

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند  
دانشکده علوم  
گروه زمین‌شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (گرایش تکتونیک)

عنوان:

تحلیل هندسی و جنبشی عناصر ساختاری در پهنه گسلی اسفهرود  
(جنوب خاور بیرجند - خاور ایران)

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم غلامی

اساتید مشاور:

دکتر محمد مهدی خطیب

دکتر محمد حسین زرین کوب

تحقیق و نگارش:

سه یوان رحیمی

مهر ۹۰

تقدیم به

"دروماد"  
پ

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از

کلمه "ایثار"

و از خودگذشتگان به پاس عاطفه سرشار

و گرمای امیدنش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

و سرکردانی و ترس در پناہشان به شجاعت می‌گراید

و محبت های بی دریغ شان که هرگز فروکش نمی‌کند.

تقدیم به آنان که بین خوب و بد مرزی قائلند و ارزش‌ها را

به ظاهر نمی‌سنجند

و

تقدیم به خانواده ام حامیان همیشگیم.

مشکر و قدردانی پژوهشگر

لازم می‌بینم مراتب قدردانی و سپاس خود را از آن دست عزیزانی که طی مراحل مختلف پژوهش و نگارش این رساله مرایاری نموده اند ابراز  
نمایم:

از آقای دکتر ابراهیم غلامی استاد راهنمای محترم که با ارائه راهنمایی‌های ارزنده علمی و اخلاقی، روشنگر این دوره از زندگی من بوده اند کمال  
مشکر را دارم.

از آقایان دکتر محمد مهدی خلیب و دکتر محمد حسین زرین کوب، اساتید مشاورم که با ارائه نقطه نظرات سودمند سم بسزایی در بهبود کیفی  
مطالب انفاء نمودند، کمال امتنان و سپاس را دارم.

از اساتید داور آقایان دکتر محمود رضا بیات و دکتر سید سعید محمدی که برای بهتر شدن کار زحمات زیادی کشیدند مشکر می‌کنم.  
از خانم اینی همسر عزیزم، امید بودم و پناه مستقیم که همیشه یاورم بود مشکر می‌کنم. بی‌شک همیاری و همکاری دوستان عزیزم، به ویژه  
آقایان عزیزی، یوسفی و خانم هاشمی و محمدی که در طول اجرای این پژوهش یار و یاور می‌شدند و همراه بی‌بدیل در موفقیت اینجانب بوده  
اند را نباید فراموش کرد و برای آنان آرزوی سلامتی و موفقیت را از خداوند یکتا خواستارم.

رحیمی

مهر ۱۳۹۰

## چکیده

در خاور ایران بین ایالت ساختاری سیستان و بلوک لوت روندهای ساختاری N-S، NW-SE و E-W ظهور بیشتری یافته‌اند. منطقه مورد مطالعه در منتهالیه شمال باختری پهنه‌ی ساختاری سیستان، دارای روند NW-SE می‌باشد و در حد واسط دو روند N-S و E-W قرار دارد. تحلیل هندسی-جنبشی عناصر ساختاری موجود در این منطقه، نشان از رشد گسل‌های راندگی و پس‌راندگی دارد که گسل‌های راندگی با شیب به سمت SW سبب برش، چین‌خوردگی و بهم‌ریختگی واحدهای افیولیت ملانژی و رسوبات ترشیر گردیده‌اند. طی فرآیند دگرشکلی و توالی گسلش از پس‌بوم به پیش‌بوم (Hinterland به Foreland)، چین‌های مرتبط با گسلش ایجاد گردیده‌اند. این چین‌خوردگی‌ها در قسمت باختر منطقه، پلانژ به سمت NW و در قسمت خاور منطقه پلانژ به سمت SE دارند. عدم تغییر ضخامت یال پیشانی این چین‌خوردگی‌ها، دلالت بر چین‌خوردگی در سازوکار خمشی لغزشی و کلاس 1B دارد. بررسی سازوکار گسل‌ها حکایت از نقش مؤلفه‌های فشاری و برشی آنها دارد که به صورت راستگرد معکوس عمل کرده‌اند و دو موقعیت هندسی عمده‌ی N60W/60SW و N30W/60SW هستند.

از آنجاییکه در این گستره واحدهای افیولیتی بر روی واحدهای جوانتر (شیل و ماسه سنگ‌های ترشیری و حتی رسوبات کواترنری)، رانده شده‌اند و در جهت NE باعث رشد چین‌ها و گسل‌ها شده است، می‌توان وجود سطح بستر گسلش را در ایجاد چین مؤثر دانسته که باعث ایجاد چین‌های مرتبط با گسلش با هندسه‌ای مابین چین‌خوردگی خم گسلی (fault bend folding) و چین‌خوردگی انتشار گسلی (fault propagation fold) شده است.

