

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند

دانشکده علوم

گروه زمین‌شناسی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه دکتری زمین‌شناسی / تکتونیک

## **کنترل‌کننده‌های زمین‌ساختی سازوکار جایگیری ماگما تحت رژیم تنش**

### **فشاری – برشی در پوسته‌ی بالایی**

(مطالعه‌ی موردی: شمال ایالت ساختاری سیستان)

زینب اعتمادخواه

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی خطیب

استاد مشاور:

دکتر محمد حسین زرین‌کوب

آذر ماه ۱۳۹۳

## چکیده

همواره در توالی پیشرونده‌ی دگرریختی‌ها در رژیم‌های زمین‌ساخت فشاری - برشی، شناسایی نشانگرهای ژئودینامیکی جهت کنکاش نحوه‌ی فرگشت ساختاری بحث برانگیز بوده است. درک ساختارهای درونی و سازوکار جایگیری توده‌های ماگمایی در پوسته‌ی فوقانی راهکار مناسبی را جهت بازسازی دگرریختی در این گونه رژیم‌های زمین‌ساختی فراهم می‌کند، از آن جهت که این توده‌ها به عنوان نشانگرهای نسبتاً مستقیم تنش دیرینه محسوب می‌شوند. از جمله مناطقی که بررسی توده‌های ماگمایی در آن زمینه‌ی دستیابی به نحوه‌ی جایگیری و تأثیر تکوین ساختاری بر آن را فراهم می‌کند، پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان با رژیم تنش غالب فشاری - برشی در خاور ایران است. توده‌های گرانیتوئیدی در خلال کرتاسه‌ی پسین تا اوائل ترشیری در بخش‌های گسترده‌ای از این پهنه‌ی جوش خورده در پوسته‌ی فوقانی جایگیری شده‌اند. به منظور دستیابی به ساختارهای درونی گرانیتوئیدها و بازسازی جنبشی این ساختارها، از فن ناهمسانگردی مغناطیس‌پذیری (AMS) بر روی توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری به ترتیب در بخش مرکزی پهنه‌ی برشی نهبندان و یکی از پایانه‌های آن بهره برده شده است. گرانیتوئید بی‌بی مریم با روند غالب شمال باختر - جنوب خاور در بردارنده‌ی واحد سنگی اصلی کوارتز دیوریت - تونالیت و واحد فرعی گرانودیوریت است. توده‌ی گرانیتوئیدی زهری با راستای کلی خاوری - باختری تا شمال باختر - جنوب خاور طیف ترکیبی گرانیت تا لوکوگرانیت را داراست. توده‌های بی‌بی مریم و زهری با جنبش همزمان با زمین‌ساخت در خلال جایگیری و سردشدگی، رویدادهای زمین‌شناختی هر چند کوتاه مدت مرتبط با دگرریختی پوسته را در خود ثبت کرده‌اند. توسعه‌ی ریزساخت‌هایی از حالت ماگمایی تا حالت جامد دمای پایین در این دو توده، گویای تکامل ریزساخت‌ها با کاهش میزان مذاب در طی تبلور است. وجود شواهد بارزی از دگرریختی در حضور مذاب و ریزساخت‌های حالت جامد دمای بالا بیانگر توسعه‌ی فابریک‌ها در طی و یا اندکی پس از تبلور کامل ماگما است. با ادامه‌ی دگرریختی، فابریک‌های دمای پایین از قبیل چرخش در دانه‌های تجدید تبلور یافته‌ی کوارتز، سوگیری خرد دانه‌های آن و ریزشکستگی‌ها در فلدسپار توسعه یافته‌اند.

در بخش مرکزی سامانه‌ی برشی نهبندان، علی‌رغم تغییرات محلی، برگوارگی‌های مغناطیسی در گرانیتوئید بی‌بی مریم با شیب نسبتاً زیاد به موازات کشیدگی کلی توده (میانگین جهت‌یابی:  $N13^{\circ}W/85^{\circ}SW$ ) نمایان شده‌اند و خطوارگی‌های مغناطیسی اغلب روند NW-SE با زاویه‌ی میل کم را دارند. در گرانیتوئید زهری، برگوارگی‌های مغناطیسی با میانگین شیبی متوسط به موازات کشیدگی کلی توده و خطوارگی‌های مغناطیسی با راستای غالب N-S تا NE-SW به سمت جنوب باختر (با سوگیری میانگین  $32^{\circ}$ ,  $N197^{\circ}$ ) گسترش یافته‌اند. پارامتر شکل (T) در گرانیتوئید بی‌بی مریم محدوده‌ی وسیعی را از شدیداً دوکی ( $T = -0.89$ ) تا شدیداً صفحه‌ای ( $T = +0.85$ ) آشکار ساخته که با مشاهدات صحرایی همخوانی نشان داده است، در حالی که در پایانه‌های سامانه‌ی برشی نهبندان با راستای غالب خاوری - باختری، پارامتر T در گرانیتوئید زهری (با بزرگای بین 0.13 تا 0.94)، بیضوی صفحه‌ای شکل را نمایان ساخته است.

حضور ریزساخت‌های همزمان ماگمایی، جنبش برشی راستگرد و همسویی فابریک‌های صفحه‌ای مزوسکوپی و فابریک‌های مغناطیسی در گرانیتوئید بی‌بی مریم با راستای عمومی ساختارهای اصلی منطقه، گویای آن است که پهنه‌ی برشی نهبندان در این بخش از پهنه‌ی سیستان در زمان جایگیری و پس از تبلور کامل ماگما، فعال بوده و سنگ میزبان توده‌ی گرانیتوئیدی را تحت تأثیر قرار داده است. جهت‌یافتگی خطوارگی و برگوارگی‌ها در این توده به عملکرد همگرایی مایل ایالت ساختاری لوت به سمت ایالت ساختاری افغان به سوی شمال خاور نسبت داده شده که به توسعه‌ی خاستگاه ترافشاری راستالغز چیره، طی کرتاسه‌ی پسین انجامیده است. راستای غالب عناصر ساختاری از قبیل محور چین‌ها در رسوبات ترشیری واقع در سنگ میزبان توده‌ی گرانیتوئیدی گویای آن است که سوی بردار همگرایی بلوک‌های لوت و افغان در این بخش از پهنه‌ی جوش خورده سیستان تا زمان الیگو - میوسن همچنان شمال خاوری باقی مانده است. بیضوی کرنش نوع صفحه‌ای به همراه برگوارگی‌هایی با میانگین شیبی متوسط در گرانیتوئیدی زهری بیانگر آن است که محور کوتاه‌شدگی بیشینه (محور Z) با زاویه‌ی میل متوسط (با سوگیری میانگین:  $57^{\circ}$ ,  $N004^{\circ}$ ) اعمال شده است. در اوائل ائوسن گرانیتوئید زهری تحت کنترل راستای بازشدگی N-S تا

NE-SW در فضاهای حاصل از فعالیت پهنه‌های برشی چپگرد واقع در پایانه‌های سامانه‌ی برشی نه‌بندان طی نازک‌شدگی پوسته جایگیری شده است.

