

## برش عرضی ترازند دولت آباد - نیشابور در گستره بینالود

روژین حمیدی<sup>۱</sup>، محمدرضا قاسمی<sup>۲</sup> و محمدرضا شیخ الاسلامی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۹

### چکیده

ادامه رژیم فشارشی در همگرایی بلوک سخت ایران مرکزی و بلوک توران منجر به بالا آمدگی در گستره بینالود و راندگی مجموعه‌های سنگی قدیمی بر روی نهشته‌های جوان تر شد. راندگی‌ها و چین خوردگی‌ها سبب کوتاه‌شدگی گستره شدند. این پژوهش تلاش دارد با بازسازی برش‌های عرضی ترازند، جنبش‌شناسی و مقدار کوتاه‌شدگی رشته‌کوه یاد شده را آشکار نماید. بدین منظور ساختار عمومی رشته‌کوه بینالود و افق‌های اصلی فرآینش در یک برش معین بین مشهد و نیشابور برداشت و بررسی شد. برداشت داده‌های میدانی در مسیر برش تعیین شده، شناخت واحدهای زمین‌شناسی که در مسیر برش قطع می‌شوند و به‌کارگیری نرم‌افزار موو (Move) پایه‌های اصلی این پژوهش به شمار می‌روند. بر پایه این اطلاعات چهار آزمون برای ترازند کردن برش عرضی مورد نظر در نرم‌افزار موو انجام گرفت. آزمون اول با روش کمان به همراه پلی‌گون برای افق‌ها و ساختار قاشقی بدون داشتن گسله کف نتوانست برش دگرریخت شده را به نمایش درآورد. در آزمون دوم، ساختار دگرریخت شده رسم شد، ولی در مرحله‌ی گشایش چین‌ختم گسله از ترازند کردن برش بازماند. در آزمون‌های سوم و چهارم از روش کینک استفاده شد که می‌بایست برش را از حالت دگرریخت نشده به حالت دگرریخت شده برساند. اعمال دگرریختی در آزمون سوم از جانب پس بوم آغاز شد و در مرحله برگشت به حالت اولیه مقدار کوتاه‌شدگی ۶۵٪ آشکار شد. در آزمون چهارم با اعمال دگرریختی از جانب پیش بوم مقدار کوتاه‌شدگی گستره بینالود با احتساب بالا آمدگی هم‌زمان با کوتاه‌شدگی ۲۶٪ به دست آمد. در مدل ساختاری نهایی، کمر بند چین و راندگی نازک پوست، چین خم گسله همراه با دپشته‌های بیرون از توالی و درون توالی را تعریف می‌کند. افق‌های فرآینشی تعیین شده در گستره عبارتند از: (۱) افق‌های شیلی واحد سنگی سیلورین-دونین؛ (۲) دولومیت و آهک متوسط لایه سازند بهرام؛ (۳) طبقات تبخیری در رسوبات ائوسن.

**کلیدواژه‌ها:** برش عرضی ترازند، بینالود، گسل‌های راندگی، کوتاه‌شدگی.

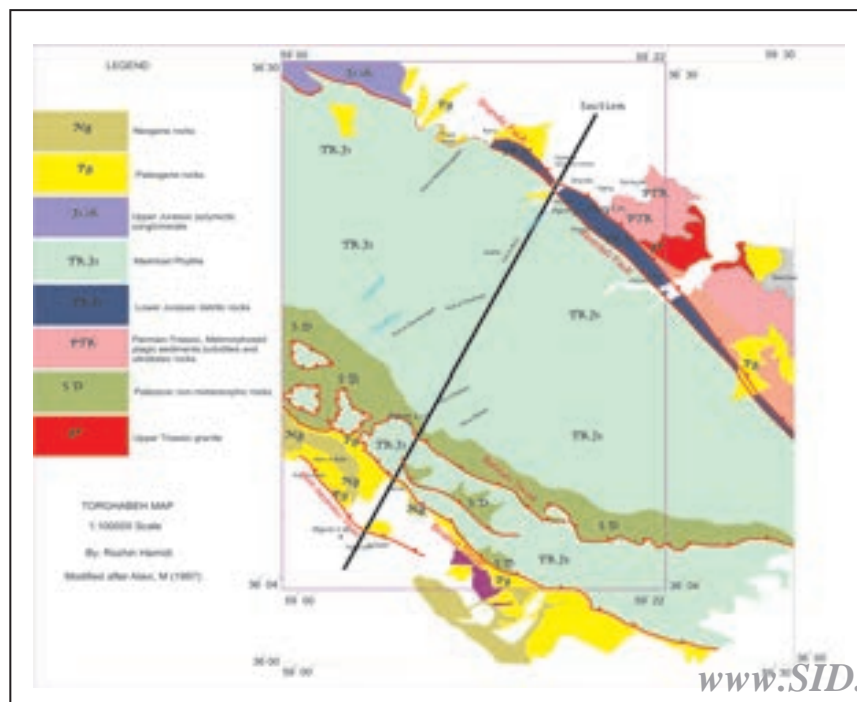
\*نویسنده مسئول: محمدرضا قاسمی

E-mail: mrghassemi@yahoo.com

### ۱- پیش‌نوشتار

(شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲). در اواخر مزوزوئیک و با شروع سنوزوئیک تنش فشارشی در راستای شمال خاوری هم‌زمان با رویداد لارامید در ناحیه بینالود باعث راندگی‌های متعدد به‌سوی جنوب تا جنوب باختری شده است (نواب‌پور و همکاران، ۱۳۸۵) (شکل ۱). وجود برخی شباهت‌های ساختاری و تأثیر چین‌خوردگی‌ها باعث گردیده است تا بینالود را پهنه تدریجی بین ایران مرکزی و البرز در نظر بگیرند (نوی، ۱۳۵۵).

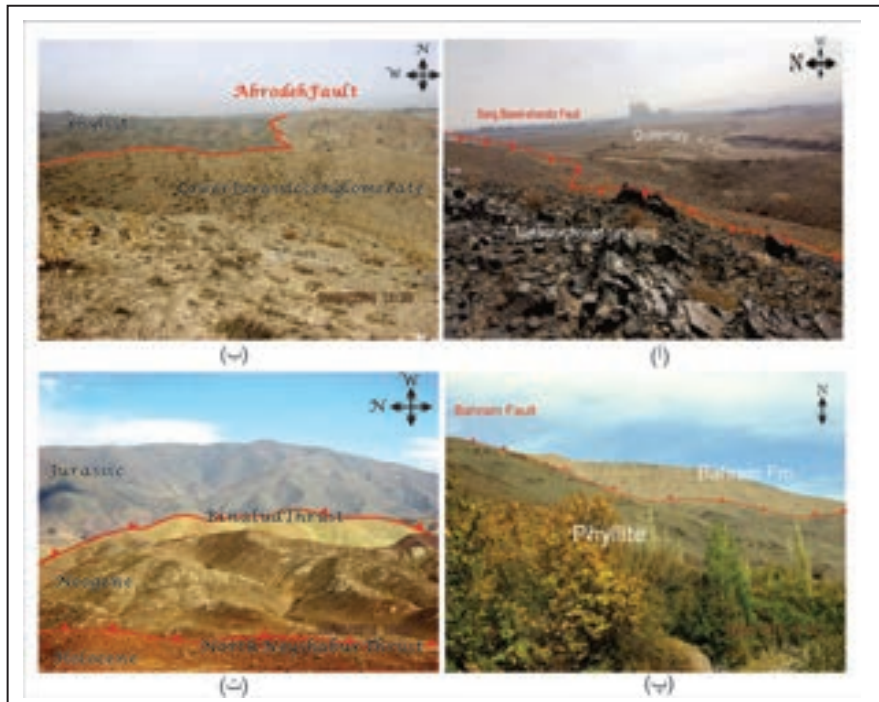
پهنه بینالود محدوده‌ای است شامل رشته‌کوه‌هایی به همین نام با روند تقریبی شمال باختری - جنوب خاوری که بین پهنه کپه‌داغ و خردقاره ایران مرکزی قرار گرفته است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲). ناحیه مورد مطالعه در زمان پالئوزوئیک بالایی یک گودال اقیانوسی را شکل می‌داده که در اثر فروانش پوسته اقیانوس تنیس کهن به زیر صفحه توران به وجود آمده و شروع فروانش با چین‌خوردگی و دگرگونی ضعیف رسوبات کربونیفر-دونین همراه شده است



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده و اصلاح شده یک‌صد هزارم طبقه (علوی و همکاران، ۱۳۷۶). مسیر برش ترازند و برداشت‌های میدانی با خط سیاه مشخص شده است.

