

## سازوکار تشکیل دوپشته‌های کوه کمر حاجی در شمال باختر بیرجند

احمد رشیدی<sup>(\*)</sup>، محمد مهدی خطیب<sup>۲</sup>، محمودرضا هیهات<sup>۳</sup> و سید مرتضی موسوی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

۲- استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

۴- استادیار، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱۷

### چکیده

دوپشته‌های کوه کمر حاجی در شمال باختر بیرجند، روند خاوری - باختری دارند. دوپشته‌ها به موازات سیستم گسل شکر آب هستند. گسل شکر آب یک گسل معکوس با مولفه چپگرد است که در جنوب منطقه مطالعاتی قرار دارد و جزء یکی از شاخه‌های انتهایی گسل نهبندان به حساب می‌آید. بر اساس تحلیل هندسی - جنبشی صورت گرفته، دوپشته‌های منطقه از نوع ساختارهای دم اسبی<sup>۲</sup> هستند که این ساختارها از پهلو بر روی همدیگر قرار گرفته‌اند. در راستای عمود بر ساختارهای دم اسبی ساخت گلواره<sup>۳</sup> وجود دارد که باعث شده لایه‌های مرکزی دوپشته‌ها مرتفع‌تر از لایه‌های کناری باشند. در دوپشته‌های این منطقه، پلکان<sup>۴</sup>ها دارای سازوکار امتدادلغز چپگرد همراه با مولفه رانندگی<sup>۵</sup> هستند. سکوهای موجود در منطقه غیر افقی بوده و عمدتاً سازوکار رانندگی با مولفه چپگرد دارند. با توجه به سازوکار سکوها، جهت انتقال به سمت باختر می‌باشد و از آنجا که جهت جوان شدن پلکانها بر روی فرادپواره پلکانهای قبلی می‌باشد (به عبارتی جهت جوان شدن به سمت پس بوم<sup>۶</sup> است)، تشکیل دوپشته‌ها از مدل break back پیروی می‌کند. بر اساس تعیین فازهای تنش دیرین و روندهای کوتاه شدگی ناشی از فشردگی بر روی ساختارهای موجود در منطقه، مانند چین خوردگی‌ها و دوپشته‌ها، مراحل دگرشکی مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس دو مرحله دگرشکی بدست آمد. در مرحله اول، محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda 3$  کرنش، به کمک درزه‌های مزدوج N42,00، به کمک درزه‌های کششی N40,07 و به کمک سطح محوری چین‌ها N38,14 می‌باشد. مقدار کوتاه شدگی بدست آمده در این مرحله از دگرشکی ۴۱/۴۶ درصد است. در مرحله دوم دگرشکی، محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda 3$  کرنش به کمک درزه‌های مزدوج N83,02، به کمک درزه‌های کششی N84,00 و به کمک راستای رانندگی‌های خاوری - باختری بر اساس تصاویر ماهواره‌ای N90E است. در این مرحله گسل‌های امتداد لغز توسعه بیشتری داشته‌اند. بر اساس بازگرداندن مقطع شرقی - غربی رسم شده بر روی دوپشته‌ها، مقدار کوتاه شدگی ۲۰/۳۰ درصد و مقدار لغزش در امتداد سکو، ۲۶۴۰ متر بدست آمد. بر اساس تحلیل هندسی جنبشی صورت گرفته، دوپشته‌ها در مرحله دوم دگرشکی که با دگرشکی پیشرونده همراه بوده است بوجود آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بیرجند، دوپشته، مراحل دگرشکی، کمر حاجی

\* نویسنده مرتبط a.rashidi33@yahoo.com

- 1- Duplex
- 2- Horsetile
- 3- Flower-structure
- 4- Ramp
- 5- Thrust
- 6- Flat
- 7- Hinterland

## مقدمه

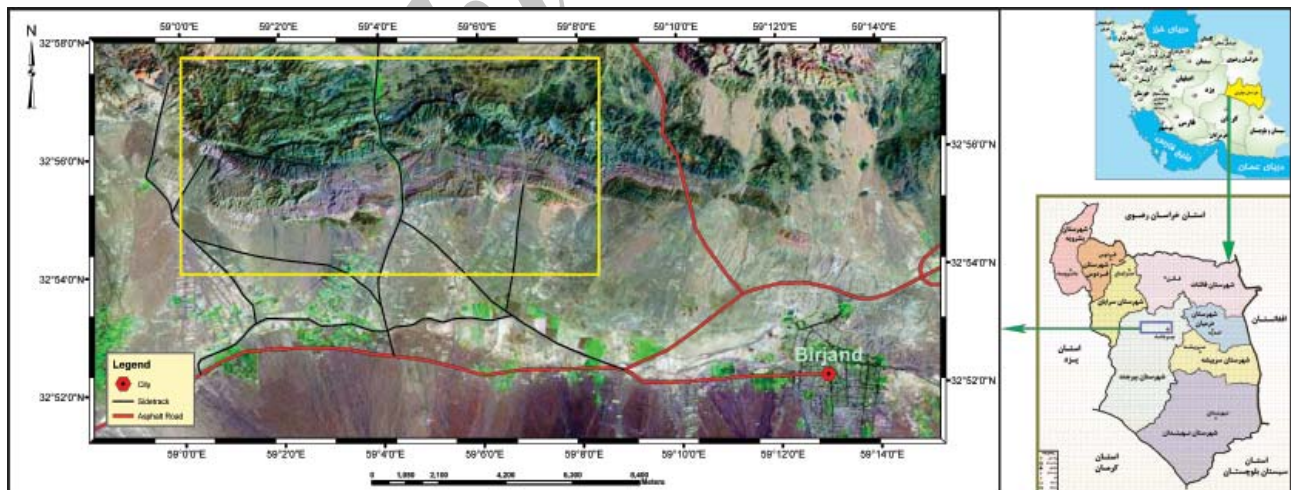
در منطقه کوه کمر حاجی، ساختارهای زمین‌شناسی نظیر: دویشته، چین، ساخت بالا رانده<sup>۱</sup>، ساخت گلواره و... وجود دارند. در منطقه شمال بیرجند، جهت تنش بیشینه، N38E اندازه‌گیری شده است (هیئات، ۱۳۷۷). از آنجا که راستای قرار گرفتن دویشته‌ها بر روی یکدیگر از خاور به سمت باختر می‌باشد، راستای قرارگیری با جهت تنش ذکر شده همخوانی ندارد. چین‌ها نیز از ساختارهای موجود در منطقه هستند که در لایه‌های شکل پذیر منطقه با هندسه مختلف بوجود آمده‌اند. راستای اثر محوری این چین‌ها با همدیگر و با تنش ناحیه ای و نحوه روی هم قرار گرفتن دویشته‌ها سازگاری ندارد (رشیدی، ۱۳۹۰).

هدف از این مطالعه، بررسی ناهم‌خوانی جهت تنش ذکر شده با روند ساختارهای موجود در منطقه، برای پی بردن به سازوکار تشکیل دویشته‌ها می‌باشد.

بر اساس مطالعاتی که در منطقه مورد مطالعه انجام شده است مشخص گردیده که گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد (اریب‌هایی از سیستم گسلی نه‌بندان) بیشترین نقش را در دگرشکلی گستره به عهده داشته‌اند و آشفته‌گی‌های مختلف سوی تنش، در بخش‌هایی که تغییرات رئولوژی و شدت شکستگی وجود دارد دیده می‌شود (هیئات، ۱۳۷۷). در منطقه مورد مطالعه گسل‌های راندگی متأثر از عملکرد گسل‌های امتدادلغز بوده و همچنین نهشته‌های رودخانه‌ای متحمل دگرشکلی گردیده‌اند (Walker and Khatib, 2006). تاکنون ساختارهای موجود در منطقه تحلیل نشده‌اند لذا نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند کمک زیادی به شناخت تکامل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند و نحوه تکوین پهنه زمین

درز سیستان باشد.

از جمله مطالعاتی که پیرامون این موضوع در ایران و سایر مناطق جهان صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: توالی‌های راندگی موجود در جنوب پیرنه مرکزی (Verges and Munoz, 1990)، انجام یکسری آزمایشات روی هندسه و حرکت کمر بند چین رانده بالای دکولمان<sup>۲</sup> با چسبندگی ضعیف (Costa and Vendeville, 2002)، تحلیل مکانیکی و مشاهده تشکیلات دویشته در آزمایش‌های جعبه ماسه با نگاهی به کمپلکس افزایشی مدیترانه‌ای غربی (Nina et al., 2002)، دویشته‌های ترفشارش و ساختار گلواره در سیستم گسلی دنت<sup>۳</sup> در شمال غرب انگلستان (Woodcock and Rickards, 2003)، نقش مواد دکولمان با مشخصات رئولوژی متفاوت در ساختار هم‌آغوشی<sup>۴</sup> Aljibe Thrust (Lujan et al., 2003)، تاثیر شیب دکولمان روی هندسه و حرکت مدل‌های دویشته (Koji and Vendeville, 2003)، مدل دویشته برای کمر بند چین خورده کاپه<sup>۵</sup> (Booth et al., 2004)، زون‌های تخریب گسلی (Kim et al., 2004)، توسعه زون گسلی و پخش شدگی کرنش در یک دویشته امتدادلغز کششی از سیستم گسلی آتاکاما<sup>۶</sup> در شمال Chile (Cembrano et al., 2005)، مدل تکامل حرکتی برای رشد دویشته رانجیت<sup>۷</sup> (Bhattacharyya and Mitra, 2009)، دویشته‌های ترفشارش راست‌گرد پان آفریقا<sup>۸</sup> و ساختارهای گلواره در بیابان شرقی مصر مرکزی (Abd El-Wahed and Kamh, 2010)، منشاء تغییرات در انواع ساختارهای موجود در بندرعباس و جنوب شرق زاگرس (Molinari et al., 2004)، هندسه پوسته کمر بند چین رانده زاگرس و ایران (McQuarrie, 2004)، تطابق کوتاه شدگی سنوزوئیک در محدوده البرز



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از منطقه مطالعاتی. کادر زرد رنگ موقعیت منطقه مطالعاتی را نسبت به شهر بیرجند نشان می‌دهد.