فابریک‌های مغناطیسی، شواهد ریزساختاری و صحرایی و انطباق آن با ساختارهای دگرریختی سنگ میزبان، گویای فعال بودن بخش مرکزی پهنه‌ی برشی نه‌بندان طی جایگیری گرانیتوئید بی‌بی مریم در کرتاسه‌ی پسین و پایانه‌های این پهنه‌ی برشی همزمان با جایگیری گرانیتوئید زهری در اوائل ائوسن است. الگوی کرنش توده‌های بی‌بی مریم و زهری ماحصل تفکیک‌بندی کرنش در راستای این پهنه‌ی برشی، به صورت جنبش ترافشاری راستالغز چیره در بخش مرکزی سامانه برشی نه‌بندان و تأثیر جنبش ترافشاری برش محض به سمت پایانه‌ها است. لذا همخوانی خوبی بین فابریک‌های درونی توسعه یافته در گرانیتوئیدهای جایگیری شده در این سامانه‌ی برشی و پایانه‌های آن مشاهده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** فابریک مغناطیسی، گرانیتوئیدهای همزمان با زمین‌ساخت، ریزساختار، سامانه‌ی برشی نه‌بندان، پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- تبیین و اهمیت مطالعه‌ی موضوع
۴	۲-۱- اهداف و فرضیه‌های پژوهش
۵	۳-۱- آب و هوا، موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه
۷	۴-۱- برخی تحقیقات پیشین پیرامون ساختارها و ماگماتیسم در گستره‌ی خاور ایران
۹	۵-۱- تاریخچه‌ی مطالعات پیشین در زمینه AMS در ایران
۱۰	۶-۱- روش پژوهش
۱۰	۱-۶-۱- روش‌های مشاهده‌ای
۱۱	۲-۶-۱- روش‌های تجربه‌ای
۱۱	۳-۶-۱- روش‌های تحلیلی

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای

۱۳	۱-۲- مقدمه
۱۵	۲-۲- الگوهای دگرریختی پیرامون تکوین پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان
۲۰	۳-۲- چارچوب زمین‌شناختی محدوده‌ی بی‌بی مریم و زهری
۲۰	۱-۳-۲- توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم
۲۷	۲-۳-۲- توده‌ی گرانیتوئیدی زهری

فصل سوم: برآورد فرایندهای دگرریختی در توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری بر پایه‌ی شواهد بافتی

۳۱	۱-۳- مقدمه
۳۲	۲-۳- مشاهدات ریزساخت‌ها در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم
۳۲	۱-۲-۳- جریان ماگمایی (ریزساختار ۱)
۳۳	۲-۲-۳- جریان ساب‌ماگمایی (ریزساختار ۲)
۳۴	۳-۲-۳- جریان حالت جامد دما بالا (HT) (ریزساختار ۳)
۳۴	۴-۲-۳- جریان حالت جامد دما متوسط (MT) و شروع میلونیتی شدن (ریزساختار ۴)
۳۵	۵-۲-۳- جریان حالت جامد دما پایین (LT) و کرنش قابل توجه (ریزساختار ۵)
۴۰	۳-۳- شواهد جایگیری همزمان با زمین‌ساخت در گرانیتوئید بی‌بی مریم
۴۵	۴-۳- مشاهدات ریزساخت‌ها در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری
۵۲	۵-۳- برآورد شرایط دمایی دگرریختی و شواهد جایگیری همزمان با زمین‌ساخت در گرانیتوئید زهری
۵۵	۶-۳- نتیجه‌گیری

فصل چهارم: شواهد جایگیری گرانیتوئید بی‌بی مریم

۵۸	۱-۴- مقدمه
۶۱	۲-۴- ناهمسانگردی مغناطیس‌پذیری (AMS)
۶۸	۳-۴- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری داده‌های مغناطیسی

۷۳	۴-۴- کالیبراسیون دستگاه
۷۵	۴-۵- مغناطیس پذیری و اندازه گیری پارامترها
۷۷	۴-۵-۱- مغناطیس پذیری میانگین ( $K_m$ )
۸۰	۴-۵-۲- درجه ی ناهمسانگردی تصحیح شده ( $P'$ )
۸۱	۴-۵-۳- پارامتر شکل بیضوی مغناطیسی ( $T$ )
۸۵	۴-۵-۴- برگوارگی مغناطیسی
۸۸	۴-۵-۵- خطوارگی مغناطیسی
۸۹	۴-۶- دگرریختی در گرانیتوئید بی بی مریم و چارچوب زمین ساخت ناحیه ای
۸۹	۴-۶-۱- ساختار و شرایط دگرریختی در گرانیتوئید بی بی مریم
۹۲	۴-۶-۲- زمین ساخت ترفاشاری و جایگیری ماگما در بی بی مریم
۱۰۳	۴-۶-۳- تکوین جنبشی پهنه ی جوش خورده ی سیستان و جایگیری گرانیتوئید آداکیتی
۱۱۰	۴-۷- نتیجه گیری

#### فصل پنجم: شواهد جایگیری گرانیتوئید زهری

۱۱۳	۵-۱- مقدمه
۱۱۵	۵-۲- مغناطیس پذیری
۱۱۵	۵-۲-۱- نمونه برداری و اندازه گیری داده های مغناطیسی
۱۱۷	۵-۲-۲- مغناطیس پذیری و اندازه گیری پارامترها
۱۲۱	۵-۲-۳- الگوی فابریک های مغناطیسی در گرانیتوئید زهری
۱۲۴	۵-۳- دگرریختی در گرانیتوئید زهری و چارچوب زمین ساخت ناحیه ای
۱۲۴	۵-۳-۱- ساختار و شرایط دگرریختی در گرانیتوئید زهری
۱۲۶	۵-۳-۲- هندسه ی ساختاری در پایانه های پهنه ی برشی نهبدان و الگوی جایگیری
۱۳۱	۵-۳-۳- تکامل زمین ساختی پهنه ی جوش خورده ی سیستان و جایگیری گرانیتوئید زهری
۱۳۶	۵-۴- نتیجه گیری