راندگی‌های مذکور به صورت قطعات کمانی شکلی هستند که مؤلفه‌ی فشاری در مرکز کمان‌ها، به حداکثر مقدار خود می‌رسد. ترسیم سه برش عرضی ساختاری عمود بر محور چین‌ها نیز نشان می‌دهند که بیشترین مقدار کوتاه‌شدگی در مرکز کمان‌ها، با مقدار ۰/۲۹- و کمترین مقدار کوتاه‌شدگی در حاشیه‌ی کمان‌ها، با مقادیر ۰/۲۵- و ۰/۱۳- به ترتیب برای خاور و باختر محدوده‌ی مورد مطالعه است. افزایش مقدار کوتاه‌شدگی به سمت خاور ناشی از تأثیر روندهای N-S و رشد ساختارها از خاور به سمت باختر می‌باشد.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل ۱- کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- طرح مسأله.....	۲
۳-۱- فرضیات تحقیق.....	۳
۴-۱- اهداف پژوهش.....	۳
۵-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۳
۶-۱- راههای دسترسی به منطقه.....	۴
۷-۱- تاریخچه مطالعات قبلی در منطقه.....	۴
۸-۱- روش انجام پژوهش.....	۶
<b>فصل ۲- ویژگیهای زمین شناسی ناحیه‌ای.....</b>	<b>۸۸</b>
۱-۲- مقدمه.....	۹۹
۲-۲- جایگاه پهنه شرق ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی زمین شناسی ایران ۹۹	۹۹
۳-۲- عناصر ساختاری پهنه زمین درز سیستان.....	۱۴
۱-۳-۲- چین‌ها.....	۱۴
۲-۳-۲- گسل‌ها.....	۱۴
۴-۲- ستون زمین ساختی ایالت سیستان.....	۱۵
۱-۴-۲- اولین رخداد زمین ساختی.....	۱۵
۲-۴-۲- دومین رخداد زمین ساختی.....	۱۵
۳-۴-۲- سومین رخداد زمین ساختی.....	۱۶
۴-۴-۲- چهارمین رخداد زمین ساختی.....	۱۶
۵-۴-۲- پنجمین رخداد زمین ساختی.....	۱۶
۵-۲- افیولیت ملانژ جنوب بیرجند.....	۱۶
۶-۲- واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه.....	۱۷
<b>فصل ۳- تحلیل هندسی - جنبشی عناصر ساختاری.....</b>	<b>۲۱</b>
۱-۳- مقدمه.....	۲۲
۲-۳- ارتباط چین‌ها و گسل‌های راندگی.....	۲۲

۲۴	چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی	۳-۳
۲۶	چین‌های خم گسلی	۳-۳-۱
۲۸	چین‌های انتشار گسلی	۳-۳-۲
۳۰	چین‌های جدایشی	۳-۳-۳
۳۱	تحلیل جنبشی چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی	۳-۴
۳۲	روشهای استفاده شده برای تحلیل سازوکار گسل‌ها	
۳۳	خطوط لغزشی و پله‌های گسلی	۳-۴-۱
۳۳	ساختارهای صفحه‌ای مایل از نوع S-C	۳-۴-۲
۳۴	چینه‌های نامتقارن	۳-۴-۳
۳۴	توصیف هندسی و تحلیل جنبشی عناصر محدوده مورد مطالعه	۳-۵
۳۹	گسل F <sub>1</sub>	۳-۶
۳۹	تحلیل هندسی - جنبشی گسل F <sub>1</sub> در جنوب روستای اسفهرود (F <sub>1-1</sub> )	۳-۶-۱
۴۳	گسل F <sub>1</sub> در ایستگاه F <sub>1-2</sub>	۳-۶-۲
۴۸	گسل F <sub>1</sub> در ایستگاه F <sub>1-3</sub> (شمال روستای رزگ)	۳-۶-۳
۵۱	گسل F <sub>1</sub> در ایستگاه F <sub>1-4</sub> (شمال بنددره)	۳-۶-۴
۵۳	گسل F <sub>2</sub>	۳-۷
۵۳	تحلیل هندسی - جنبشی گسل F <sub>2</sub> در ایستگاه F <sub>2-1</sub> (شمال اسفهرود)	۳-۷-۱
۶۱	گسل F <sub>2</sub> در ایستگاه F <sub>2-2</sub> (جنوب غرب اسفهرود)	۳-۷-۲
۶۵	گسل F <sub>2</sub> در ایستگاه F <sub>2-3</sub> (جنوب روستای مزگ)	۳-۷-۳
۶۹	گسل F <sub>2</sub> در ایستگاه F <sub>2-4</sub> (جنوب روستای مزگ)	۳-۷-۴
۷۴	گسل F <sub>2</sub> در ایستگاه F <sub>2-4</sub> (شمال روستای رزگ)	۳-۷-۵
۷۵	گسل F <sub>3</sub>	۳-۸
۷۶	گسل F <sub>3</sub> در ایستگاه F <sub>3-1</sub> (شرق و شمال شرقی روستای اسفهرود)	۳-۸-۱
۷۷	واحد‌های شیل و ماسه سنگی آهکی	۳-۸-۱-۱
۸۰	واحد‌های فلیشی ترشیری	۳-۸-۱-۲
۸۶	گسل F <sub>4</sub>	۳-۹
۸۶	گسل F <sub>4</sub> در روستای رزگ (F <sub>4-1</sub> )	۳-۹-۱
۸۹	گسل F <sub>4</sub> در جنوب روستای چهارده تا جنوب بنددره (F <sub>4-2</sub> )	۳-۹-۲
<b>۹۶</b>	<b>تحلیل دگرشکلی</b>	<b>۴</b>
۹۷	مقدمه	۴-۱
۹۷	تشخیص هندسه تاقدیس‌های موجود در پهنه‌ی گسلی اسفهرود	۴-۲
۹۹	هندسه ساختاری چین‌های مرتبط با گسلی در پهنه‌ی گسلی اسفهرود	۴-۳

۱۰۱.....	پیمایش و برش ساختاری عرضی AA'	۱-۳-۴
۱۰۴.....	پیمایش و برش ساختاری عرضی BB'	۲-۳-۴
۱۰۷.....	پیمایش و برش ساختاری عرضی CC'	۳-۳-۴
۱۰۸.....	مدل تکتونیکی منطقه‌ی مورد مطالعه	۴-۴
۱۱۴.....	<b>فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات</b>	
۱۱۵.....	نتیجه گیری	۱-۵
۱۱۶.....	پیشنهادها	۲-۵