راندگی در میان بخش مرکزی بینالود خاوری و در میان مجموعه فیلیتی مشهد رخمون یافته‌اند (شکل ۲- پ). در بخش جنوبی بینالود خاوری سازندهای پالئوزوئیک و مجموعه فیلیت مشهد در امتداد سامانه گسلی بینالود با راستای شمال باختری - جنوب خاوری بر روی رسوبات دوران سوم (شکل ۲- ت) و نیز رسوبات نئوژن بر روی نهشته‌های جوان کواترنری توسط سامانه گسلی شمال نیشابور رانده شده (شکل ۲- ت) و پهنه‌ای با توان لرزه‌ای پدید آورده‌اند. شکل‌گیری سامانه‌های گسلی آن گونه که توسط Alavi (1992) اشاره شده از بخش شمال خاوری به سوی بخش جنوب باختری جوان شده است و در بخش جنوبی سامانه‌های گسلی جوان و فعال را شکل می‌دهند (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

دامنه شمال خاوری بینالود از سنگ‌های دگرگون شده رسوبی و آذرین به سن پالئوزوئیک پسین تشکیل شده است که توده‌های گرانیتیویدی در آن نفوذ نموده‌اند. این مجموعه در راستای گسله سنگ بست - شانددیز بر روی رسوبات آواری ژوراسیک شامل ماسه‌سنگ، شیل و سنگ جوش رانده شده است (شکل ۲- آ) این رسوبات آواری نیز خود بر روی مجموعه‌ی کم دگرگون فیلیت مشهد شامل اسلیت، ماسه‌سنگ و فیلیت رانده شده‌اند (طاهری و قائمی، ۱۳۷۲) (شکل ۲- ب). مجموعه سنگ‌های پالئوزوئیک شامل ماسه‌سنگ‌های لالون، سنگ‌های کربناته سازند میلا، سنگ‌های آتشفشانی به سن اردووسین و سیلورین و رسوبات آواری و کربناته معادل سازندهای سیب‌زار و بهرام به صورت ورقه‌های



شکل ۲- آ) راندگی واحد پرمین (افیولیت مشهد) توسط گسل سنگ بست-شانددیز با شیب تقریبی ۵۰ درجه؛ ب) راندگی سنگ جوش ژوراسیک زیرین بر روی فیلیت مشهد شیب ۵۰ درجه؛ پ) راندگی سازند آهکی بهرام بر روی فیلیت‌های مشهد با شیب ۳۰ درجه؛ ت) راندگی واحدهای سنگی پالئوزوئیک بر روی سنگ‌های سنوزوئیک از طریق گسل بینالود با زاویه ۴۵ درجه شیب به سوی شمال خاور و در پایین عکس گسله شمال نیشابور با شیب ۶۰ درجه سنگ‌های آواری دوران سوم را بر روی نهشته‌های کواترنری قرار داده است.

## ۲- روش پژوهش؛ برش ترازمند گستره

را برای تجزیه و تحلیل جنبش‌شناسی به کاربران ارائه می‌دهد. تودی موو بخش ضروری سامانه موو برای همه کسانی است که مشغول به کار در پروژه‌های ساختاری پیچیده هستند. این نرم‌افزار نقشه و برش عرضی و طیف گسترده‌ای از مدل‌سازی و ابزارهای جنبش‌شناسی را فراهم می‌کند که برای ساختن جزئیات مدل دوبعدی و مدل‌سازی جنبش‌شناسی و به‌عنوان یک ابزار برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل سه‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Midland Valley Exploration 2D Move). عملکرد این نرم افزار بر اساس اصول هندسی و دینامیکی ترازمندسازی (Fossen 2010) پایه‌ریزی شده است. داده‌های شیب و راستای لایه‌بندی تاپ واحدها مهم‌ترین جزء از رسم برش ترازمند است. تمام داده‌های میدانی از هر تیپ و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و لرزه‌ای می‌توانند گویا شوند. مدل‌سازی جنبش‌شناختی موو از الگوریتم‌های پیشرفته برای ارزیابی و بازسازی مدل‌های زمین‌شناسی ساختاری استفاده می‌کند. برخی از این الگوریتم‌های یاد شده عبارتند از باز کردن چین‌های لغزش - خمشی، باز کردن چین‌ها به روش برش ساده، برش ساده بر روی گسل‌ها، جریان موازی با گسل‌ها و مدل حرکت برش سه‌گوش بر روی گسل‌ها. به همین جهت در گستره بینالود برشی ساختاری به طول ۴۵/۵ کیلومتر در راستای شمال شمال خاوری - جنوب جنوب باختری عمود بر راستای ساختارهای منطقه در حفاصل دولت آباد - نیشابور قرار گرفت. مختصات نقطه آغاز برش ۳۶° ۴۵' ۵ شمالی و ۵۹° ۳۲' ۶۲ خاوری و پایان برش ۱۰° ۴۸' ۳۶ شمالی و ۴۶° ۴۵' ۵۹ خاوری است. موقعیت برش بر روی شکل ۱ با خط سیاه مشخص شده است. شیب ناحیه‌ای ۵

یکی از مهم‌ترین فن‌های ساختاری زمین‌شناسی برای ارزیابی درستی تفسیرهای ساختاری در یک گستره، ترازمندسازی برش‌های ساختاری است. هدف نهایی ترازمندسازی عبارت است از بازسازی مجموعه سنگ دگرریخت شده به حالت اولیه یا به وضعیت صحیح و تعیین توالی زمین‌شناسی رخدادها. این اطلاعات می‌تواند برای زمین‌شناسان، ژئوفیزیکدان‌ها و دیگر کاوشگران زمین‌شناسی بسیار مفید باشد. جنبه‌های چندگانه‌ای می‌تواند از این داده‌ها مشتق شود، همچنین دریافت بهتر هندسه ساختار، تعیین موقعیت و دقت روندهای زمین‌شناسی، ارتباط گسل با ساختار و مانند آن از نتایج این روش است (قاسمی، ۱۳۹۳). برش‌های عرضی ترازمند برای کمرندهای چین و راندگی رشته‌کوه زاگرس با هدف تجزیه و تحلیل دگرریختی در سنگ‌های رسوبی پوشاننده پی‌سنگ و همچنین آزمودن فرضیه در گیر شدن پی‌سنگ در گسلش راندگی در این گونه کمرندها در بخش پیشانی کوه زاگرس توسط (McQuarrie 2004) انجام گرفت. (Molinari et al. 2005) مدل‌سازی سنگ‌کره یک‌دست شده را بر اساس ترکیبی از تفسیر چگالی و اطلاعات توپوگرافی و زمین‌واره (geoid)، یک سنگ‌کره نازک شده زیر کمر بند برخوردی زاگرس که پیش از این مستند نشده بود و شکستگی بُره (slab break-off) در سنگ‌کره انتقالی اقیانوسی - قاره‌ای پیشنهاد دادند. تحقیقات بیشتری در زاگرس بر اساس برش‌های عرضی ترازمند توسط دیگر محققین انجام گرفته است در حالی که در بخش شمال نیشابور در این پژوهش به‌کار گرفته شده است.

مجموعه نرم‌افزاری موو (Move) تنها بسته‌ای است که طیف گسترده‌ای از ابزارها

درجه، تراز ناحیه‌ای واحد سیلورین- دونین و خط میخ جزء اصلی برش‌های عرضی زمین‌شناسی هستند.