#### فصل ششم: نتیجه گیری، تحلیل نهایی و پیشنهادات

۱۳۸	۶-۱- مقدمه
۱۳۸	۶-۲- بحث و تحلیل کلی
۱۴۴	۶-۳- پیشنهادات
۱۴۵	منابع

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به مناطق مورد بررسی .....	۷
شکل ۱-۲- بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا و جایگاه زمین‌شناسی ایران .....	۱۵
شکل ۲-۲- الف) نقشه زمین‌شناسی، ب) زیرمجموعه‌های کلی و ج) تکوین زمین‌ساختی پهنه سیستان .....	۱۷
شکل ۳-۲- فرورانش دوسویه‌ی نامتقارن برای بسته شدن اقیانوس بین بلوک لوت و افغان در خاور ایران .....	۱۸
شکل ۴-۲- نقشه توزیع واحدهای سنگی به همراه مدل ژئودینامیکی تکامل ماگمایی و زمین‌ساختی پهنه سیستان .....	۲۰
شکل ۵-۲- جایگاه پهنه‌ی جوش خورده سیستان و موقعیت شکل ۲-۶ .....	۲۳
شکل ۶-۲- نقشه‌ی ساختاری بخشی از شمال پهنه جوش خورده سیستان و موقعیت شکل‌های ۲-۷ و ۲-۱۰ .....	۲۳
شکل ۷-۲- الف) تصویر ماهواره‌ای و ب) نقشه زمین‌شناسی و ج) واحدهای سنگی در مجموعه بی‌بی مریم .....	۲۴
شکل ۸-۲- ساختارهای اصلی در محدوده‌ی بی‌بی مریم .....	۲۵
شکل ۹-۲- الف) نمای خاوری توده، ب) بازالت‌های بالشی، ج) نمای جنوب باختری، د و ه) عدسی‌های گرانیتوئیدی .....	۲۶
شکل ۱۰-۲- الف) تصویر ماهواره‌ای و ب) نقشه ساده شده زمین‌شناسی محدوده‌ی زهری .....	۲۸
شکل ۱۱-۲- بخش باختری توده‌ی گرانیتوئیدی زهری و سنگ‌های اولترامافیک مجاور .....	۲۹
شکل ۱-۳- الف) زون‌بندی متناوب در پلاژیوکلاز، ب) دانه‌های کوارتز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، ج، د، ه) ریزشکستگی‌های گوه‌ای، و) مهاجرت مرز دانه و چرخش خرد دانه‌ها، ز، ح، ط) طرح صفحه شطرنجی .....	۳۶
شکل ۲-۳- الف) پدیده‌ی دوقلویی، ب) ماکل مکانیکی، ج) دندانه‌دار شدن پلاژیوکلاز، د و ه) پرتیت‌های شعله‌ای .....	۳۷
شکل ۳-۳- الف) خرد دانه‌های کوارتز، ب) نوارشدگی در دانه‌های کوارتز، ج) طرح گنیس مانند در بیوتیت، د) جهت‌یابی بیوتیت در اطراف پلاژیوکلاز دگرریخت شده، ه) شبکه‌ای از شکستگی‌های پر شده در پلاژیوکلاز، و) میکا ماهی در بیوتیت .....	۳۸
شکل ۴-۳- نقشه توزیع انواع مختلف ریزساخت‌ها و تراژکتوری برگواری‌های مزوسکوپی در گرانیتوئید بی‌بی مریم .....	۴۰
شکل ۵-۳- الف) توده‌های نفوذی قبل-همزمان و بعد از جنبش ب) مقایسه‌ی غالب بودن تأثیر تکتونیک ناحیه‌ای یا پویایی بدنه ماگمایی در توسعه‌ی طرح فابریک‌ها .....	۴۳
شکل ۶-۳- تصاویر صحرایی برگواری‌ها در گرانیتوئید بی‌بی مریم .....	۴۴
شکل ۷-۳- تصویر صحرایی فابریک S/C با جابجایی راستگرد در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم .....	۴۴
شکل ۸-۳- نشانگرهای سوی برش در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم .....	۴۵
شکل ۹-۳- الف) مشخصات ریزساخت‌های سه نوع تبلور مجدد پویا در کوارتز در مقیاس نسبی مشابه، ب) تجدید تبلور دانه کوارتز با ساز و کار مهاجرت مرز دانه، ج) کوارتز چند بلوری با مرزهای دانه‌ی نامنظم، د) نوار شدگی در دانه‌های کوارتز .....	۴۷
شکل ۱۰-۳- تصاویر میکروسکوپی ریزساخت‌های بیوتیت در گرانیتوئید زهری .....	۴۹
شکل ۱۱-۳- الف) پلاژیوکلاز با زون‌بندی متناوب، ب و ج) دندانه‌دار شدن پلاژیوکلاز در اثر تجدید تبلور، د) ریزگسستگی‌های گوه‌ای شکل در پلاژیوکلاز، ه) نمودار عمق و مقاومت در ارتباط با دگرریختی .....	۵۱
شکل ۱۲-۳- الف و ب) پدیده‌ی دوقلویی در بلورهای پلاژیوکلاز، ج) نمودار ارتباط بین تبلور و ذوب با ویسکوزیته‌ی مذاب، د) توسعه ساختارهای میرمیکیتی، ه) پلاژیوکلازها با شکستگی و دگرریختی کاتاکلاستی .....	۵۲
شکل ۱۳-۳- نقشه‌ی توزیع انواع مختلف ریزساخت‌ها و تراژکتوری برگواری‌های مشاهده شده در صحرا در گرانیتوئید زهری به همراه نمودار شمارشی قطب برگواری‌ها .....	۵۵
شکل ۱-۴- چرخش الکترون در اطراف هسته .....	۶۱
شکل ۲-۴- شیب و جهت شیب نمونه در فضای جغرافیایی حقیقی .....	۶۲
شکل ۳-۴- نمودار مغناطیس‌پذیری و میزان کانی‌های فرومغناطیس و پارامغناطیس .....	۶۵
شکل ۴-۴- تأثیر بالای مگنتیت در مقدار مغناطیس‌پذیری .....	۶۵

