

## محاسبه نرخ کوتاه‌شدگی با تحلیل هندسی - جنبشی دوپشته‌های خونیک (بخش شمالی زمین‌درز سیستان)

رضوانه حمیدی\*<sup>۱</sup>، محمود رضا هیهات<sup>۲</sup>، محمد مهدی خطیب<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

۳- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۱۹

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۱

### چکیده

دوپشته‌های منطقه خونیک در ۱۸ کیلومتری جنوب شهرستان قائن و از نظر زمین‌ساختی در بخش شمالی زمین‌درز سیستان قرار دارد. دوپشته خونیک در اثر عملکرد گسل امتدادلغز خونیک با طول ۶ کیلومتر و با سازوکار هندسی N150/73NE و ریک 24NW تشکیل شده است. براساس برداشت‌ها و فراسنج‌های استفاده شده، دوپشته‌های خونیک از سه اسب (Horse) تشکیل شده‌اند که از سمت شمال‌خاور به جنوب‌باختر بر روی یکدیگر رانده شده‌اند (با توجه به جوان‌شدگی اسب‌ها). تحلیل تنش به دست آمده از برداشت‌های حاصل از گسل‌های موجود در اطراف و روی دوپشته روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری (N51/13=σ<sub>1</sub>) و چین‌های اطراف دوپشته روند شمال‌خاور - جنوب‌باختری (N36/1=σ<sub>1</sub>) هم‌خوانی خوبی را نشان می‌دهد. با توجه به سطح محوری چین‌ها منطقه می‌توان دریافت که چین‌خوردگی‌های منطقه دارای رانشی به سمت شمال‌خاور هستند که با جهت رانش دوپشته خونیک هم‌خوانی دارد (با توجه به پیش‌بوم و پس‌بوم و جهت قرارگیری پشته‌ها). نرخ کوتاه‌شدگی محاسبه شده با استفاده از فرا سنج‌های مورد استفاده، معادل ۵۷ درصد (۱۹۶/۵ متر) بر روی دوپشته‌های خونیک نشان می‌دهد که با مقدار به دست آمده از مدل‌سازی آزمایشگاهی (۴۸ درصد) هم‌خوانی خوبی دارد. با توجه به اطلاعات به دست آمده، دوپشته خونیک از مدل break back تبعیت می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** دوپشته، خونیک، زمین‌درز سیستان، پیش‌بوم، break back.

## مقدمه

مناطق تشکیل دویشته‌های فشارشی به علت اینکه منطقه تحت تأثیر رژیم فشارشی است منطقه دچار یک کوتاه‌شدگی می‌شود. که خود را به صورت چین‌خوردگی یا، دویشته نشان می‌دهد (وودکاک و ریسکارد، ۲۰۰۳). خمیدگی بخش شمالی زمین‌درز سیستان سبب ایجاد یک سیستم برشی- فشارشی در گستره شده است لذا سبب تشکیل ساختارهای پیچیده در منطقه شده است. هدف از این پژوهش تحلیل هندسی جنبشی دویشته‌های خونیک با استفاده از عناصر ساختاری (گسل و چین) بر روی دویشته و اطراف آن و مدل‌سازی آزمایشگاهی برای مشخص کردن نحوه شکل‌گیری ساختارها و کمک به حل پیچیدگی ساختاری در این بخش از زمین‌درز سیستان است.

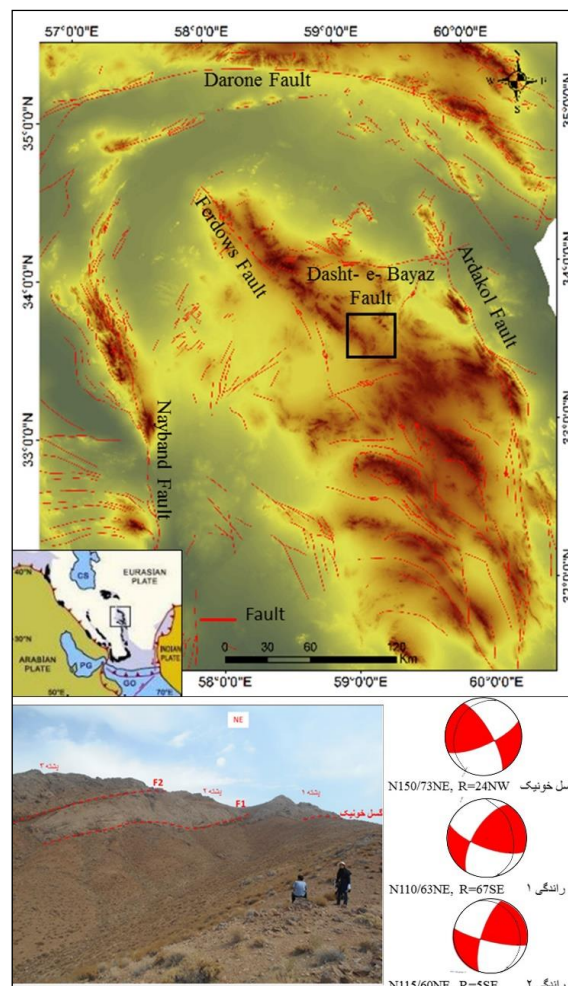
## محدوده مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در بخش شمالی زمین‌درز سیستان قرار دارد (شکل ۱). پهنه ساختاری سیستان خاوری‌ترین پهنه ساختاری ایران از لحاظ لرزه‌خیزی و یکی از فعال‌ترین مناطق ایران است. ایالت ساختاری سیستان دارای روند شمال-جنوبی است که نشان از زمین‌درز برخوردی قطعه لوت و افغان است. گسل نهبندان در مرز بین این ایالت ساختاری و پهنه لوت موجب دگرشکلی واحدهای سنگی در حاشیه و درون ایالت ساختاری سیستان شده است. بخش بالایی نهبندان دارای یک چرخش به سمت شمال‌باختر است که این سبب چرخش پادساعت‌گرد بلوک لوت شده است (تیرول و همکاران، ۱۹۸۳). در این گستره روند گسل‌ها و شکستگی‌ها هم‌سو با روند چین‌های موجود می‌باشد (شمال‌باختر-جنوب‌خاور) و از نظر فراوانی بعد از روند شمال-جنوب در ایالت سیستان دارای اهمیت زیادی می‌باشند به طوری که ارتباط هندسی