برش‌های عرضی ترازمند باید به جهت ساخت برش‌های عرضی چندگانه زمین‌شناسی که برای قابلیت فیزیکی و ثبات چک شده‌اند و همچنین بازسازی و ترازمند کردن مدل سه‌بعدی، به‌منظور تعیین قابلیت فیزیکی و زمین‌شناسی‌اش، مورد آزمون قرار گیرند. انجام آزمون‌های مختلف منجر به ساخت و بازسازی بهتر برش می‌شود و احتمال نادرستی خروجی تفسیر را به کمینه می‌رساند. در نرم‌افزار موو به دو روش می‌توان برش‌های عرضی را ترازمند کرد: ۱) ترسیم ساختار دگرریخت شده در حالت امروزی و سپس برگرداندن ساختار به حالت قبل از دگرریختی؛ ۲) پیش‌بینی ساختار قبل از دگرریختی سپس اعمال کرنش. در این پژوهش از هر دو روش استفاده شد.

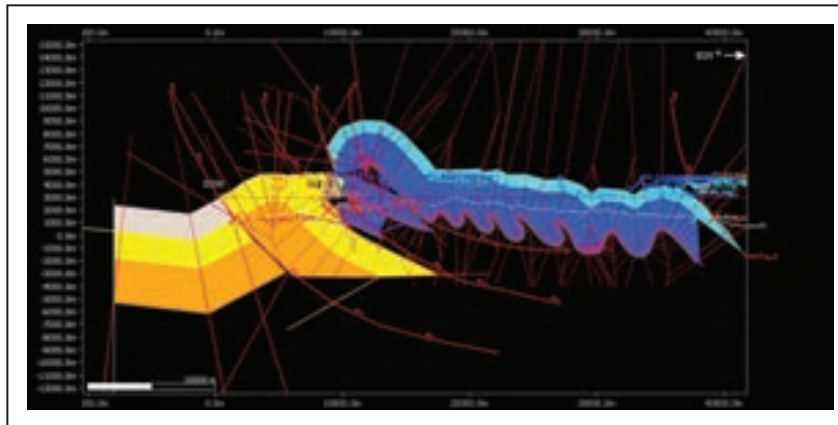
ترسیم برش‌های عرضی ترازمند در گستره‌هایی که به موازات کمربندهای چین و راندگی دچار گسلش راستالغز شده‌اند، با چالش روبرو می‌شود و بازسازی کمربند یاد شده نیازمند بازسازی اولیه حرکت‌های راستالغز پیش از بازسازی حرکت‌های راندگی دارد. با این وجود چون بخش اصلی برش مورد بررسی دچار حرکت راستالغز عمده‌ای نشده است، از این دیدگاه این پژوهش محدودیتی برای تهیه برش

ترازمند قائل نشد.

همچنین در این مقاله اشاره‌ای به نرخ لغزش بر روی هر یک از گسل‌های راندگی نخواهد شد بلکه با توجه به محاسبه کوتاه‌شدگی کلی در طول برش ترازمند نرخ کوتاه‌شدگی به دست خواهیم آمد.

## ۲-۱. آزمون اول

واحدها به‌صورت کمان همراه پلی‌گون رسم شدند. استفاده از ابزار رسم پلی‌گون از این نظر که محدوده انتهایی واحدها را نشان می‌دهد بسیار مناسب بود ولی همین تنظیم انتهایی واحدها و محدود کردن آنها به گسل هم‌زمان با انطباق با توپوگرافی و داده‌های شیبی امکان‌پذیر نبود. در این برش برای جای‌گیری پلی‌گون هر واحد به ناچار باید ضخامت لایه‌ها مرتب تغییر می‌کرد که این خود یکی از اصول ترازمندی را نقض می‌کند. در هر بلوک گسلی برای رعایت چینه منطقه به ناچار باید افق مرجع تغییر می‌کرد. در این آزمون گسل‌ها به یک گسل اصلی در ژرفا محدود نشده‌اند و تقدم و تأخر و فعال بودن هر کدام از گسله‌ها معلوم نیست. مزیتی این روش این است که رسم تاپ واحدها در اختیار کاربر است و هر طور بخواهد می‌تواند ساختار لایه‌ها را تغییر دهد و برای رسم برش‌های شماتیک مناسب است. در نهایت این روش توانایی پاسخگویی به ساختار منطقه را نداشت (شکل ۳).



شکل ۳- ترازمند سازی برش عرضی بینالود. آزمون اول: برش عرضی دگرریخت شده به روش کمان با پلی‌گون.

## ۲-۲. آزمون دوم

ترجیحاً بار دیگر گسل‌ها با ساختار قاشقی رسم شد. ضخامت واحد فلیت به ۶۰۰۰ متر، واحد سیلورین- دونین به ۱۳۸۰ متر، واحد دگرگونی‌های مشهد (افیولیت) به جز بلوک C به صفر، واحد اتوسن بالایی به ۱۲۰۰ متر و اتوسن پایینی به ۱۳۰۰ متر تغییر پیدا کرد. روش گشایش لغزش خمشی (Unfolding) برای هندسه قابل قبول افق‌ها و گسله‌ها در این برش‌ها به کار می‌رود. این کار با ایجاد بلوک‌های گسله جدا میسر می‌شود که به‌طور مجزا گشوده می‌شوند (شکل ۴-آ). همان‌گونه که در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود بلوک‌های گسله نبود و هم‌پوشانی‌های زیادی را در حالت بازسازی شده نشان می‌دهند. این شکل نامفهوم به دست آمده در اثر انتخاب اشتباه روش ترازمند کردن است و این روش برای نوع خاص ساختار زمین‌ساختی منطقه جوابگو نیست و توانایی ترازمندسازی را ندارد.

## ۲-۳. آزمون سوم

در کمربندهای چین و راندگی جهت ترابری ساختاری منطقه به سمت پیش بوم است و در این بخش ساختارها جوان‌تر هستند. با این حال بازسازی دگرریختی از ناحیه پس بوم آغاز شد و به سمت پیش بوم جلو رفت. با پیروی از الگوی شکن تمام واحدهای مورد نظر باید به سطح توپوگرافی می‌رسیدند و با ساختار سطحی منطقی می‌شدند. ضخامت‌های حقیقی واحدهای سنگی و داده‌های خلاصه شده از گسله‌های گستره برش موو نظر در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. با اعمال ۱۲۰۰۰ متر جابجایی بر روی گسل سنگ بست شاندیز با زاویه ۶۰ درجه واحد اُفیولیتی توانست به سطح توپوگرافی