- شکل ۴-۵- بیضوی مغناطیسی و محورهای  $K_{max}$ ,  $K_{int}$ ,  $K_{min}$  در آن ..... ۶۸
- شکل ۴-۶- نقشه‌ی زمین‌شناسی گرانیتوئید بی‌بی مریم و سنگ‌های احاطه‌کننده‌ی آن و موقعیت ایستگاه‌ها ..... ۷۱
- شکل ۴-۷- الف) خط راهنما و محل حفاری مغزه، ب) نمایی از روش حفاری به کمک موتور مغزه‌گیر، ج) تراز یاب مغزه، د) نحوه‌ی خارج ساختن نمونه از زمین، ه) نحوه‌ی اندازه‌گیری راستا و زاویه‌ی میل محور مغزه، و) و ز) نحوه‌ی برداشت شیب و جهت شیب، ح) نحوه‌ی استفاده از نیم‌لوله‌ی پلاستیکی، ط) نمایش شماتیک نحوه‌ی برش، ی) برش نمونه‌ها به طول ۲۲ میلی‌متر، ک) تصویری از دستگاه MFKI-FA ..... ۷۲
- شکل ۴-۸- الف) نمونه‌ها در اسیدکلریدریک، ب) نمونه استاندارد و کالیبراسیون، ج) چرخش نمونه در Kappabridge ..... ۷۴
- شکل ۴-۹- تصویری از برنامه‌های الف) Anisoft 4.2 و ب) Safyr 4w در ابتدای کار ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۰- منحنی هم‌میزان میانگین مغناطیس‌پذیری ( $K_m$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۱- هیستوگرام فراوانی میانگین مغناطیس‌پذیری ( $K_m$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۲- منحنی هم‌میزان درجه‌ی ناهمسانگردی تصحیح شده ( $P'$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۳- نمودار نوع فلین و درجه خطوارگی و برگوارگی و ارتباط فابریک‌های صفحه‌ای و دوکی ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۴- نمودار L در مقابل F در نمونه‌های گرانیتوئید بی‌بی مریم ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۵- منحنی هم‌میزان پارامتر شکل بیضوی مغناطیسی ( $T$ ) در توده گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۸۳
- الف) نمودار  $P'$  در مقابل  $K_m$ ، ب) T در مقابل  $K_m$ ، ج) نمودار T در مقابل  $P'$  در گرانیتوئید بی‌بی مریم ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۷- برگوارگی مغناطیسی در توده گرانیتوئیدی بی‌بی مریم به همراه استریونت قطب برگوارگی‌ها ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۸- تغییرات شیب برگوارگی‌های مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۹- جهتگیری محورهای اصلی مغناطیس‌پذیری به همراه موقعیت ایستگاه‌ها ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۰- خطوارگی مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۱- تغییرات زاویه‌ی میل خطوارگی مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۲- الف و ب) دایک‌ها در بخش باختری، ج) ارتباط بین جهت‌یابی دایک‌ها و خطواره‌های مغناطیسی ..... ۹۱
- شکل ۴-۲۳- نقشه توپوگرافی ایران به همراه گسل‌های اصلی در خاور ایران ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۴- نمودار گلسرخی و نمودار شمارشی محور تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) در بخش میانی سامانه برشی نهبندان ..... ۹۳
- شکل ۴-۲۵- گستره‌ی پهنه‌ی برشی نهبندان و شاخه‌های پایانی آن (به همراه توزیع محور تنش بیشینه ( $\sigma_1$ )) ..... ۹۴
- شکل ۴-۲۶- ساختارهای اصلی در گستره بی‌بی مریم واقع در بخش میانی پهنه‌ی برشی نهبندان ..... ۹۵
- شکل ۴-۲۷- مدل جنبشی تکوین فابریک‌ها در گرانیتوئید بی‌بی مریم همراه با تکوین پهنه برشی نهبندان ..... ۹۸
- شکل ۴-۲۸- مفاهیم ترافشارش و تراکشش با توجه به شرایط مرزی زمین‌ساختی ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۹- مدل‌های پایه‌ی دگرریختی ترافشاری ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۰- دگرریختی مونوکلینیک محض و موقعیت خطوارگی‌ها ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۱- توسعه‌ی خطوارگی در پهنه‌ی برشی ترافشاری راستگرد راستالغز ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۲- رابطه‌ی بین  $\theta$  (زاویه‌ی بین محور کشیدگی و مرز صفحه) و  $a$  (زاویه‌ی بین بردار لغزش و مرز صفحه) ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۳- تکوین جنبشی در محدوده‌ی بی‌بی مریم ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱- الف) تصویر ماهواره‌ای LANDSAT و موقعیت گسل‌های اصلی، ب) نقشه زمین‌شناسی گستره زهری ..... ۱۱۴
- شکل ۵-۲- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳- هیستوگرام فراوانی میانگین مغناطیس‌پذیری ( $K_m$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴- منحنی هم‌میزان میانگین مغناطیس‌پذیری ( $K_m$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۵- الف) منحنی هم‌میزان ( $P'$ ) و ب) نمودار ( $K_m$ ) در مقابل ( $P'$ ) در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۶- مقایسه‌ی بین ریزساخت‌های موجود در الف) بخش مرکزی با  $P' < 1.09$  و ب) در بخش باختری با  $P' > 1.09$  ..... ۱۱۹



- شکل ۵-۷- منحنی هم‌میزان پارامتر شکل (T) در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری..... ۱۲۰
- شکل ۵-۸- شکل بیضوی مغناطیسی (T) در مقابل درجه ناهمسانگردی تصحیح شده (P') در توده گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۹- نمودار نوع فلین در نمونه‌های توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۱۰- نمودار شمارشی الف) قطب برگوارگی‌ها و ب) وضعیت خطوارگی‌ها در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری..... ۱۲۲
- شکل ۵-۱۱- برگوارگی‌های مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۱۲- الف) و ب) فابریک‌های ماگمایی و موقعیت محورها، برگوارگی و خطوارگی در بیضوی مغناطیسی، ج) پهن‌شدگی مشخص در دانه‌های بیوتیت در گرانیتوئید زهری ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۱۳- خطوارگی‌های مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۴- جهت‌یابی محورهای اصلی AMS و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در گرانیتوئید زهری ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۵- طرح مدل توسعه‌ی برگوارگی و خطوارگی‌ها به همراه بیضوی AMS در توده‌ی گرانیتوئیدی زهری ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱۶- الف) نقشه ساده شده ساختاری، ب) بخش باختری توده زهری و ج) طرح پیشنهادی جایگیری گرانیتوئید ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۱۷- ضخیم‌شدگی پوسته و در پی آن نازک‌شدگی سنگ‌کره ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۱۸- نقشه زمین‌شناسی گستره‌ی لوت - سیستان و محل نمونه برداری‌های ماگماتیسم پس‌برخوردی ..... ۱۳۴
- شکل ۵-۱۹- مدل ژئودینامیکی تکوین پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان ..... ۱۳۵
- شکل ۶-۱- طرح ژئودینامیکی تجسمی از تکوین ماگمایی و تکتونیکی پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان ..... ۱۴۲

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- گردآوری معیارهای تشخیص فابریک‌های ماگمایی تا حالت جامد.....	۳۹
جدول ۴-۱- معرفی میزان حساسیت مغناطیسی چند مورد از کانی‌های دیا، پارا و فرومغناطیس ..	۶۴
جدول ۴-۲- اطلاعات نمایش داده شده بعد از اندازه‌گیری نمونه‌ی استاندارد کالیبراسیون ..	۷۳
جدول ۴-۳- اصطلاحات مغناطیسی و ناهمسانگردی ..	۷۶
جدول ۴-۴- داده‌های مغناطیس‌پذیری در توده‌ی گرانیتوئیدی بی‌بی مریم ..	۷۶
جدول ۵-۱- داده‌های مغناطیس‌پذیری در گرانیتوئید زهری ..	۱۱۶