- 1- Pop-Up
- 2- Decollement
- 3- Dent Fault System
- 4- Imbricate
- 5- Cape Fold Belt
- 6- Atacama
- 7- Rangit Duplex
- 8- Pan-African

موازی با روند عمومی شمالی جنوبی وجود دارد که چرخش پایانه شمالی به سمت باختر و پایانه جنوبی به سمت خاور می‌باشد. این هندسه تغییر روند سبب شده است تا نسل‌های مختلف راندگی بر روی این سیستم امتداد لغز سوار باشند (آقانباتی، ۱۳۸۳). از ویژگی‌های آشکار این سیستم گسلی، قطعه قطعه بودن آن به ویژه بر روی شاخه‌های پایانه‌ای می‌باشد. از نظر سنی کنگلومرای ائوسن قدیمی‌ترین واحد سنگی و پادگانه‌های امروزی جوانترین واحد سنگی هستند (نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند). در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه، که با دقت بالا تهیه شده آورده شده است. همانطور که می‌بینید ساختارهای مختلف زمین‌شناسی از جمله دپشته‌ها، چین خوردگی‌ها، ساخت بالارنده و... به خوبی بر روی نقشه نمایان شده‌اند.

### روش انجام کار

پی بردن به سازوکار تشکیل دپشته‌ها، نیازمند تحلیل هندسی جنبشی عناصر ساختاری موجود در منطقه می‌باشد. برداشت داده‌های لازم برای تحلیل عناصر ساختاری، در بازدیدهای صحرایی و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای گوگل<sup>۳</sup> (کوئیک برد با تفکیک مکانی ۶۰ سانتی متر) و لندست RGB، صورت گرفته است. به کمک عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و ۱:۵۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور و به کمک مطالعه تصاویر ماهواره‌ای گوگل (کوئیک برد با تفکیک مکانی ۶۰ سانتی متر) و لندست RGB، در طی بازدیدهای صحرایی، نقشه دقیق زمین‌شناسی و نقشه دقیق ساختاری، جهت پی بردن به

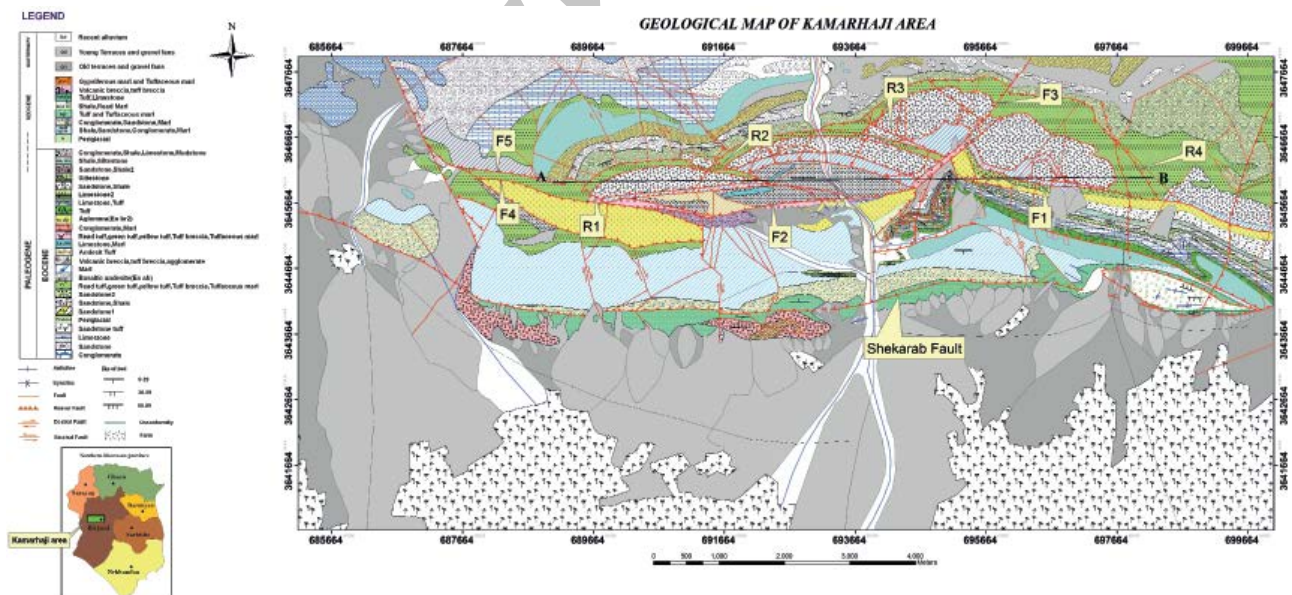
و شمال ایران (Allen et al., 2003)، تطابق بین تکتونیک آرکنن و فناوری ژئوتیک بر اساس نقشه برداری از ناحیه زون همگرایی پلیت سنوزوئیک مزوزوئیک در مکران (Mccall, 2003) و...

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی، در شمال باختر بیرجند قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در جنوب روستای اشکفتوک، در محدوده کوه کمرحاجی با موقعیت جغرافیایی  $32^{\circ}57'2''$  تا  $32^{\circ}54'0''$  طول خاوری و  $59^{\circ}00'0''$  تا  $59^{\circ}01'25''$  عرض شمالی، واقع شده است.

### موقعیت زمین‌شناسی و تکتونیکی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شرق ایران واقع شده است. این بخش از ایران در تقسیم بندی‌های زمین ساختی رسوبی که توسط محققین مختلف ارائه شده با نام‌های مختلفی معرفی شده است که از جمله آنها می‌توان به منطقه فلیش و آمیزه رنگین (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲)، پهنه زمین درز سیستان<sup>۱</sup> (Tirru et al., 1983)، زمین چاک سیستان (بربریان، ۱۳۶۲) و... اشاره نمود. در جنوب منطقه مطالعاتی، سیستم گسلی شکرآب با موقعیت خاوری باختری وجود دارد (شکل ۲). گسل شکرآب یک گسل معکوس با مولفه چپگرد است که جزء یکی از شاخه‌های انتهایی گسل نهبدان به حساب می‌آید. گسل نهبدان دارای روندی، شبیه به زیگموئیدال است. سازوکار گسل نهبدان امتداد لغز راست بر با مؤلفه جزئی معکوس است. در این ناحیه، چند گسل کم و بیش



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه. شماره‌ها مشخص کننده پلکان‌ها، سکو‌ها، و سایر گسل‌هایی هستند که برای تحلیل هندسی جنبشی دپشته‌ها ضروری به نظر می‌رسند. واحدهای Eo ab, Mr, Et واحدهای تشکیل دهنده دپشته‌ها می‌باشند. واحدهای شمالی‌تر و جنوبی‌تر این واحدها متحمل چین خوردگی شده‌اند. خط AB مقطعی است که برش شرقی غربی در امتداد آن تهیه شده است.

- 1- Sistan suture zone
- 2- Segmented
- 3- Google

سیستم های گسلی موجود در منطقه ترسیم گردیده است. برای پی بردن به وضعیت تنش، به مطالعه تنش دیرین در واحدهای سنگی تشکیل دهنده منطقه از زمان ائوسن تا الیگومیوسن پرداخته شد. بررسی تنش دیرین به کمک: (۱) روندهای مختلف کوتاه شدگی بر روی ساختارهای موجود در منطقه مانند چین ها و راستای قرار گیری دوپشته ها (۲) به کمک درزه های هم یوغ (۳) به کمک درزه های کششی انجام شده است.

### گسل F1

این گسل دارای موقعیت تقریبی EW,70N است. خش لغز اندازه گیری شده بر روی آن موقعیت N75,40 دارد. درازای آن حدود ۲/۵ کیلومتر است. این گسل به عنوان سکو یا به عبارتی راندگی کف<sup>۲</sup> شناخته شده که در قسمت تحتانی واحدهای Eo ab, Mr, Et (در زیر ساخت دم اسبی شماره ۳- شکل ۵) قرار گرفته است. با توجه به موقعیت سکو و خش لغز اندازه گیری شده، سازوکار سکو از نوع معکوس همراه با مولفه چپ گرد تعیین شده است (شکل ۴).

### گسل F2

گسل F2 دارای موقعیت EW,45N است. خش لغز اندازه گیری شده بر روی سطح آن موقعیت N20,40 دارد. درازای آن حدود

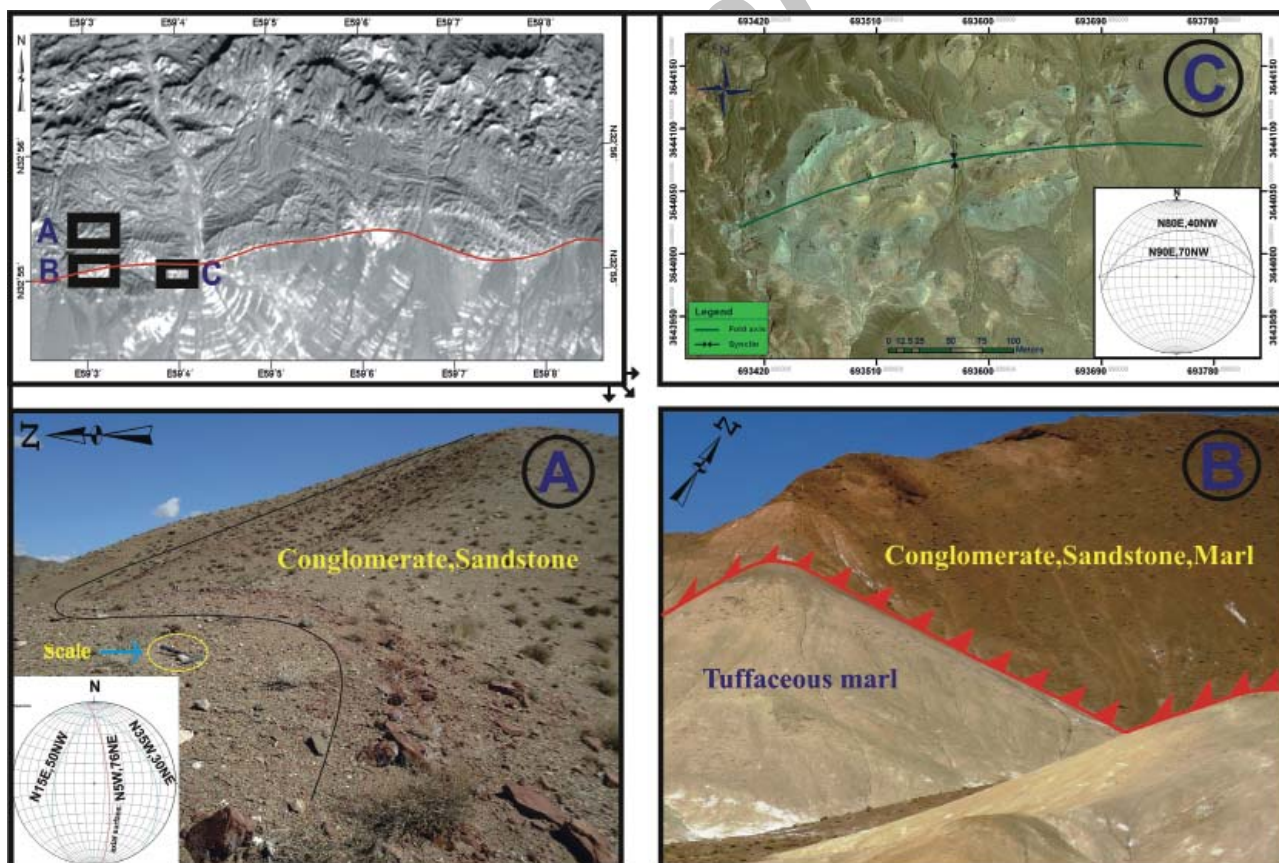
### بحث

#### تحلیل هندسی عناصر ساختاری

در منطقه، انواع ساختارها از جمله دوپشته، چین، پهنه سه گوش، بالا رانده<sup>۱</sup> و... وجود دارند. این ساختارها در ارتباط با سیستم های راندگی هستند. بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (شکل ۲)، پلکان ها، سکوها و سایر گسل ها که برای تحلیل هندسی جنبشی ضروری به نظر می آمدند مشخص شده اند.