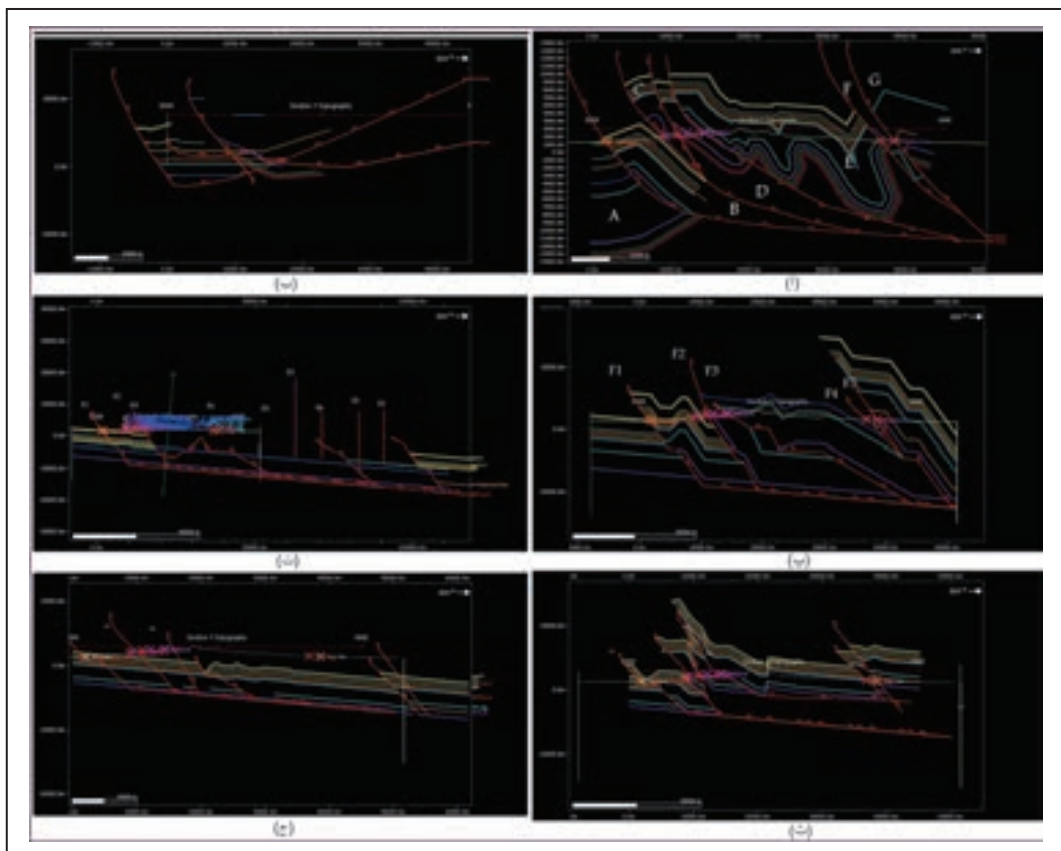
برسد. ضخامت ۱۰۰۰ متر واحد اُفیولیت برای سایر توالی‌ها حذف شد. واحد سنگ جوش ژوراسیک پایینی با طی ۷۰۰۰ متر در زاویه ۵۰ درجه به سطح رسید. در این متد با اعمال دگر ریختی بر روی گسل فعال، گسل غیره فعال که در پشت آن قرار گرفته است در دگر ریختی درگیر می‌کنند. به این صورت ساختار گسلی که پتانسیل رخ دادن دارد تحت دگر ریختی‌های قبل از خود قرار می‌گیرد و ساختار آن تغییر می‌کند. به همین ترتیب میزان جابجایی بر روی هر گسله ثبت شد (گسله راندگی بهرام با شیب ۳۰ درجه ۲۰۰۰۰ متر، راندگی بینالود ۹۰۰۰ متر و راندگی شمال نیشابور ۳۵۰۰ متر). اکنون برش ساختاری دگر ریخت شده کاملی از گستره بینالود وجود دارد (شکل ۴-ب) اما هنوز اطمینانی از ترازمند بودن برش وجود ندارد. به همین جهت ساختار باید مورد آزمایش قرار گیرد. از سمت پس بوم (جنوب جنوب باختری) برگرداندن ساختارها به حالت اولیه آغاز شد. با اعمال هر جابجایی منفی برش یک گام به عقب می‌رود اما باید توجه داشت که در اعمال دگر ریختی منفی باید تمام لایه‌ها و گسل‌های قرار گرفته در جلوی گسل فعال درگیر شوند. با این روند برش کاملاً باز می‌شود و همه افق‌ها به موازات افق مبنا قرار می‌گیرند. در اینجاست که باید بررسی شود آیا برش حاصل از نظر حجم، ضخامت و طول لایه و عدم برگشتگی گسله تغییر کرده است یا نه؟ همچنان که شکل ۴-ت نشان می‌دهد گسل راندگی بهرام به دلیل داشتن دو کژ در رسیدن به سطح توپوگرافی بازمانده و برگشته است. واحد سنگ جوش ژوراسیک پایینی فقط به بلوک همان راندگی محدود می‌شود.

۶۰۰۰ متر حرکت بر روی گسله بینالود نیز انجام گرفت. با اندک جابجایی ۱۵۰۰ متر توسط یک گسله فرعی (راندگی بهرام) که نزدیک به گسله بینالود برداشت شده بود تمام توالی چینه دگرریخت نشده به همراه بخش دگرریخت شده به سمت بالا حرکت کرد و ساختمان بالا آمدگی هم‌زمان با کوتاه شدگی را نشان داد. با بالا آمدن توالی‌ها افق‌های خیلی عمیق به سطح توپوگرافی نزدیک شدند و همین موضوع باعث شد که مقدار بسیار بالایی از جابجایی کاهش یابد و آن مقدار به ۵۰۰۰ متر برسد که ۱/۴ از جابجایی آزمون سوم است. همچنین دو گسله سنگ بست - شاندریز با ۱۰۰۰ متر و راندگی سنگ جوش ژوراسیک پایینی با ۱۵۰۰ متر برش را کامل کردند (شکل ۴-ث). اکنون با کامل شدن برش (شکل ۴-ث) زمان آزمون ترازمندی فرا می‌رسد. از سمت شمال-شمال خاوری باز کردن چین‌ها و گسله‌ها آغاز شد. در بازسازی تنها درگیر کردن افق‌ها و گسله‌های پیش روی گسله فعال مجاز است. به این ترتیب تمام بلوک‌ها به حالت اولیه قبل از دگرریختی برگردانده می‌شوند. شکل ۴-ج یک برش ترازمند را نشان می‌دهد؛ البته با حذف واحد سنگ جوش ژوراسیک پایینی به جز بخش شمال شمال خاوری برش. دلیل حذف این افق پی بردن به محدوده گسترش این واحد است که می‌توان ضخامت آن را به درصد محاسبه کرد که در کوتاه شدگی منطقه تأثیر نگذارد. در راندگی بهرام و افق‌های وصل شده به گسل مقدار ناموزونی دیده می‌شود که به نظر می‌رسد به خاطر شیب کم گسله و همچنین ویژگی‌های مهندسی واحد سنگی فیلیت مشهود است. چرا که فیلت یک سنگ رسوبی (توریدایتی) دگرگون شده است و این سنگ‌ها نسبت به سنگ‌های رسوبی در مقابل تنش رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. دیگر بخش‌های برش عرضی از اصول ترازمندی پیروی کرده‌اند. اندازه گیری ۱۶۷۳۷ متر کوتاه‌شدگی ۲۶٪ را نمایان می‌کند.

افق‌های رویی واحد فیلیت مشهود با آگاهی رسم نشدند. چرا که اطمینانی از حضور این واحدها وجود ندارد که آیا واقعاً در گذشته سرتاسر ناحیه را فراگرفته بودند و در اثر فرسایش از میان رفته‌اند یا نه. اما با قرار دادن آنها هم تغییری ایجاد نمی‌شود و سلیقه‌ای است. با اندازه گیری طول گستره دگرریخت نشده ۸۵۹۷۷ متر به عبارتی ۶۵٪ کوتاه شدگی حاصل شد.

#### ۲-۴. آزمون چهارم

آزمون چهارم برای اطمینان از آزمون سوم انجام شد. پرسشی که مطرح بوده این است که اگر در عمق گسله‌ها تغییر ایجاد شود یا ستون چینه‌شناسی تغییر کند و مهم‌تر از همه آغاز دگرریختی از سمت مخالف (ناحیه پس بوم (جنوب جنوب باختری)) و باز کردن ساختار برش از سمت شمال شمال خاوری باشد چه تأثیری در میزان کوتاه شدگی و ساختار و سازوکار گسله دارد؟ عمق گسله‌ها به ۳۰۰۰ متر رسانده شد در صورتی که در آزمون سوم عمق ۱۰۰۰۰ متر بود. ستون چینه در همه بلوک‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود. تنها در بخش شمال-شمال خاوری برش واحد اُفولیت به ستون اضافه شد. خط میخ و شیب ناحیه‌ای و تراز ناحیه دست‌نخورده باقی گذاشته شد. با چندین بار آزمون و خطا اطمینان حاصل شد که عمق گسله‌ها با شرط ثابت بودن ساختار و ستون چینه تأثیری در مقادیر جابجایی نخواهد داشت؛ اما تغییر در ستون چینه و ضافه یا کم شدن هر واحدی تنها میزان جابجایی را تغییر می‌دهد. این بار برای رسم ساختمان دگرریخت شده ابتدا از سمت جنوب-جنوب باختری شروع به اعمال حرکت بر روی گسله فعال شد. هم‌زمان تنها یک گسله بعد از خودش درگیر دگرریختی شد. اما افق‌ها از بخش دگرریخت نشده‌شان به سمت پیش بوم ادامه داده شدند. به این صورت میزان جابجایی به دست آمده برای گسله شمال نیشابور برابر با ۱۸۰۰ متر به تقریب نصف جابجایی همین گسله در آزمون سوم بود. به همین ترتیب



شکل ۴-آ) برش عرضی در وضعیت دگرریخت شده در روش کمان بدون اعمال پلی گون؛ ب) نمایش لغزش گشایش خمشی برای هر بلوک گسله به صورت مجزا؛ پ) نمایش برش عرضی با روش کینک در آزمون چهارم. برش عرضی دگرریخت شده، زمانی که دگرریختی از ناحیه‌ی پیش بوم آغاز می‌شود و سمت پس بوم ادامه می‌یابد؛ ت) برش عرضی ترازمند شده با بهترین رویکرد به اصول ترازمندی ساختارها؛ ۲۶٪ کوتاه شدگی؛ ث) برش عرضی دگرریخت شده که در حالت پیشروی دگرریختی به سمت پیش بوم اجرا شد؛ ج) برش عرضی ترازمند شده ۶۵٪ کوتاه شدگی را نشان می‌دهد. برگشتگی گسله راندگی بهرام قابل توجه است.

