



دانشگاه بیرجند

دانشکده علوم

گروه زمین شناسی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی

گرایش پترولوژی

عنوان:

مطالعه زمین شناسی، دگرسانی و پترولوژی سنگ های آذرین

شرق مود (جنوب شرق بیرجند)

استاد راهنما :

دکتر سید سعید محمدی

استاد مشاور:

دکتر محمدحسین زرین کوب

نگارش:

محمد پارسایی

تابستان ۱۳۹۱

چکیده:

منطقه مورد مطالعه در ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی بیرجند و در موقعیت طول‌های جغرافیایی "۴۹' ۳۱' ۵۹° تا - " ۲۹' ۴۱' ۵۹° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۱۴' ۳۹' ۳۲° تا "۱۹' ۴۳' ۳۲° شمالی در نزدیکی شهر مود در استان خراسان جنوبی واقع شده است. از دیدگاه تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری ایران این منطقه در مرز بین دو پهنه ساختاری سیستان و لوت قرار گرفته است. واحدهای سنگی (آذرین) مورد نظر در محدوده الیوین بازالت، آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت و آندزیت قرار می‌گیرند و از واحدهای آذرآواری می‌توان به توف، برش و آگلومرا اشاره کرد. ساخت عمده در سنگ‌ها، توده‌ای است. بافت غالب در نمونه‌ها، پورفیری، جریانی و گلوپورفیری است. بافت کانایی شامل بافت غربالی می‌باشد. فنوکریست‌های الیوین بازالت شامل الیوین (ایدینگزیتی شده)، پیروکسن و پلاژیوکلاز، فنوکریست‌های آندزیت بازالتی شامل پلاژیوکلاز با بافت غربالی، پیروکسن، الیوین و آمفیبول، فنوکریست‌های پیروکسن آندزیت شامل پیروکسن و پلاژیوکلاز، فنوکریست‌های آندزیت شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول (هورنبلند سوخته) و بیوتیت با حاشیه سوخته می‌باشد. دگرسانی مشاهده شده در این نمونه‌ها پروپلیتیک، سریسیتی شدن، کربناتی شدن، اپاسیتی شدن، ایدینگزیتی شدن و بنتونیتی شدن است. سری ماگمایی کالک آلکالن، درصد بالای SiO_2 ، شواهد بافتی و نسبت‌های برخی از عناصر فرعی و اصلی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، از نوع کوهزایی و حاشیه فعال قاره‌ای هستند. سنگ‌های آتشفشانی دارای نسبت بالایی از LREE/HREE، تهی‌شدگی در عناصر Ti و Nb و غنی‌شدگی در Th نشان می‌دهند. شواهد ژئوشیمیایی نظیر Ba/Th در مقابل Th/Nb و همچنین نسبت بالای Ba/Zr نشان می‌دهد که آلودگی مهم‌ترین پدیده در تحول ماگما در منطقه مورد مطالعه است. درصد بالای پتاسیم می‌تواند دلیل بر آرایش پوسته‌ای آنها باشد. ماگمای سازنده سنگ‌های گدازه‌ای در منطقه می‌تواند یک ماگمای مرتبط با کمان ماگمایی زون فرورانش باشد که از گوشته سرچشمه گرفته و با مواد پوسته‌ای آرایش یافته است.

واژگان کلیدی: مود، ژئوشیمی، آندزیت، کالک آلکالن، حاشیه فعال قاره‌ای، شرق ایران.

فهرست

فصل اول: کلیات

عنوان	صفحه
۱-۱	۱
مقدمه.....	۱
۲-۱ اهداف.....	۱
۳-۱ فرضیات.....	۲
۴-۱ ضرورت تحقیق.....	۲
۵-۱ روش مطالعه و تحقیق.....	۲
۶-۱ مطالعات انجام شده قبلی در منطقه مورد مطالعه.....	۳
۷-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.....	۷
۸-۱ آب و هوا و ژئومورفولوژی.....	۸
۹-۱ جنبه جدید بودن و نوآوری طرح.....	۸

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای

۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ جایگاه زمین‌شناسی ایران در نوار چین خورده آلپ - هیمالیا (آقاناتی، ۱۳۸۳).....	۱۰
۳-۲ تقسیم بندی واحدهای زمین‌شناختی و ساختمانی ایران از دیدگاه‌های مختلف.....	۱۲
۴-۲ موقعیت زمین‌شناختی شرق ایران.....	۱۴
۵-۲ ایالت ساختاری لوت.....	۱۵
۶-۲ ماگماتیسم لوت.....	۱۶
۷-۲ ایالت ساختاری سیستان.....	۱۷
۱-۷-۲ زمین‌درز سیستان.....	۱۷
۲-۷-۲ زمین‌شناسی زیر پهنه سیستان.....	۲۳
۳-۷-۲ ماگماتیسم زیر پهنه سیستان.....	۲۴

۲۵	۴-۷-۲ سیمای ساختاری زیر پهنه سیستان.....
۲۵	۵-۷-۲ چین ها.....
۲۶	۶-۷-۲ گسل ها.....
۲۷	۸-۲ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۲۹	۱-۸-۲ سنگ های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه.....
۲۹	۱-۱-۸-۲ الیوین بازالت.....
۳۰	۲-۱-۸-۲ آندزیت بازالتی.....
۳۱	۳-۱-۸-۲ پیروکسن آندزیت.....
۳۲	۴-۱-۸-۲ آندزیت.....
۳۲	۲-۸-۲ سنگ های آذر آواری.....
۳۳	۱-۲-۸-۲ واحد توفی.....
۳۴	۲-۲-۸-۲ آگلومرا و برش آتشفشانی.....
۳۵	۳-۸-۲ واحدهای غیر آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه.....
۳۵	۱-۳-۸-۲ رسوبات فلیش.....
۳۵	۲-۳-۸-۲ نهشته های کواترنر.....