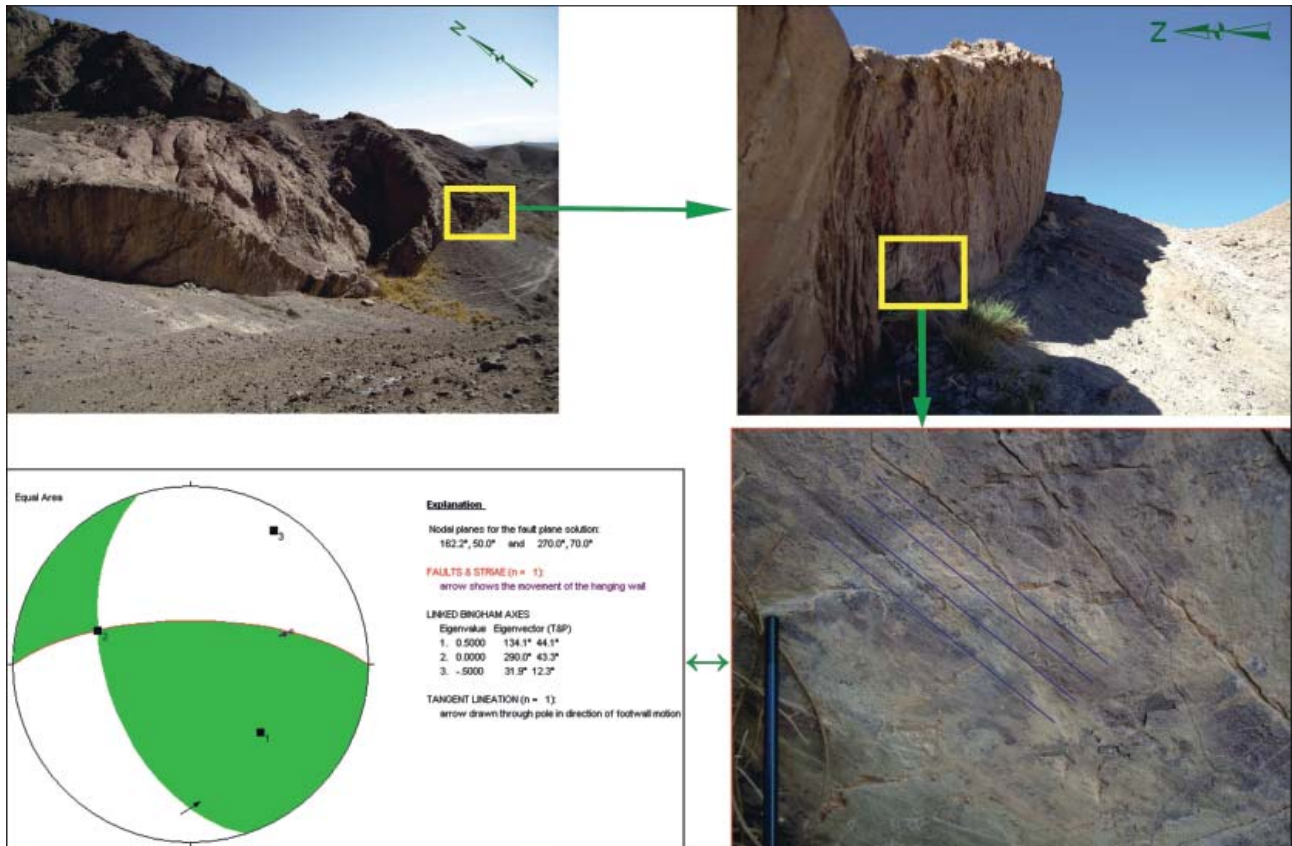
#### گسل شکرآب (Shekarab fault)

گسل شکرآب، اصلی ترین و جنوبی ترین گسل موجود در منطقه است (شکل ۳). موقعیت تقریبی آن N90E,50N می باشد.



شکل ۳. (A) چین خوردگی با موقعیت سطح محوری N5W, 76NE در امتداد گسل شکرآب. (B) گسل شکرآب در مرز بین واحد سفید(توف) و مارن توفی) و قرمز(کنگلومرا،ماسه سنگ،مارن). (C) چین خوردگی با موقعیت سطح محوری N85W, 55NE در امتداد گسل شکرآب.

1- Pop-Up  
2- Floor Thrust



شکل ۴. راندگی کف مربوط به ساخت دم اسبی شماره (۳). از روی خش لغزهای اندازه‌گیری شده، سازوکار سکو، از نوع معکوس همراه با مولفه امتدادلغز چپگرد است.

### پلکان R1

این گسل دارای موقعیت N70W,30NE است. خش لغز اندازه‌گیری شده بر روی آن موقعیت N60,20 دارد. درازای آن حدود ۴۵۰ متر است. این گسل واحدهای Et, Eo ab, Mr, Et2 را قطع کرده است. با توجه به موقعیت پلکان و خش لغز اندازه‌گیری شده، سازوکار پلکان از نوع چپگرد همراه با مولفه راندگی بدست آمد.

### پلکان R2

این پلکان موقعیت N60W,30NE دارد. موقعیت خش لغز اندازه‌گیری شده بر روی آن N70,25 است. طول آن حدود ۹۰۰ متر می‌باشد. این گسل واحدهای Et, Eo ab, Mr را قطع کرده است. مقدار جابه‌جایی ظاهری امتدادلغز توسط این گسل ۳۶۰ متر اندازه‌گیری شده است. با توجه به موقعیت پلکان و خش لغز اندازه‌گیری شده، سازوکار پلکان، از نوع چپگرد همراه با مولفه راندگی بدست آمد (شکل ۶).

### پلکان R3

این پلکان دارای موقعیت N65W,40NE است. خش لغز اندازه‌گیری شده بر روی آن موقعیت N85,25 دارد. درازای آن حدود ۱۴۰۰ متر است. این گسل واحدهای Et, Eo ab, Mr را

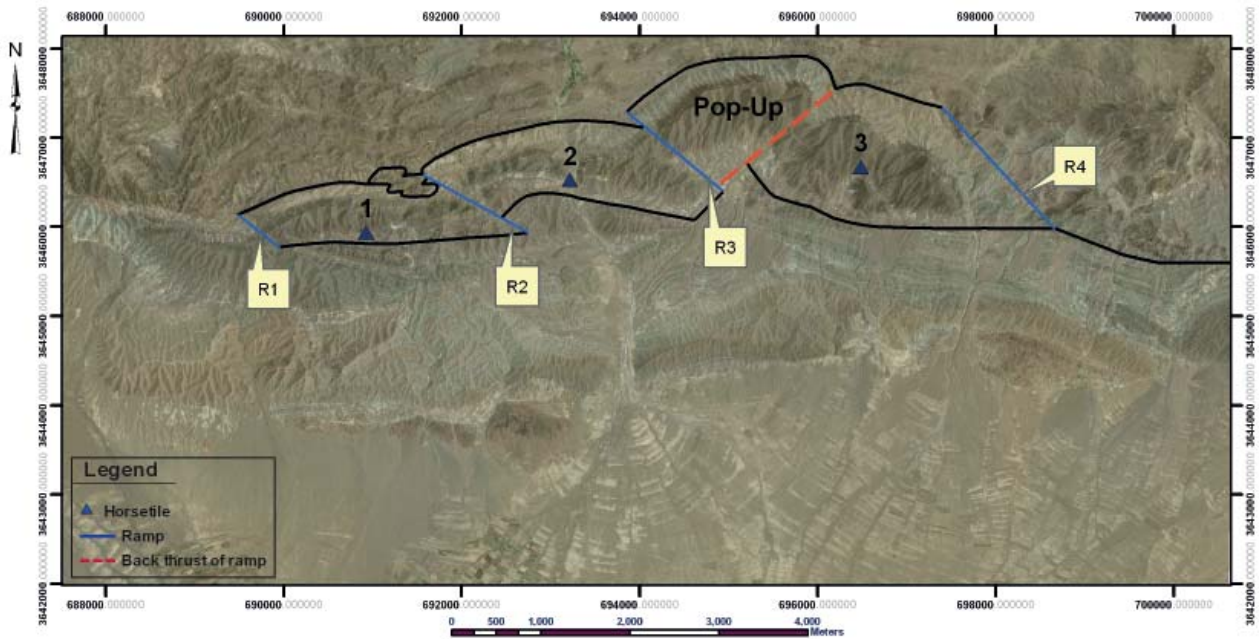
۳/۵ کیلومتر است. این گسل به عنوان سکو (راندگی کف) در قسمت تحتانی واحدهای Eo ab, Mr, Et, Eo br (در زیر ساخت دم اسبی شماره ۲ و ۳ شکل ۵) قرار دارد. با توجه به موقعیت سکو و خش لغز اندازه‌گیری شده، سازوکار این سکو از نوع راندگی همراه با کمی مولفه چپگرد بدست آمد.

### دوپشته‌ها

در منطقه مطالعاتی سه ساخت دم اسبی وجود دارد که این ساختارها از پهلو بر روی همدیگر قرار گرفته‌اند. آثاری از واحدهای Eo ab, Et مربوط به ساخت دم اسبی شماره ۲ بر روی ساخت دم اسبی شماره ۱ دیده می‌شود (شکل ۵ و ۲).