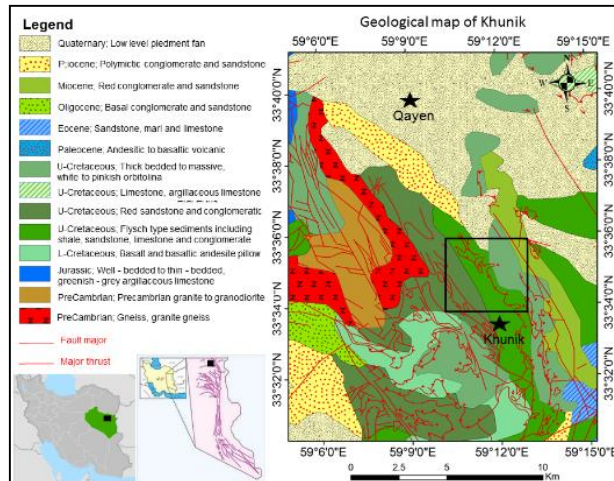
دویشته‌های خونیک در بخش شمالی زمین‌درز سیستان و از نظر موقعیت زمین‌شناسی  $5^{\circ} 59'$  تا  $15^{\circ} 59'$  طول خاوری و  $30^{\circ} 33'$  تا  $40^{\circ} 33'$  عرض شمالی قرار دارد (آقناباتی، ۱۳۸۳). دویشته‌هایی خونیک براساس بازدیدهای صحرایی دارای سه اسب (Horse) و یا کنده (پشته) می‌باشد و از سمت شمال‌خاور به جنوب‌باختر بر روی یکدیگر رانده شده‌اند (حمیدی، ۱۳۹۴). از جمله مطالعاتی صورت گرفته در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد توالی‌های راندگی موجود در جنوب پیرنه مرکزی (ورجس و مونوز، ۱۹۹۰)، انجام یکسری آزمایش‌ها روی هندسه و حرکت کمر بند چین رانده بالای دکولمان با چسبندگی ضعیف (کوستا و وندیول، ۲۰۰۲)، تحلیل مکانیکی و مشاهده تشکیلات دویشته در آزمایش‌های جعبه ماسه با نگاهی به کمپلکس افزایشی مدیترانه‌ی غربی (نیا و همکاران، ۲۰۰۲)، مدل دویشته برای کمر بند چین‌خورده کاپه (بوث و همکاران، ۲۰۰۴)، منشأ تغییرات در انواع ساختارهای موجود در بندرعباس و جنوب شرق زاگرس (مولینارو و همکاران، ۲۰۰۴)، تطابق کوتاه‌شدگی سنوزوئیک در محدوده البرز و شمال ایران (آلن و همکاران، ۲۰۰۳). گسل‌های امتدادلغز در روی نقشه به صورت خطی، قطعات تقریباً موازی با بردار لغزش ناحیه، خمیدگی‌های مورب و قطع‌شدگی ظاهر می‌شوند. بدین سبب جابه‌جایی گسل امتدادلغز موجب ایجاد آرایش فلسی (Imbricate) در محل خمیدگی‌ها می‌شود که دارای پتانسیل کشش یا فشارش نیز می‌باشند. با ادامه جابه‌جایی بر روی گسل‌های امتدادلغز گسل‌های فلسی که دارای پتانسیل فشارش‌اند، دویشته فشارشی و در خمیدگی‌هایی که دارای پتانسیل کشش بودند دویشته کششی ایجاد می‌شود (وودکاک و فیسچر، ۱۹۸۶). در

آتشفشانی‌های کرتاسه بالا، نهشته‌های فلیشی پالئوسن-ئوسن و سرانجام سنگ‌های ماگمایی (درونی- بیرونی) است. این گستره، به دلیل قرارگیری در یک زون برخوردی نظم چینه‌ای وجود ندارد (آقابات، ۱۳۸۳). لیتولوژی دوپشته‌ها، واحد-های آهکی و واحدهای جوان‌تر است (شکل ۲) که شامل واحدهای اولترابازیک، مجموعه افیولیتی شامل فیلیش‌های دگرگون‌شده، سنگ‌های ولکانیکی بازیک، لیستونیت، شیل و ماسه‌سنگ و واحد خونیک شامل کنگلومرا، شیل، ماسه‌سنگ، آهک توده‌ای اربیتولین‌دار و کنگلومرا می‌باشد (غلامی، ۱۳۷۶).