## فهرست جداول

جدول ۱-۲	ستون زمینساختی ایالت ساختاری سیستان.	۱۷
جدول ۱-۳	خصوصیات ساختارهای s-c مربوط به گسل اصلی	۴۰
جدول ۲-۳	مشخصات هندسی و جنبشی گسل F <sub>1-2</sub>	۴۳
جدول ۳-۳	مشخصات هندسی و جنبشی گسل در ایستگاه F <sub>1-3</sub>	۴۷
جدول ۴-۳	مشخصات هندسی جنبشی گسلها و چین‌های محدوددهی F <sub>1-4</sub>	۴۹
جدول ۵-۳	مشخصات هندسی و جنبشی گسل در ایستگاه F <sub>2-1</sub>	۵۱
جدول ۶-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین‌های موجود در ایستگاه F <sub>2-2</sub>	۵۵
جدول ۷-۳	مشخصات هندسی و جنبشی شکل ۳-۴۷، در ایستگاه F <sub>2-2</sub>	۶۴
جدول ۸-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین تصویر ۳-۴۸، در ایستگاه F <sub>2-3</sub>	۶۴
جدول ۹-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین خوردگی شکل ۳-۵۱، در ایستگاه F <sub>2-3</sub>	۶۵
جدول ۱۰-۳	مشخصات هندسی و جنبشی شکل ۳-۵۳ الف، در ایستگاه F <sub>2-4</sub>	۶۹
جدول ۱۱-۳	مشخصات هندسی و جنبشی شکل ۳-۵۶، در ایستگاه F <sub>2-4</sub>	۷۲
جدول ۱۲-۳	مشخصات هندسی و جنبشی شکل ۳-۶۰، در ایستگاه F <sub>3-1</sub>	۷۴
جدول ۱۳-۳	مشخصات هندسی و جنبشی گسل شکل ۳-۶۲، در ایستگاه F <sub>2-4</sub>	۷۸
جدول ۱۴-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۶۴، در ایستگاه F <sub>2-4</sub>	۷۹
جدول ۱۵-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین‌های شکل ۳-۷۰، در ایستگاه F <sub>3-1</sub>	۸۰
جدول ۱۶-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۶۸، در ایستگاه F <sub>3-2</sub>	۸۱
جدول ۱۷-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۷۰، در ایستگاه F <sub>3-2</sub>	۸۴
جدول ۱۸-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۷۲، در ایستگاه F <sub>4-1</sub>	۸۵
جدول ۱۹-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۷۴، در ایستگاه F <sub>4-1</sub>	۸۶
جدول ۲۰-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۷۶، در ایستگاه F <sub>4-2</sub>	۸۹
جدول ۲۱-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۷۸، در ایستگاه F <sub>4-2</sub>	۹۱
جدول ۲۲-۳	مشخصات هندسی و جنبشی چین شکل ۳-۸۰ الف، در ایستگاه F <sub>4-2</sub>	۹۳
جدول ۱-۴	مشخصات هندسی، ساختارهای s-c در برش‌های عرضی	۱۰۴

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ موقعیت گسل نه‌بندان و سرشاخه‌های فرعی آن ..... ۴
- شکل ۲-۱ مقطع عرضی از تپه‌ها در دره مابین کوه باقران و کوه شکرآب ..... ۴
- شکل ۳-۱ راه‌های دسترسی به منطقه مورد نظر ..... ۵
- شکل ۱-۲ ساختار کلی بخشی از زون فلیش شرق ایران ..... ۱۰۱۰
- شکل ۲-۲ مراحل آغاز و پایان فرورانش در حاشیه شرقی لوت ..... ۱۲
- شکل ۳-۲ پهنه‌ی ساختاری ایران و موقعیت زون شرق ایران ..... ۱۳
- شکل ۴-۲ روند کلی سیستم گسلی سیستان با طرح هلال دوگانه ..... ۱۵
- شکل ۵-۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۸
- شکل ۶-۲ نمونه‌ای از واحدهای افیولیتی ..... ۱۹
- شکل ۷-۲ رخنمون سنگ‌های فلیشی کرتاسه ..... ۱۹
- شکل ۸-۲ رخنمون فلیش‌های ترشیری ..... ۲۰
- شکل ۹-۲ رخنمون واحدهای کواترنری (کنگلو‌مرا) ..... ۲۰
- شکل ۱-۳ توالی شماتیک مراحل ساختاری رابطه بین چین‌خوردگی و گسلش ..... ۲۳
- شکل ۲-۳ تقسیم بندی سه گانه ساده از چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی ..... ۲۵
- شکل ۳-۳ زاویه بین پهلوها ( $\gamma$ )، زاویه پلکان گسل ( $\alpha$ )، ضخامت پهلوی خلفی (tb) ..... ۲۶
- شکل ۴-۳ سیر تکاملی سبک I، یک چین خم گسلی ساده ..... ۲۷
- شکل ۵-۳ (a) اندازه گیری شیب پلکان و زاویه بین پهلوها برای چین‌های خم گسلی ..... ۲۸
- شکل ۶-۳ یک توالی زمانی ساده برای مدل‌های مختلف چین‌خوردگی مرتبط با راندگی ..... ۲۹
- شکل ۷-۳ تکامل پیش رونده یک چین انتشار گسلی ..... ۳۰
- شکل ۸-۳ (a) اندازه گیری شیب پلکان و زاویه بین پهلوها برای چین‌های انتشار گسلی ..... ۳۰
- شکل ۹-۳ پیش بینی‌های جنبشی برای مدل‌های مختلف چین‌خوردگی مرتبط با گسل ..... ۳۲
- شکل ۱۰-۳ طرح شماتیک از خصوصیات فابریک s-c ..... ۳۴
- شکل ۱۱-۳ طرح شماتیکی از چین‌های نامتقارن تشکیل شده در ارتباط با گسل ..... ۳۵
- شکل ۱۲-۳ طرح شماتیک که در آن فرکتال بودن هندسه ساختاری s-c نشان داده شده است ..... ۳۶
- شکل ۱۳-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با چهارگسل  $F_1, F_2, F_3, F_4$  ..... ۳۷
- شکل ۱۴-۳ نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه با چهارگسل  $F_1, F_2, F_3, F_4$  ..... ۳۸
- شکل ۱۵-۳ نمای کلی از گسل  $F_1$  در ایستگاه  $F_{1-1}$  ..... ۴۱
- شکل ۱۶-۳ ساختارهای S-C مربوط به گسل اصلی (یال پشتی چین) ..... ۴۱

