده داشتند و با همکاری بی‌دریغ و فراهم‌سازی شرایط لازم، گام‌های مهمی در مسیر این تحقیق برداشتند.

سپاس بی‌دریغ از اساتید محترم، جناب آقای **دکتر محمد حسین زرین‌کوب** و جناب آقای **دکتر مرتضی رزم‌آرا** که زحمت داوری و بازبینی پایان‌نامه را به عهده داشتند.

سپاس و درود بر دیگر اساتید محترم گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد به ویژه جناب آقای **دکتر سید احمد مظاهری** که در طول این دوره، افتخار شاگردی و کسب دانش و معرفت را از ایشان داشتم.

همچنین از یار و همراه همیشگی‌ام، خانم **فرشته رنجبر** که در این مدت، وجودش گرمابخش لحظات باهم بودنمان بود، سپاسگزاری می‌نمایم.

و تشکر و قدرانی می‌نمایم از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر تصویب این طرح تحقیقاتی، کارشناسان موسسه فرآوری مواد معدنی کرج به جهت انجام آنالیز الکترون میکروپروب و تست فرآوری، آقای حافظی به دلیل مساعدت در تهیه مقاطع نازک و همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

سپاس قلبی خود را با تمام وجود تقدیم عزیزان یاد شده می‌نمایم و برای آنها از درگاه خداوند متعال آرزوی موفقیت و بهرورزی می‌نمایم.

زهرا امیرچخماقی

بهار ۹۰

## تقدیم به:

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی،  
ایستادگی را تجربه نمایم.

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه  
رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

## چکیده

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی  $60^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$ ،  $02^{\circ}$  شرقی و  $26^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$ ،  $30^{\circ}$  شمالی در استان خراسان رضوی، در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد و ۳۵ کیلومتری جنوب شرق فریمان واقع شده و از نظر ساختاری بخشی از زون ایران مرکزی به‌شمار می‌رود.

مطالعات پتروگرافی صورت گرفته بر روی سنگ‌های دگرگونی منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که سنگ اولیه دارای ترکیب متنوع بوده و شامل سنگ‌های پلیتی، کوارتز-فلدسپاتی و کربناته می‌باشد. متاپلیت‌ها که حاصل دگرگونی سنگ‌های پلیتی می‌باشند، بیشترین حجم سنگ‌های دگرگونی منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و شامل کانی‌های آندالوزیت، گارنت، کلدیریت، سیلیمانیت، بیوتیت، مسکویت، کوارتز، پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار می‌باشند. آنالیز فلورسانس پرتو ایکس (XRF) که جهت تعیین ترکیب سنگ منشا انجام گردید، موید منشا آرژیلیتی یا رسی متاپلیت‌های منطقه می‌باشد. تنوع کانی‌شناسی این سنگ‌ها نیز با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) مورد تایید قرار گرفت. طی بررسی‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی بر روی مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌های منطقه قنداب حاکی از آن است که شیست‌های منطقه در امتداد شمال شرق - جنوب غرب افزایش درجه دگرگونی را نشان می‌دهند. بر این اساس حداکثر درجه دگرگونی منطقه در حد رخساره آمفیبولیت بوده و زون‌های آن شامل آندالوزیت-سیلیمانیت و سیلیمانیت فوقانی می‌باشد.

نتایج آنالیز نقطه‌ای الکترون مایکروپروب که به منظور بررسی شیمی کانی و همچنین ارزیابی دما و فشار تشکیل سنگ‌ها صورت گرفته، نشان می‌دهد که گارنت و پلاژیوکلازهای ناحیه هموزن بوده و به ترتیب دارای ترکیب آلماندین - اسپسارتین و الیگوکلاز - آندزین می‌باشند. ترکیب بیوتیت نیز در حد آنیت می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از این آنالیز و تعیین اکتیویته اعضای نهایی کانی‌ها به کمک برنامه ترموکالک، دما و فشار سنگ‌های دگرگونی معادل  $664^{\circ}\text{C}$  و  $2/5$  Kbar برآورد گردید. از مجموع مطالعات انجام شده در منطقه چنین نتیجه می‌شود که منطقه تحت‌تاثیر دگرگونی مجاورتی در مقیاس ناحیه‌ای و از نوع فشار پایین - حرارت بالا واقع شده است.

با انجام عملیات کانه‌آرایی به روش تست مایعات سنگین و مغناطیس خشک با شدت بالا بر روی آندالوزیت‌های موجود در متاپلیت‌های منطقه، میزان آلومینای ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) موجود در سنگ (به‌عنوان مهمترین پارامتر کنترل‌کننده درجه دیرگدازی)، از ۱۸ درصد به بیش از ۵۴ درصد افزایش یافته است. نتایج این تحقیق حاکی از امکان تولید فرآورده‌های دیرگداز اسیدی از ماده معدنی آندالوزیت فریمان می‌باشد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: کلیات</b>
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- موقعیت جغرافیایی
۲	۳-۱- راه‌های ارتباطی
۶	۴-۱- آب و هوا و جغرافیای انسانی
۶	۵-۱- ژئومورفولوژی
۶	۶-۱- تاریخچه مطالعات قبلی
۷	۷-۱- اهداف مطالعه
۸	۸-۱- روش‌های مطالعاتی
۹	۹-۱- فصل‌بندی نگارش پایان‌نامه
۱۰	خلاصه فصل اول
	<b>فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی منطقه</b>
۱۲	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه
۱۳	۳-۲- پیکره‌های سنگی منطقه
۱۳	۱-۳-۲- واحدهای رسوبی
۱۴	الف) واحدهای آهکی اربیتولین‌دار کرتاسه زیرین
۱۴	ب: واحد کنگلومرایبی - ماسه سنگی قرمز رنگ پالئوسن
۱۴	ج: واحد رسوبی و رسوبی - آتشفشانی ائوسن
۱۵	۲-۳-۲- پیکره‌های آذرین
۱۵	۳-۳-۲- پیکره‌های دگرگونی
۱۵	الف: آندالوزیت گارنت شیبست
۱۶	ب: سنگ‌های شبه گنیسی
۱۶	ج: کمپلکس سبیک
۱۶	د: دولومیت‌های دگرگون‌شده
۱۸	۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه
۱۹	خلاصه فصل دوم
	<b>فصل سوم: پتروگرافی</b>
۲۱	۱-۳- مقدمه
۲۱	۲-۳- ویژگی‌های پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی منطقه
۲۳	۳-۳- سنگ‌های متاپلیتی
۳۶	۴-۳- شیبست‌های پسامیتی (کوارتز - فلدسپاتی)
۳۶	۱-۴-۳- کوارتزیت
۳۶	۲-۴-۳- شیبست‌های کوارتز-فلدسپاتی
۳۸	۵-۳- مرمرها