فصل سوم: پتروگرافی

۳۷	۱-۳ مقدمه.....
۳۷	۲-۳ پتروگرافی سنگ های آذرین منطقه.....
۳۷	۱-۲-۳ اولیوین بازالت.....
۳۸	۱-۱-۲-۳ دگرسانی اولیوین ها.....
۴۱	۲-۲-۳ آندزیت بازالتی.....
۴۳	۱-۲-۲-۳ بافت های غربالی.....
۴۶	۳-۲-۳ پیروکسن آندزیت ها.....
۴۸	۴-۲-۳ آندزیت ها.....
۵۱	۳-۳ پتروگرافی سنگ های آذرآواری منطقه.....
۵۲	۱-۳-۳ توف.....

۵۲.....	۲-۳-۳ آگلومراس
۵۳.....	۳-۳-۳ برش‌های آتشفشانی
۵۳.....	۵-۳ نتیجه گیری

فصل چهارم: ژئوشیمی

۵۵.....	۱-۴ مقدمه
۶۰.....	۲-۴ نامگذاری شیمیایی سنگ‌ها
۶۰.....	۱-۲-۴ نمودار درصد وزنی Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (کاکس و همکاران، ۱۹۷۹)
۶۱.....	۲-۲-۴ نمودار درصد وزنی Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (لی باس و دیگران، ۱۹۸۶)
۶۲.....	۳-۲-۴ نمودار مثلثی جنسن ($Fe^T+Ti-Al-Mg$)
۶۳.....	۴-۲-۴ نمودار SiO_2 در مقابل Zr/TiO_2 (وینچستر و فلویید، ۱۹۷۷)
۶۳.....	۳-۴ تعیین سری ماگمایی
۶۴.....	۱-۳-۴ نمودار (Na_2O+K_2O) در مقابل SiO_2 (ایرون و بارگار، ۱۹۷۹)
۶۵.....	۲-۳-۴ نمودار Zr/TiO_2 در برابر Y/TiO_2 (لنتز، ۱۹۹۸)
۶۶.....	۳-۳-۴ نمودار SiO_2-K_2O (پکسیرلو و تیلور، ۱۹۷۶)
۶۶.....	۴-۴ نمودارهای چند عنصری عناصر کمیاب
۶۸.....	۱-۴-۴ نمودارهای چند عنصری بهنجار شده با کندریت
۷۱.....	۲-۴-۴ نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه
۷۵.....	۳-۴-۴ نمودارهای REE بهنجار شده نسبت به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴)
۷۹.....	۵-۴ نتیجه گیری

فصل پنجم: جایگاه تکتونیک و تروژن

۸۱.....	۱-۵ مقدمه
۸۲.....	۲-۵ نمودارهای تعیین کننده محیط تکتونیک
۸۳.....	۱-۲-۵ نمودار $La/Yb-Yb$ (کوندیا، ۱۹۸۶)

۸۴.....	۲-۲-۵ نمودار TiO_2/Al_2O_3 در مقابل Zr/Al_2O_3 (مولر و گروس، ۱۹۷۷).....
۸۴.....	۳-۲-۵ نمودار Th/Yb در مقابل Nb/Yb (سان و مک دوناف، ۱۹۸۹).....
۸۵.....	۴-۲-۵ نمودار شند و گرتون، (۲۰۰۲).....
۸۶.....	۵-۲-۵ نمودار $(P_2O_5-TiO_2-K_2O)$ ، (پیرس و دیگران، ۱۹۷۵).....
۸۷.....	۶-۲-۵ نمودار متمایز کننده محیط تکتونوماگمایی - پیرس و همکاران (۱۹۷۳).....
۸۸.....	۷-۲-۵ نمودار $La/10-Y/15-Nb/8$ (کابانیس و لکول، ۱۹۸۹).....
۹۰.....	۳-۵ پتروژنز.....
۹۱.....	۱-۳-۵ نمودار Zr/Ba در مقابل K_2O/TiO_2 (فراری، ۲۰۰۰).....
۹۲.....	۲-۳-۵ نمودار Zr در مقابل Y (سان و مک دوناف، ۱۹۸۹).....
۹۳.....	۳-۳-۵ نمودار Rb/Y در مقابل Nb/Rb (تیمل ۱۹۹۸).....
۹۴.....	۴-۵ نتیجه گیری.....

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۹۶.....	۱-۶ نتیجه گیری.....
۹۸.....	۲-۶ پیشنهادها.....
۹۹.....	منابع.....

فهرست اشکال

.....	عنوان.....
۷.....	شکل ۱-۱ نقشه راه دسترسی به منطقه.....
۱۲.....	شکل ۱-۲ جایگاه زمین شناسی ایران در نوار چین خورده آلپ- هیمالیا.....
۱۹.....	شکل ۲-۲ مراحل آغاز و پایان فرورانش در حاشیه شرقی لوت (افتخارنژاد، ۱۳۵۲).....
۲۰.....	شکل ۳-۲ نمایش شماتیک تکامل ساختاری پهنه زمیندرز سیستان (تیرول و همکاران- ۱۹۸۳).....
۲۴.....	شکل ۴-۲ واحدهای اصلی زمین شناسی پهنه جوش خورده سیستان (تیرول و همکاران، ۱۹۸۳).....
۲۸.....	شکل ۵-۲ نقشه زمین شناسی منطقه مود.....