- شکل ۳-۱۷ ساختارهای S-C مربوط به گسل فرعی ( یال پیشانی چین) ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۸ تصویر استریوگرافیک ساختارهای s-c و چین خوردگی. .... ۴۲
- شکل ۳-۱۹ نمای کلی و جزئی از امتداد گسل F<sub>1-2</sub>..... ۴۴
- شکل ۳-۲۰ یک نمونه از چین مرتبط گسلی در امتداد گسل F<sub>1-2</sub> ..... ۴۴
- شکل ۳-۲۱ نمایی از یک چین مرتبط گسلی در امتداد گسل F<sub>1-2</sub> ..... ۴۵
- شکل ۳-۲۲ سطوح برشی گسل F<sub>1-2</sub> به همراه چندین خش لغزش بر روی آن ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۳ تحلیل هندسی - جنبشی گسل F<sub>1-2</sub> ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۴ الف : نمای کلی از گسل فرعی ( یال پیشانی چین) در راستای گسل F<sub>1-2</sub> ..... ۴۷
- شکل ۳-۲۵ نمایی از گسل فرعی ( یال پیشانی چین) با خش لغز موجود بر روی آن در ایستگاه F<sub>1-2</sub> ..... ۴۸
- شکل ۳-۲۶ الف) تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل فرعی ..... ۴۸
- شکل ۳-۲۷ الف) نمایی از گسل F<sub>1-3</sub> همراه با یال پیشانی چین. .... ۴۹
- شکل ۳-۲۸ الف) نمایی از یال خلفی چین در راستای گسل F<sub>1-3</sub> ..... ۵۰
- شکل ۳-۲۹ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل F<sub>1-3</sub> ..... ۵۰
- شکل ۳-۳۰ نمایی از نحوه‌ی راندگی در محدوده‌ی گسل F<sub>1-4</sub> ..... ۵۲
- شکل ۳-۳۱ الف) چپگرد بودن گسل فرعی (یال پیشانی چین) با استفاده از خش لغز همراه ..... ۵۲
- شکل ۳-۳۲ نمای کلی از ایستگاه F<sub>2-1</sub> ..... ۵۴
- شکل ۳-۳۳ یک نمونه از گسل اصلی F<sub>2</sub> در ایستگاه F<sub>2-1</sub> همراه با دو خش لغزش متفاوت. .... ۵۶
- شکل ۳-۳۴ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل اصلی. .... ۵۷
- شکل ۳-۳۵ چین‌های ایجاد شده در اثر گسل اصلی F<sub>2</sub> در ایستگاه F<sub>2-1</sub> ..... ۵۸
- شکل ۳-۳۶ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل ..... ۵۸
- شکل ۳-۳۷ رگه‌های کششی ایجاد شده در اثر گسل اصلی F<sub>2</sub> در ایستگاه F<sub>2-1</sub> ..... ۵۸
- شکل ۳-۳۸ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل اصلی ..... ۵۹
- شکل ۳-۳۹ ساختارهای s-c راستگرد ایجاد شده در اثر گسل فرعی F<sub>2</sub> در ایستگاه F<sub>2-1</sub> ..... ۵۹
- شکل ۳-۴۰ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل فرعی ..... ۶۰
- شکل ۳-۴۱ چین‌های کشیده فرادیواره گسل فرعی F<sub>2</sub> در ایستگاه F<sub>2-1</sub> ..... ۶۰
- شکل ۳-۴۲ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش فرا دیواره گسل فرعی ..... ۶۰
- شکل ۳-۴۳ طرح شماتیک از نحوه‌ی راندگی ..... ۶۱
- شکل ۳-۴۴ الف و ب) چین‌های ایجاد شده در اثر گسل. .... ۶۲
- شکل ۳-۴۵ الف) تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش چین‌های ایجاد شده. .... ۶۳
- شکل ۳-۴۶ چین‌های همراه با خش لغزش. .... ۶۴
- شکل ۳-۴۷ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش گسل‌های شکل ۳-۵۱. الف. .... ۶۵