در اثر ایجاد پس راندگی پلکان شماره ۳، ساخت بالارونده ایجاد شده است. بعد از تشکیل ساخت بالارونده در فرو دیواره پلکان شماره ۳ دیگر لغزشی نخواهیم داشت و تشکیل ساخت جدید به سمت شرق خواهد داشت بطوری که ساخت شماره ۱ قدیمی‌ترین ساخت دم اسبی و ساخت شماره ۳ جوان‌ترین ساخت دم اسبی موجود در منطقه است (شکل ۵).

در منطقه مورد بررسی چهار پلکان وجود دارد که از نظر هندسی، دارای آرایش Syntethic fault en echelon هستند (شکل ۵). در ادامه سازوکار هر پلکان و ساختارهای در ارتباط با آنها ارائه شده است.

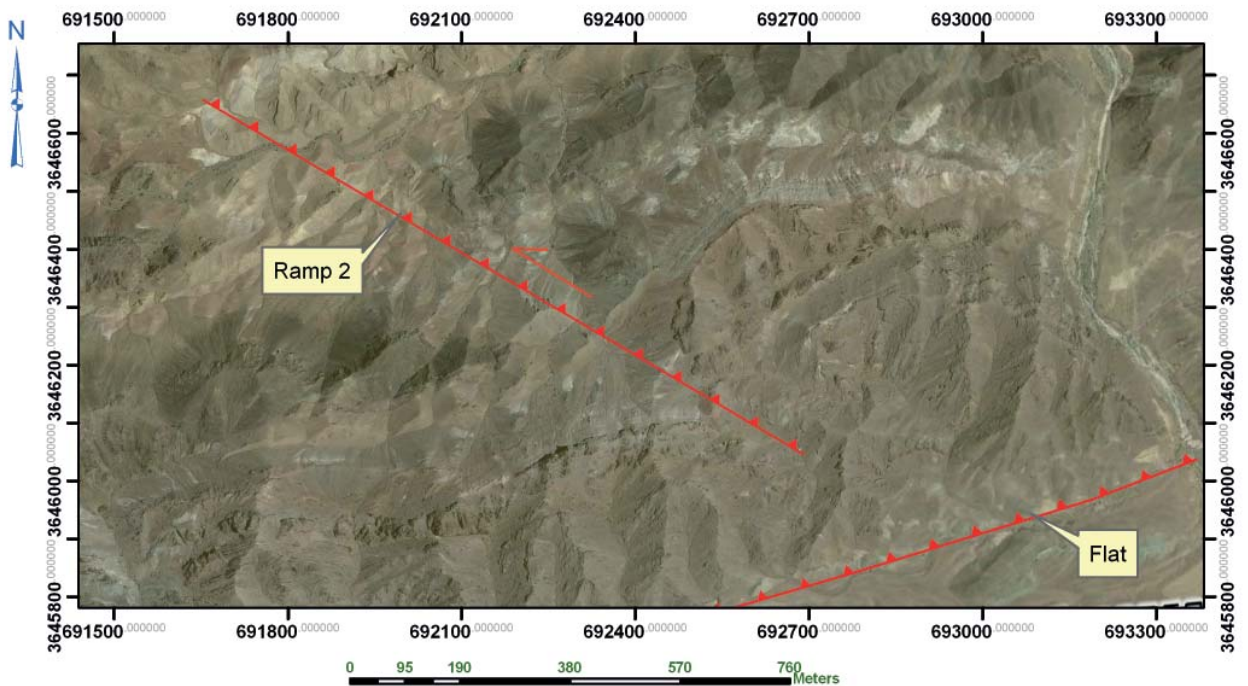


شکل ۵. تصاویر ماهواره‌ای گوگل (کوئیک برد با تفکیک مکانی ۶۰ سانتی‌متر) از ساختارهای دم اسبی موجود در منطقه. شماره‌ها، توالی تشکیل ساختارها را نشان می‌دهند (شماره ۱ قدیمی‌ترین ساخت و شماره ۳ جوان‌ترین ساخت دم اسبی است)

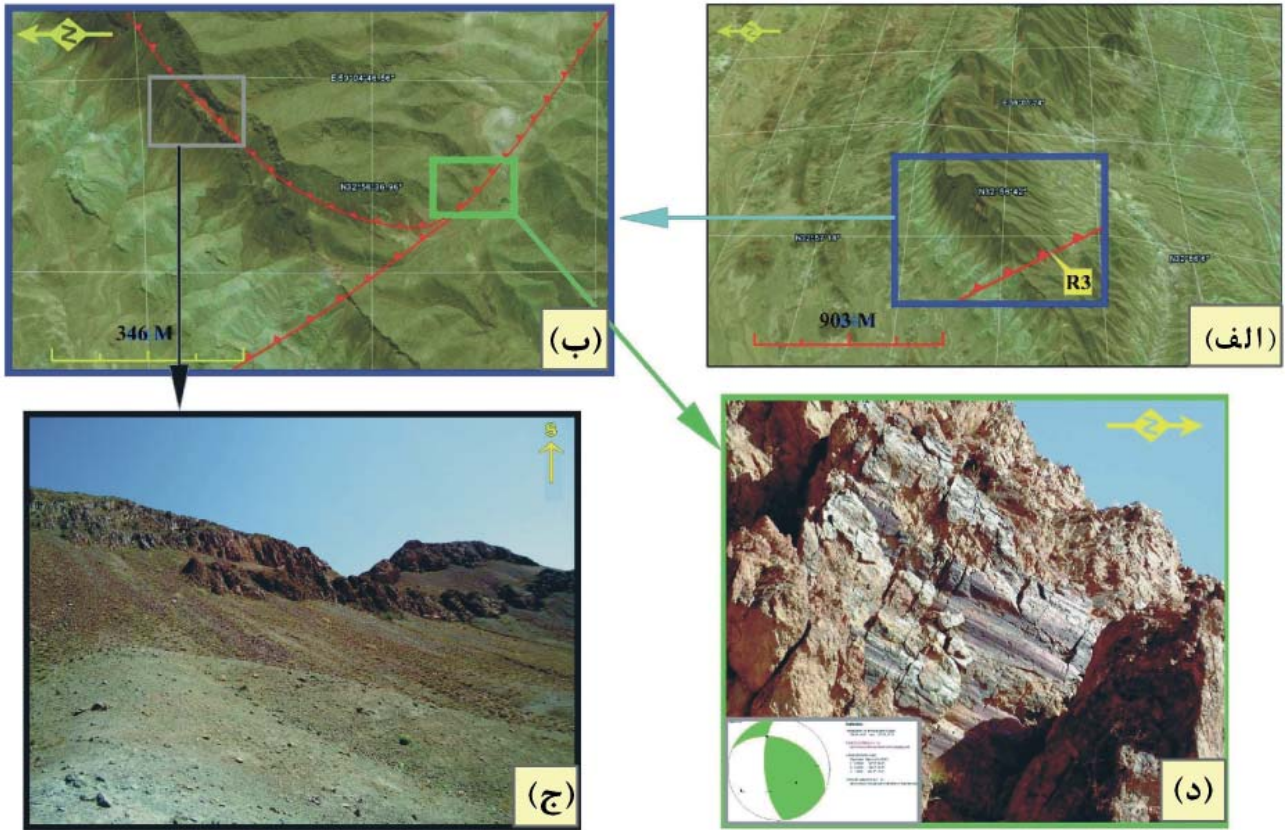
### گسل F3

گسل F3 موقعیت N35E,42NW دارد. موقعیت خش لغز اندازه‌گیری شده بر روی آن N255,30 است. درازای گسل حدود ۲۳۰۰ متر بدست آمد. این گسل واحدهای Et, Eo ab

قطع کرده است. میزان جابه‌جایی ظاهری امتدادلغز توسط این گسل ۹۳۰ متر اندازه‌گیری شد. با توجه به موقعیت پلکان و خش لغز اندازه‌گیری شده، سازوکار پلکان از نوع چپ‌گرد همراه با مولفه رانندگی بدست آمد (شکل ۷).



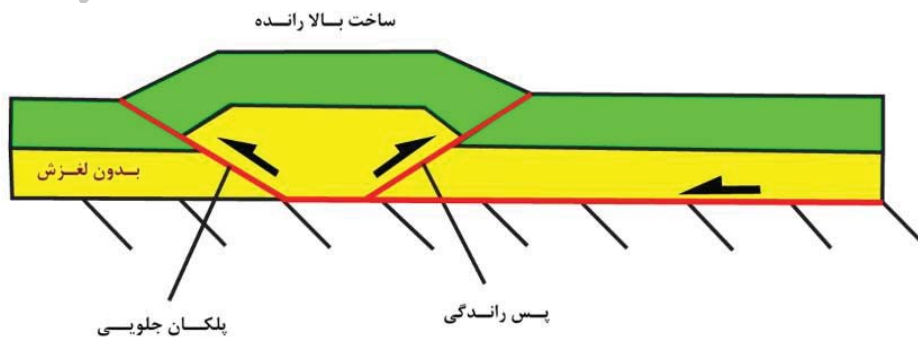
شکل ۶. تصاویر ماهواره‌ای گوگل (کوئیک برد با تفکیک مکانی ۶۰ سانتی‌متر) از پلکان R2. جابه‌جایی امتدادلغز بر روی تصویر ماهواره‌ای به وضوح دیده می‌شود.