## فصل چهارم: کانی‌شناسی و ژئوشیمی

۴۲	۱-۴- مقدمه
۴۲	شیمی سنگ
۴۲	۲-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش XRF
۴۵	۳-۴- کاربرد نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها بر روی نمودارها
۴۵	۱-۳-۴- نمودار دولاروش (۱۹۶۶)
۴۵	۲-۳-۴- نمودار ACF و A'FK و وینکلر (۱۹۷۱)
۴۷	۳-۳-۴- نمودار گارلس و مکنزی (۱۹۷۳)
۴۷	۴-۳-۴- نمودار هرون (۱۹۸۸)
۴۸	۴-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش XRD
۴۸	۱-۴-۴- بررسی نتایج حاصل از آنالیز XRD
۵۳	شیمی کانی
۵۳	۵-۴- آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA)
۶۹	خلاصه فصل چهارم

## فصل پنجم: رخساره‌ها، ژئوترموبارومتري و واکنش‌های دگرگونی

۷۱	۱-۵- رخساره دگرگونی
۷۱	۲-۵- سری رخساره‌ای
۷۳	۱-۲-۵- دگرگونی در شیب صحرائی دگرگونی (MFG) متوسط : توالی باروین
۷۴	۲-۲-۵- دگرگونی در شیب صحرائی دگرگونی (MFG) بالا- فشار پایین
۷۵	۳-۲-۵- دگرگونی در توالی های MFG پایین- فشار بالا
۷۶	۴-۲-۵- دگرگونی فشار بسیار بالا UHP
۷۶	۳-۵- پتروگرافی دگرگونی ناحیه‌ای پیشرونده فشار پایین- حرارت بالا
۷۸	۴-۵- واکنش‌های دگرگونی
۸۲	۵-۵- ژئوترموبارومتري
۸۸	۶-۵- موقعیت تکتونیکی سنگهای دگرگونی منطقه مورد مطالعه
۸۸	۱-۶-۵- دگرگونی فشار پایین (گرادیان ابوکوما)
۹۰	خلاصه فصل پنجم

## فصل ششم: فرآوری

۹۲	۱-۶- مقدمه
۹۲	۲-۶- کاربرد آندالوزیت به عنوان یک کانی دیرگداز
۹۳	۳-۶- مراحل فرآوری
۹۳	۱-۳-۶- مطالعات شیمیایی و کانی‌شناختی
۹۳	الف: مطالعات میکروسکوپی
۹۳	ب: نتایج مطالعات پراش پرتو ایکس (XRD)

۹۹	ج: نتایج آنالیز شیمیایی به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)
۱۰۰	۲-۳-۶- فرآوری آندالوزیت
۱۰۰	۱-۲-۳-۶- آماده سازی و دانه بندی نمونه
۱۰۲	۲-۲-۳-۶- مطالعات تعیین درجه آزادی
۱۰۵	۳-۲-۳-۶- جداسازی توسط مایع سنگین (HEAVY MEDIA SEP.)
۱۰۷	۴-۲-۳-۶- جداسازی به روش مغناطیسی
۱۱۱	۴-۶- بحث و نتیجه گیری مبحث فرآوری
۱۱۵	۵-۶- مقایسه آندالوزیت شیبست فریمان با مناطق آندالوزیت دار جنوب خراسان
۱۱۶	۶-۶- مقایسه اکسیدهای اصلی در آندالوزیت فرآوری شده فریمان با آندالوزیت فرآوری شده در سایر نقاط دنیا
۱۱۷	خلاصه فصل ششم

### فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۱۹	نتیجه گیری
۱۲۱	پیشنهادات
	فهرست منابع
۱۲۳	منابع



# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان فریمان واقع شده است. این منطقه دارای روند کلی شمال غرب - جنوب شرقی می‌باشد و عمدتاً نواحی کوهستانی و مرتفع را دربرمی‌گیرد. منطقه مورد نظر از لحاظ زمین‌شناسی در شمال شرق خرد قاره ایران مرکزی و شمال گسل درونه (گسل کویر) واقع گردیده است (نبوی، ۱۳۵۵ و افتخارنژاد، ۱۹۸۰). سنگ‌های منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی، آهک و کنگلومرا می‌باشد که از این میان سنگ‌های دگرگونی (آندالوزیت شیبست‌ها) بیشترین حجم سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند.