جدول ۱- ضخامت‌های حقیقی به دست آمده از ترکیب داده‌های فیلدی و نتایج داده‌های نرم‌افزاری مو.

ضخامت	سن	هم ارزی	نام واحد سنگی
500	سیلورین- دونین	فاز کوهزایی کالدونین	واحد سنگ های کالک آلکالین
500	post-Eifelian		واحد آهکی بهرام
1000	پرمن	افیولیت	واحد دگرگونه-رسوبی - الترابازیک
800	تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین	رویداد سیمین پیشین	واحد رسوبات سنگ جوش
2000	رتین- لیا	شمشک	واحد فیلیت مشهد
250	پالتوسن		واحد سنگ جوش
940	ائوسن		رسوبات آواری آتشفشانی و کربناته
500	نئوزن		رسوبات آواری سرخ رنگ
100	کواترنری		پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌ها

جدول ۲- گسله‌های مؤثر در گستره برش مورد مطالعه.

مختصات	سازوکار گسله	نام گسله
050/55	راندگی با مؤلفه راستا لغز راست بر	گسله سنگ بست شانديز
055/55	راندگی با مؤلفه امتداد لغز	گسله ابرده
030/55	راندگی	گسله راندگی بهرام
060/55	راندگی	گسله راندگی بهرام
045/55	راندگی با مؤلفه راستا لغز چپ بر	گسله راندگی بینالود
037/57	راندگی	گسله راندگی شمال نیشابور

### ۳- مدل ساختاری گستره

بر پایه این اطلاعات مدل جدیدی برای ساختار گستره ارائه شد که ترکیبی از ساختارهای زمین‌ساختی گوناگون است. برش عرضی ترازمند گستره بینالود و همچنین میزان کوتاه‌شدگی در آزمون سوم و چهارم این پژوهش حاصل آمد. کوتاه‌شدگی در آزمون سوم ۶۵٪ و در آزمون چهارم ۲۶٪ بود. با فرض صحیح بودن آزمون چهارم طول اولیه برش ۶۱۹۹۹ متر لحاظ می‌شود. در مدل ساختاری ارائه شده، تمام توالی‌های چینه‌ای در پالتوزوئیک و مزوزوئیک و سنوزوئیک خلاصه شده‌اند. برای دو واحد، اُفیولیت و سنگ جوش ژوراسیک پایینی، که گسترش محدودی در ستون چینه دارند به همان حجم اکتفا می‌شود. سنگ جوش ژوراسیک پایینی به رنگ بنفش و اُفیولیت‌ها به رنگ سبز نمایش داده شده‌اند. با مطالعه گسترده‌تر پهنه بینالود مشخص شد که در کوه خلخال و اطراف آن رخنمون سازندهای دولومیت سلطانیه، لالون و میلا وجود دارد که نشان از دگرریختی این واحدها توسط یکی از گسل‌های گستره دارد؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که سطح فِرَاکِنش در این توالی‌ها وجود داشته باشد. سطح فِرَاکِنش اصلی درون واحدهای عمیق‌تر پالتوزوئیک قرار خواهد گرفت که برآوردی از کل گستره بینالود است. موقعیت‌هایی دارای پتانسیل گسل خوردگی و دگرریختی با نقطه چین مشخص شده (شکل ۵-آ) و این موقعیت‌ها در طول تکامل ساختاری مدل مرتب تغییر کرده یا به گسل‌های آشکاری تبدیل شده‌اند. نشانگرهای سبز و آبی جهت ترابری زمین‌ساختی را نشان می‌دهند (شکل ۵-ب) و در نهایت دایره‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده نقطه پایانه گسل (جایی که جابجایی بر روی گسل به صفر می‌رسد) هستند (شکل ۵-ب). امتداد برش در راستای شمال شمال‌خاوری- جنوب جنوب‌باختری است. در این مدل مقیاس برش رعایت شده است و عملیاتی با برش آزمون چهارم است. تنها موردی که در ساختار کلی تغییر داده شده شیب پایه است که این بار صفر در نظر گرفته می‌شود. در گام نخست، با

آغاز دگرریختی در اواخر مزوزوئیک درون واحدهای پایینی پالتوزوئیک در قسمت شمال شمال‌خاوری برش شکستگی آغاز می‌شود. گسل خوردگی در امتداد سطح فِرَاکِنش شروع به پیشروی می‌کند، در بالای این سطح توالی از اُفیولیت و سنگ جوش ژوراسیک پایینی قرار گرفته است که با اتمام محدوده این توالی گسل به سمت بالا کُژدار می‌شود و درون واحد سیلورین- دونین در نقطه پایانه گسل تغییر جهت داده و جهت ترابری در امتداد واحد سیلورین- دونین به حرکت افقی خود ادامه می‌دهد. با ایجاد حالت تخت- کُژ- تخت یک طاق‌دیس در فرادواره گسل ایجاد می‌شود که با ادامه ترابری زمین‌ساختی گستره، به یک چین‌جعبه‌ای تبدیل می‌شود (شکل ۵-آ). مرحله دوم، گسل سقف از واحد سیلورین- دونین خارج و با شیب تندی وارد توالی‌های پایینی سنگ‌های سنوزوئیک می‌شود. ایجاد دوباره ساختار تخت- کُژ- تخت، یک طاق‌دیس را در بخش جنوب جنوب‌باختری برش ایجاد می‌کند (شکل ۵-ب). مرحله سوم، با ادامه تجمع تنش فشارشی در گستره بینالود، لبه تخت- کُژ- تخت که در قسمت شمال شمال‌خاوری برش ایجاد شده بود به دلیل تجمع نیروهای مقاومتی (احتمالاً از نوع نیروی مقاومت اصطکاکی) در میانه گستره (درون توالی‌های پالتوزوئیک) قادر به ادامه دگرریختی در جهت ترابری زمین‌ساختی گستره نخواهد بود و برای پاسخ به تنش گستره باید دگرریختی‌های بعدی را پشت سر ساختار تخت- کُژ- تخت ادامه داده شود و در این بخش توالی‌های پالتوزوئیک با راندگی‌های خارج از توالی بالا می‌آیند و باعث افزایش ضخامت سنگ‌های این توالی می‌شوند. در نتیجه این بالاآمدگی‌ها در مرز بین سیلورین- دونین گسل‌هایی ایجاد می‌شوند که توالی ستبر شده پالتوزوئیک را از توالی‌های بالایی خود جدا می‌کند؛ و ساختار (دوپیشته‌های پس بوم شیب) همراه با راندگی‌های خارج از توالی با داشتن گسل کف و سقف نشان می‌دهند. همراه با این بالاآمدگی واحدهای