شکل ۷. الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل از پلکان R3 (ب) تصویر پلکان R3 از نمای نزدیکتر به همراه گسلی که در بخش بالایی واحد سنگی Eo ab قرار گرفته (قسمت ج از نمای نزدیکتر) و باعث هر چه بیشتر رانده شدن این واحد سنگی بر روی واحدهای قدیمی تر شده است. د) تصویر خش لغز مربوط به پلکان R3

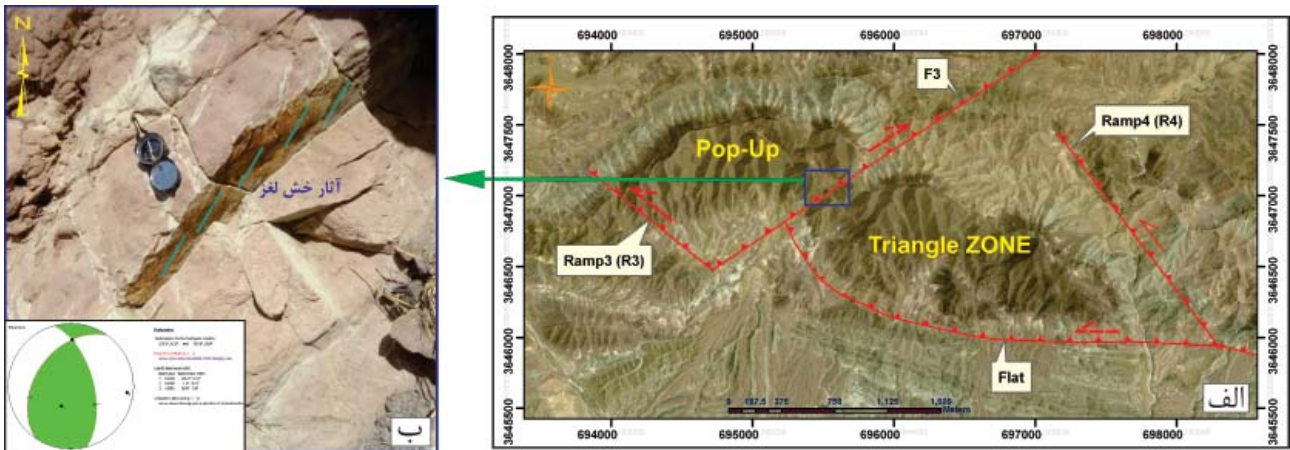
رانندگی و پس رانندگی آن، را اصطلاحاً pop-up می‌نامند. در تعدادی مناطق نیز دیده شده که پس رانندگی و رانندگی جدید ساخت پهنه سه گوش را ایجاد می‌کنند (شکل ۸). در منطقه مطالعاتی گسل F3، پس رانندگی پلکان R3 به حساب می‌آید. در اثر حرکت سکوا، این گسل به همراه پلکان R3، ساخت بالارانده را ایجاد کرده است. با پیشروی جهت انتقال به سمت باختر، پلکان جدید (R4) ایجاد گردیده است. این پلکان به همراه پس رانندگی پلکان R3، ساخت پهنه سه گوش را تشکیل داده است (شکل ۹).

Mr را قطع کرده است. مقدار جابه جایی ظاهری امتداد لغز توسط گسل ۲۴۰ متر اندازه‌گیری شد. با توجه به موقعیت گسل و خش لغز اندازه‌گیری شده بر روی آن، سازوکار گسل، از نوع راستگرد همراه با مولفه رانندگی است. معمولاً در مناطق کوهزایی، رانندگی‌ها با جهت جابه‌جایی مخالف حرکت رانندگی اصلی دیده می‌شوند. این رانندگی‌ها را پس رانندگی می‌نامند. آنها معمولاً به دلیل فشارش اضافی موازی با لایه بندی که در نتیجه چگالی برگه‌های بالا آمده توسط پلکان ایجاد شده است، به وجود می‌آیند. بلوک فرادیواره ۲ گسل،



شکل ۸. ساخت بالارانده و ساخت پهنه سه گوش در ارتباط با توسعه پلکان (Butler, 1982)

- 1- Antithetic thrusts
- 2- Back Thrust



شکل ۹. الف) تصویر ماهواره ای گوگل از گسل F3 به همراه گسل های ایجاد کننده ساخت بالا رانده و ساخت پهنه سه گوش (ب) تصویری از خش لغز و استریوگرام مربوط به گسل F3.

در قسمت های مختلف منطقه دیده می شوند. این مطالعه بر روی چین خوردگی مرکز منطقه مطالعاتی متمرکز شده است. چین خوردگی مرکز منطقه مطالعاتی دارای ۹ اثر محوری (T) متفاوت می باشند (شکل ۱۱).

در این قسمت از منطقه واحدهای سنگی در پهنه فشارشی برشی دچار چین خوردگی گردیده اند و تشکیل تاقدیس و ناودیس هایی را داده اند که دارای روند محوری متفاوت می باشند.

یکی از روش های تعیین موقعیت محورهای جنبش، سطح محوری چین های موجود در منطقه است. خطی که عمود بر سطح محوری چین قرار می گیرد همان محور فشردگی (Z) به وجود آورنده چین است که برابر محور تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) می باشد. با توجه به اندازه گیری های به عمل آمده از وضعیت چین خوردگی مرکز منطقه (شکل ۱۱)، به کمک محور و صفحه محوری چین های T5-T1 مختصات محور تنش بیشینه (که عمود بر سطح محوری چین است) بدست آمد (جدول ۱).

محور فشردگی به دست آمده از سطح محوری چین های T5-T1، تقریباً برابر با N38,14 است. در این راستا مقاطع مختلف زمین شناسی ترسیم گردید و مقدار کوتاه شدگی ۴۱/۴۶ درصد

جدول ۱. مختصات محور فشردگی بدست آمده بر اساس سطح محوری چین های T5-T1

نام چین	مختصات صفحه محوری چین		محور چین	مختصات محور فشردگی	
	Strike	Dip&Dip Direction		Trend	Plunge
T1	N90	89S	N270/40	N0	۱
T2	N101	82SW	N276/35	N11	۸
T3	N120	70S W	N281/42	N30	۲۰
T4	N132	70SW	N300/31	N42	۲۰
T5	N160	87NE	N158/25	N70	۳

### پلکان R4

این پلکان دارای موقعیت N40W,40NE است. خش لغز اندازه گیری شده بر روی آن موقعیت N85,35 دارد. درازای آن حدود ۱۸۰۰ متر است. این گسل واحدهای Et, Eo ab, Mr را قطع کرده است. با توجه به موقعیت پلکان و خش لغز اندازه گیری شده، سازوکار پلکان از نوع چپگرد همراه با مولفه رانندگی بدست آمد. در شکل ۱۰ نقشه ساختاری منطقه همراه با استریوگرام گسل های مورد تحلیل آورده شده است.

### تحلیل جنبشی عناصر ساختاری

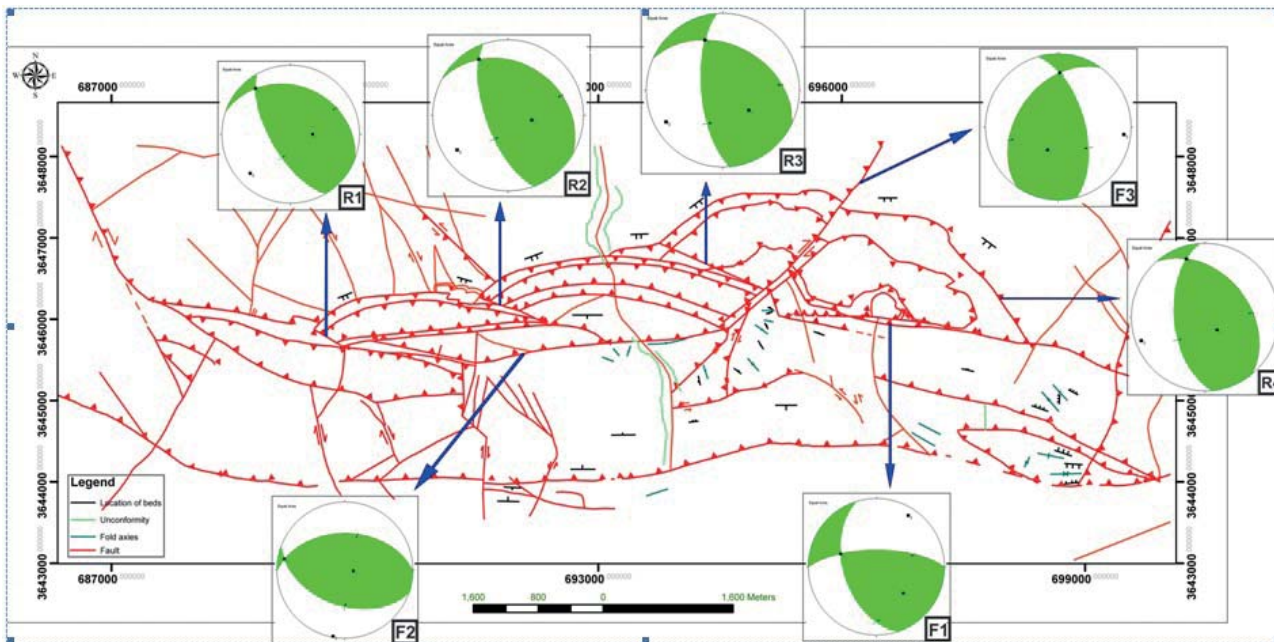
برای پی بردن به سازوکار تشکیل دوشسته ها، مراحل جنبشی به روش های زیر مورد بررسی قرار گرفت و محورهای جنبش در هر روش بدست آمد.

### بدست آوردن محورهای مختلف جنبش و کرنش

روش تعیین موقعیت محور جنبش با استفاده از سطح محوری چین ها

چین ها با هندسه و روند محوری مختلف، به صورت پراکنده





شکل ۱۰. نقشه ساختاری منطقه به همراه استریوگرام گسل‌های مورد بررسی

بدست آمد.

**روش تعیین موقعیت محور جنبش در راستای دوپشته‌ها**

یکی دیگر از روش‌های تعیین محور جنبش می‌تواند، تعیین راستای قرارگیری ساختارهای دم اسبی بر روی همدیگر (یا به عبارتی راستای سکوه‌های بوجود آورنده دوپشته‌ها) باشد. از روی تصاویر ماهواره‌ای، راستای قرارگیری ساختارهای دم اسبی بر روی همدیگر N90E می‌باشد. بنابراین، راستای محور  $\lambda 3$  کرنش یا به عبارتی راستای محور بیشینه تنش، نیز N90E است. در این راستا، مقطع زمین‌شناسی تهیه شد (شکل ۱۲) که توسط آن مقدار کوتاه‌شدگی  $20/30$  درصد و مقدار لغزش در امتداد سکو  $2640$  متر بدست آمده است. محل برش بر روی نقشه زمین‌شناسی در شکل ۲ مشخص شده است.

**تعیین محورهای کرنش به کمک تعیین فازهای تنش دیرین<sup>۱</sup>**

برای دستیابی به بخشی از تاریخ گذشته زمین ساختی و آرایش تنش‌های دگرشکل کننده منطقه، روش‌های مختلفی برای تعیین

فازهای تنش دیرین وجود دارد. از آنجا که در منطقه مطالعاتی درزه‌های سیستماتیک به وفور یافت شده است، بهترین و مناسبترین فاکتور برای تعیین تنش دیرین، برداشت این درزه‌ها می‌باشد (شکل ۱۳).