- شکل ۳-۴۸ الف، پ، ث) نمونه هایی از توالی و تکرار لایه‌ها و راندگی واحدهای افیولیتی . . . . . ۶۶
- شکل ۳-۴۹ الف، ج و چ) تحلیل هندسه - جنبشی چین‌های ایجاد شده در شکل ۳-۵۳. . . . . ۶۷
- شکل ۳-۵۰ چین‌های مرتبط گسلی دارای پلانژ به سمت SE. . . . . ۶۸
- شکل ۳-۵۱ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش چین خوردگی . . . . . ۶۸
- شکل ۳-۵۲ الف) رشد گسلها به سمت پیشانی کوهستان . . . . . ۷۰
- شکل ۳-۵۳ الف) رشد گسلها به سمت دامنه کوهستان، راندگی و ایجاد چین. . . . . ۷۱
- شکل ۳-۵۴ الف و ب) تحلیل استریوگرافی چین‌های ایجاد شده توسط گسلها . . . . . ۷۲
- شکل ۳-۵۵ خم‌شدگی لایه‌ها و امتداد گسل، همراه با خش‌لغزش. . . . . ۷۳
- شکل ۳-۵۶ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش گسل‌های اصلی و فرعی. . . . . ۷۴
- شکل ۳-۵۷ وضعیت گسل  $F_2$ ، در ایستگاه  $F_{2-5}$ . . . . . ۷۵
- شکل ۳-۵۸ لغزش بین لایه‌های در واحدهای شیلی و ماسه‌ای . . . . . ۷۶
- شکل ۳-۵۹ یک نمونه از صفح‌گسلی همراه با خش‌لغزش آن بر روی گسل  $F_3$ ، در ایستگاه  $F_3-1$ . . . . . ۷۷
- شکل ۳-۶۰ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش گسل مربوط به شکل ۳-۶۴. . . . . ۷۸
- شکل ۳-۶۱ تصاویری از یالهای پیشانی چین‌های تشکیل شده بر روی گسل  $F_3$ ، در ایستگاه  $F_3-1$ . . . . . ۷۸
- شکل ۳-۶۲ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش گسل مربوط به شکل ۳-۶۶. . . . . ۷۹
- شکل ۳-۶۳ تصاویری از چین خوردگی در واحدهای شیل و ماسه اهکی . . . . . ۷۹
- شکل ۳-۶۴ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش چین‌های مربوط به شکل ۳-۶۸. . . . . ۸۰
- شکل ۳-۶۵ تصاویری از راستای گسل، برگواره‌گی و چین‌خوردگی در واحدهای فلیشی ترشیری . . . . . ۸۱
- شکل ۳-۶۶ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش چین‌های مربوط به شکل ۳-۷۰. . . . . ۸۲
- شکل ۳-۶۷ تصاویری از راستای گسل، و ساختارهای همراه در واحدهای فلیشی کرتاسه و پریدوتیت . . . . . ۸۳
- شکل ۳-۶۸ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش ساختارها. . . . . ۸۴
- شکل ۳-۶۹ تصاویری از برگواره‌گی‌ها و ریز چین‌های شکنجی و Z شکل. . . . . ۸۵
- شکل ۳-۷۰ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش ساختارهای مربوط به شکل ۳-۷۴. . . . . ۸۵
- شکل ۳-۷۱ الف و ب) طرحی شماتیک از نحوه‌ی راندگی برای درک بهتر تصاویر. . . . . ۸۷
- شکل ۳-۷۲ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش گسل‌ها. . . . . ۸۷
- شکل ۳-۷۳ تصاویری از چین خوردگی بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس پلانژدار . . . . . ۸۸
- شکل ۳-۷۴ الف) تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش چین‌ها. . . . . ۸۹
- شکل ۳-۷۵ تصاویری از چین خوردگی بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس پلانژدار. . . . . ۹۰
- شکل ۳-۷۶ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش ساختارها. . . . . ۹۱
- شکل ۳-۷۷ تصاویری از ریزچین‌های موجود در راستای گسل  $F_{4-2}$  . . . . . ۹۲
- شکل ۳-۷۸ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش ساختارهای مربوط به شکل ۳-۸۲. . . . . ۹۳

- شکل ۳-۷۹ الف) نمایی از چین خوردگی و راندگی‌های بزرگ مقیاس. .... ۹۴
- شکل ۳-۸۰ تحلیل استریوگرافی هندسه و سوی جنبش ساختارهای مربوط به شکل ۳-۹۸ الف. .... ۹۵
- شکل ۴-۱ نقشه زمین‌شناسی، موقعیت ساختارهای همراه در هر ایستگاه. .... ۹۸
- شکل ۴-۲ روابط محاسبه ضخامت واقعی لایه‌ها با در نظر گرفتن تاثیرات توپوگرافی. .... ۹۷
- شکل ۴-۳ موقعیت تاقدیس‌های موجود بر روی نمودارهای (Jamison 1987). .... ۱۰۰
- شکل ۴-۴ برش عرضی ساختاری AA'. .... ۱۰۱
- شکل ۴-۵ شکلی شماتیک برای نشان دادن نحوه‌ی بدست آوردن مقدار کشیدگی. .... ۱۰۲
- شکل ۴-۶ شکلی شماتیک برای نشان دادن نحوه‌ی بدست آوردن طول کمان‌ها. .... ۱۰۳
- شکل ۴-۷ جهت حرکت گسل با استفاده از ساختارهای s-c. .... ۱۰۴
- شکل ۴-۸ نمونه‌هایی از پهنه‌های گسلی خرد شده با قطعات لنزی شکل داخل آنها. .... ۱۰۵
- شکل ۴-۹ برش عرضی BB'. .... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۰ یک نمونه از تاقدیس فرعی شکل گرفته در پهلوی شمالی تاقدیس اصلی. .... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۱ بلوک دیاگرامی از تاقدیس‌های فرعی در پهلوهای تاقدیس‌های اصلی. .... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۲ انواع تاقدیس‌های گوش خرگوشی (اقتباس از مطیعی، ۱۳۷۴). .... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۳ برش ساختاری عرضی CC'. .... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۴ قرار گرفتن برش ساختاری عرضی BB' در مرکز کمان بزرگ راندگی. .... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۵ مدل پیشنهادی برای نحوه‌ی ایجاد چین خوردگی. .... ۱۱۰
- شکل ۴-۱۶ زمانبندی راندگی در کمربندهای چین‌خورده - رورانده. .... ۱۱۰
- شکل ۴-۱۷ مثالی از سیستم رانده در کمربندهای چین‌خورده - رورانده. .... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۸ مدل پیشنهادی برای نحوه‌ی ایجاد چین خوردگی‌های مرتبط گسلی و پلانژدار. .... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۹ نمونه‌هایی از چین خوردگی مجدد. .... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۰ مدل پیشنهادی برای نحوه‌ی ایجاد چین خوردگی‌های مرتبط گسلی. .... ۱۱۳