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت جام و تربت حیدریه و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کاریزنو (بائوبی گرامونت و همکاران، ۱۹۷۹) قرار گرفته است. شکل ۱-۱، بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کاریزنو که محدوده مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد، را نشان می‌دهد. به منظور تجسم بهتر منطقه مطالعاتی، در شکل (۲-۱) تصویر ماهواره‌ای محدوده فوق‌الذکر آورده شده است.

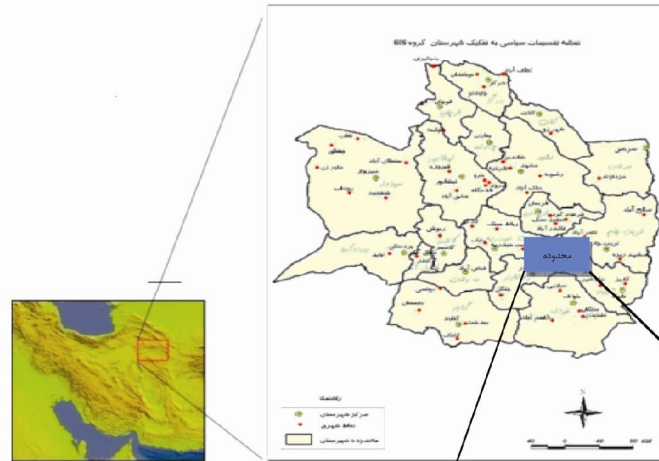
شایان ذکر است که منطقه مذکور به علت دارا بودن آندالوزیت، کوارتزیت، دولومیت و باریت دارای پتانسیل معدنی می‌باشد.

## ۲-۱- موقعیت جغرافیایی

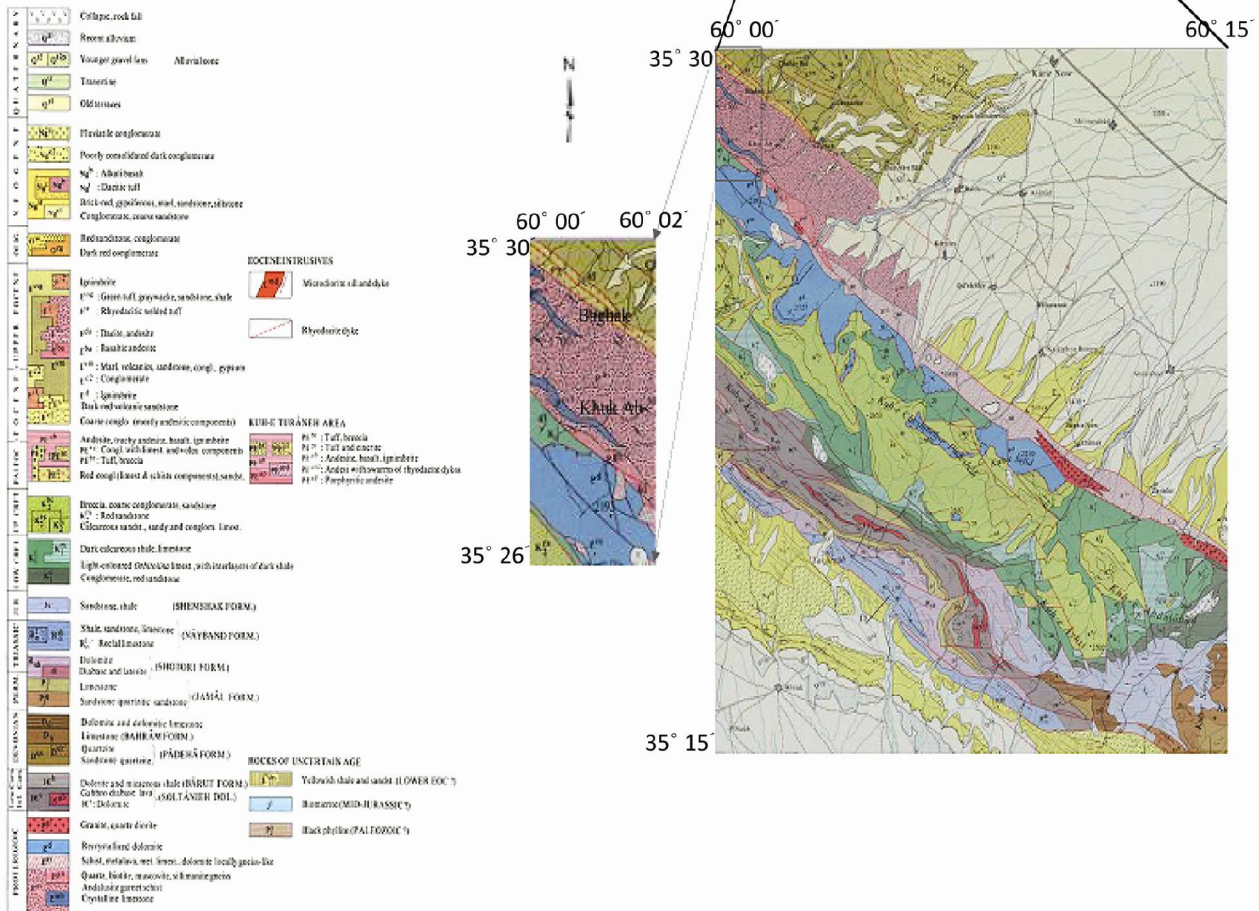
منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی  $60^{\circ}$  تا  $60^{\circ} 02'$  شرقی و  $35^{\circ}$  تا  $35^{\circ} 30'$  شمالی، در ۲۵ کیلومتری جنوب غرب کاریزنو قرار گرفته و وسعتی در حدود ۲۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۳-۱) مشاهده می‌شود منطقه مطالعاتی از نظر ساختاری، بخشی از زون ایران مرکزی به شمار می‌آید (علوی ۱۹۹۱، آقناباتی ۱۳۸۳، نبوی ۱۳۵۵، اشتوکلین ۱۹۶۸ و ۱۹۸۷). از روستاهای مهم منطقه می‌توان به قنداب، باغک و قلندرآباد اشاره نمود.