## فصل اول

---

# کلیات

## ۱-۱- تبیین و اهمیت مطالعه‌ی موضوع

با وجود اینکه شکل‌گیری<sup>۱</sup>، جدایش<sup>۲</sup> و صعود<sup>۳</sup> ماگما در رژیم‌های مختلف زمین‌ساختی (فشاری، کششی و امتدادلغز) روی می‌دهد و در روند این مراحل، بررسی زمین‌ساخت ناحیه‌ای نقش عمده‌ای دارد، ولی در مورد مسئله جایگیری<sup>۴</sup> در وهله‌ی اول رژیم زمین‌ساخت ناحیه‌ای، قادر به کنترل جایگیری ماگما در سطوح مختلف نیست، بلکه لازمه‌ی بررسی عوامل کنترل‌کننده‌ی جایگیری ماگما بازسازی نحوه‌ی توزیع کرنش محلی، میدان تنش نزدیک و نقش آن در فضا سازی ماگما است (Mazzarini et al., 2010; Steenken et al., 2000). بررسی دگرریختی و نحوه‌ی جایگیری در محیط‌های زمین‌ساخت کششی تازگی ندارد و اغلب راه حل‌های ارائه شده در مورد فضا سازی، جایگیری و نقش دگرریختی در این محیط‌ها مورد توافق صاحب‌نظران است، اما ارتباط بین جایگیری و دگرریختی در محیط‌های زمین‌ساخت فشاری - برشی همچنان بحث‌برانگیز است (Bouillin et al., 1993; Vignerresse, 1983; Hutton, 1988; Sant'Ovaia et al., 2010). کنکاش در حل مسئله‌ی جایگیری توده‌های نفوذی در این‌گونه محیط‌های زمین‌ساختی اغلب بر روی مواردی از این قبیل است:

- چه عواملی کنترل‌کننده‌ی جایگیری در ارتباط با کنش و واکنش ساختاری بین تزریق ماگما و سنگ میزبان است؟

- اثر تکوین میدان‌های تنش در فرآیندهای ماگماتیسیم چگونه ارزیابی می‌شود؟

- فعالیت پهنه‌های برشی و گسل‌هایی با سازوکار امتدادلغز و پیدایش فضاهای کشش، تراکشش و ترافشارش چه تأثیری بر نحوه‌ی جایگیری توده‌های نفوذی دارد؟

در عین حال، در این محیط‌ها نیز اتفاق نظر در زمینه‌ی توسعه‌ی ساختارهای درونی توده‌های نفوذی در مراحل نهایی جایگیری در پوسته‌ی فوقانی و تأثیر ساختارهای محلی بر آنها وجود دارد (Mazzarini et al., 2010; Roma'n-Berdiel, 1999).

بررسی ساختارهای درونی در توده‌های نفوذی، علائم مهمی از کینماتیک جایگیری و ارتباط آن با دگرریختی ناحیه‌ای را فراهم می‌سازد و به عنوان نشانگرهای نسبتاً مستقیم از تنش دیرینه به حساب می‌آیند (Paterson et al., 1998). این توده‌ها تحت یک بازه‌ی زمانی کوتاه، امکان بازسازی دقیق از تکامل

<sup>1</sup> Formation

<sup>2</sup> Segregation

<sup>3</sup> Ascent

<sup>4</sup> Emplacement

زمین‌ساختی کمربندهای کوهزایی را فراهم می‌کنند (Benn et al., 2001) و برخلاف سنگ‌های دگرگونی، ساختارهای باز متأثر شده<sup>5</sup> را به نمایش نمی‌گذارند (Paterson et al., 1998). تاکنون بررسی ساختارهای درونی توده‌های نفوذی از جمله گرانیتوئیدها در تبیین نحوه‌ی تکوین ساختارها در برخی بخش‌های مناطقی با فرگشت زمین‌ساختی پیچیده نظیر کمر بند واریسکن (Be Mezeme et al., 2007; Joly et al., 2009)، کوهزاد آلپ- هیمالیا (Steenken et al., 2000; Mukherji et al., 2004)، کمر بند پان آفریقا (Njanko et al., 2010) کارآیی داشته است.

از جمله مناطق، جهت بررسی جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی، گستره‌ی خاور ایران با زمین‌ساخت غالب فشاری- برشی است. پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان در این گستره، در اواخر مزوزوئیک و سنوزوئیک دستخوش رویدادهای زمین‌ساختی متعددی بوده که گاه تشخیص تأثیر مجزای این ساختارها به خصوص در زمان کرتاسه‌ی پسین تا ائوسن بحث و جدل‌های فراوانی را به همراه داشته است (مانند: Tirrul et al., 1983; Saccani et al., 2010; Camp and Griffis, 1982). علاوه بر آن گرفتار شدن زون سیستان در یک پهنه‌ی ترافشاری میان بلوک‌های لوت و افغان و فعالیت پهنه‌های برشی بر پیچیدگی‌های زمین‌ساختی این گستره افزوده است. با وجود اهمیت ساختارهای درونی در گرانیتوئیدها، جای خالی بررسی‌های راجع به بهره‌گیری از این توده‌ها به عنوان علائم ژئودینامیکی و درک روابط مکان/ زمان/ دما/ دگرریختی در توده‌های گرانیتوئیدی پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان مشهود به نظر می‌آید. اغلب توده‌های گرانیتوئیدی در پهنه‌ی سیستان، توسط پهنه‌ی برشی نه‌بندان و پایانه‌های آن احاطه شده‌اند.

- فرایندهای زمین‌ساختی کنترل‌کننده‌ی جایگیری این توده‌های آذرین کدامند؟

- آیا بین جایگیری این توده‌ها و ساختارهای غالب در بردارنده‌ی آن ارتباطی وجود دارد؟

مکانیسم جایگیری توده‌های آذرین با ترکیب و سن‌های مختلف، نشانگرهای ژئودینامیکی در فرگشت زمین‌ساختی پهنه‌ی سیستان به شمار می‌آیند که شامل فرایندها و سازوکارهایی است که تعیین‌کننده «زمان»، «مکان» و «نحوه‌ی جایگیری ماگما» در پوسته است که به عنوان نشانگر کلیدی در درک توزیع و نوع پراکنش کرنش در پوسته‌ی این منطقه محسوب می‌شود. از آنجا که اخیراً اغلب بررسی‌های دقیق ژئوکورنولوژی و ژئوشیمی از سنگ‌های قلمرو شمالی پهنه‌ی سیستان انجام گرفته (برای نمونه: زرین کوب و

---

<sup>5</sup> Superposed structures

دیگران، ۱۳۹۱؛ Pang et al., 2013)، در راستای بررسی ارتباط بین جایگیری توده‌های نفوذی و دگرریختی در بردارنده، گزینش نمونه‌های موردی از توده‌های گرانیتوئیدی نیز در این بخش از پهنه‌ی سیستان انجام شده است، لذا فرایندهای زمین‌ساختی مؤثر بر پیدایش توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری به ترتیب در بخش مرکزی پهنه‌ی برشی نهبندان و یکی از پایانه‌های آن مطالعه و سازوکار جایگیری توده‌های مزبور در پوسته و نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری در جایگیری ماگما در این محدوده بررسی شده است.