- شکل ۲-۶ رخنمون الیوین بازالت در شرق روستای پدران (دید عکس به سمت جنوب غرب) ۲۹
- شکل ۲-۷ رخنمون های آندزیت بازالتی در غرب روستای علی آباد (دید عکس به سمت شمال)..... ۳۰
- شکل ۲-۸ رخنمون توده پیروکسن آندزیتی در شمال روستای پدران (دید به سمت شمال غرب) ۳۱
- شکل ۲-۹ (A) رخنمون های آندزیتی (B) در حوالی روستای علی آباد (دید عکس به سمت غرب) ۳۲
- شکل ۲-۱۰ لایه بندی نسبتاً منظمی از توف ها در گردنه پدران (دید عکس به سمت شمال) ۳۳
- شکل ۲-۱۱ وجود شیل ارغوانی در شرق مود (دید به سمت شمال شرق)..... ۳۵
- شکل ۲-۱۲ حضور نهشته های نمکی و دق های رسی در شمال روستای پدران (دید به سمت غرب) ۳۶
- شکل ۳-۱ درشت بلورهای الیوین موجود در الیوین بازالت های منطقه پدران (XPL)..... ۳۸
- شکل ۳-۲ الیوین با حاشیه ایدنگزیتی شده در الیوین بازالت پدران (XPL)..... ۴۰
- شکل ۳-۳ حضور کلینو پیروکسن به دو شکل فنوکریست و میکرولیت در الیوین بازالت های پدران (XPL)..... ۴۰
- شکل ۳-۴ (A, B) بافت پورفیری و حضور کانی های پلاژیوکلاز و کلینو پیروکسن در آندزیت بازالتی (PPL, XPL) ۴۰
- ۴۳.....
- شکل ۳-۵ بافت غربالی منظم در آندزیت بازالتی (XPL) ۴۴
- شکل ۳-۶ بافت غربالی هموژن در آندزیت بازالتی (XPL) ۴۴
- شکل ۳-۷ بافت غربالی درشت در آندزیت بازالتی (XPL) ۴۵
- شکل ۳-۸ حضور پلاژیوکلاز سالم و دارای بافت غربالی در آندزیت بازالتی (XPL) ۴۶
- شکل ۳-۹ حضور آمفیبول های سوخته و میکروکریستال های کلینوپیروکسن در پیروکسن آندزیت (XPL)..... ۴۸
- شکل ۳-۱۰ A پلاژیوکلاز با بافت غربالی کامل در آندزیت (B) بافت پورفیری و بافت غربالی در پلاژیوکلاز (XPL)..... ۴۹
- شکل ۳-۱۱ کرنباتی شدن فلدسپارها، (XPL) و حضور کانیه های کدر در آندزیت (XPL)..... ۵۱
- شکل ۳-۱۲ A بافت جریان و دگرسانی در زمینه توف های منطقه XPL, PPL..... ۵۲
- شکل ۳-۱۳ درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه ریز دانه قطعات آندزیتی آگلومرا در شرق مود (XPL) ۵۳
- شکل ۴-۱ موقعیت نمونه های آنالیز شده بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۵۹
- شکل ۴-۲ قرارگیری سنگ های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده آندزیت (لی باس و دیگران، ۱۹۸۶)..... ۶۱
- شکل ۴-۳ قرارگیری سنگ های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده آندزیت (کاکس و همکاران، ۱۹۷۹)..... ۶۱
- شکل ۴-۴ محل جایگیری نمونه ها در نمودار جنسن (۱۹۷۶) ۶۲
- شکل ۴-۵ قرارگیری سنگ های آتشفشانی در محدوده آندزیت (وینچستر و فلوید، ۱۹۷۷)..... ۶۳

شکل ۴-۶ نمودار های مجموع آلكالی ها (Na_2O+K_2O) در مقابل SiO_2 ، پیشنهاد شده توسط ابروین و باراگار (۱۹۷۱).....	۶۴
شکل ۴-۷ موقعیت سنگهای مورد مطالعه در نمودار مثلثی پیشنهادی ابرون و بارگار (۱۹۷۱).....	۶۵
شکل ۴-۸ موقعیت سنگ های مورد مطالعه در نمودار لنتز (۱۹۹۸).....	۶۵
شکل ۴-۹ نمودار SiO_2-K_2O پکسریلو و تیلر (۱۹۷۶).....	۶۶
شکل ۴-۱۰ نمودار چند عنصری سنگ های منطقه، بهنجار شده با کندریت (سان و مک دوناف ۱۹۸۹).....	۷۱
شکل ۴-۱۱ نمودار عنكبوتی نمونه های منطقه مورد مطالعه، بهنجار شده در برابر گوشته اولیه (سان و مک دوناف، ۱۹۸۹).....	۷۵
شکل ۴-۱۲ نمودار عنكبوتی، یکنواخت بودن نمودارها، بهنجار شده در برابر کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴).....	۷۶
شکل ۵-۱ نمودار کوندیا (۱۹۸۶) و قرارگیری نمونه ها در محدوده Arcs.....	۸۳
شکل ۵-۲ نمودار TiO_2/Al_2O_3 در مقابل Zr/Al_2O_3 (مولر و گروس ^۱ ، ۱۹۷۷) و قرار گیری نمونه ها در محدوده Arcs related.....	۸۴
شکل ۵-۳ نمودار Th/Yb در مقابل Nb/Yb (سان و مک دوناف، ۱۹۸۹) و قرارگیری نمونه ها در محدوده (Continental arc).....	۸۵
شکل ۵-۴ قرار گیری نمونه ها در نمودار شند و گورتون (۲۰۰۲).....	۸۶
شکل ۵-۵ نمودار تشخیص محیط تکتونیکی برای نمونه های منطقه مورد مطالعه براساس نمودار پیرس و کان (۱۹۷۵).....	۸۷
شکل ۵-۶ نمودار متمایز کننده محیط تکتونوماگمایی - پیرس و همکاران، ۱۹۷۳ (OFB = مورب، CAB = کالک آلكالن، IAB = جزایر قوسی).....	۸۸
شکل ۵-۷ نمودار تشخیص محیط تکتونیکی برای نمونه های منطقه مورد مطالعه براساس نمودار کابانیس و لکول (۱۹۸۹).....	۹۰
شکل ۵-۸ قرار گرفتن نمونه ها در محدوده فرورانش در نمودار فراری و دیگران (۲۰۰۰).....	۹۲
شکل ۵-۹ نمودار تفکیک منشأ غنی شده و تهی شده نمونه ها سان و مک دوناف (۱۹۸۹).....	۹۳
شکل ۵-۱۰ نمودار Rb/Y در مقابل Nb/Rb (تیمل، ۱۹۹۸) و محل جایگیری نمونه ها.....	۹۴

فهرست جداول

عنوان.....	صفحه
جدول ۴-۱ موقعیت جغرافیایی نمونه های انتخاب شده جهت آنالیز.....	۵۶

جدول ۲-۴ نتایج آنالیز شیمیایی سنگ کل واحدهای آتشفشانی منطقه مود (جنوب شرقی بیرجند)، عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی محاسبه گردیده اند. ۵۷.....