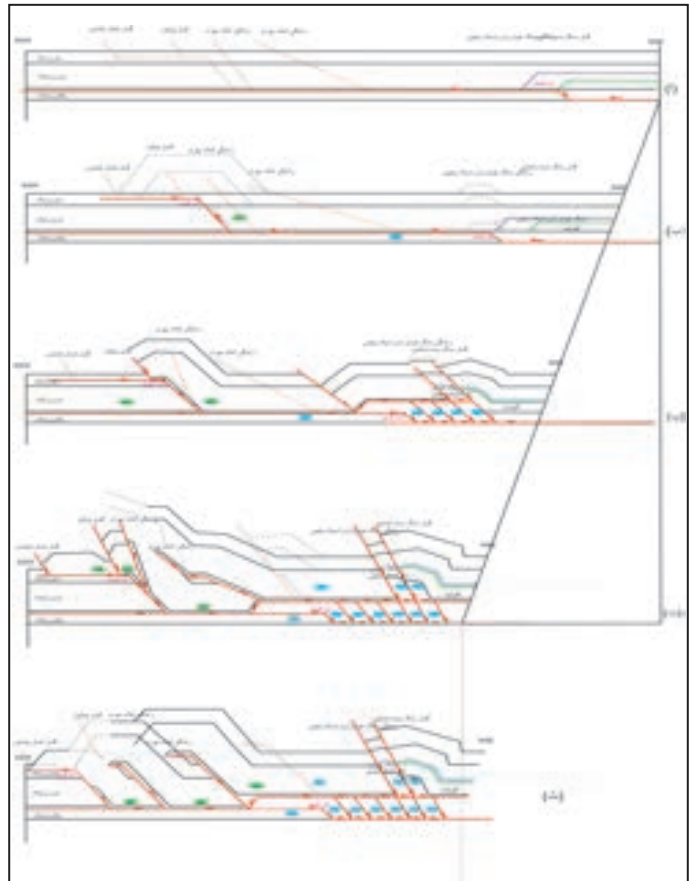
می‌شود و برحسب مقادیر جابجایی هر کدام یک توالی از واحدهای قدیمی تر را بر روی توالی‌های جوان تر قرار می‌دهند. به عبارتی یک ساختار دوپشته‌های پس بوم شیب درون توالی در بخش جنوب جنوب باختری و یک ساختار دوپشته‌های پس بوم شیب بیرون از توالی در بخش شمال شمال خاوری می‌تواند تعریف مناسبی برای ساختمان عمومی منطقه باشد. به این ترتیب می‌توان منطقه را از لحاظ ساختاری به دو قسمت تقسیم کرد ساختار راندگی‌های بیرون از توالی در شمال شمال خاوری که باعث رخداد گسله‌های ابرده و در نهایت سنگ بست شاندیز شده است و هم‌زمان با این رخدادهای گسله‌های درون توالی بخش جنوب جنوب باختری برش، به ترتیب راندگی‌های بهرام، بینالود و سپس گسله فعال شمال نیشابور در سطح زمین آشکار شده‌اند (شکل ۵-ث).

#### ۴- بحث

مقایسه ساختار طرح شده توسط Yan et al. (2009) و ساختار تهیه شده از گستره بینالود توسط نرم‌افزار موو در آزمون چهارم نشان می‌دهد که شباهت‌های ساختاری زیادی بین این دو ساختمان وجود دارد. ناحیه‌های مشابه توسط دایره مشخص شده است (شکل ۶).

گستره C (شکل ۶- c) از برش جنوب چین، گسل راندگی را نشان می‌دهد که پتانسیل رانده شدن واحد پالئوزوئیک به سطح را دارد. همان‌طور که در بالا طبقه تشکیل این گسل‌ها توضیح داده شد؛ تحت تأثیر گسل اصلی Fz و نیروی بازدارنده (نیروی مقاومت در برابر ترابری زمین ساختی) ایجاد شده در واحد پالئوزوئیک، دگرریختی بیرون از توالی گسل خوردگی راندگی اتفاق افتاده است در نتیجه زمان تشکیل آن بعد از بالا آمدگی گستره و هم‌زمان با دگرریختی و چین خوردگی ناحیه B است. همان‌طور که می‌دانیم داده‌های لرزه‌ای جدید برای گسل سنگ بست- شاندیز ثبت شده است و از فعال بودن گسل خبر می‌دهد. به نظر می‌رسد این گسل توانسته است واحد اُفیولیتی پالئوزوئیک را به سطح زمین برساند. بر این اساس پیشنهاد می‌شود گسل سنگ بست- شاندیز جوان تر از گسل بینالود و راندگی بهرام است. در ناحیه B (شکل ۶- B) بالا آمدگی و افزایش ضخامت توالی پالئوزوئیک با حضور نیروی بازدارنده (نیروی مقاومتی اصطکاکی) در همین واحد و ایجاد گسل‌هایی بیرون از توالی، در پشت گسل اصلی توجیه‌پذیر است، چرا که توده سخت برای جبران فشارهای وارد آمده از سمت مقابل نیروی بازدارنده، باید از طریق گسل‌ها این تنش ذخیره شده را آزاد کند که منجر به ایجاد یک کژ و تغییر سطح جدایشی می‌شود و همچنان همه واحدهای رویی را به سمت بالا می‌برد. این فرایند توجیه مناسبی برای ارتفاع گرفتن توالی سنگی از محدوده آهک بهرام تا اُفیولیت‌ها در بینالود است. ناحیه A (شکل ۶- A) چین پیشروی گسله را نشان می‌دهد که در برش آ با گسل خوردگی پس راندگی همراه است اما در گستره بینالود دگرریختی از نوع چین خم گسله است و گسلی که ویژگی‌های پس راندگی را نشان دهد دیده نشده است. البته حضور این نوع راندگی در ارتباط با میزان پیشروی کمربند چین و راندگی است و نبود این گسل در ساختار کلی گسل خوردگی درون توالی مشکلی ایجاد نمی‌کند. برش‌های عرضی ترازمنده به همراه تعیین مقادیر کوتاه شدگی، در هر مرحله از دگرریختی، فرگشت ساختاری گستره را نمایش می‌دهد و ساختارها را به حالت دگر ریخت نشده بر می‌گرداند. از این طریق سازوکار دقیق گسل‌ها مشخص می‌شود. با انجام آزمون‌هایی که طی این پژوهش انجام گرفت، چهار روش برای رسیدن به ساختار ترازمنده حاصل شد؛ که هر کدام از این روش‌ها کاستی‌ها و برتری‌هایی دارند که موجب محدود کردن آن‌ها به ساختارهای خاص می‌شود. آزمون اول و دوم با رسم ساختار کنونی دگرریخت شده آغاز می‌شود و سپس لایه‌ها و گسل‌ها به موقعیت اولیه‌شان بازگردانده می‌شوند؛ اما هنوز نمی‌توان به یک برش ترازمنده دست یافت. در این حالت باید نبوده‌ها و همپوشانی‌ها اصلاح شود تا به بهترین حالت از برش دگرریخت نشده دست یافت. اما این روش برای ساختارهایی کاربردی است که توالی از لایه‌ها به‌صورت بلوک‌هایی باشند که توسط گسله محدود می‌شوند.

سنوزوئیک و مزوزوئیک نیز ارتفاع می‌یابند. در تپ گسله دوپشته‌های پس بوم شیب گسله‌های راندگی تنها بین گسله سقف و گسله کف ایجاد می‌شود اما در این ساختار با اتمام پتانسیل واحدهای پالئوزوئیک دگرریختی به واحدهای بالایی انتقال می‌یابد و ساختار چین خم گسله در طاق‌دیس جعبه‌ای اعمال می‌شود. هم‌زمان در بخش جنوب جنوب باختری برش ترابری زمین ساختی در جهت پیش بوم عمل می‌کند؛ در این هنگامه پتانسیل تشکیل گسل‌های سنگ بست- شاندیز و راندگی سنگ جوش ژوراسیک پایینی (گسله‌ابده) ایجاد می‌شود و گسله بینالود نیز به سطح زمین می‌رسد و باعث راندگی واحد مزوزوئیک بر روی ته‌نشست‌های سنوزوئیک می‌شود (شکل ۵- پ).