## فصل ۱- کلیات

## ۱-۱- مقدمه

یکی از روشهای بررسی زمین‌شناسی ساختاری و زمین ساخت، تحلیل هندسی و جنبشی می‌باشد. در این روش با مطالعه ساختارهایی از قبیل چین‌ها، درزه‌ها، گسل‌ها و...، یک مدل ساختاری برای منطقه مورد نظر ارائه می‌شود. بررسی‌های ریخت زمین‌ساختی و تحلیل مدل‌های هندسی و جنبشی در مناطق فعال تکتونیکی ابزار مهمی در راستای شناخت فرایندهای نو زمین‌ساختی و لرزه زمین‌ساختی محسوب می‌گردند. در این تحقیق سعی شده است که با تحلیل عناصر ساختاری موجود در پهنه‌ی گسلی اسفهرود به ویژه گسل‌ها، ساختارهای S-C، خش لغزها و چین‌ها، تکامل تکتونیکی این منطقه مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که این گسل در نزدیکی شهر بیرجند قرار دارد و می‌تواند به شناخت بیشتر زمین‌شناسی منطقه و ایجاد زمینه گسترده‌تر برای مطالعه دیگر گسل‌های E-W بخش شمالی پهنه سیستان - لوت کمک کند لذا انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

## ۱-۲- طرح مسأله

منطقه مورد مطالعه در حد فاصل ایالت ساختاری سیستان و بلوک لوت واقع شده است. ایالت ساختاری سیستان در شرق ایران با روند کلی شمالی جنوبی، نشان دهنده‌ی زمین‌درز برخوردی قطعه لوت و افغان است (تیرول و همکاران، ۱۹۸۳). وجود سیستم گسلی نهپندان در مرز بین ایالت ساختاری سیستان و بلوک لوت، با سازوکار غالب امتدادلغز راستگرد و روند کلی شمالی- جنوبی، دارای سر شاخه‌های فرعی زیادی به سمت NW (در پایانه‌ی شمالی) و SE (در پایانه‌ی جنوبی) می‌باشد. پایانه شمالی این گسل، با چرخش به سمت غرب و روند عمومی NW، به صورت تداخلی وارد قطعه‌ی لوت شده است. در واقع منطقه مورد مطالعه که افیولیت ملانژ جنوب بیرجند (رشته کوه باقران) نیز نامیده می‌شود یکی از پایانه‌های گسل مذکور می‌باشد (خطیب، ۱۳۷۷). تأثیر رژیم زمین‌ساخت فشاری بر منطقه (خطیب، ۱۳۶۸)، و تأثیر متفاوت این عملکرد، در قسمت‌های مختلف این پایانه، باعث ایجاد رخنمونهای پریدوتیتی لنزی شکل در باختر اسفهرود و عدم رخنمون آنها در دامنه شمالی کوهستان در خاور اسفهرود، گسترش رخنمون فلیشی پالئوسن - ائوسن و فلیش کرتاسه در خاور اسفهرود و عدم رخنمون آنها در باختر اسفهرود شده که از پدیده‌های قابل تامل در بخش جنوب خاوری شهر بیرجند در دامنه شمالی کوه باقران (در محدوده روستای اسفهرود)، است. رخنمون واحدهای سنگی و پهنه‌های گسلی در این منطقه روند NW-SE دارند و متصل کننده روندهای N-S به E-W هستند. لذا سوالات اصلی تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

- مولفه غالب گسل‌های SE-NW، در بخش‌های مختلف منطقه امتداد لغز است یا معکوس؟
- تقدم و تاخر فعالیت پهنه گسلی به صورت راندگی یا امتداد لغز چگونه انجام شده است؟
- طرح هندسی محورهای جنبشی در منطقه مورد مطالعه و در راستای این پهنه گسلی (NW-SE) چگونه است؟

### ۳-۱- فرضیات تحقیق

- ◀- علت تفاوت رخنمون واحدهای سنگی در خاور و باختر اسفهرود، ناشی از تفاوت در تاثیر سازوکار گسلهاست.
- ◀- به سمت باختر اسفهرود، فعالیت گسلهای معکوس (Reverse) بیشتر می شود.
- ◀- ظهور گسلهای پس راندگی (back thrust) از شرق به غرب منطقه مورد مطالعه زیاد می شود.
- ◀- میزان جابه جایی امتدادلغز، از شرق به غرب منطقه مورد مطالعه کم می شود.