جدول ۳-۴ نتایج آنالیز شیمیایی عناصر کمیاب (بر حسب پی پی ام) سنگهای آتشفشانی منطقه مود (جنوب شرقی بیرجند)..... ۵۸.....

(۱-۱) مقدمه:

منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و در حدود ۳۵ کیلومتری جنوب شرق (شرق) بیرجند و در ۲ کیلومتری شرق شهر مود قرار دارد. از دیدگاه تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری ایران این منطقه در بخش شمالی زون جوش خورده سیستان (تیرول و دیگران^۱، ۱۹۸۳) قرار گرفته و از ویژگی‌های زمین شناسی این ایالت ساختاری پیروی می‌کند. زون جوش خورده سیستان به عنوان بقایایی از یک باریکه اقیانوسی است که بین بلوک افغان و پهنه لوت وجود داشته است. این باریکه اقیانوسی به عنوان یکی از سرشاخه‌های نئوتتیس بوده است که قبل از ۸۶ میلیون سال پیش بسته شده است (زرین کوب و دیگران^۲، ۲۰۱۰). منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) سربیشه (نظری و سلامتی ۱۹۹۹) و همچنین نقشه زمین شناسی (۱/۲۵۰۰۰۰) بیرجند (افتخارنژاد، ۱۳۶۹) قرار می‌گیرد. در این منطقه واحدهای آتشفشانی و آذرآواری گستردگی قابل توجهی دارند.

واحدهای سنگی آتشفشانی عمده در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: الیوین بازالت، آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت و آندزیت که بوسیله سنگ‌های آذرآواری نظیر توف، برش و آگلومرا همراهی می‌شود.

¹ - Tirrulle et al

² - Zarrinkoub et al,

۲-۱) اهداف:

با توجه به اینکه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترشیری در منطقه مورد مطالعه گسترش زیاد دارند، مطالعه این سنگ‌ها به منظور دستیابی به اهداف زیر به عنوان موضوع این تحقیق پیشنهاد گردیده است.

۱) شناخت ویژگی‌های کانی شناسی و پتروگرافی سنگ‌های آذرین منطقه

۲) شناخت ماهیت ماگماتیسم منطقه و تعیین محیط تکتونیکی آنها (پتروژنز و محیط تکتونیکی)

۳) اهمیت اقتصادی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری منطقه جهت کانی‌سازی‌های غیر فلزی نظیر (بنتونیت، پرلیت، ...)

در این تحقیق سعی خواهد شد تا با تکیه بر مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی تا حد امکان پتروژنز و محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مطالعاتی معین گردد.

۳-۱) فرضیات:

- ✓ این مجموعه آتشفشانی در بین زون جوش خورده سیستان و بلوک لوت واقع است.
- ✓ واحدهای سنگی اسیدی، حد واسط و بازیک از یک منشأ و یا منشأهای متفاوتی می‌باشند.
- ✓ کانی‌سازی‌های غیر فلزی در منطقه وجود دارد (پرلیت، پومیس، بنتونیت و ...).

۴-۱) ضرورت تحقیق:

شناخت دقیق ویژگی‌های سنگ‌شناختی واحدهای ولکانیکی و ارتباط آنها با سایر واحدهای منطقه و همچنین بررسی محیط ژئودینامیکی این واحدها و دیگر واحدهای متعلق به پهنه زمین درز سیستان، می‌تواند کمک موثری در درک بهتر تکوین محیط ژئودینامیکی شرق ایران زمین داشته

باشد. بعد از محقق شدن این مهم می توان نقاط مستعد کانی زایی در شرق ایران را شناسایی و مورد بهره برداری قرار داد.

۱-۵) روش مطالعه و تحقیق:

- ۱) جمع آوری گزارشات، نقشه‌ها و تحقیقات انجام شده قبلی در مورد منطقه و مناطق مشابه.
 - ۲) انجام بازدیدهای صحرایی به منظور بررسی دقیق واحدها و نمونه برداری سیستماتیک از واحدهای مختلف.
 - ۳) تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی و مطالعه آن و انتخاب نمونه جهت آنالیز شیمیایی.
 - ۴) انجام آنالیزهای شیمیایی.
 - ۵) تعبیر و تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای ARC GIS, GCDKit, غیره.
- به منظور دسترسی به اهداف، در ابتدا اطلاعات کلی موجود در منطقه مورد مطالعه جمع آوری شد. این اطلاعات شامل تهیه و مطالعه کتاب‌ها و مقالات معتبر در زمینه موضوع پایان نامه، گردآوری نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی و تهیه پایان نامه‌ها و گزارش‌های مرتبط با منطقه مورد مطالعه می باشد. در مرحله بعد مطالعات صحرایی به منظور نمونه برداری سیستماتیک، بررسی ساخت و بافت توده‌ها، بررسی روابط بین توده‌ها، بررسی ساختارهای تکتونیکی، رگه‌ها، دگرسانی‌ها و کانی‌سازی‌ها در سنگ‌های میزبان انجام گرفت. در طی ۱۵ روز مطالعات صحرایی حدود ۸۰ نمونه دستی جهت بررسی و مطالعات آزمایشگاهی تهیه شد. به منظور مطالعات میکروسکوپی و آزمایشگاهی ۶۰ عدد مقطع نازک از توده‌های خروجی در دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد و توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. کار عکسبرداری از مقاطع نازک توسط میکروسکوپ نور عبوری مجهز به دوربین عکسبرداری در گروه زمین شناسی دانشگاه بیرجند انجام شد. پس از مطالعه دقیق پتروگرافی تعداد ۸ نمونه از توده‌های خروجی، منطقه به روش ICP برای عناصر اصلی و ICP-MS برای عناصر کمیاب و نادر خاکی در آزمایشگاه SGS کانادا تجزیه شدند. سپس با