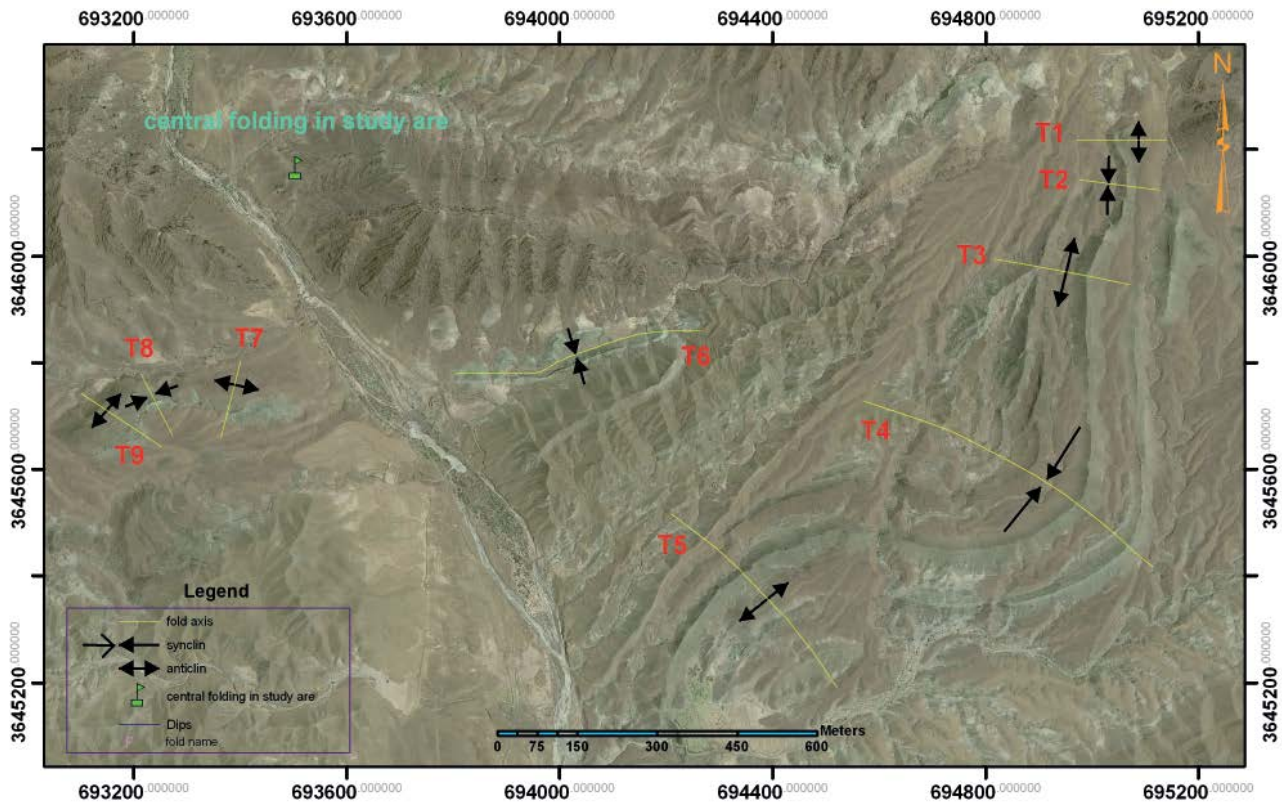
برداشت این درزه‌ها در مناطقی انجام شد که آثار از وجود خش لغز مشاهده گردیده است و بر این اساس درزه‌های سیستماتیک در واحدهای مختلف سنی و در ایستگاه‌های نزدیک به هم (در حدود ۱۷۰ ایستگاه) اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۴). درزه‌های برداشت شده مربوط به واحدهای سنگی زمان ائوسن، الیگومیوسن و واحدهای جوانتر می‌باشد. در ابتدا درزه‌های تکتونیکی از درزه‌های غیر تکتونیکی تفکیک شدند و سپس ارتباط درزه‌ها با چین خوردگی‌ها و گسل خوردگی و بی ارتباطی آنها با این ساختارها مشخص گردید. سپس از روش تفریقی برای تحلیل مراحل تغییر تنش استفاده شده است.

**تعیین فازهای تنش دیرین به کمک درزه‌های هم یوغ**

چنانچه تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری رویدادهای مختلف به

جدول ۲. جهت محورهای مختلف تنش در زمان‌های ائوسن و الیگومیوسن به کمک درزه‌های هم یوغ

محورهای تنش در زمان ائوسن	محورهای تنش در زمان الیگومیوسن
$\sigma_1=42/0$	$\sigma_1=83/2$
$\sigma_2=157/89$	$\sigma_2=175/51$
$\sigma_3=295/1$	$\sigma_3=350/39$



شکل ۱۱. تصویر ماهواره‌ای از چین خوردگی‌های مرکز منطقه مطالعاتی همراه با اثر محوری این چین‌ها

جدول ۳ و شکل ۱۶ موقعیت محورهای تنش به کمک درزه‌های کششی آورده شده است.

### مراحل دگرشکلی

بر اساس مطالعه تغییرات تنش دیرین، وقوع ۲ مرحله دگرشکلی تشخیص داده شده است. این دو مرحله دگرشکلی از یکدیگر تفکیک و با ساختارهای تحلیل شده در منطقه مورد بررسی قرار گرفتند.

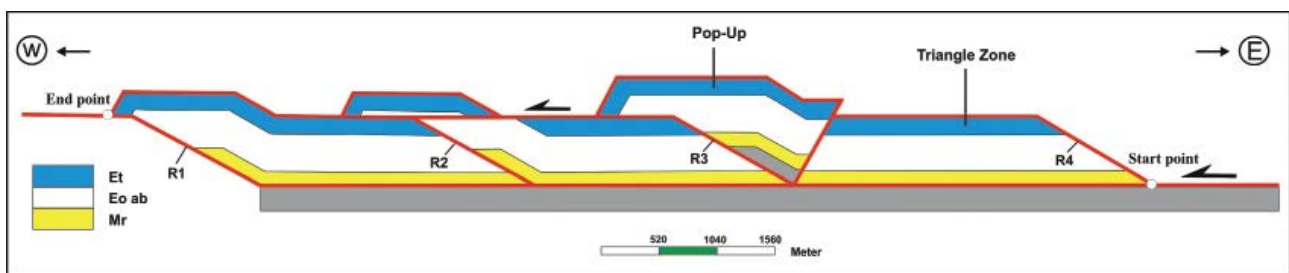
#### مرحله اول دگرشکلی (D1):

محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda_3$  کرنش در این مرحله، به کمک درزه‌های مزدوج  $N42,00$ ، به کمک درزه‌های کششی  $N40,07$  و به کمک سطح محوری چین‌ها،  $N38,14$  به دست آمد. مقدار کوتاه‌شدگی بدست آمده در این مرحله از دگرشکلی

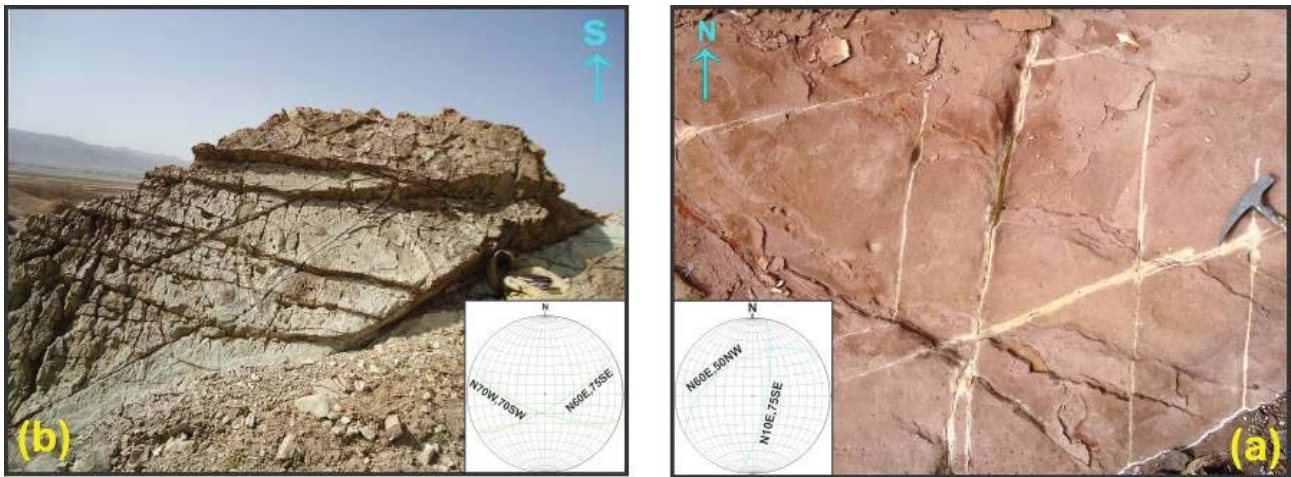
اندازه کافی باشد، مشاهده می‌شود که با جوان‌تر شدن سن واحد، تعداد رویدادهای زمین‌ساختی ثبت شده کاهش می‌یابد. در این صورت با حذف کردن رویدادهای جوان‌تر در واحد جوان از رویدادهای موجود در واحد متاخر، می‌توان به توالی سنی رویدادها دست یافت. در این مطالعه درزه‌های سیستماتیک مربوط به زمان بعد از ائوسن به کمک روش تفریقی از واحدهای ائوسن تفکیک شده و بعد به کمک نرم افزار T-Tect03، تغییرات جهت تنش و تاثیر آن بر مراحل مختلف دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۲ و شکل ۱۵ موقعیت محورهای تنش به کمک درزه‌های هم‌یوغ آورده شده است.

#### تعیین فازهای تنش دیرین به کمک درزه‌های کششی

در این مرحله نیز درزه‌های کششی در واحدهای ائوسن از درزه‌های کششی در واحدهای الیگومیوسن، جدا گردید. در



شکل ۱۲. مقطع خاوری باختری بر روی دوطبته‌های منطقه.



شکل ۱۳. نمونه ای از درزه‌های سیستماتیک در منطقه a) درزه‌های سیستماتیک در واحد ائوسن b) درزه‌های سیستماتیک در واحد الیگومیوسن

روند خاوری باختری به خود گرفته‌اند. در اثر خاوری باختری شدن محور حداکثر تنش، کوتاه‌شدگی خاوری باختری در نتیجه تشکیل ساخت دوپشته ایجاد گردیده است. براساس بازگرداندن مقطع خاوری باختری رسم شده بر روی دوپشته‌ها، مقدار کوتاه‌شدگی ۲۰/۳۰ درصد و مقدار لغزش در امتداد سکو، ۲۶۴۰ متر بدست آمد. روند عمومی واحدهای رخنمون یافته، خمیدگی گسل‌ها، سازوکار گسل‌ها، چرخش محور چین‌ها و... بیان‌گر یک دگرشکلی پیش‌رونده در این مرحله از دگرشکلی می‌باشد.