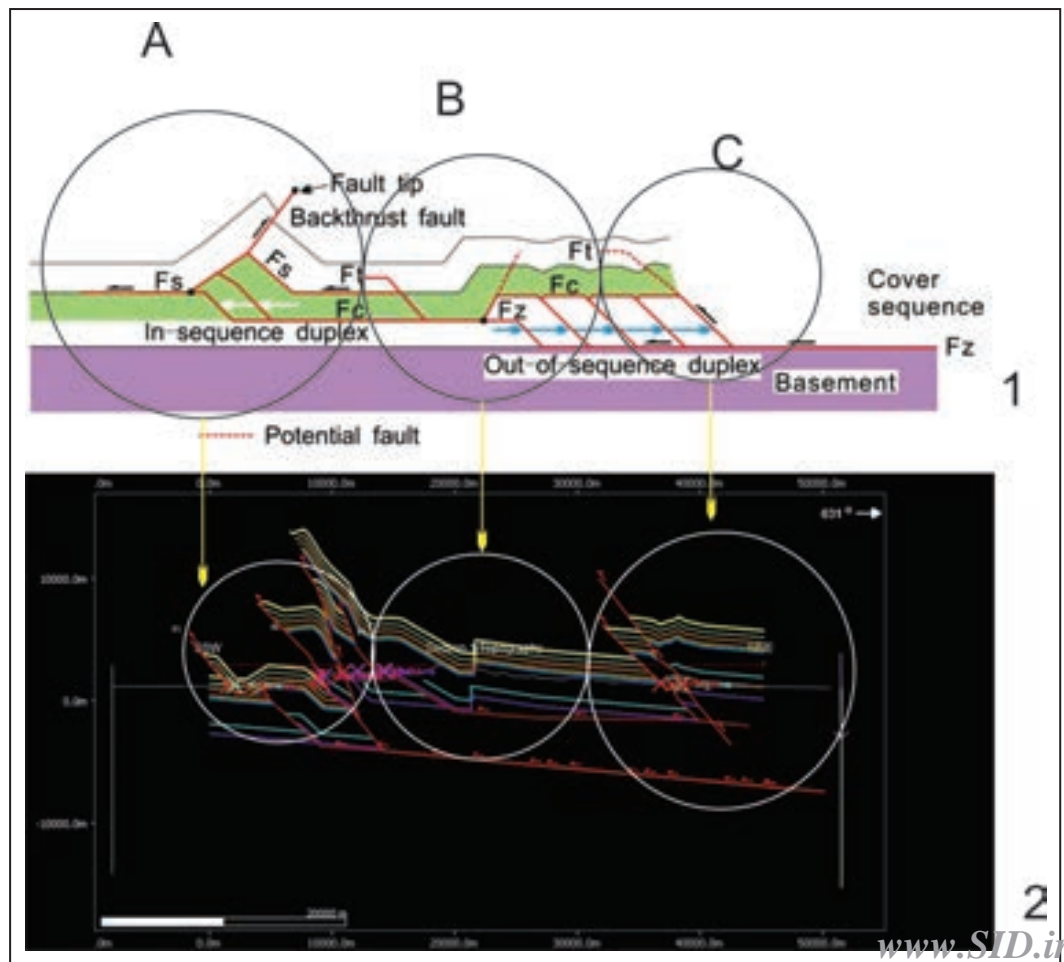
شکل ۵- مدل ساختاری پیش‌بینی شده برای گستره بینالود.

مرحله چهارم، واحد اُفیولیت به سطح می‌رسد و بر روی سنگ جوش ژوراسیک پایینی رانده می‌شود. سنگ جوش ژوراسیک پایینی هم بر روی فیلیت مشهود قرار می‌گیرد. با ایجاد لغزش در روی گسله سقف، واحد سیلورین- دونین بریده می‌شود و همراه با فیلیت‌های مشهود به سطح می‌رسد و راندگی بهرام را ایجاد می‌کند. گسل شمال نیشابور هم در این زمان تشکیل و موجب راندگی سنگ‌های نیوژن بر روی رسوبات کواترنری می‌شود؛ اما در میانه برش دو راندگی بهرام با دو شیب متفاوت وجود دارد که اولی ۳۰ درجه و دومی ۶۰ درجه است. با توجه به موقعیت و وضعیت این گسله‌ها و پیچیدگی ساختاری زیرسطحی ایجاد شده تنها امکان توصیف مدل چین خم گسله آن وجود داشت ولی همچنان سؤالاتی باقی می‌مانند از جمله توجیه جابجایی بسیار بالای سازند بهرام؟، چگونگی برونزد این توالی‌ها در فاصله کم از یکدیگر؟ و توصیف هندسه ساختاری؟ (شکل ۵- ت). در برش پنجم سعی شده با استفاده از مدل دوپشته‌های پس بوم شیب با راندگی‌های درون توالی پاسخی بهتر برای ساختار پیچیده بینالود باختری ارائه شود. در این حالت تمام گسله‌های بخش باختری بینالود جنوب جنوب باختری از یک گسله کف منشعب می‌شوند و در رسیدن به سطح فُراکُتش ائوسن در امتداد جهت ترابری زمین ساختی به حرکت خود ادامه می‌دهند و ساختار چین خم گسله بر روی هر کدام از گسله‌ها اعمال

کل جابجایی ۵۱۵۰۰۰۰۰ میلی متر بوده که از زمان آغاز دگرریختی یعنی در حدود ۳۰ میلیون سال پیش (Hollingsworth et al., 2010) است که برابر با ۱/۷ میلی متر بر سال نرخ جابجایی کلی گستره به دست آمد. مقدار کوتاه شدگی بالا، حاصل از برش عرضی ترازمند آزمون سوم باید توجیهی داشته باشد که بتوان از درستی آن مطمئن شد. بنابراین آزمون چهارم را صورت گرفت. در این روش باز هم از روش کینک استفاده شد ولی این بار دگرریختی از سمت جنوب جنوب باختری آغاز و با جابجایی بر روی هر گسل قبل از آن هم دگرریخت شد. با رسیدن به گسل بینالود توالی چینه کاملاً ارتفاع گرفت و بالا آمد. با بالا آمدن توالی، فاصله میان سطح زمین و افق‌های پایینی کم شد. در نهایت برای رسیدن به سطح احتیاج به پیمودن مسافت کمتر بود. با اتمام دگرریختی برش ساختاری جدید نمایان شد. ایجاد یک کژ در گسل بینالود پاسخ کوتاه شدگی نامتعارف آزمون سوم بود. در نهایت میزان کوتاه شدگی گستره بینالود ۱۶۷۳۷ متر یا به عبارتی ۱۶/۷۳ کیلومتر برابر با ۲۶% کوتاه شدگی و نرخ کوتاه شدگی ۰/۲۵ میلی متر بر سال به دست آمد. از این طریق ساختار کمربند دویشته‌های چین و راندگی (چین خم گسله) همراه با ساختار گسل خوردگی راندگی بیرون از توالی برای ناحیه بینالود تعیین شد. واحد سنگ جوش ژوراسیک پایینی بر روی تمام واحد سیلورین-دونین قرار گرفته است و در واقع تا میانه‌های برش گسترش دارد، اما در هنگام اعمال دگرریختی امکان تغییر چینه نیست و چنین ابزاری که بتواند بعد از طی مسافتی یکی از توالی‌ها را غیر فعال کند تبیین نشده است. در نتیجه بازسازی در همین حالت انجام شد. جابجایی گسل شمال نیشابور ۱۸۰۰ متر، گسل بینالود ۶۰۰۰ متر، گسل راندگی بهرام ۱۵۰۰ متر، راندگی اصلی واحد سیلورین-دونین ۵۰۰۰ متر، راندگی سنگ جوش ژوراسیک پایینی بر روی گسل ابرده ۱۵۰۰ متر و گسل سنگ بست-شانندیز ۱۰۰۰ متر است. ۱۹۲۰۰ متر مجموع جابجایی‌ها بر روی تمام گسله‌های گستره و نرخ حرکت ۰/۶۴ میلی متر بر سال به دست آمد.