بین این روند و روند شمال-جنوب در بخش‌های مختلف حفظ شده است ولی در حاشیه غربی ایالت سیستان این روند توسط روند شمال-جنوب قطع می‌شود. گسل‌هایی که هم‌سو با این روند می‌باشند، اکثراً تراستی عمل کرده که تشخیص این نوع گسل‌ها در روی زمین مشکل می‌باشد و شواهد کمتری از خط لغزشی بر روی این گسل‌ها گزارش شده است. شیب اکثر گسل‌های مشاهده شده به سمت شمال خاور می‌باشد اما یکسری از همین گسل‌ها هستند که دارای شیب به سمت باختر نیز می‌باشند (خطیب، ۱۳۷۷). در گستره زمین‌درز سیستان لیتولوژی شامل پوسته‌های اقیانوسی،



شکل ۱: موقعیت گستره مورد مطالعه در خاور ایران.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی گستره مطالعاتی (ترسیم مجدد از روی نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ قاین).

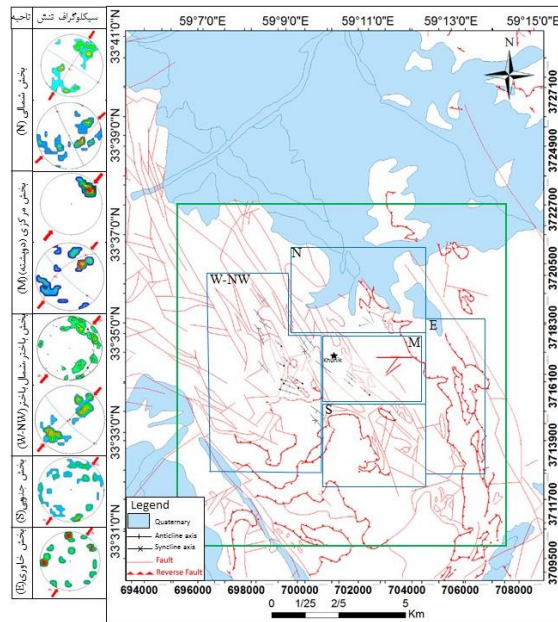
جنبشی گسل‌ها است. ساختارهای منطقه با استفاده از برداشت‌های میدانی (ایستگاه‌های برداشت در ۵ محدوده که شامل: بخش شمال، جنوب، خاور، باختر و مرکز (دوپشته)). هم‌چنین با استفاده از نقشه ساختاری کل منطقه به همراه سیکلوگراف تنش وارده به تحلیل ساختارها پرداخته (شکل ۴) و سپس قطعات دوپشته‌ها، فرگشت داده شد و با استفاده از فراسنج‌های مؤثر، نرخ کوتاه‌شدگی بر روی ساختار موردنظر محاسبه گردید (شکل ۳ و ۴).

### مواد و روش‌ها

تحلیل هندسی - جنبشی دوپشته‌های خونیک: گسل‌ها در مطالعات زمین‌شناسی کاربرد ویژه‌ای دارند به نحوی که به‌کارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آن‌ها به محققین کمک مؤثری در شناخت فرآیندهای دگرشکلی می‌نماید. در گستره مورد مطالعه، سطوح برشی به همراه خش‌لغز برداشت و برمبنای این داده‌ها هندسه و سازوکار گسل تحلیل‌شد، چرا که برونزدهای مناسب از سطوح برشی دارای خش‌لغزش، معتبرترین داده جهت تحلیل‌های هندسی-



شکل ۳: نمایی از دوپشته‌های منطقه مطالعاتی.



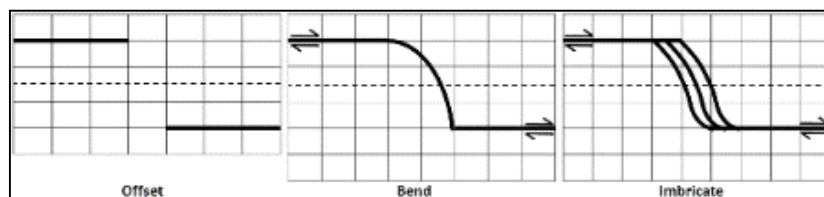
شکل ۴: نقشه ساختاری منطقه به همراه محدوده‌های برداشت شده.

## بحث و نتایج

### تحلیل هندسی عناصر ساختاری

تحلیل عناصر ساختاری (چین، گسل) ابزاری دقیق جهت شناخت دگرریختی و دستیابی به الگوی دگرشکلی در هر پهنه زمین‌شناسی محسوب می‌شوند. گسل‌های امتدادلغز دارای پیشینه جابه‌جایی به صورت افقی بوده که در آن‌ها بلوک‌ها به موازات بردار لغزش جابه‌جا می‌شوند. گسل‌های امتدادلغز ممکن است در مسیر خود دچار خم‌شدگی (Bending)، بریده‌شدگی (Offset)، افشانه شدن (Splay) و فلسی شدن (Imbricate) شوند (شکل ۵). در گسل‌هایی که دچار خم‌شدگی شده‌اند، تحت تأثیر جهت حرکت بلوک‌ها دو نوع