### ۴-۱- اهداف پژوهش

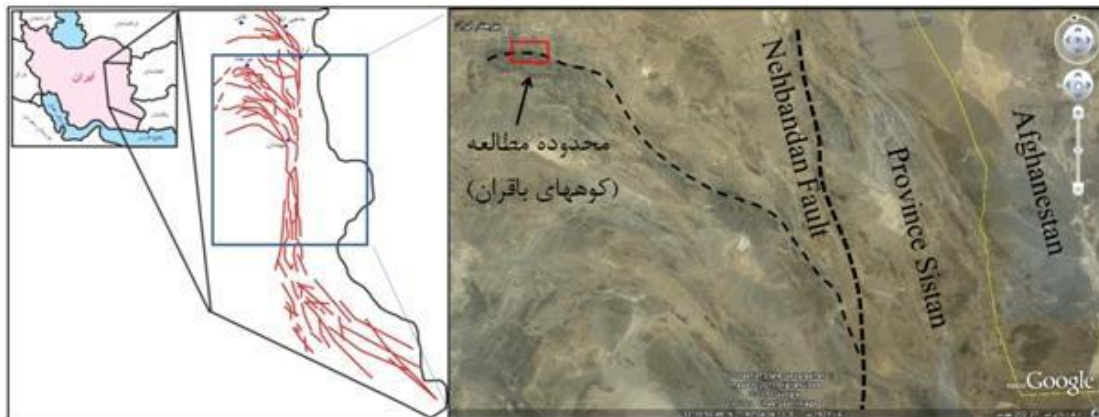
هدف از این تحقیق، بررسی و تحلیل عناصر ساختاری موجود در منطقه (گسلها، ساختارهای s-c، چینها و...)، بررسی نقش فشارش و برش و پی بردن به نحوه دگرریختی و تکوین زمین ساختی در راستای روند-NW SE آنها است. تا در نهایت توجیهی از تکامل تکتونیکی منطقه داشته باشیم.

### ۵-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات عرضی شمالی ( $32^{\circ} 49' 36.57''$  تا  $32^{\circ} 44' 4.64''$ ) و طول شرقی شمالی ( $59^{\circ} 12' 45.92''$  تا  $59^{\circ} 25' 36.67''$ ) در شرق ایران (حد فاصل ایالات ساختاری سیستان و لوت) در فاصله ۲/۵ کیلومتری جنوب شرق شهر بیرجند واقع شده است (شکل ۱-۱). شهرستان بیرجند با موقعیت جغرافیایی  $32^{\circ} 53' N$  و  $59^{\circ} 13' E$  مرکز استان خراسان جنوبی می باشد. این شهرستان با وسعتی حدود ۶۹۷۰۵ کیلومترمربع از طرف شمال به استان خراسان رضوی، از جنوب به استان سیستان و بلوچستان، از خاور به کشور افغانستان و از باختر به شهرستان طبرستان و فردوس محدود می گردد. ارتفاع متوسط از سطح آبهای آزاد در فرودگاه شهر بیرجند ۱۴۹۱ متر اندازه گیری شده است (سایت ویکیپدیا).

مقاطع توپوگرافی با راستای شمالی - جنوبی از رشته کوه باقران در جنوب بیرجند بیانگر افزایش نشیب دامنه شمالی نسبت به دامنه جنوبی بوده است (خطیب، ۱۳۶۸). (شکل ۲-۱) مقطع عرضی تهیه شده توسط نرم افزار Global maper برای بیان وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه نسبت به شهر بیرجند می باشد. آب و هوای بیرجند، نیمه بیابانی بوده و دارای زمستانهای سرد و تابستانهای گرم است. بر اساس اطلاعات ایستگاه هوا شناسی بیرجند، میانگین دمای سالیانه برابر با ۱۶/۵ درجه سانتیگراد و مجموع بارش سالیانه در این شهر، به طور میانگین برابر با ۱۷۱ میلی متر در سال است. وجود بادهای موسمی همراه با گرد و غبار از ویژگی های آب و هوایی آن می باشد. جهت وزش این بادهای از سمت خاور است که در اوایل فصل تابستان صورت می گیرد (سایت ویکیپدیا).





شکل ۱-۱ موقعیت گسل نهبندان و سرشاخه‌های فرعی آن با روند SE - NW و محدوده‌ی مورد مطالعه



شکل ۲-۱ مقطع عرضی از تپه‌ها در دره مابین کوه باقران و کوه شکرآب (با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper)

### ۱-۶- راه‌های دسترسی به منطقه

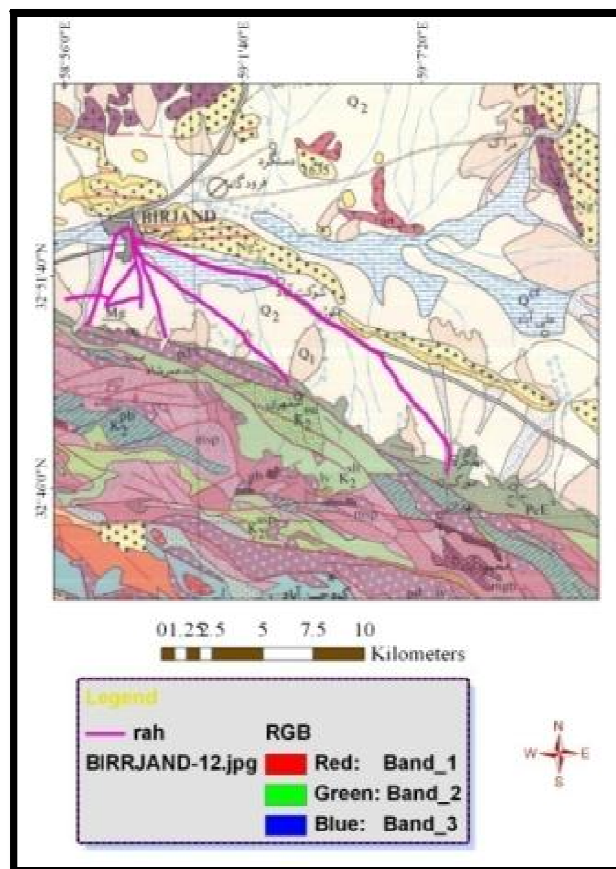
راه‌های دسترسی به منطقه از طریق جاده‌های فرعی زیادی که از شهر بیرجند به روستاهای اسفهرود، مزگ و رزگ ختم می‌شوند، امکان پذیر می‌باشد (شکل ۱-۳).