## ۳-۱- راه‌های ارتباطی

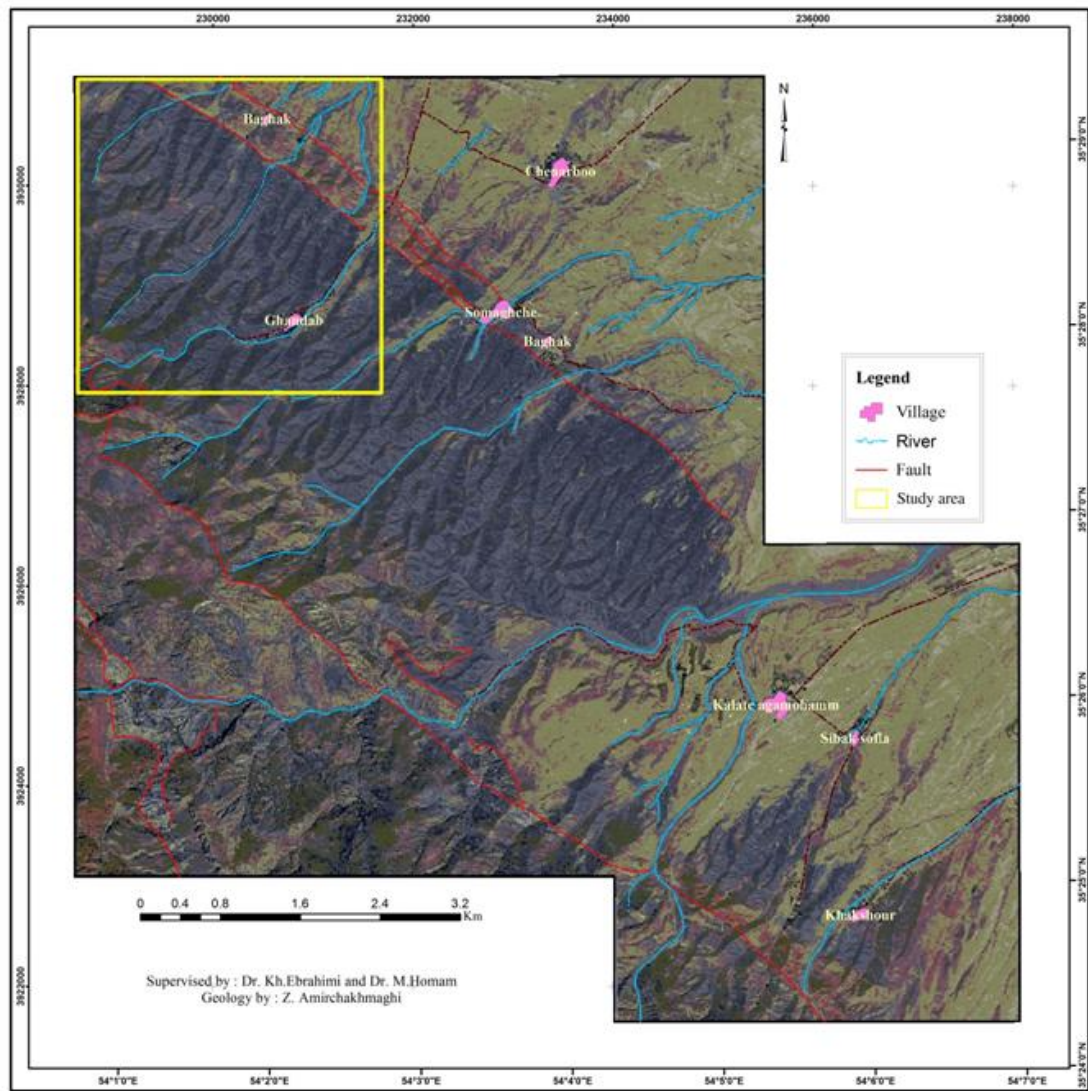
از طریق جاده اصلی فریمان - تربت جام می‌توان به منطقه مورد مطالعه دسترسی پیدا کرد. به واسطه این راه می‌توان به روستاهای شوراب، رخنه، قنداب، باغک و قلندرآباد دسترسی یافت. در ضمن از مسیر ارتباطی آسفالتی فریمان - تربت جام، یک جاده فرعی خاکی به سمت جنوب روستای قنداب (به طول ۲۵ کیلومتر) جدا می‌شود که در ادامه به منطقه مورد نظر منتهی می‌گردد. عمده راه‌های ارتباطی منطقه از نوع خاکی - شنی درجه دو می‌باشد که در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