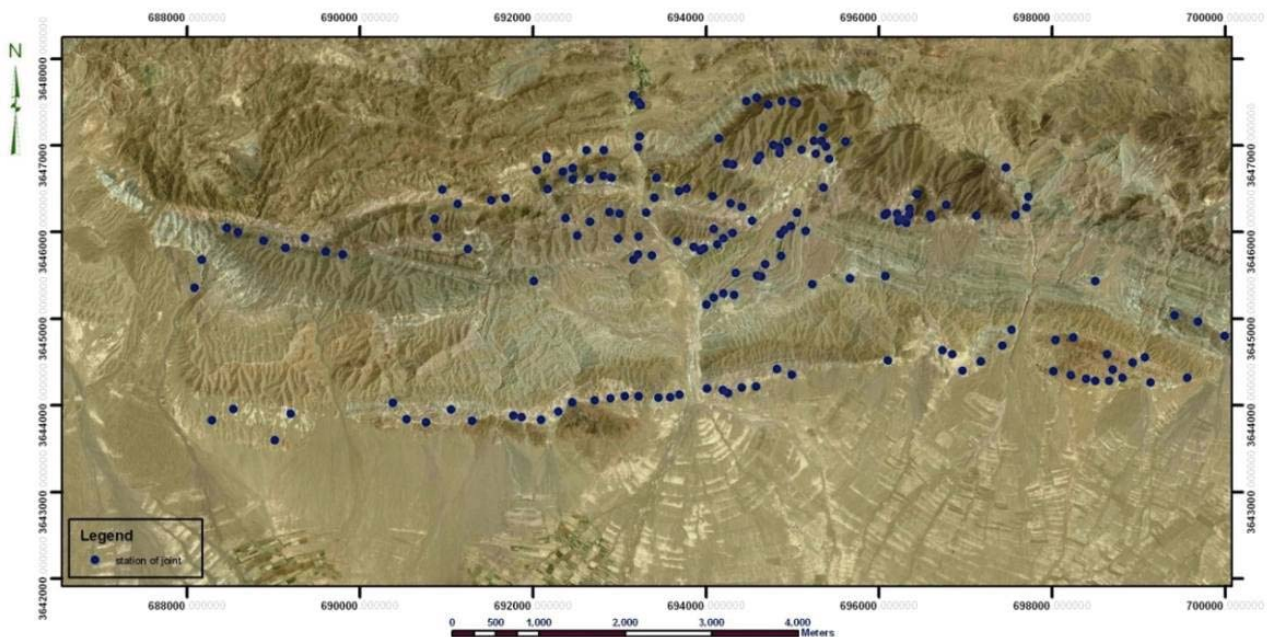
#### مدل شکل دوپشته‌های منطقه

همان‌طور که ذکر شد دوپشته‌های منطقه در اثر دگرشکلی پیش‌رونده در مرحله دوم دگرشکلی ایجاد گردیده‌اند. بر اساس مطالعه نقشه ساختاری بدست آمده، بررسی تصاویر ماهواره‌ای و

حدود ۴۱/۴۶ درصد است. در این مرحله واحدهای سخت‌تر زمان ائوسن، دچار راندگی‌های شمال خاور جنوب باختر و واحدهای شکل‌پذیرتر آن، دچار چین خوردگی شده‌اند به طوری که محورهای چین خوردگی تقریباً دارای روند شمال باختر جنوب خاور می‌باشند (چین‌های T5-T1 در شکل ۱۱).

#### مرحله دوم دگرشکلی (D2)

محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda_3$  کرنش در این مرحله به کمک درزه‌های مزدوج N83,02، به کمک درزه‌های کششی N84,00 و به کمک راستای راندگی‌های خاوری باختری، بر اساس تصاویر ماهواره‌ای N90E است. در این مرحله گسل‌های امتداد لغز توسعه بیشتری داشته‌اند به نحوی که محورهای چین خوردگی در این مرحله دچار چرخش شده‌اند و در قسمت‌های انتهایی



شکل ۱۴. موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه. برداشت درزه‌ها در واحدهای سنگی مختلف با سن متفاوت انجام گرفته است.

جدول ۳. جهت محورهای مختلف تنش در زمان های ائوسن والیگومیوسن بر اساس درزه های کششی

محورهای تنش در زمان ائوسن	محورهای تنش در زمان الیگومیوسن
$\sigma_1=40/7$	$\sigma_1=84/0$
$\sigma_2=138/46$	$\sigma_2=337/88$
$\sigma_3=313/14$	$\sigma_3=227/1$

### نتیجه گیری

بررسی و تحلیل عناصر ساختاری در منطقه، بیانگر الگوی جنبشی از نوع یک سیستم فشاری همراه با برش چپ گرد است. لذا کلیه ساخت های مورد تحلیل در این ناحیه با ساختارهای به وجود آمده در یک سیستم فشاری با جابه جایی چپگرد خاوری باختری منطبق می باشد.

بر اساس تحلیل هندسی جنبشی صورت گرفته در منطقه، سکو ها عمدتاً دارای سازوکار راندگی همراه با مولفه چپگرد هستند. بر اساس سازوکار سکو جهت انتقال در مرحله دوم دگرشکلی به سمت باختر می باشد. سازوکار پلکان های موجود در منطقه چپگرد همراه با مولفه راندگی است. آنها دارای آرایش پلکانی هم سو هستند.

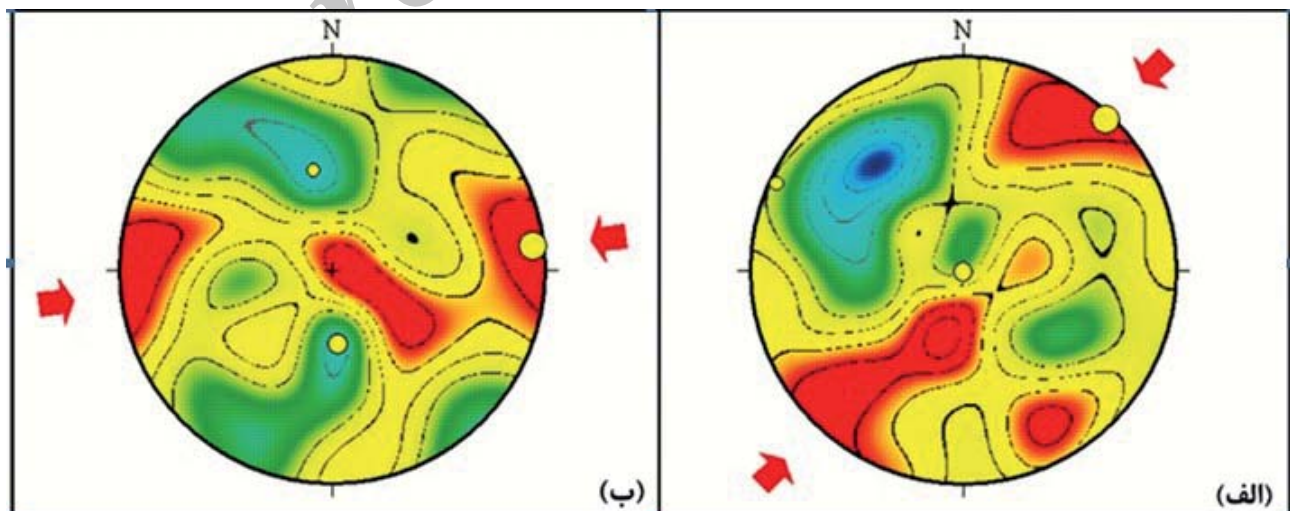
ساختارهای دپشته موجود در منطقه از نوع ساختارهای دم اسبی هستند. در اثر برش چپگرد که به موازات لایه ها اتفاق افتاده، جابه جایی در امتداد لایه ها با حرکات خمشی لغزشی همراه بوده است به طوری که جهت جوان شدن ساختارهای دم اسبی به سمت شرق می باشد. با توجه به اینکه جهت انتقال به سمت غرب و جهت جوان شدن ساختارهای دم اسبی به سمت شرق است (ساختارهای دم اسبی و راندگی های جدید بر روی فرادیواره پلکان ها و ساختارهای دم اسبی قدیم تشکیل شده اند) مدل تشکیل دپشته های منطقه از مدل break-back پیروی می کند که

مقطع خاوری باختری ترسیم شده دپشته های منطقه دارای سه ساخت دم اسبی می باشند.

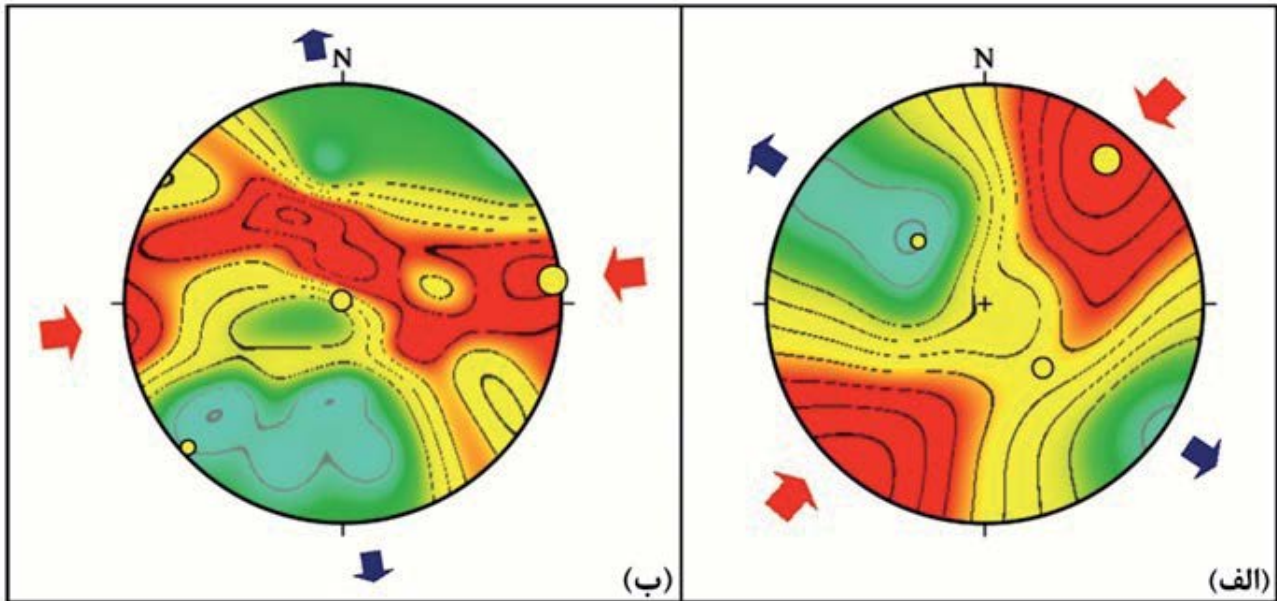
در منطقه مطالعاتی بر اساس تحلیل هندسی جنبشی صورت گرفته و بر اساس سازوکار سکو جهت انتقال به سمت باختر بدست آمد. از آنجا که جهت جوان شدن پلکان ها به سمت خاور و بر روی فرادیواره پلکان های قبلی است (به عبارتی جهت جوان شدن به سمت پس بوم است)، مدل تشکیل دپشته های منطقه از مدل Break-Back پیروی می کند. گاهی اوقات در دپشته هایی که از مدل Break-Back پیروی می کنند، آثاری از توالی راندگی جدیدتر بر روی توالی راندگی قدیمی تر دیده شده است. در دپشته های این منطقه نیز آثاری از ساخت شماره ۲ بر روی ساخت دم اسبی شماره یک دیده می شود (شکل ۳ و ۱۳).