با وجود اهمیت بررسی ساختارهای درونی در گرانیتوئیدها، همواره تشخیص ارتباط بین دگرریختی و نحوه‌ی جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی با رویدادهای زمین‌ساخت ناحیه‌ای با چالش روبرو است، از آن جهت که اغلب، این سنگ‌ها فابریک‌های دگرریختی را در مقیاس مزوسکوپی نمایش نمی‌دهند. امروزه، بررسی‌های ناهمسانگردی مغناطیس‌پذیری<sup>۶</sup> (AMS) جهت شناسایی و اندازه‌گیری فابریک‌های ناهمسانگردی ضعیف (برگوارگی و خطوارگی‌ها) هم در حالت ماگمایی و هم در حالت جامد در توده‌های نفوذی به ویژه گرانیتوئیدها ضروری به نظر می‌آید (Bouchez, 1997; Benn et al., 2001; Archanjo et al., 2009). در راستای تشخیص و اندازه‌گیری ساختارهای درونی توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری نیز از این فن بهره برده شده است.

## ۲-۱- اهداف و فرضیه‌های پژوهش

اگرچه پژوهشگران علوم زمین هرکدام به نحوی در کنکاش رخدادهای پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان از طریق داده‌های چینه-سنگی، زمین‌ساختی و پترولوژیکی سهیم بوده‌اند، با این وجود، تاکنون پژوهشی با محوریت صعود، جایگیری و نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری بر روی توده‌های گرانیتوئیدی انجام نشده است. از اینرو، این تحقیق با نیل به اهداف زیر دنبال شده است:

- همزمانی یا غیرهمزمانی توسعه‌ی فابریک‌ها در توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری و ساختارهای در بردارنده
- تعیین غالب بودن تأثیر کرنش زمین‌ساخت ناحیه‌ای یا فرایندهای داخلی محفظه‌ی ماگمایی
- ارتباط بین نحوه‌ی جایگیری ماگما و زمین‌ساخت منطقه با استفاده از داده‌های به دست آمده از بررسی‌های مغناطیسی، ساختاری و ریزساخت‌ها
- ارائه‌ی مدل جایگیری توده‌ی نفوذی با تلفیق مجموعه‌ی داده‌ها و نتایج به دست آمده

<sup>6</sup> Anisotropy of Magnetic Susceptibility

دستیابی به این اهداف، رهگشای ارائه‌ی الگویی از فرگشت زمین‌ساختی خاور ایران خواهد بود که روشنگر ارتباط بین ساختارهای محلی، ناحیه‌ای و فرایندهای ماگماتیسم در این گستره است. طی این فرایند، صحت و سقم پنداشت‌های متعدد در تفسیر رویدادهای تکوین پهنه‌ی سیستان به شرح ذیل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

- شواهد زمین‌ساختی- چین‌نگاری در پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان بیانگر تأثیر چیره‌ی زمین‌ساخت ترافشاری در دگرریختی‌های کرتاسه‌ی پسین است (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱؛ شهیدی، ۱۳۸۱)، جایگیری توده‌های نفوذی در این زمان بی‌ارتباط با نقش زمین‌ساخت ترافشاری نیست.
- پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین در بازه‌ی زمانی ائوسن میانی- الیگوسن گویای آغاز یک رژیم پس برخوردی در اوائل سنوزوئیک است (Pang et al., 2013) که جایگیری توده‌های نفوذی اوایل ائوسن در این رژیم صورت گرفته است.

### ۱-۳- آب و هوا، موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه

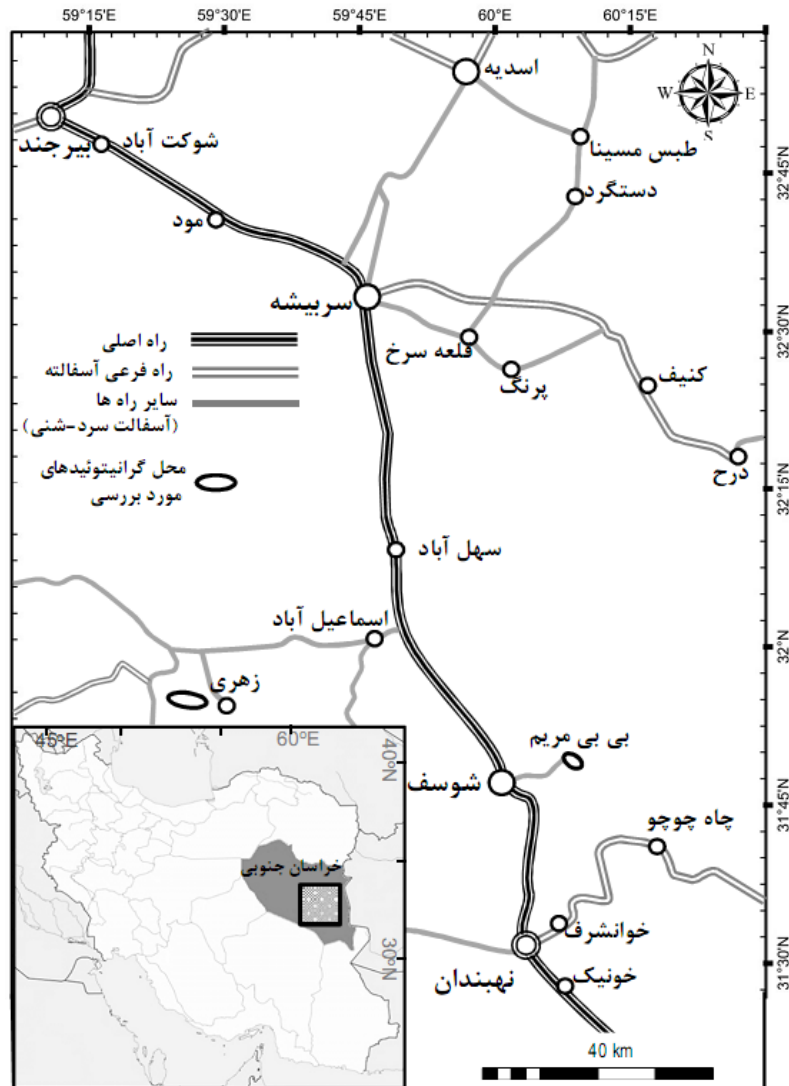
توده‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی، در خاور ایران و در محدوده‌ی استان خراسان جنوبی واقع شده‌اند. این استان از لحاظ ناهمواری‌ها، دو بخش عمده‌ی کوهستانی و مرتفع (نواحی شمالی و شمال باختری) و پست و هموار (دشت‌های مرکزی و جنوبی) را در بر گرفته است. بلندترین قله‌های استان با ارتفاع ۲۸۴۲ متر در کوه کمرسرخ در شمال و شاه کوه با ارتفاع ۲۷۳۷ متر در جنوب واقع شده است. حاصلخیزترین بخش استان در نواحی شمالی آن (حوالی سربیشه و بیرجند) از آب و هوای خشک و معتدل برخوردار است. دشت‌های جنوبی و جنوب باختری (ناحیه‌ی نهبندان) در مجاورت با حاشیه شمال لوت، دارای آب و هوایی خشک و خشن بوده و بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان در این نواحی به شکل‌گیری طوفان‌های شن و ریگ‌های روان می‌انجامد. به علت بارش محدود و اقلیم خشک، رودخانه‌های موجود در این گستره از نوع فصلی بوده و رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد. پوشش گیاهی متفاوتی نیز با تأثیرپذیری از اقلیم در این نواحی مشاهده می‌گردد. در نواحی کوهستانی پوشش گیاهی فشرده‌تر و از نوع استپ‌های کوهستانی است. در نواحی خاوری، جنوبی و باختری، پوشش گیاهی تنک‌تر و گیاهان شورپسند وجود دارد. وجود گونه‌های مقاوم در برابر شرایط نامساعد طبیعی از قبیل درختان کهن بنه (بویژه در منطقه‌ی بی‌بی مریم) و بادام کوهی از ویژگی‌های این نواحی است (وبگاه سازمان هواشناسی کشور). توده‌های گرانیتوئیدی بی‌بی مریم و زهری به ترتیب در ۱۹۰ و ۱۵۵ کیلومتری