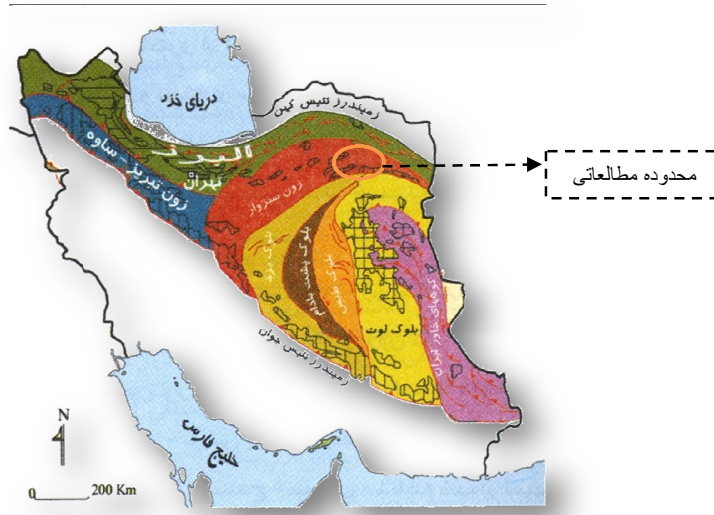
LEGEND



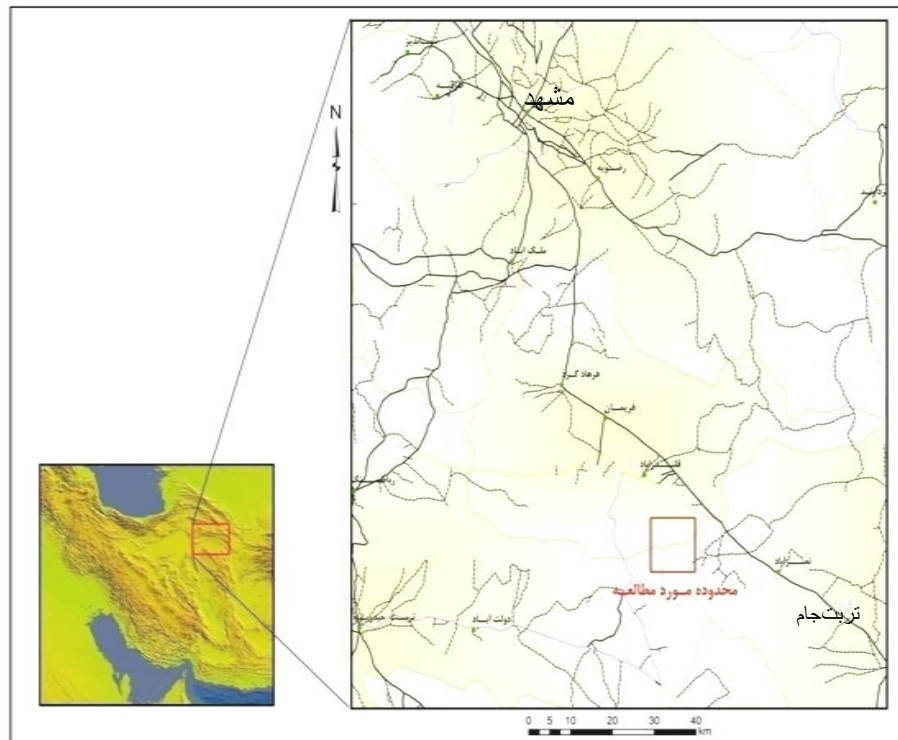
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰: کاریز نو، باثوبی و همکاران، ۱۹۷۹)



شکل ۱-۲: تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه (کادر زرد رنگ محدوده مطالعاتی را نشان میدهد).



شکل ۱-۳: زیر پهنه های ایران مرکزی و موقعیت بلوک سبزوار از دیدگاه علوی (۱۹۹۱)



شکل ۱-۴: کروکی راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۱- آب و هوا و جغرافیای انسانی

محدوده مورد مطالعه (واقع در شرق شهرستان فریمان) از لحاظ آب و هوایی، جزء مناطق کوهستانی به شمار می‌آید و دارای تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد است. این منطقه جزء اقلیم‌های مدیترانه‌ای گرم و خشک می‌باشد و حداقل دما به  $15^{\circ}\text{C}$  - و حداکثر آن به  $30^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. پوشش گیاهی ناحیه مورد مطالعه به بوته‌ها و درختچه‌های کوتاه محدود می‌شود که در مقابل خشکی مقاوم می‌باشند. همچنین وجود مراتع و چراگاه‌های پراکنده جهت چرای دام، وجود رطوبت و درجه حرارت نسبتاً مناسب و میزان بارندگی بیشتر، نسبت به اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی، از خصوصیات بارز این اقلیم محسوب می‌شود.

#### ۵-۱- ژئومورفولوژی

ژئومورفولوژی منطقه متأثر از آب و هوا، جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی است. به طور کلی محدوده مورد مطالعه دارای توپوگرافی متغیری است به نحوی که اختلاف ارتفاع بلندترین و پست‌ترین بخش منطقه به حدود ۲۰۰۰ متر می‌رسد (افزایش ارتفاع در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه مشهود می‌باشد). قله دولومیتی کیلاق با ارتفاع ۲۹۶۵ متر، بلندترین نقطه در منطقه می‌باشد، در حالی که شیست‌های منطقه در قیاس با آهک‌ها و توده‌های نفوذی از ارتفاع کمتری برخوردارند. در ضمن در قسمتی از منطقه (شمال منطقه) در مجاورت شیست‌ها، کنگلومرای قرمزرنگی با مرز گسله مشاهده می‌شود که از نظر ارتفاعی تقریباً با شیست‌ها یکسان است. رسوبات آبراه‌ای و آبرفتی و تراست‌های قدیمی، مناطق کم‌ارتفاع و پست را به خود اختصاص می‌دهند. از مهمترین رودخانه‌های موسمی منطقه، جام رود است که پس از مشروب کردن دشت فریمان و تربت‌جام به هریرود می‌ریزد. سایر رودخانه‌های منطقه عبارتند از رودخانه فریمان، سنگ بست، قلندرآباد و بردو. رودخانه قلندرآباد از بلندی‌های کله منار سرچشمه می‌گیرد و سیلاب آن وارد رودخانه جام‌رود می‌گردد. حداکثر و حداقل حجم جریان سالانه آب این رودخانه در محل ایستگاه کلاته رحمان به ترتیب ۳۱ و ۹ میلیون متر مکعب گزارش شده است. رودخانه بردو از ارتفاعات کیلاق واقع در غرب شهرستان تربت‌جام سرچشمه می‌گیرد. وسعت حوضه آبریز این رودخانه تا محل ایستگاه بردو، ۴۸ کیلومترمربع و حجم آب سالانه آن به طور متوسط ۱۵ میلیون مترمکعب است (واعظی‌پور و همکاران، ۱۳۶۲).