رژیم کشش و فشارش حاکم می‌شود. آنچه از تمام این موقعیت‌ها باقی می‌ماند، یک دوپشته کششی یا فشارشی است. از ویژگی‌های دوپشته‌های امتدادلغز، جابجایی و حرکت این دوپشته‌ها در طول گسل امتدادلغز است. دوپشته‌ها تا زمانی که گسل‌های مسبب آن‌ها فعال‌اند و حرکت روی آن‌ها صورت می‌گیرد، به تشکیل خود ادامه می‌دهند، اگر گسل‌های امتدادلغز در اثر تغییر رژیم زمین‌ساختی حاکم بر منطقه، از حرکت بازایستند، یا دچار تغییر در حرکت شوند، دوپشته نیز از ادامه گسترش باز می‌ماند و در همان مرحله متوقف و یا دچار تغییر شکل‌های ثانویه می‌شود (باقری و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۵: مراحل ایجاد ساختارهای قطع‌شدگی، خم‌شدگی، پخش‌شدگی و فلسی شدن در امتداد گسل امتدادلغز (باقری و همکاران، ۱۳۸۵).

گسل خونیک: دوپشته‌های خونیک در اثر عملکرد گسل خونیک تشکیل شده‌اند. این گسل، اصلی‌ترین گسل موجود در منطقه به طول ۶ km، امتداد N150/73NE و ریک 24NW دارای سازوکار امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی است (شکل ۶).

گسل خونیک: دوپشته‌های خونیک در اثر عملکرد گسل خونیک تشکیل شده‌اند. این گسل، اصلی‌ترین گسل موجود در منطقه به طول ۶ km، امتداد N150/73NE و ریک 24NW دارای سازوکار امتدادلغز راست‌گرد با مؤلفه راندگی است (شکل ۶).



شکل ۶: صفحه گسل خونیک به همراه تصویر استریوگرافی.

راندگی ۱: این راندگی بین پشته ۲ و ۳ قرار دارد. این گسل دارای امتداد N110/63NE و زاویه ریک 67SE و سازوکار معکوس با مؤلفه چپ‌گرد می‌باشد (شکل ۷).

راندگی ۱: این راندگی بین پشته ۲ و ۳ قرار دارد. این گسل دارای امتداد N110/63NE و زاویه ریک 67SE و سازوکار معکوس با مؤلفه چپ‌گرد می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷: صفحه راندگی ۱ به همراه تصویر استریوگرافی.

راندگی ۲: این راندگی بین پشته ۱ و ۲ قرار دارد. و دارای امتداد N115/60NE و زاویه ریک 65SE و سازوکار معکوس با مؤلفه چپ‌گرد می‌باشد (شکل ۸).

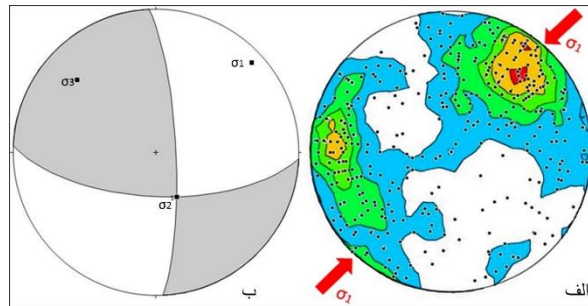
راندگی ۲: این راندگی بین پشته ۱ و ۲ قرار دارد. و دارای امتداد N115/60NE و زاویه ریک 65SE و سازوکار معکوس با مؤلفه چپ‌گرد می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸: صفحه راندگی ۲ به همراه تصویر استریوگرافی.

۹). هم‌چنین با بررسی بر روی دویشته‌ها، مشخص گردید، امتداد صفحات راندگی در دویشته‌های برداشت شده شمال‌باختر-جنوب‌خاور بوده و شیب صفحات راندگی به سمت شمال‌خاور می‌باشد. بنابراین تنش مؤثر بر روی دویشته‌ها، شمال‌خاور-جنوب‌باختر می‌باشد.

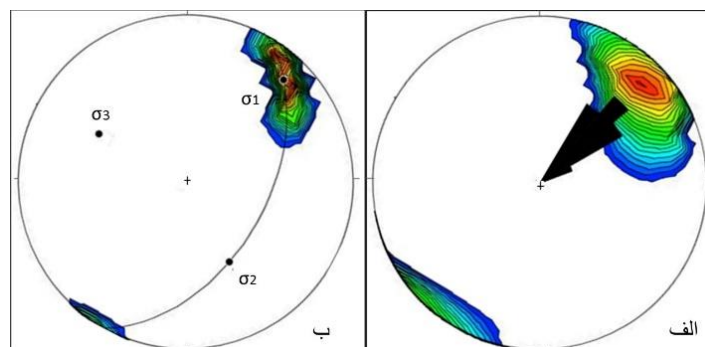
پس از بررسی‌های صورت گرفته بر روی گسل‌ها و با برداشت صفحات گسل و ریک حاصل از بردار لغزش، جهت تنش به‌دست آمده شمال‌خاور-جنوب‌باختر و مقدار کل تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) آن N51/13 است و سازوکار اکثر گسل‌های موجود در منطقه امتدادلغز با مؤلفه راندگی می‌باشند (شکل



شکل ۹: الف) تصویر سیکلوگرافی تمرکز قطب‌ها، ب) موقعیت محور تنش بیشینه (نتایج حاصل از برداشت ۵۰۰ صفحه گسل در گستره مورد مطالعه).