جنوب خاوری بیرجند واقع شده‌اند (شکل ۱-۱). هر کدام از این توده‌ها با توجه به نزدیک‌ترین آبادی نامگذاری گردیده‌اند.

گرانیتوئید بی‌بی مریم با مختصات جغرافیایی  $31^{\circ} 52' 30''$  و  $60^{\circ} 14' 30''$  و  $60^{\circ} 13' 20''$  طول خاوری و  $31^{\circ} 51'$  و  $31^{\circ} 52' 30''$  عرض شمالی در محدوده‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی زابل با مقیاس ۱:۲۵۰ ۰۰۰ (علوی‌نائینی، ۱۹۹۰) و نهبندان با مقیاس ۱:۱۰۰ ۰۰۰ (علوی‌نائینی و لطفی، ۱۹۸۹) واقع است. برای راه‌یابی به منطقه، پس از طی مسافت ۱۶۰ کیلومتر از جاده‌ی اصلی بیرجند - زاهدان و رسیدن به شهر شوسف، از مسیر جاده-ای که به سمت خاور منشعب شده است و زیارتگاه بی‌بی مریم (واقع در دامنه‌ی خاوری کوه بی‌بی مریم) و معدن افضل‌آباد در مسیر آن قرار دارد، استفاده می‌شود.

گرانیتوئید زهری با مختصات جغرافیایی  $33^{\circ} 59'$  و  $59^{\circ} 20'$  طول خاوری و  $32^{\circ} 00'$  و  $32^{\circ} 05'$  عرض شمالی در محدوده‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی بیرجند با مقیاس ۱:۲۵۰ ۰۰۰ (افتخارنژاد و اشتوکلین، ۱۳۶۹)، مختاران و سهل‌آباد با مقیاس ۱:۱۰۰ ۰۰۰ (موحد اول و امامی، ۱۹۷۸؛ نوایی، ۱۹۷۴) قرار دارد. پس از طی مسافت ۱۱۵ کیلومتر از جاده‌ی اصلی بیرجند - زاهدان و رسیدن به سه راهی اسماعیل‌آباد، از مسیر جاده‌ای که به سمت باختر منشعب شده، دسترسی به این توده امکان‌پذیر است. این توده در محدوده‌ی روستاهای زهری، زنگویی، محمودعلی، سمنی سفلی، سیدال و برک قرار گرفته است.





شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به مناطق مورد بررسی.

#### ۴-۱- برخی تحقیقات پیشین پیرامون ساختارها و ماگماتیسم در گستره‌ی خاور ایران

- تفسیر شکستگی‌های پوسته‌ی زمین در ایران به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست، بارزترین روند شناخته شده در شکستگی‌های خاور ایران را شمالی- جنوبی و روند شمال خاور- جنوب باختر در مقایسه با روندهای دیگر این محدوده اهمیت کمتری را نشان داده است (برزگر، ۱۳۵۷).

- مطالعه‌ی گسل‌های امتدادلغز پهنه‌ی سیستان بیانگر عملکرد یک دگرریختی پیشرونده در چرخش این گسل‌ها در منطقه است و گسل‌های راستگرد (مرتبط با زون‌های اصلی مانند نه) نسبت به گسل‌های چپگرد، فراوانی و مقدار جابجایی بیشتری را نشان داده است (Freund, 1970).

- گسل نهبندان به عنوان گسلی بنیادین، در پوسته‌ی ایران زمین است که در تکوین زمین‌شناسی خاور ایران نقش اساسی دارد (نبوی، ۱۳۵۵).
- کهن‌ترین سن دیرینه‌شناسی سنگ‌های افیولیتی و فلیشی پهنه‌ی سیستان، بیانگر کافت میان بلوک‌های قاره‌ای افغان و لوت و وجود حوضه‌ی اقیانوسی سیستان در سنومانین است (Tirrul et al., 1983). در کرتاسه‌ی پسین در اثر تنش‌های فشاری، بخشی از افیولیت‌ها روی لبه‌ی خاور بلوک لوت فرارنده شده‌اند (Berberian and King, 1981; Tirrul et al., 1983).
- مجموعه‌ی سنگی - زمین‌ساختی بخش شمالی پهنه‌ی سیستان شامل توالی سنگی مربوط به سنگ‌کره‌ی اقیانوسی، نهشته‌های رخساره‌ی فلیش و مولاس است که تحت تأثیر انواع مختلفی از سنگ‌های آذرین درونی، بیرونی و آذرآواری در محدوده‌ی کرتاسه‌ی پسین تا کواترنر قرار گرفته است (Camp and Griffis, 1982).
- بررسی هندسه‌ی گسل‌های راستالغز در خاور ایران، بیانگر تغییر گرایش بخش شمالی گسل نهبندان به سوی باختر و بخش جنوبی آن به سوی خاور در اثر تکامل یک سامانه‌ی گسلی راستالغز است که به سمت سرشاخه‌های آن، جوان‌تر می‌شود. تحلیل ساختاری بر روی پایانه‌ی بیرجند بیانگر ایجاد سامانه‌های فشاری-برشی در نتیجه‌ی اعمال رژیم زمین‌ساخت همگرا در اواخر کرتاسه است (خطیب، ۱۳۶۸، ۱۳۷۷).
- قرارگیری مجموعه‌های سنگی- زمین‌ساختی رتوک، نه و سفیدابه در محل پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان، وجود روندهای مختلف ساختاری فعال و همچنین لرزه‌خیزی این بخش از پوسته‌ی ایران، حکایت از نقش مؤثر روندهای گسلی شمالی- جنوبی، شمال باختر- جنوب خاور در خاور ایران دارد (Berberian et al., 2000; Tirrul et al., 1983).
- شواهد زمین‌ساختی- چینه‌نگاری در ناحیه‌ی بیرجند، بسته شدن حوضه‌ی اقیانوسی سیستان را در یک رژیم زمین‌ساخت ترافشاری، منشأ تغییرات مهم رخساره‌های رسوبی در فواصل نه چندان دور از هم ارائه می‌دهد (شهیدی، ۱۳۸۱).
- بررسی ژئوشیمی و پترولوژی توده‌های گرانیتوئیدی پهنه‌ی جوش خورده‌ی سیستان (از جمله گرانیتوئید بی‌بی مریم)، آن‌ها را جزو توده‌های مناطق برخوردی دانسته و فعالیت روندهای ساختاری را عامل مؤثر بر ایجاد فضاهای کشتی در فرایند جایگیری معرفی نموده است (محمدی، ۱۳۸۶).
- با توجه به سن رادیومتری زیرکن اورانیم- سرب در سنگ‌های افیولیتی پهنه‌ی سیستان، باریکه‌ی اقیانوسی در کرتاسه‌ی پیشین حیات داشته (Zarrinkoub et al., 2012) و مطالعات اخیر (Theunissen et al., 2010; Zarrinkoub et al., 2012; Brocker et al., 2013, 2014) گویای بسته شدن اقیانوس مذکور