استفاده از نتایج حاصل، رفتار عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی توسط نرم افزارهای، CorelDraw, Igppt, Minpct, Excel, مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۱-۶) مطالعات انجام شده قبلی در منطقه مورد مطالعه:

اغلب مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه در قالب تهیه نقشه‌های زمین شناسی و مطالعات ژئوشیمیایی و اکتشافی بوده است. این منطقه از نظر پترولوژی و پتروگرافی به طور دقیق مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. مطالعات دیگری نیز بر روی این منطقه صورت گرفته است. بطور خلاصه می توان مطالعات انجام شده را به ترتیب زیر عنوان کرد:

۱) نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوش سربیشه که در سال ۱۹۹۹ توسط نظری و سلامتی در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه گردید.

۲) قربانی (۱۳۷۱)، در پایان نامه خود با عنوان بررسی پتروژنتیکی بازالت‌های کواترنری منطقه شرق ایران (خراسان)، در مورد سنگ‌های آتشفشانی ناحیه بیرجند _ مود _ سربیشه مطالعات محدودی انجام داده است. ایشان اینطور تفسیر کرده اند که در منطقه مود _ سربیشه سنگ‌های آتشفشانی از نوع داسیت و آندزیت وجود دارد. ایشان مجموعه سنگ‌ها را از نوع کالک آلکان، متعلق به مناطق فعال حاشیه قاره‌ای دانسته است.

۳) زرین کوب (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان بررسی مواد معدنی با تاکید بر واکنش‌های آبزا و پدیده لیسونیتی شدن در منطقه سهل آباد بیرجند انجام داده و در آن به اهمیت پدیده لیسونیتی شدن و کانسار سازی در بخشی از شرق ایران پرداخته است.

۴) بررسی ولکانیسم ترشیری شمال بیرجند توسط اله پور (۱۳۷۵)، در پایان نامه کارشناسی ارشد ایشان با عنوان بررسی پتروژنز و ژئوشیمی ولکانیسم ترشیری شمال بیرجند با نگرشی بر توان کانسار زایی آن صورت گرفت که سنگ‌های منطقه را کالک آلکان متعلق به حاشیه قاره ای فعال معرفی کرده است.

۵) یوسف زاده (۱۳۷۵)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان پترولوژی پدیده لیستونیتی شدن مجموعه های آذرین و رسوبی شرق خوسف (جنوب غربی بیرجند) ضمن معرفی سنگ های آتشفشانی ترشیری با ماهیت کالک آلکالن و سنگ های مجموعه افیولیتی با ماهیت تولیتی، پدیده لیستونیتی شدن را به عنوان یکی از جدیدترین فرایندهای زمین شناسی منطقه بررسی نموده است.

۶) وثوقی عابدینی (۱۳۷۶)، در مقاله خود با عنوان بررسی پترولوژیکی و تکتونوماگمایی بازالت های سنوزوئیک خاور ایران (خراسان)، بیان کرده که سنگ های بازالتی جوان گستره خاوری ایران تنها در پهنه مود و جنوب تا جنوب باختری فردوس برونزد دارند و تمام سنگ های بازالتی منطقه از یک ماگمای هم نوع مشتق شده اند.

۷) تقریبی (۱۳۷۶)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان بررسی ولکانیسم نئوژن-کواترنری شرق ایران (منطقه بیرجند-مود-سربیشه) به این نتیجه می رسد که در منطقه مورد مطالعه اولیوین بازالت ها، مناطق کوچک و کم اهمیتی را می پوشانند. تجزیه شیمیایی این سنگ های آتشفشانی ترکیب کالک آلکالن را برای آنها پیشنهاد می کند.

۸) قربانی (۱۳۷۷)، در مقاله ای تحت عنوان بررسی ژئوشیمیایی و پتروژنتیکی ولکانیک های جوان (نئوژن-کواترنر) منطقه بیرجند، اینگونه بیان می کند که از مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی آندزیت ها و داسیت های مناطق مورد مطالعه با آندزیت های کوهزایی و غیرکوهزایی و داسیت های کوهزایی مشخص می شود که آندزیت های مناطق مورد مطالعه شباهت بیشتری با آندزیت های آند دارند و از انواع غیرکوهزایی کاملاً مجزا هستند و داسیت ها نیز مشابهت زیادی به داسیت های آند مرکزی دارند.

۹) زرین کوب در رساله دکتری خود (۱۳۷۹)، به بررسی پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه های افیولیتی جنوب بیرجند پرداخته است.

۱۰) فتوحی راد (۱۳۸۳)، در رساله‌ی دکترای خود تحت عنوان "پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت‌های دگرگون شده‌ی شرق بیرجند به بررسی جایگاه سنگ‌های دگرگونی به خصوص اکلوژیت‌ها و شیست‌های آبی در منطقه پرداخته و فرورانش به سمت شرق را مورد تأکید قرار داده است.

۱۱) قربانی (۱۳۸۵)، در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی کانی شناسی و ژئوشیمی اولیوین بازالت‌های منطقه مود (شرق بیرجند) بیان کرده که رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های اولیوین بازالتی با سن الیگوسن، در روستای مود واقع در ۳۵ کیلومتری شرق بیرجند برونزد دارند. وی این منطقه را از لحاظ زمین شناسی ساختاری بخشی از زون سیستان _ لوت در نظر گرفته است.