شیب صفحات راندگی به سمت شمال‌خاور می‌باشد. بنابراین چین‌ها از نظر امتداد سطح محوری با صفحات راندگی هم‌جهت و سوی رانش در دویشته‌ها از جنوب‌باختری به سمت شمال‌خاور می‌باشد. بدین ترتیب تحلیل چین‌ها تأییدی بر نتایج حاصل از برداشت‌های گسلی است (حمیدی، ۱۳۹۴).

برداشت‌های حاصل از چین‌ها و تحلیل داده‌های آن نشان داد که جهت تنش، شمال‌خاور-جنوب‌باختر و مقدار تنش بیشینه  $\sigma_1 = N36/16$  است (شکل ۱۰). شیب سطح محوری چین‌ها به سمت جنوب-جنوب‌باختر بنابراین جهت رانش شمال تا شمال-خاور است. امتداد صفحات راندگی بر روی دویشته‌های خونیک شمال‌باختر- جنوب‌خاور و

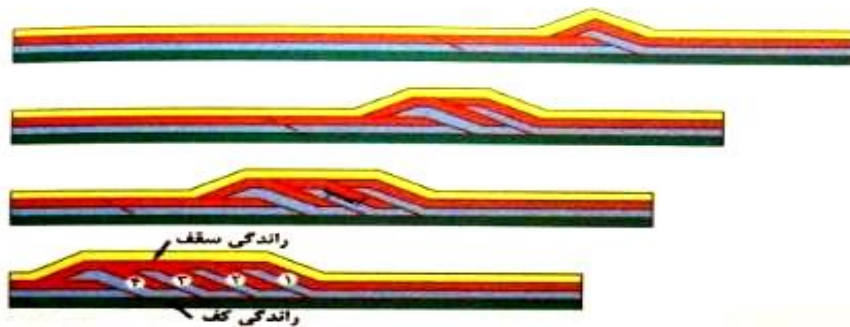


شکل ۱۰: الف) تصویر سیکلوگرافی قطب‌ها و رز دیاگرام سوگیری چین‌ها، ب) نمایش موقعیت محور تنش بیشینه.

**محاسبه نرخ کوتاه‌شدگی بر روی دوپشته‌های منطقه**

در کمربندهای چین و راندگی، گسله‌ها گاهی از سطح یک گسل کم شیب زیرین، که راندگی کف خوانده می‌شود، افشان می‌شوند و به سطح گسله‌ای کم‌شیب که در تراز بالاتری قرار گرفته است و راندگی سقف خوانده می‌شود، متصل می‌گردند. اگر این فرایند چند بار اتفاق بیفتد، کنده‌هایی از سنگ خواهیم داشت که از تمام جهت‌ها به گسله‌ای ختم

می‌شوند، به این‌گونه کنده‌ها، اسب گفته می‌شود. دو یا چند اسب که به این ترتیب در کنار یا بر روی هم تشکیل می‌شوند، دوپشته خوانده می‌شوند (قاسمی، ۱۳۸۷). شکل دوپشته به بلندی، فاصله بلندی و مقدار جابجایی هر یک از اسب‌ها بستگی دارد؛ اگر جابجایی اسب‌ها کم باشد، به سوی پس بوم شیب خواهند داشت و یک پهنه با ضخامت تقریبی یکنواخت را بین راندگی کف و راندگی سقف شکل می‌گیرد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: فرایند تشکیل دوپشته‌ها. شماره‌ها ترتیب شکل‌گیری اسب‌ها را نشان می‌دهند (قاسمی، ۱۳۸۷).

با استفاده از برداشت‌های صحرایی بر روی قطعات دوپشته، ساختار مدنظر فرگشت داده شد و میزان کوتاه‌شدگی بر روی آن محاسبه گردید به منظور محاسبه نرخ کوتاه‌شدگی قطعات دوپشته، فرا

سنج‌های زیر مورد نیاز می‌باشد (بویر و الیوت، ۱۹۸۲) و (مک کلی، ۱۹۸۷)، (جدول ۱)، (شکل ۱۲ و ۱۳).

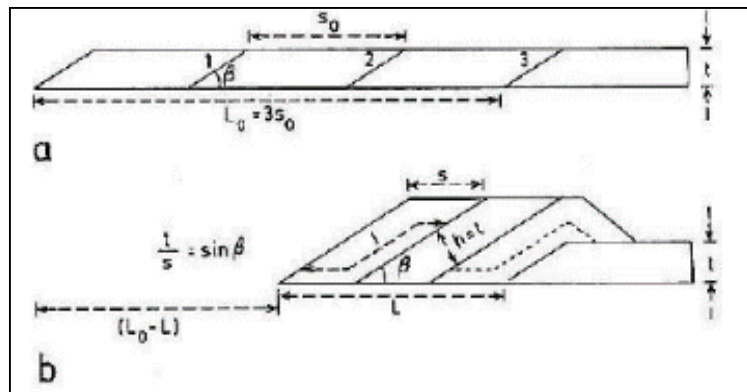


شکل ۱۲: مدل Break back (مک کلی، ۱۹۹۲ و ۲۰۰۳).