#### ۶-۱- تاریخچه مطالعات قبلی

مطالعات قبلی انجام شده بر روی مجموعه دگرگونی جنوب شرق فریمان کلی بوده و به‌خصوص در زمینه مباحث پترولوژیکی، جزئیات شرایط دگرگونی منطقه مورد توجه قرار نگرفته است؛ لذا باید ویژگی‌های سنگ‌شناختی و پتروژنز سنگ‌های موجود در ناحیه به صورت دقیق‌تر و جامع‌تر مورد بررسی قرار گیرد. از جمله مطالعات زمین‌شناسی که بر روی سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد نظر (منطقه فریمان) انجام گرفته، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بائوبی گرامونت و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۷۹)، زمین‌شناسی و پترولوژی منطقه را جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاربزنو مورد بررسی قرار داده‌اند. افتخارنژاد، علوی نائینی و بهروزی (۱۹۸۳)، طی بررسی‌های مجدد منطقه، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قبلی را اصلاح کرده و نقشه جدیدی را ارائه نمودند.

1. X. Boubee de Gramont et al.

- قدیمی ترین مطالعات منطقه توسط واعظی پور، خلقی و علوی نائینی (۱۳۶۲) صورت گرفته است که زمین شناسی ناحیه فریمان- ژرف و سنگ های دگرگونی قسمت هایی از شمال شرق ایران را مورد بررسی و مطالعه قرار داده اند. در این گزارش، در جنوب شرقی روستای قلندرآباد (واقع در ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی فریمان) مقطع نسبتاً کاملی از سنگ های دگرگون شده در امتداد شمال غرب - جنوب شرق معرفی شده که منطقه مورد مطالعه نیز در همین سری واقع شده است.

- بهمن شیرزاده (۱۳۸۱) در مطالعات خود در زمینه اکتشاف مقدماتی آندالوزیت های شرق فریمان، سنگ های دگرگونی منطقه را نیز مورد توجه قرار داده است. وی با تکیه بر شواهد کانی شناسی و بافتی، دگرگونی در منطقه را از نوع فشار پایین (ابوکوما) و در حد رخساره آمفیبولیت تشخیص داده است. شیرزاده با انجام عملیات آزمایشگاهی فرآوری بر روی آندالوزیت اظهار داشته:

الف: عیارسنجی نمونه های منطقه فریمان با استفاده از تجزیه گر تصویری، نمایانگر وجود عیار متوسط ۱۱/۹ درصد آندالوزیت (با بیشینه ۲۷/۳ درصد) است.

ب: نتایج مطالعات ژئوشیمی قبل و بعد از فرآوری مقدماتی نشان از افزایش مقدار آلومینا از حدود ۱۳ درصد در کانسنگ اولیه تا حدود ۵۱ درصد در نمونه فرآوری شده (نمونه بلوری) و همچنین کاهش  $\text{SiO}_2$  از ۶۶ درصد در نمونه های کلی به حدود ۴۷ درصد در نمونه های فرآوری شده دارد.

ج: فرآوری ماده معدنی، در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از جدایش ثقلی (واسطه سنگین) صورت گرفته و نتایج این بررسی ها بیانگر موفقیت این روش برای دانه بندی (+۵۰-۱۴) مش و مایع سنگین با جرم مخصوص ۲/۹ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.

- سمیه صفراپی (۱۳۸۶) پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های دگرگونی جنوب شرق فریمان را مورد بررسی دقیق تر قرار داده است. وی با مشاهده توده های نفوذی در منطقه و بر اساس مجموعه کانی شناسی و روابط زمینه - پورفایروبلاست نتیجه گرفته که سنگ های منطقه علاوه بر دگرگونی مجاورتی حاصل از تزریق توده های نفوذی، تحت تاثیر دگرگونی ناحیه ای نیز قرار گرفته اند. وی بر مبنای مجموعه کانی شناسی، زون های دگرگونی منطقه را تفکیک و واکنش هایی را برای ظهور و گسترش کانی ها پیشنهاد کرده است. بر این اساس، نامبرده حداکثر درجه دگرگونی ناحیه ای را در حد رخساره آمفیبولیت و درجه دگرگونی مجاورتی را در حد رخساره هورنبلند هورنفلس و پیروکسن هورنفلس و از گروه فشار پائین در نظر گرفته است. وی فشار دگرگونی مجاورتی را کمتر از ۴ Kbar و دمای آن را  $400^{\circ}\text{C}$  تا  $600^{\circ}\text{C}$  تعیین نموده است. به عقیده صفراپی، نفوذ توده باعث محو آثار دگرگونی ناحیه ای در سنگ های مجاور این توده و تشکیل هاله دگرگونی شده است که زون های آن شامل آندالوزیت، کردیریت، سیلیمانیت و سیلیمانیت فوقانی می باشد. در ضمن در مجاورت توده نفوذی، سنگ ها اثری از ذوب موضعی نشان می دهند که این امر مبین آن است که این سنگ ها استعداد ذوب بخشی و تشکیل ماگماهایی با ترکیب گرانیتوئیدی داشته اند.