۱۲) محمدی (۱۳۸۶)، در رساله‌ی دکترای خود تحت عنوان پتروگرافی و پتروژنز سنگ‌های گرانیتوئیدی نوار افیولیتی شرق ایران (ناحیه‌ی بیرجند - نهبندان)، ویژگی‌های سنگ شناسی بخشی از گرانیتوئیدهای ایران را به طور مفصل بررسی کرده است.

۱۳) زرین کوب و دیگران (۱۳۸۷)، در مقاله‌ای با عنوان "سن سنجی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی فنود" بخشی از سنگ‌های آتشفشانی شرق ایران را سن سنجی کرده اند.

۱۴) یوسف زاده (۱۳۸۸)، رساله دکترای خود را با عنوان پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه بیرجند- خوسف با نگرشی ویژه بر انکلاوهای موجود در آن ارائه داده اند.

۱۵) یوسفی (۱۳۸۹)، در رساله کارشناسی ارشد خود تحت عنوان "پترولوژی سنگ‌های ولکانیکی منطقه گیود شاد (جنوب غرب بیرجند، شرق ایران) سنگ‌های منطقه را از نوع کوهزایی معرفی کرده است.

۱۶) کرامتی (۱۳۸۹)، در رساله کارشناسی ارشد خود تحت عنوان "پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه حسین آباد (جنوب غرب بیرجند) بیان می‌کند که سنگ‌های آتشفشانی منطقه حسین آباد در مناطق محدوده قوس آتشفشان‌ها قرار می‌گیرد.

۱۷) کریم پور و همکاران (۲۰۱۱)، بیان می‌دارند که تکتونیک مختلف و متفاوت موجب تشکیل انواع سنگ‌های آذرین و کانی سازی در بلوک لوت شده است و بیش از ۶۰ درصد رخنمون سطحی

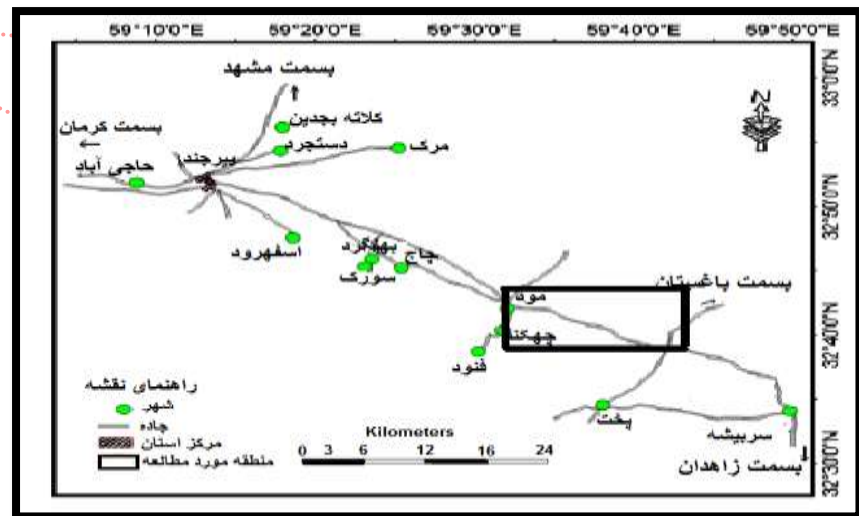
را انواع سنگ‌های آذرین تشکیل می‌دهند. همچنین وی تکتونیک و ماگماتیسم زون فرورانش را باعث ایجاد گرانیتوئیدهای سری مگنتیت و در نتیجه انواع کانی‌سازی‌ها (مس- طلای پورفیری، اسکارن آهن، سرب، روی و غیره) در بلوک لوت می‌داند. بطور کلی محدوده شرق ایران از نظر تکتونیک صفحه‌ای شامل دو بخش متمایز بلوک لوت و منطقه فلیش می‌باشد، مشخصات تکتونیکی، زمین‌شناسی و مورفولوژی این دو بخش کاملاً متفاوت است.

۱۸) نظری (۱۳۹۰)، در رساله کارشناسی ارشد خود تحت عنوان " بررسی زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال غرب سریشه (خاورایران) بیان می‌نماید که ماگمای سازنده سنگ‌های گدازه‌ای در منطقه می‌تواند یک ماگمای مرتبط با کمان ماگمایی زون فرورانش باشد که از گوشته سرچشمه گرفته و با مواد پوسته‌ای آلاینش یافته است.

۱۹) یاری (۱۳۹۰)، در رساله کارشناسی ارشد خود تحت عنوان " پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه فنود (جنوب شرق بیرجند) شرق ایران اینگونه بیان می‌نماید که سری ماگمایی کالک آلکالن و درصد بالای SiO_2 و شواهد بافتی و نسبت‌های برخی از عناصر فرعی و اصلی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، از نوع کوهزایی و حاشیه فعال قاره‌ای هستند.

۷-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه:

گستره مورد مطالعه در موقعیت طول‌های جغرافیایی $59^{\circ} 41' 29''$ تا $59^{\circ} 31' 49''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ} 39' 14''$ تا $32^{\circ} 43' 19''$ شمالی در ۲ کیلومتری شهر مود در استان خراسان جنوبی واقع شده است. مهم‌ترین راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه جاده بیرجند - زاهدان می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) نقشه راه های
دسترسی به منطقه مورد مطالعه.