جدول ۱: فراسنجهای مورد استفاده برای محاسبه نرخ کوتاه‌شدگی.

شماره	فرا سنج
۱	ضخامت اولیه لایه‌ای که توسط تراست تحت تاثیر قرار گرفتند. t
۲	ضخامت لایه در داخل هورس (Horse) h
۳	طول کل لایه‌ای که متحمل تراست شده است. $L_0$
۴	طول هر دوپشته $L_1$
۵	شماره هر هورس n
۶	طول اولیه رمپ $S_0$
۷	طول یک رمپ که به موازات سطح کف یا سقف اندازه‌گیری می‌شود. S
۸	طول لایه‌های هورس l
۹	زاویه بین کف تراست و قطعه مرکزی $\beta$



شکل ۱۳: فرا سنج‌های ساختاری دوپشته (گوژ، ۱۹۹۳).

بر اساس برداشت‌های صحرائی، سه اسب و یا کنده (پشته) بر روی دوپشته مشخص شد. میزان ضخامت، طول، شیب هر کدام از قطعات اندازه‌گیری شد (جدول ۲) و پس از تبدیل مقدار طول به طول قائم و ضخامت ظاهری به واقعی، نرخ کوتاه‌شدگی (جدول ۳)، محاسبه شد.

جدول ۲: پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه نرخ کوتاه‌شدگی.

شماره	اطلاعات
۱	e: $L-L_0 / L_0$ نسبت کوتاه‌شدگی
۲	$L_0: A+B+C+D+E+F$ طول اولیه
۳	- طول ثانویه L
۴	t : $w \sin (\theta \pm \alpha)$ ضخامت واقعی
۵	$L': L \cos \sigma$ طول در حالت قائم
۶	$A+B+C+D+E+F$ مجموع قطعات در هر پشته -

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده بر روی قطعات دوپشته خونیک.

پشته	L (M)	t (M)	ریمپ موازی تراست کف (m)	L <sub>0</sub> (M)	نشیب توپوگرافی $\alpha$	شیب لایه $\theta$
۱	۵۶,۸۷	۶۲,۷۹	۷۰	۱۲۶,۸۷	۱۵	۶۷
۲	۳۶,۱۲	۲۸,۹۲	۶۰	۹۶,۱۲	۱۴	۷۵
۳	۵۲,۶۴	۶۴,۰۵	۶۶,۵	۱۱۹,۱۴	۱۹	۵۷
کل	۱۴۵,۶	۱۵۵,۷	۱۹۶,۵	۳۴۲,۱۳		

بر این اساس، مقدار طول کل ۱۴۵/۶ متر و طول اولیه به طور کل ۳۴۲/۱۳ متر، بوده است و نسبت کوتاه‌شدگی ۵۷٪ محاسبه گردید که ۱۹۶/۵ متر می‌باشد.

#### مدل‌سازی آزمایشگاهی

برای تعیین نرخ کوتاه‌شدگی و مدل برای ساختارهای گسترده مطالعاتی باید مدل‌های موجود در توالی‌های راندگی مورد بررسی قرار گیرند تا با توجه به ویژگی‌های ساختاری ناحیه‌ی مطالعاتی بتوان الگویی قابل قبول ارائه داد. برای مدل‌سازی دوپشته‌ها از آزمایش جعبه ماسه کمک گرفته شد. جعبه ماسه از قسمت‌هایی چون اهرم اعمال تنش، محفظه شیشه‌ای و میزی که کل دستگاه بر روی آن قرار دارد، تشکیل شده است. از ماسه، گچ، پودر سنگ، گریس برای شبیه‌سازی ساختارهای موجود در منطقه استفاده شده است. نیرویی به موازات لایه‌بندی توسط اهرم بر توالی لایه‌بندی وارد می‌شود و کنترل‌کننده‌های ساختاری آن در هر مرحله مورد بررسی قرار گرفتند. وزن مخصوص مواد عبارت‌اند از: ماسه 2.875 gr/ml، پودر سنگ 2.46 gr/ml، لایه دکولمان 1.98 gr/ml.

#### آزمایش جعبه ماسه

در این آزمایش از گچ در سه رنگ متفاوت با ضخامت ۲ cm و ویسکوزیته یکسان، یک ریمپ ثابت در حاشیه ثابت دستگاه استفاده شده است.