قبل از ۸۶ میلیون سال پیش است. ماحصل حرکات زمین‌ساختی اواخر کرتاسه، بروز ماگماتیسم گرانیتوئیدی با خصلت ژئوشیمیایی آداکیتی در محدوده‌ی سنی ۷۱-۸۶ میلیون سال در درون پهنه‌ی جوش خورده سیستان است (Zarrinkoub et al., 2012).

- فرایند ماگماتیسم در ائوسن میانی تا الیگوسن (۲۵-۴۵ میلیون سال پیش) با جایگیری گسترده‌ی سری ماگمایی کالک آلکان به اوج خود رسیده که با مدل ناشی از نازک‌شدگی سنگ‌کره و صعود سست‌کره در یک رژیم زمین‌ساخت پس‌برخوردی تطابق نشان داده است (Pang et al., 2013).

- آخرین نشانه‌های تکاپوی ماگمایی در خاور ایران بیشتر از نوع بازالت‌های درون صفحه‌ای از اواسط میوسن به بعد است که در امتداد گسل‌های راستالغز راستگرد با راستای غالب شمالی - جنوبی به سطح زمین رسیده‌اند (Pang et al., 2012).

#### ۱-۵- تاریخچه‌ی مطالعات پیشین در زمینه AMS در ایران

ابتدا فن AMS در دانشگاه پول ساباتیه تولز<sup>۷</sup> کشور فرانسه تحت نظر پروفیسور ژان لوک بوشه<sup>۸</sup> انجام شده است. استفاده از این روش، اطلاعاتی را جهت روشن شدن ارتباط بین جایگیری توده‌های نفوذی و دگرریختی همراه با رویدادهای زمین‌ساختی در گوشه و کنار تاریخ زمین‌شناختی ایران در برداشته است، از جمله اینکه:

- فابریک‌های ثبت شده در مجموعه‌ی نفوذی ارومیه واقع در شمال پهنه‌ی سنندج- سیرجان با بهره‌گیری از فن AMS، بیانگر جهت کشش با راستای غالب شمال باختر - جنوب خاور در رژیم دگرریختی ترافشاری طی فرورانش در جهت شمال- شمال خاور شاخه‌ی باختری تتیس جوان در زمان کرتاسه‌ی پسین است (قلمقاش، ۱۳۸۱؛ Ghalamghash et al., 2009).

- جایگیری توده‌ی گرانیتوئیدی زاهدان در بخش میانی نوار ماگمایی زاهدان- سراوان در پرتو فن AMS، بیانگر عملکرد یک حرکت برشی کم شیب در فضاسازی برای جایگیری این توده است (صادقیان و ولی‌زاده، ۱۳۸۶؛ Sadeghian et al., 2005).

- نتایج استفاده از این فن در توده‌ی نفوذی شاهکوه در بخش شمال خاوری بلوک لوت تقویت‌کننده‌ی فرضیه‌ی سوی بردار شمال خاوری اقیانوس تتیس در زمان ژوراسیک و چرخش ۱۵۰ درجه‌ای خلاف جهت عقربه‌ی ساعت در بلوک لوت پس از جایگیری این توده است (Esmaily et al., 2007).

<sup>7</sup> Paul Sabatier University, Toulouse

<sup>8</sup> Jean-Luc Bouchez

- فابریک‌های مغناطیسی در توده‌ی گرانیتوئیدی بروجرد در پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان روشن‌گر جایگیری این توده در فضا‌های محصول رژیم زمین‌ساخت ترفاشاری است (رسولی، ۱۳۸۷؛ Rasouli et al., 2012).

- فابریک‌های مغناطیسی و ماهیت نوع ماگما در باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه واقع در خرد قاره‌ی ایران مرکزی گویای تأثیر رژیم ترفاشاری راستگرد در منطقه‌ی پشت کمانی حاصل از فرورانش تتیس جوان است (شیبی، ۱۳۸۸؛ Sheibi et al., 2012).

خوشبختانه با خودکفایی ایران در فراهم کردن امکانات مناسب آزمایشگاهی توسط آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۶ و آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۸۷ کلیه‌ی اندازه‌گیری‌های لازم برای انجام این روش، در داخل کشور مهیا گردیده است. بدین ترتیب، امکان بررسی سازوکار جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی جنوب ظفرقند (گوانجی، ۱۳۸۹)، گلپایگان (میرزائی حاجی باغلو، ۱۳۸۹)، توده‌ی گرانیتوئیدی ازنا (مردانی و دیگران، ۱۳۸۹)، توده‌های گرانیتوئیدی شمال باختر الیگودرز (بدلو، ۱۳۹۰؛ شکاری، ۱۳۹۰) و توده‌ی گرانیتوئیدی الوند (اصلانی و دیگران، ۱۳۹۰) فراهم شده است.

## ۱-۶-۱- روش پژوهش

روش‌های بررسی در فرایند انجام این پژوهش به صورت مشاهده‌ای، تجربه‌ای و تحلیلی است:

### ۱-۶-۱-۱- روش‌های مشاهده‌ای

این روش‌ها در دو بخش کتابخانه‌ای و برداشت‌های صحرایی انجام شده است:

#### الف. مطالعات کتابخانه‌ای:

- گردآوری و استخراج نکات تئوری پیرامون موضوع کنترل کننده‌های زمین‌ساختی جایگیری ماگما
- بررسی مقالات، گزارش‌ها، پایان‌نامه‌ها و پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با ویژگی‌های زمین‌شناسی خاور ایران و محدوده‌ی مورد بررسی
- بررسی تصاویر ماهواره‌ای ( Landsat با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر و Google Earth)، عکس‌های هوایی (با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰)، نقشه‌های زمین‌شناسی (با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰)، توپوگرافی (با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰) و نرم‌افزارهای متناسب رایانه‌ای به منظور مطالعه‌ی جنس واحدهای سنگی و نحوه‌ی