#### ۱-۷- اهداف مطالعه

این مطالعه به منظور بررسی دقیق ویژگی های سنگ شناسی و ژئوشیمیایی سنگ های منطقه، نحوه گسترش زون های دگرگونی، توزیع ایزوگرادها و تعیین ترکیب شیمیایی کانی های دگرگونی صورت گرفته است. لذا مطالعه دقیق و جامع پترولوژیکی سنگ های دگرگونی منطقه (به ویژه آندالوزیت شیبست ها) می تواند مکمل اطلاعات موجود در خصوص

- سرگذشت زمین‌شناسی و نحوه دگرگونی حاکم بر ایران و به ویژه این بخش از ایران مرکزی در خلال دوره زمانی پروتروزوئیک باشد. در همین راستا اهداف زیر دنبال گردیده است:
- بررسی روابط صحرائی بین واحدهای سنگی موجود از لحاظ سنی و ساختاری
  - تعیین شرایط دگرگونی، تخمین دما و فشار تشکیل سنگ (ژئوترموبارومتری) در سنگ‌های دگرگونی موردنظر
  - بررسی پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد مطالعه
  - بررسی ماهیت ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه
  - رفع نواقص و تکمیل مطالعات انجام شده و کمک به تهیه نقشه زمین‌شناسی و اصلاح نقشه‌های تهیه شده قبلی
  - شناخت پتانسیل‌های معدنی ممکن
- از آن جا که تعمیم نتایج حاصل از این تحقیق در بررسی تحولات دگرگونی این بخش از زون ایران مرکزی حائز اهمیت است، لذا سعی شده است تا با اتکا بر بازدیدهای صحرائی، پتروگرافی دقیق سنگ‌ها، آنالیزهای شیمیایی و الکترون مایکروپروب، نحوه تشکیل سنگ‌های دگرگونی منطقه (از نظر شرایط دما و فشار) تا حد امکان مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۸-۱- روش‌های مطالعاتی

- سلسله اقداماتی که برای دستیابی به اهداف این رساله صورت گرفته، به شرح ذیل می‌باشد:
- استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه راه‌های ارتباطی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه
  - مطالعه و بررسی مطالعات قبلی
  - عملیات صحرائی، پیمایش و نمونه برداری از واحدهای سنگی، تهیه مقاطع نازک و انجام آنالیزهای شیمیایی و مایکروپروب از نمونه‌های منتخب
  - تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی توسط نرم‌افزارهای مختلف از جمله GCDkit و Triplot
  - جمع‌بندی اطلاعات و داده‌های به دست آمده و مقایسه آن‌ها با مناطق مشابه
  - جهت دستیابی به اهداف مذکور، منطقه مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی و نمونه برداری قرار گرفت. نمونه برداری‌ها به صورت عرضی و عمده‌تا در خط‌الراس ارتفاعات و همچنین در دامنه‌ها و به صورت غیرسیستماتیک انجام گرفت و در مجموع ۸۰ نمونه جمع‌آوری گردید. سپس تعداد ۶۰ مقطع نازک از نمونه‌های برداشت شده. برای بررسی‌های سنگ‌شناختی تهیه شد. به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی، دو نمونه از سنگ‌های منطقه توسط موسسه تحقیقات پیشرفته مواد معدنی ایران تحت آنالیز الکترون مایکروپروب قرار گرفت. همچنین پنج نمونه به روش‌های XRF و XRD در دانشگاه دامغان آنالیز شد. علاوه بر آن، حدود ۱۰۰ کیلوگرم از زون پرعیار آندالوزیت جهت انجام عملیات فرآوری به موسسه تحقیقات پیشرفته مواد معدنی ایران (کرج) ارسال گردید.
  - نتایج حاصل از مشاهدات صحرائی، پتروگرافی و آنالیز نمونه‌ها به روش‌های مختلف پردازش و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و حاصل تلفیق داده‌ها، مجموعه‌ای است که به صورت این تحقیق ارائه گردیده است.



## ۱-۹- فصل بندی نگارش پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر ۷ فصل می باشد:

پس از بیان مقدمه، ضرورت، اهداف و روش های انجام این تحقیق در فصل اول، زمین شناسی عمومی و ساختمانی منطقه در فصل دوم مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم، ویژگی های پتروگرافی سنگ های دگرگونی منطقه توصیف شده و فصل چهارم به کانی شناسی و ژئوشیمی متاپلیت های منطقه اختصاص یافته است. واکنش های دگرگونی و شرایط دمایی و فشاری تشکیل سنگ های دگرگونی منطقه مطالعاتی در فصل پنجم بررسی شده است. با توجه به خصوصیت دیرگدازی کانی آندالوزیت و به منظور بررسی جنبه های اقتصادی این کانی، در فصل ششم روش فرآوری آندالوزیت بیان شده و در نهایت، در فصل هفتم، ضمن جمع بندی نتایج و نتیجه گیری کلی، پیشنهاداتی در جهت گسترش و تکمیل تحقیق حاضر ارائه شده است.

## خلاصه فصل اول

منطقه مورد مطالعه در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان فریمان واقع شده و از نظر ساختاری جزء زون ایران مرکزی می‌باشد.

با توجه به این‌که اکثر مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه جنبه اقتصادی داشته و کمتر مورد مطالعات پترولوژیکی قرار گرفته، لذا این تحقیق با اهداف بررسی روابط صحرایی بین واحدهای سنگی موجود از لحاظ سنی و ساختاری، تعیین شرایط دگرگونی، تخمین دما و فشار تشکیل سنگ (ژئوترموبارومتری)، بررسی پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های دگرگونی منطقه و شناخت پتانسیل‌های معدنی آن صورت گرفته است.