نیرویی به موازات لایه‌بندی بر توالی لایه‌بندی وارد می‌شود و عوامل کنترل‌کننده ساختارها در طی آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. این آزمایش در طی ۴ مرحله انجام گرفت و میزان جابجایی، نرخ کوتاه‌شدگی در هر مرحله محاسبه شد. در مرحله ۱ نیرویی به موازات لایه‌بندی لایه‌های متناوب گچ در سه رنگ و با ویسکوزیته یکسان توسط اهرم وارد می‌شود (شکل ۱۴-۱). مقدار طول اولیه لایه‌ها cm ۶۳ بوده که بر اثر اعمال تنش در مرحله ۱ و ۲ ضخیم‌شدگی در حاشیه متحرک دستگاه به وجود می‌آید و دگرشکلی در این مرحله از تنها از نوع جابجایی می‌باشد (شکل ۱۴-۲). در مرحله ۳ اولین راندگی‌ها ظهور پیدا می‌کنند و کوتاه‌شدگی آن ۲۰٪ می‌باشد (شکل ۱۴-۳). با ادامه تنش در مرحله ۴، رشد راندگی‌ها و ادامه حرکت و جابجایی لایه‌ها در حاشیه متحرک دستگاه رخ می‌دهد و رشد تراست‌ها در طی این مرحله و ظهور دوپشته‌ها در مدل مشاهده شد میزان کوتاه‌شدگی در این مرحله، ۳۵٪ (۲۱ cm) است (شکل ۱۴-۴). در مرحله ۵ رشد دوپشته با افزایش کوتاه‌شدگی رخ می‌دهد و میزان کوتاه‌شدگی در این مرحله معادل ۴۸٪ (۲۶ cm) است در این مرحله دوپشته‌ها با زاویه شیب  $40^\circ$  ایجاد و طی آن پشته پایینی بر روی لایه‌های پایینی و پشته بالایی بر روی فرادیواره‌ی پشته پایینی رشد می‌کند. بر این اساس می‌توان گفت با شروع کوتاه‌شدگی، به تدریج

هندسه تشکیل راندگی‌ها به تبعیت از مدل Break back می‌باشد (قاسمی، ۱۳۸۷) که جوان شدن به سمت پس‌بوم است. در مناطقی که تشکیل ساختارها از مدل Break back پیروی می‌کنند به هم ریختگی شدیدی را می‌توان مشاهده نمود.

صفحات راندگی تشکیل می‌شوند، این صفحات در ابتدا دارای شیبی ملایم هستند و هرچه میزان کوتاه شدگی بیشتر می‌شود شیب آن‌ها بیشتر می‌گردند. بر اثر حرکت پشته‌ها، یک تراست در قسمت عقبی دستگاه ایجاد می‌شد و سپس پشته دو تشکیل و در ادامه حرکت تراست‌های جدید در عقب پشته تشکیل می‌گردند (شکل ۱۴-۵).



شکل ۱۴: توالی تشکیل دوطبته‌های گسترده در مدل‌سازی آزمایشگاهی.

دارد. در آزمایشگاه تجربی مدل دوطبته‌های منطقه در آزمایش جعبه ماسه این مدل بازسازی شده است. قطعات دوطبته به ترتیب نحوه قرارگیری از یک تا سه در شکل شماره‌گذاری شده‌اند. بر این اساس با اعمال تنشی در امتداد شمال‌خاوری-جنوب‌باختری در منطقه ابتدا پشته ۱ و سپس پشته‌های ۲ تشکیل و بر روی پشته ۱ رانده شده است و به دنبال آن پشته ۳ تشکیل و بر روی پشته ۲ رانده شده است (شکل ۱۵).

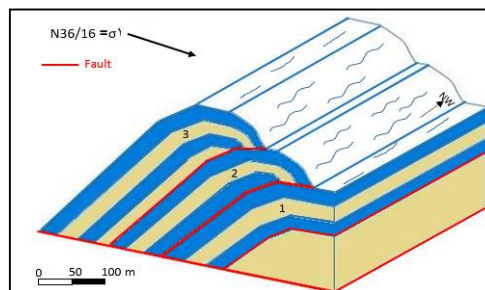
تطبیق دوطبته‌های خونیک با مدل آزمایشگاهی: تحلیل عناصر ساختاری در گستره مطالعاتی، بیانگر الگوی جنبشی از نوع یک سیستم فشاری همراه با برش راست‌گرد می‌باشد. دوطبته‌های منطقه دارای روند تقریبی شمال‌باختر-جنوب‌خاور می‌باشند. در گستره مطالعاتی تشکیل راندگی‌های جدید به سمت شمال‌باختر یعنی پس‌بوم و فرادیواره‌ی راندگی‌های قبل می‌باشد. به طوری که این هندسه از ساختارها در توالی‌هایی به نام Break back وجود



شکل ۱۵: نمایی از راستای قرارگیری دوپشته‌ها در گستره مطالعاتی بر روی عکس ماهواره‌ای و مدل‌سازی تجربی.

صفحات راندگی جدید بر روی فرادیواره راندگی‌های قدیمی‌تر قرار دارد.

در بلوک دیاگرام به دست آمده، در راستای شمال‌باختر - جنوب‌خاور قرارگیری قطعات موجود بر روی دوپشته دیده می‌شود (شکل ۱۶) که در آن



شکل ۱۶: بلوک دیاگرام ساختار دوپشته‌های گستره مورد مطالعه.