بر اساس مطالعات ساختاری و ترسیم مقاطع مختلف زمین شناسی، بلوک دیاگرام مربوط به دپشته های منطقه ترسیم گردیده است.

همان طور که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، در راستای تقریبی شمال غرب جنوب شرق چین خوردگی ساختارهای دپشته نشان داده شده است. چین ها از نوع چین های مرتبط با نوک راندگی هستند. در راستای عمود بر دپشته ها ساخت گل واره دیده می شود که باعث برخاستگی قسمت های داخلی تر ساخت دپشته نسبت به نواحی کناری شده است.



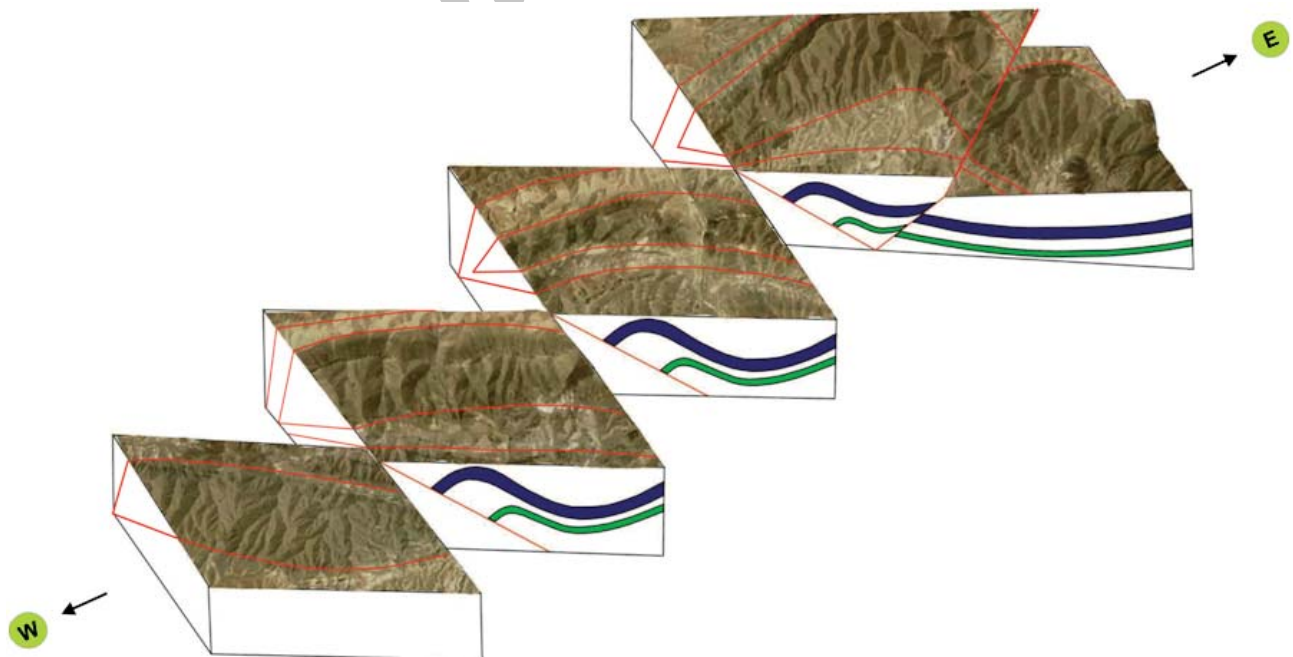
شکل ۱۵. الف) محور تنش بیشینه (محور حداقل کرنش) در زمان ائوسن به کمک درزه های هم یوغ. ب) محور تنش بیشینه (محور حداقل کرنش) در زمان الیگومیوسن به کمک درزه های هم یوغ (با استفاده از نرم افزار T-Tecto3)



شکل ۱۶. الف) محور تنش بیشینه (محور حداقل کرنش) در زمان ائوسن به کمک درزه‌های کششی (ب) محور تنش بیشینه (محور حداقل کرنش) در زمان الیگومیوسن به کمک درزه‌های کششی (با استفاده از نرم افزار T-Tecto3)

اکثر چین‌ها تقریباً دارای روند شمال باختر جنوب خاور می‌باشند. در مرحله دوم دگرشکلی محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda_3$  کرنش به کمک درزه‌های مزدوج  $N83,02$ ، به کمک درزه‌های کششی  $N84,00$  و به کمک راستای راندگی‌های خاوری باختری، و تصاویر ماهواره‌ای  $N90E$  است. در این مرحله گسل‌های امتداد لغز توسعه بیشتری داشته‌اند، به نحوی که محور چین‌های موجود در مرکز منطقه، در این مرحله دچار چرخش شده‌اند و در قسمت‌های انتهایی روند خاوری باختری به خود گرفته‌اند. در اثر

با پیچیدگی ساختاری خاصی همراه است. در مرحله اول دگرشکلی محور تنش بیشینه یا به عبارتی محور  $\lambda_3$  کرنش، بر اساس درزه‌های مزدوج  $N42,00$ ، درزه‌های کششی  $N40,07$  و به کمک سطح محوری چین‌ها  $N38,14$  بدست آمد. مقدار کوتاه شدگی بدست آمده در این مرحله از دگرشکلی حدود  $41/46$  درصد است. در این مرحله واحدهای سخت‌تر ائوسن، دچار راندگی‌های شمال خاور جنوب باختر و واحدهای شکل‌پذیرتر آن، دچار چین خوردگی شده‌اند، به طوری که محور



شکل ۱۷. بلوک دیاگرام ساختارهای دوپشته موجود در منطقه

- Cembrano, J., Gonzalez, G., Arancibia, G., Ahumada, I., Olivaves, V., and Herrera, V., 2005. Fault zone development and strain partitioning in an extensional strike-slip duplex. *Tectonophysics*, 400, 105-124.

- Costa, E., and Vendevill, B.C., 2002. Experimental insights on the geometry and kinematics of fold and thrust belts above weak, viscous evaporitic decollement. *Journal of Structural Geology*, 24, 1729-1739.

- Kim, Y.S., Peacock, D.C.P., and Sanderson, D.J., 2004. Fault damage zones. *Journal of Structural Geology*, 26, 503-517.

- Koji, H.A., and Vendeville, B.C., 2003. The effect of decollement dip on geometry and kinematics of model accretionary wedges. *Journal of Structural Geology*, 25, 1445-1450.

- Lujan, M., Storti, F., Balanya, J.C., Crespo-Blanc, A., and Rossetti, F., 2003. Role of decollement material with different rheological properties in the structure of the Aljibe thrust imbricate (Flysch Trough, Gibraltar Arc): an analogue modelling approach. *Journal of Structural Geology*, 25, 867-881.

- McCall, G.J.H., 2003. A critique of the analogy between Archaean and Phanerozoic tectonics based on regional mapping of the Mesozoic-Cenozoic plate convergent zone in the Makran, Iran. *Precambrian Research*, 127, 5-17.

- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 26, 519-535.

- 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*, 21, 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*, 186, 29-42.

- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E., 1983. The sisthan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 134-156.

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

خاوری باختری شدن محور حداکثر تنش، کوتاه‌شدگی خاوری باختری در نتیجه تشکیل دوطبته‌ها ایجاد گردیده است. بر اساس بازگرداندن مقطع خاوری باختری رسم شده بر روی دوطبته‌ها، مقدار کوتاه‌شدگی ۲۰/۳۰ درصد و مقدار لغزش در امتداد سکو، ۲۶۴۰ متر بدست آمد. روند عمومی واحدهای رخنمون یافته، خمیدگی گسل‌ها، سازوکار گسل‌ها، چرخش محور چین‌ها و... بیانگر یک دگرشکلی پیشرونده در این مرحله از دگرشکلی می‌باشد.

## منابع

- اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج. و هوشمندزاده، ع.، ۱۳۵۲. بررسی مقدماتی زمین‌شناسی درلوت مرکزی، شرق ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش شماره ۲۲، ۸۶.

- اوهانیان، ت.، طاوسی، ش. و افتخارنژاد، ج.، ۱۳۶۶. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۵.

- بربریان، م.، ۱۳۶۲. دگرریختی قاره‌ای در فلات ایران زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، گزارش شماره ۵۲، ۳۰۷-۳۱۵.

- رشیدی، ا.، ۱۳۹۰. تحلیل هندسی جنبشی عناصر ساختاری کوه کمرحاجی (شمال غرب بیرجند شرق ایران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، ۱۵۴.

- هیهات، م.ر.، ۱۳۷۷. تحلیل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۸.

- Abd El-Wahed, M.A., and Kamh, S.Z., 2010. Pan-African dextral transpressive duplex and flower structure in the Central Eastern Desert of Egypt. *Gondwana Research*, 474, 1-22.

- 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*, 25, 659-672.

- Bhattacharyya, K., and Mitra, G., 2009. A new kinematic evolutionary model for the growth of a duplex-an example from the Rangit duplex, Sikkim Himalaya, India. *Gondwana Research*, 16, 697-715.

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

- Butler, B. A., 1982. The terminology of structures in thrust belts. *Journal of Structural Geology*, 4, 239-245.

- Walker, R.T., and Khatib, M.M., 2006. Active faulting in the Birjand region of eastern Iran. *Tectonics*, 25, 1-17.
- Woodcock, N.H., and Rickards, B., 2003. Transpressive duplex and flower structure: Dent Fault System, NW

- England. *Journal of Structural Geology*, 25, 1981-1992.
- <http://earth.google.com/support/bin/answer.py?answer=181880&hl=en>
- [http://www2.arnes.si/~jzaloh/t-tecto\\_homepage.htm](http://www2.arnes.si/~jzaloh/t-tecto_homepage.htm)

Archive of SID