آب و هوای منطقه، بیابانی و نیمه بیابانی است و از خصوصیات بارز آن اختلاف شدید درجه حرارت از روز به شب و از تابستان به زمستان می باشد. به علت دوری بیرجند از مسیر بادهای باران آور، عدم وجود ارتفاعات مهمی که بتواند در تعدیل آب و هوا و جذب نزولات آسمانی موثر باشد و مجاورت با دشت لوت در خشک ترین تقسیم بندی اقلیمی خراسان قرار دارد. نزولات جوی در سطح شهرستان بیش از هر چیزی تحت تأثیر وضعیت مورفولوژی منطقه، وزش بادهای محلی و مجاور با دشت کویر قرار دارد. در ارتفاعات شمالی بیرجند میزان بارش سالیانه به بیش از ۲۷ سانتی متر در سال می رسد، حال آن که در بخش وسیعی از شهرستان، که شامل قسمت های جنوبی، غربی و شرقی می شود، به حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر کاهش می یابد (شناسنامه اقلیمی ایستگاه هواشناسی بیرجند، ۱۳۸۵).

ریخت سطحی زمین و توپوگرافی هر منطقه به عواملی همچون ویژگی های ساختاری، لیتولوژی و ویژگی های آب و هوایی آن منطقه بستگی دارد. وجود درزه ها و گسل ها باعث افزایش سرعت فرسایش و دگرسانی در سنگ های منطقه مورد مطالعه شده است. به طور کلی بخش اعظم منطقه مورد مطالعه شامل چند رشته از ارتفاعات است که توسط دشت های مسطح از یکدیگر جدا می شوند. مرتفع ترین واحدها، سنگ های گدازه ای می باشند که به دلیل مقاوم بودن در شرایط سطحی کمترین فرسایش

را تحمل کرده اند. دیگر واحدها (که ارتفاع کمتری دارند) شامل تناوبی از شیل و ماسه سنگ می-باشند. کمترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه ۱۸۷۷ متر در نزدیکی روستای علی آباد (دق‌های رسی اطراف روستای علی آباد) می‌باشد و بیشترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه ۱۹۵۰ متر در نزدیکی شهر مود (کوه در تنگ) می‌باشد.

۱-۹) جنبه جدید بودن و نوآوری طرح:

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات پترولوژی جامعی بر روی سنگ‌های آتشفشانی منطقه انجام نشده، پرداختن به علت وجود سنگ‌های آتشفشانی در منطقه و نیز دگرسانی، ژئوشیمی، ژنز و جایگاه تکتونیکی آنها از نتایج این پژوهش خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه پهنه وسیعی از منطقه مورد مطالعه را توف‌هایی به سن الیگوسن در بر گرفته اند و در بعضی نقاط، رخداد دگرسانی سبب بنتونیت زایی در این توف‌ها شده است، پرداختن به این موضوع نیز حائز اهمیت است.

۲-۱) مقدمه:

منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و در حدود ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی بیرجند و در ۲ کیلومتری شهر مود واقع شده است. این منطقه، درمرز دو زون یا ایالت ساختاری اصلی به شرح زیر می‌باشد:

- منطقه فلیش و بلوک لوت (اشتوکلین و دیگران^۳، ۱۹۷۱).

- زون نهبدان _ خاش، بخشی از زون آمیزه رنگین و قسمت شرقی ایران مرکزی (نبوی، ۱۳۵۵).

- زون فلیش و بخشی از نوار افیولیتی و آمیزه رنگین و بخش شرقی ایران مرکزی (افتخارنژاد، ۱۳۵۹).

- زون فلیش کرتاسه و ائوسن و بلوک لوت (استامپلی^۴، ۱۹۷۸).

- پهنه جوش خورده سیستان و قسمت شمالی بلوک لوت (تیرول و دیگران^۵، ۱۹۸۳).

³ -Stocklin

⁴ -Stampfli

⁵ -Tirrulle et al

- زمین چاک سیستان و بلوک لوت (بربریان، ۱۳۶۷).

ملاک تقسیم بندی در این پژوهش بر اساس نظریه تیروول و دیگران (۱۹۸۳) می باشد.

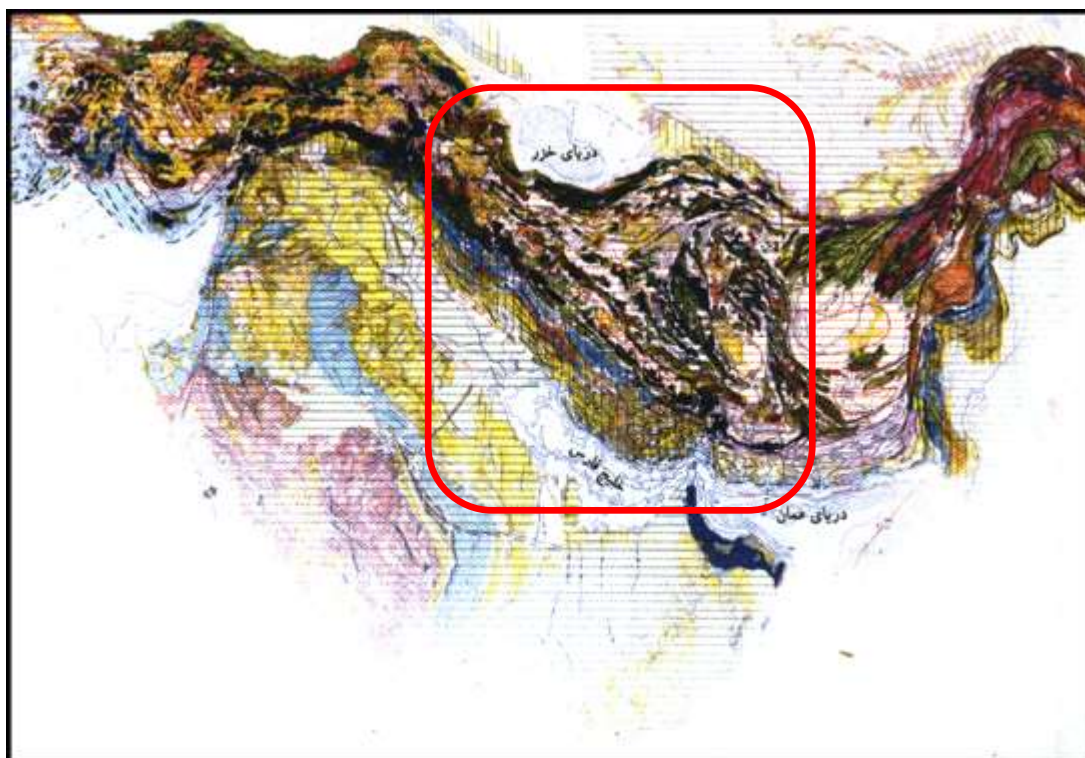
۲-۲) موقعیت زمین شناسی ایران در کمربند آلپ- هیمالیا:

کمربند کوهزایی آلپ که یکی از پرتکاپوترین کمربندهای کوهزادی در روی کره زمین است در نتیجه فرآیند کوهزایی آلپی که از اوایل دوران دوم آغاز شده و حتی بخش‌هایی از آن تا کواترنری ادامه داشته به وجود آمده است. این کمربند از کوه‌های آلپ در اروپای غربی تا شرق آسیای دور کشیده شده و به کوه‌های هیمالیا در شمال شبه قاره هند می رسد. روند این کمربند کوهزادی تقریباً شرقی - غربی می باشد. این کمربند حاصل برخورد دو ابرقاره گندوانا در جنوب و اوراسیا در شمال می باشد که در طی مراحل مختلف در طول این کمربند بهم پیوسته‌اند و در محل برخورد ستبرشدگی پوسته و چین‌خوردگی و راندگی‌های عظیم از روند این کوهزاد جوان شکل گرفته است- (آقانیاتی، ۱۳۸۹).

پوسته فلات ایران نیز جزئی از کمربند بوده که در سیر گذر آن از غرب به شرق قرار گرفته است (شکل ۱-۲) و این پوسته مجموعه‌ای از قطعه‌های قاره‌ای گوناگونی است که از لبه آرام گندوانا جدا شده، چند صد هزار کیلومتر راه را پیموده و سپس در زمان‌های گوناگون کوهزایی برخوردی در لبه اوراسیا بهم پیوسته‌اند (بربریان^۱ و کینگ، ۱۹۸۱). بنابراین فلات ایران زمین حاصل بهم افزوده شدن قطعاتی از پوسته قاره‌ای و اقیانوسی بوده که فرگشت تکتونیکی هر کدام از این قطعات با دیگری فرق می کند و آنچه مسلم می باشد این است که پوسته ایران یک پوسته ناهمگن بوده و لذا دارای ویژگی‌های دگرشکلی ناهمسان می‌باشد که در طی تاریخ زمین شناسی خود تحولات گوناگونی را پشت سر گذاشته است. اکنون ایران به صورت یک پهنه گرفتار شده در میان ورقه‌های لیتوسفری بوده و اثر ادامه فرآیند همگرایی قطعات گندوانا و اوراسیا (لوراسیا) تحت تأثیر یک رژیم

۱- Berberian

تکتونیک فشاری از چند جهت قرار گرفته است. بدین لحاظ در اطراف خود که جزئی از ورق عربی آفریقایی بوده (قبل از تریاس میانی) توسط ورق‌هایی احاطه شده که عبارتند از: در سمت غرب و جنوب غرب آن ورق عربی- آفریقایی قرار گرفته که با توجه به جهت حرکت شمال شرقی این ورق همگرایی در این بخش هنوز ادامه دارد. از طرف شمال به ورق اوراسیا محدود می‌گردد و در شرق توسط ورق هندوستان که به سمت شمال- شمال غرب در حرکت بوده در ارتباط است. فرورانش فعال مکران که به سمت شمال صورت می‌گیرد موجب اعمال تنش‌های شمالی- جنوبی بر این پهنه می‌گردد. به تله افتادن فلات ایران زمین در میان دو پهنه نوک تیز برخوردی عربستان در غرب و هندوستان در شرق سبب شده تا خرد ورق‌های گوناگون تشکیل دهنده پوسته ایران زمین راه فراری به گونه راستالغز نداشته است و چاره‌ای جز ادامه کوتاه شدگی _ ستبرشدگی با گسلش فشاری، چین خوردگی نداشته باشد (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). با توجه به مطالب فوق تنش‌هایی که از جهات مختلف بر این پهنه گرفتار شده وارد می‌آید موجب دگرریختی‌های شدید در مسیر اعمال این تنش‌ها شده است. بدین لحاظ فلات ایران را با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی به ایالت‌های ساختاری مختلفی می‌توان تقسیم کرد .



شکل ۲-۱) جایگاه زمین شناسی ایران در نوار چین خورده آلپ - هیمالیا (آقانبانی، ۱۳۸۳)

۲-۳) تقسیم بندی واحدهای زمین شناختی و ساختمانی ایران از دیدگاه‌های مختلف:

اشتوکلین (۱۹۶۸) شرق ایران و مکران را یک واحد ساختمانی معرفی می‌کند و معتقد است این حوضه در امتداد بالآمدگی عمان از زاگرس جدا می‌شود و در واقع دنباله بلوچستان- هند می‌باشد و برگشت این واحد ساختمانی از اواخر کرتاسه شروع شده در طول سنوزوئیک با بر جای گذاری حجم عظیم رسوبات فلیشی و فعالیت‌های آتشفشانی همراه بوده است. فعالیت‌های آتشفشانی در کواترنر نیز از ویژگی‌های این واحد ساختمانی است.

نبوی (۱۳۵۵) بر اساس نوع رسوبات و محیط تشکیل آنها، فعالیت‌های آذرین، دگرگونی، توالی رسوبی بین دو رویداد، ناپیوستگی زاویه دار ناحیه‌ای، وضعیت زمین ساختی، چگونگی دگرشکلی و روندهای ساختاری شانزده واحد زمین ساختی در ایران معرفی می‌کند. در این تقسیم بندی بلوک لوت را از پهنه نه‌بندان - خاش در شرق ایران بوسیله گسل نه‌بندان جدا می‌نماید.