### نتیجه‌گیری

می‌باشد (سوی رانش مواد همیشه از پیش‌بوم (دگرشکلی بالا) به پس‌بوم (دگرشکلی پایین). براساس محاسبات انجام شده، مقدار طول کل قطعات ۱۴۵/۶۳ متر و طول اولیه به‌طور کل ۳۴۲/۱۳ متر، بوده است و بدین ترتیب نسبت کوتاه‌شدگی ۵۷٪ محاسبه گردید که معادل ۱۹۶/۵ متر می‌باشد که با مدل‌سازی آزمایشگاهی تطابق خوبی را نشان می‌دهد. با توجه به میزان دگرشکلی بالاتر در بخش شمال‌باختری منطقه که Hinter land منطقه است و شیب دوپشته‌ها به سمت شمال‌باختر می‌باشد دوپشته‌ها از نوع دوپشته‌هایی پس‌بوم شیب (Hinter land dipping duplex) می‌باشد که با توجه به اطلاعات برداشتی مشخص گردید که در دوپشته خونیک قطعه‌ای که به سمت

براساس برداشت‌های صورت گرفته از صفحات گسلی و چین‌های منطقه، جهت تنش به دست آمده شمال‌خاور - جنوب‌باختر (تنش بیشینه  $\sigma_1$ ) گسل: N51/13، چین: N36/1 می‌باشد. با توجه به شیب سطح محوری چین‌ها (شیب جنوب - جنوب‌باختر و امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور) می‌توان نتیجه گرفت که جهت رانش مواد شمال تا شمال‌خاور است. امتداد صفحات راندگی بر روی دوپشته‌های برداشت شده شمال‌باختر - جنوب‌خاور بوده و شیب صفحات راندگی به سمت شمال‌خاور می‌باشد. بنابراین چین‌ها از نظر امتداد سطح محوری با صفحات راندگی در روی دوپشته‌های منطقه هم‌جهت هستند. هم‌چنین سوی رانش مواد در دوپشته‌ها از جنوب‌باختر به سمت شمال‌خاور

بنابراین دوپشته‌ها از مدل break back تبعیت می‌کنند.

-حمیدی، ر.، ۱۳۹۴. تحلیل هندسی جنبشی عناصر ساختاری منطقه خونیک (جنوب قاین، خاور ایران)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۴۰ ص.

-خطیب، م.م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ ص.

-خطیب، م.م.، ۱۳۶۸. تحلیل ساختاری کوه‌های جنوب بیرجند، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۸ ص.

-غلامی، ا.، ۱۳۷۶. تحلیل ژئودینامیکی ناحیه جنوب‌باختری قاین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۷۰ ص.

-قاسمی، م.ر.، ۱۳۸۷. پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ ص.

پس‌بوم (Hinter land) نزدیک است بر روی قطعات دیگر رانده شده دارای خش‌لغزهای جوان‌تری است.

## منابع

-افتخارنژاد، ج. و اشتوکلین، ج.، ۱۳۶۹. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش بیرجند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

-باقری، م.، قرشی، م. و مهدیزاده، س.، ۱۳۸۵. تحلیل ساختاری دوپلکس امتداد لغز چاشم در خاور منطقه فیروزکوه، فصلنامه علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۶۰، ص ۱ تا ۱۰.

-برتیه، پ.، کریسمن، الف.، فوله، ج.ن.، هانری، وال، د.، واسله، ف.، وحدتی، د.، افتخارنژاد، ج.، علوی نائینی، م. و بهروزی، الف.، ۱۳۶۹. گزارش‌ها و نقشه‌های منطقه قائن، وزارت معادن و فلزات سازمان زمین‌شناسی کشور.

-Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *Journal of Structural Geology*, v. 25, p. 659-672.

-Booth, P.W.K., Brunsdon, G. and shone, R.W., 2004. A duplex model for the Eastern Cape Fold Belt, *Gondwana Research*, v. 7, p.211-222.

-Boyer, S.E., 1982. Geometric evidence for synchronous thrusting in the southern Albert and northwest Montana thrust belts, *Universito of Washington, Seattle, USA*, v. 34, p. 377-390, Doi.10.1007/978-94-011-3066-0\_34.

-Costa, E. and Vendevill, B.C., 2002. Exprimental insights on the geometry and kinematics of fold and thrust belts

above weack, viscous evaporitic decolement, *Gournal of Structural Geology*, v. 24, p. 1729-1739.

-Ghosh, S.K., 1993. *Structural geology*, pergamon press, 598 p.

-McClay, K.R., 1992. *Thrust Tectonics*, Chapman & Hall, 447p.

-McClay, K.R., 1987. *The mapping of geological structures*, New York: John Wiley and Sones, 164 p.

-McClay, K.R., 2003. *Structural geology for petroleum exploration*, lecture notes, 503 p.

-Molinaro, M., Guezou, J.C., Leturmy, P., Eshraghi, S.A. and Frizon de Lamotte, D., 2004. The origin of changes in structural style across the Bandar Abbas syntaxis, SE Zagros (Iran),

Marine and Petroleum Geology, v. 21, p.735-752.

-Nina, K., Serge, E.L., Jacques, M., Marc, A.G. and Timothy, J.R., 2002. Mechanical decoupling and basal duplex formation observed in sandbox experimental with application to the Western Mediterranean Ridge accretionary complex, Marine Geology, v.186, p. 29-42.

-Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan Suture Zone of eastern Iran, Geological Survey of Iran, v. 94, p. 134-150.

-Verges, J. and Munoz, J.A., 1990. Thrust sequences in the southern central Pyrenees, Bulletin de La Societe Geologique de France, v. 2, p. 265-271.

-Wood cock, N.H. and Fischer, M., 1986. Strike-slip Duplex. Journal of Structural Geology, v. 8 (7), p. 725-735.

-Woodcock, N.H., and Rickards, B., 2003. Transpressive Duplex and flower structure: Dent Fault System, NW England. Journal of Structural Geology, v. 25, p.1981-1992.