### ۱-۷- تاریخچه مطالعات قبلی در منطقه

برای اولین بار Sedlack (1938,1955) با استفاده از کارهای Verdenburg (1951,1959) و Clapp (1959) وجود نهشته‌های وسیع فلیشی با سن ترشیاری و سنگ‌های کرتاسه در رشته کوه‌های خاور ایران با روند شمالی - جنوبی را بیان کرد.

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی بخش شمالی کمربند خاور ایران توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تحت عنوان «بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی و خاور ایران» (اشتوکلین و افتخار نژاد، ۱۳۵۲) منتشر

شد. در این گزارش اشتوکلین، افتخارنژاد و هوشمندزاده، مدل فرگشت زمین‌ساختی را برای خاور ایران با در نظر گرفتن زمین‌ساخت ورقه‌ای ارائه نمودند و از این منطقه با عنوان فلیش و کالرد ملانژ نام بردند.



شکل ۱-۳ راههای دسترسی به منطقه مورد نظر

Freund (1970) چرخش گسل‌های راستالغز در پهنه سیستان را مورد بررسی قرار داد. و عملکرد یک دگرشکلی پیشرونده را عامل چرخش گسل‌های مذکور دانست. تفسیر شکستگی‌های پوسته زمین در ایران به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست، بارزترین روند شناخته شده در شکستگی‌های خاور ایران را شمالی- جنوبی نشان می‌دهد و روند شمال شرق- جنوب غرب در مقایسه با روندهای دیگر این محدوده اهمیت بسیار کمتری را نشان می‌دهد. تکوین زمین‌ساختی جنوب بیرجند نیز نتیجه‌ی توسعه‌ی ساختارها با روند شرقی- غربی است (برزگر، ۱۳۵۷).

Cummings (1976) الگوی دگرشکلی پلاستیک شبیه سلول پراندل را در مورد گسل‌های پهنه لوت و خاور ایران مطالعه کرد.

Tirrul (1983) و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «پهنه زمین درز سیستان» در خاور ایران، ویژگی‌های چینه‌سنگی، زمین‌ساختی و چگونگی فرگشت آن را مورد بحث قرار دادند و به ایجاد و از بین رفتن پوسته‌ی اقیانوسی به زیر بلوک افغان در مزوزوئیک- سنوزوئیک بیان نمودند.

ارتباط بین گسلش و چین‌خوردگی فعال در شرق ایالت کرمان، که در این بررسی بیشتر به مطالعه‌ی شواهد مورفوتکتونیک‌ی چین‌های مرتبط با راندگی پرداخته است.

تحلیل ساختاری کوه‌های جنوب بیرجند، بیانگر سیستم برشی - فشاری چپگرد است که سنگ‌های ولکانیکی و ساب‌ولکانیکی با فضا‌های باز ناشی از عملکرد این پهنه تطابق دارد (خطیب ۱۳۶۸).

(هیئات، ۱۳۸۰) با تحلیل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند، منطقه را فعال معرفی کرد و تاریخچه‌ی مشابه برای لوت و افغان را تا قبل از تریاس میانی، اعمال رژیم تنش کششی تا کرتاسه فوقانی در راستای شمال خاور- جنوب باختر و وارونگی رژیم زمین‌ساختی (از کشش به فشارش) در کرتاسه فوقانی را تأیید کرد.

(فخاری، ۱۳۸۵) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود به تحلیل خطر زمین لرزه با استفاده از GIS و روش محاسباتی و بررسی چین‌خوردگی در ارتباط با گسلش در دشت بیرجند پرداخته است. وی در این پروژه تأقدیس بیرجند را یک چین پیشرو گسلی عنوان کرده است.

تحلیل خطر زمین لرزه در راستای گسل جنوب بیرجند، فعالیت زمین‌ساختی نسبتاً بالایی را برای این گسل نشان داد و دارای قطعات گسلی متفاوت، به صورت ناپیوسته است (عرب خزاعی، ۱۳۸۸).

## ۸-۱- روش انجام پژوهش

به طور کلی روش انجام این تحقیق شامل سه مرحله است:

الف) مطالعات دفتری و کتابخانه‌ای.

ب) عملیات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی.

ج) تحلیل و پردازش داده‌ها

الف) مطالعه دفتری و کتابخانه‌ای شامل جمع‌آوری کلیه مقالات موجود در محدوده مورد نظر و بررسی مدل‌های موجود در مناطقی که از لحاظ تکتونیک‌ی مشابه منطقه مورد مطالعه بودند، بررسی سایت‌های مربوطه، مطالعه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و توپوگرافی بیرجند، عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، می‌باشد.

ب) عملیات صحرایی و آزمایشگاهی شامل:

۱- اندازه‌گیری و بررسی شیب و امتداد خطواره‌های گسلی و خش لغزها، به منظور بدست آوردن هندسه گسل‌ها و تعیین موقعیت محورهای تنش و کرنش.

۲- اندازه‌گیری و بررسی شیب و امتداد یالهای چین‌های کشیده و بدست آوردن سطح محوری آنها جهت بدست آوردن جهت حرکات گسلهایی که خش لغز ندارند.

۳- بررسی گسلها و شکستگی های متقاطع، جهت بدست آوردن جهات تنشهای اصلی.

ج) تحلیل و پردازش داده ها شامل :

۱- تهیه نقشه اولیه از منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GIS و تکمیل آن با استفاده از داده های صحرایی.

۲- تحلیل داده با استفاده از نرم افزار های مربوطه از جمله : Stereowin, FaultKinWinFull.

۳- بیان مدل دگرشکلی ( تکوین تکتونیکی) منطقه مطالعه.