جهت تحقق اهداف فوق‌الذکر، پس از انجام بازدید صحرایی و نمونه‌برداری غیرسیستماتیک از سنگ‌های دگرگونی منطقه، مطالعات و آنالیزهای لازم به شرح زیر صورت گرفت:

- مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی با استفاده از ۶۰ مقطع نازک تهیه شده از متاپلیت‌های ناحیه
- بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی توسط آنالیزهای XRD و XRF چهار نمونه از متاپلیت‌های منطقه قنداب در دانشگاه دامغان و آنالیز الکترون میکروپروب دو نمونه از سنگ‌های دگرگونی منطقه در موسسه تحقیقات پیشرفته مواد معدنی ایران (کرج)
- انجام عملیات فرآوری بر روی کانی آندالوزیت در موسسه تحقیقات پیشرفته مواد معدنی ایران (کرج)

# فصل دوم

زمین‌شناسی عمومی منطقه

## ۲-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاریزنو، در جنوب شرقی شهرستان‌های مشهد و فریمان قرار دارد. در راستای این مطالعه سنگ‌های دگرگونی پروتروزوئیک واقع در غرب و شمال غرب روستای قنداب، در گوشه شمال غرب نقشه زمین‌شناسی کاریزنو مورد بررسی قرار گرفته است.

منطقه قنداب به لحاظ موقعیت زمین‌شناسی، از تنوع سنگ‌شناسی برخوردار است و شامل سنگ‌های دگرگونی، آذرین و رسوبی می‌باشد. بررسی‌های این تحقیق عمدتاً بر روی سنگ‌های دگرگونی از نوع میکاشیست‌های حاوی بلورهای نسبتاً درشت آندالوزیت (آندالوزیت شیبست‌ها) غرب قنداب صورت گرفته است. از این مجموعه به عنوان زون آندالوزیت‌دار نام برده می‌شود که دارای مرز شمالی گسله با کنگلومرای قرمز رنگ پالئوسن و مرز شرقی گسله با آندزیت‌های پورفیری پالئوسن می‌باشد. همچنین در مرز جنوبی نیز به صورت همبندی با سنگ‌های رسوبی (آهک‌ها و دولومیت‌ها) قرار دارد. در این فصل سعی می‌کنیم که ویژگی‌های صحرایی سنگ‌های دگرگونی و توده‌های نفوذی مجاور آنها و همچنین سنگ‌های رسوبی منطقه را مورد بررسی قرار دهیم.

## ۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

از نظر موقعیت زمین‌شناسی و تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران، ناحیه مطالعاتی جزء ایران مرکزی به شمار می‌رود (نبوی، ۱۳۵۵ و افتخارنژاد، ۱۹۷۶). ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که در مرکز ایران قرار داشته و از بزرگترین و پیچیده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود. در این واحد، از قدیمی‌ترین سنگ‌های دگرگون‌شده (پرکامبرین) تا آتشفشان‌های فعال و نیمه فعال امروزی وجود دارد. در واقع این منطقه را می‌توان قدیمی‌ترین خرد قاره در ایران دانست که حوادث زمین‌شناسی فراوانی را پشت سر گذاشته است.

منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی خرد قاره ایران مرکزی و در شمال گسل درونه (گسل کویر) قرار دارد. بر اساس نوشته لیدنبرگ و جاکوبس هاگن (۱۹۸۳)، سه واحد ژئوتکتونیک در شمال شرق ایران مرکزی قابل تشخیص است که عبارتند از بلوک لوت، زون تکنار و زون سبزوار. منطقه مطالعاتی با توجه به مختصات جغرافیایی، در زون سبزوار و مرز گسل تکنار قرار دارد. زون سبزوار همسایه شمالی زون تکنار بوده و مرز بین آنها را گسل تکنار تشکیل داده است. وجود رسوبات ولکانوپلاژیک و سنگ‌های افیولیتی در زون سبزوار، حاکی از یک فاز اقیانوس‌زایی در کرتاسه بالایی است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط بائوبی گرامونت و همکاران (۱۹۷۹) در منطقه مذکور، فرایندهای تکتونیک و دگرگونی، طی کوهزایی آسنیتیک پسین (کاتانگائی)، منجر به تشکیل مجموعه دگرگونی شیبست‌های آندالوزیت‌دار در پرکامبرین و آغاز پروتروزوئیک شده است. سپس در طی پروتروزوئیک تا اینفراکامبرین، تشکیلات رسوبی، آتشفشانی، دولومیتی و توده‌های نفوذی (از نوع گرانیتوئیدی) که همگی بعدها و به مرور زمان دچار دگرگونی شده‌اند، تشکیل گردیده است. در اینفراکامبرین و کامبرین زیرین، حوضه‌ای رسوبی ایجاد شده است که رسوبات دولومیتی چرتی، شیل و ماسه سنگ در آن ته‌نشین شده‌اند. در پالئوزوئیک به دلیل حرکات خشکی‌زایی، تا دوره پرمین هیچ‌گونه رسوب‌گذاری صورت نگرفته است ولی در پرمین، آهک‌های سیاه رنگی به صورت هم‌شیب روی تشکیلات قبلی را می‌پوشاند. همه سازندها و تشکیلات پالئوزوئیک، تا تریاس زیرین تا میانی، توسط فاز کوهزایی سیمیرین پیشین دچار چین‌خوردگی شده‌اند.