برای جابجایی‌های زیاد و دگرریختی‌های که بلوک‌های دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند پاسخی آرمانی به دست نمی‌دهد و در مقابل برای ترازمندی چین‌های در ارتباط با گسل راندگی روش مناسبی است. در آزمون سوم، از روش کینک استفاده شده است. در این روش بر عکس عمل می‌شود. به طوری که ابتدا لایه‌ها و گسل‌ها در حالت اولیه و بدون دگرریختی ترسیم می‌شوند سپس حرکت و جابجایی لایه‌ها بر روی گسل تا رسیدن به ساختار دگر ریخت شده انجام می‌گیرد. در این مرحله می‌توان میزان کوتاه شدگی را محاسبه کرد. در این روش هم‌زمان با حرکت بر روی یک گسل، گسل‌های دیگر نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند و دگرریخت می‌شوند. نکته مهم در این روش و تأثیرگذار در ساختار حاصل، جهت شروع دگرریختی و شروع ترازمندی است. در این آزمون دگرریختی از سمت شمال شمال خاوری آغاز شد. همان‌طور که در طبیعت دگرریختی به سمت پیش بوم حرکت می‌کند. ساختار حاصله چین را در ارتباط با گسله‌های راندگی نشان می‌دهد.

در نهایت میزان کوتاه شدگی به دست آمده ۸۵۹۷۷ متر به عبارتی ۸۶ کیلومتر (در حدود ۶۵% کوتاه شدگی) بود. در حدود ۶۵ میلیون سال پیش (اواخر مزوزوییک و پالئوژن)، همگرایی بین صفحه توران و ایران مرکزی ادامه یافته و منجر به راندگی واحدهای سنگی مختلف بر روی یکدیگر در ناحیه بینالود شد (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲). با محاسبه مقدار حقیقی کوتاه شدگی و سن آغاز دگرریختی نرخ کوتاه شدگی در گستره بینالود ۱/۳ میلی متر بر سال برآورد شد. مقدار نامتعارف کوتاه شدگی این سؤال را ایجاد کرد که کمربند چین و راندگی گستره باید همراه با ساختار دیگر باشد که یا این جابجایی بالا را جبران کند و یا علتی برای آن داشته باشد. میزان جابجایی بر روی گسل سنگ بست-شانندیز ۱۲۰۰۰ متر، راندگی سنگ جوش ژوراسیک پایینی ۷۰۰۰ متر، راندگی بهرام ۲۰۰۰۰ متر، راندگی بینالود ۹۰۰۰ متر و راندگی گسل شمال نیشابور ۳۵۰۰ متر را نشان می‌دهد. مقدار



شکل ۶- مقایسه برش عرضی ترازمند شده گستره بینالود با مدل ساختاری گسله‌های بیرون از توالی برش عرضی ساختاری در چین که توسط Yan et al. (2009) ارائه شده است؛ (ب) برش عرضی ترازمند شده در گستره بینالود به کمک نرم‌افزار موو.

## ۵- نتیجه‌گیری

جزو سنگ جوش‌های ژوراسیک بالایی نیست و نقشه علوی و همکاران (۱۳۷۶) از این دیدگاه صحیح‌تر است. از طریق تحلیل‌های انجام گرفته بر روی برش عرضی سه افق فراکنش اصلی مشخص شد: ۱) لایه‌های شیلی واحد سیلورین-دونین؛ ۲) دولومیت و آهک متوسط لایه سازند بهرام؛ ۳) طبقات تبخیری رسوبات انوسن. نبود داده‌های زیرسطحی باعث شد نتوان با قطعیت مدل زمین‌ساخت منطقه را آشکار کرد. از آنجا که شاخه‌های مختلف علم زمین‌شناسی از هم جدا نیستند و همواره به انواع مختلفی از داده‌ها احتیاج است؛ همین موضوع در مورد میزان کوتاه شدگی گستره هم صدق می‌کند و نیاز به داده‌های بیشتری است تا بتوان برآورد صحیحی از فرگشت زمین‌ساخت گستره و کوتاه شدگی آن داشت؛ این نرم‌افزار در ترازمندی ساختارها از طریق داده‌های میدانی در ایران بسیار کم به کار رفته و همین امر باعث عدم شناخت کامل از محیط نرم‌افزار شده و سختی و پیچیدگی کار را در طی این پژوهش چند برابر کرده است. نداشتن تجربه‌ای از این دست نیز در بسیاری از مراحل رسیدن به جواب را با مشکل مواجه کرد. با این وجود در این پژوهش با آزمون و خطاهای گوناگون امکان استفاده بهینه از این روش فراهم شد.

میزان کوتاه شدگی کلی گستره بینالود در راستای شمال شمال خاوری- جنوب جنوب باختری ۲۶٪ و نرخ حرکت ۰/۶۴ میلی‌متر بر سال محاسبه شد. در حالی که گستره بینالود جدا از اینکه یک ناحیه با تنش فشارشی است و ساختار غالب رانندگی، اما مؤلفه امتدادلفز (حال به نسبت درگیر شدن هر کدام از گسله‌ها بر حسب موقعیت قرارگیری در منطقه) نقشی کوچک را در منطقه بازی می‌کند اما در پژوهش حاضر امکان بررسی هم‌زمان تنش در دو راستای متفاوت وجود نداشت. به هر حال نمی‌توان از سهم آن در کوتاه شدگی و همچنین ساختار منطقه چشم‌پوشی کرد. سازوکار اصلی گسله‌ها از نوع چین خم گسله است و مشخص شد دوپشته‌های پس بوم شیب (Hinterland-dipping duplex) در دو حالت گسل‌های درون توالی و بیرون از توالی می‌توانند تشکیل شوند و همچنین؛ تغییر عمق گسله‌ها تأثیری بر میزان جابجایی ندارد و ساختمان گسله نقش تعیین‌کننده‌ای در ساختار افق‌ها و در آخر ساختار کلی گستره دارد. گسترش افقی سنگ جوش ژوراسیک پایینی به همان محدوده گسله محدود می‌شود و از نظر زمانی در زیر فلیت‌های مشهد قرار می‌گیرد. پس معلوم می‌گردد این سنگ جوش آن چنان که پورلطیفی (۱۳۸۰) در گزارش نقشه طبقه بیان داشته است

## کتابنگاری

- شیخ‌الاسلامی، م. ر.، حقی‌پور، ن.، نواب‌پور، پ.، نواب‌مطلق، ا.، کوه‌پیما، م.، مافی، آ. و حیدرزاده، ق.، ۱۳۹۲- بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی در پهنه کپه داغ- بینالود. پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی. ص. ۹ تا ۲۲۱.
- طاهری، ج. و قائمی، ف.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی یکصد هزارم مشهد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علوی، م.، رحیمی، ب.، علوی نائینی، م. و پورلطیفی، ع.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی یکصد هزارم طبقه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قاسمی، م. ر.، ۱۳۹۳- روش‌های واکای و هم‌نهاد در زمین‌شناسی ساختاری. پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۶۱ ص.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص. تهران.
- نواب‌پور، پ.، حیدرزاده، ق.، مافی، آ.، شیخ‌الاسلامی، م. ر. و حقی‌پور، ن.، ۱۳۸۵- پیش‌درآمدی بر آرایش تنش‌های دیرین در گستره کپه داغ پس از تریاس. فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۹.

## References

- Alavi, M., 1992- Thrust tectonics of the Binalud region, NE Iran: *Tectonics.*, v.2, p 360-370.
- Fossen, H., 2010- *Structural Geology, United States of America by Cambridge university press, New York, www.cambridge.org/9780521516648.*
- Hollingsworth, J., Fattahi, M., Walker, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Bolourchi, M. J., Jackson, J. and Copley, A., 2010- Oroclinal bending, distributed thrust and Strike-Slip faulting, and the accommodation of Arabia-Eurasia Convergence in NE Iran since the Oligocene. *Geophysical Journal International.*
- McQuarrie, N., 2004- Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 519-535.
- Molinaro, M., Zeyen, H. and Laurencin, X., 2005- Lithospheric structure beneath the south-eastern Zagros Mountains, Iran: recent slab break-off?. *Terra Nova, Vol 17, No. 1, 1-6.*
- Yan, D. P., Zhang, B., Zhou, M. F., Wei, G., Song, H. L. and Liu, S. F., 2009- Constraints on the depth, geometry and kinematics of blind detachment faults provided by fault-propagation folds: An example from the Mesozoic fold belt of South China. *Journal of Structural Geology* 31 (2009) 150-162.



## Balanced cross-section of Dulat-Abad-Neyshbur in Binalud region

R. Hamidi<sup>1</sup>, M. R. Ghassemi<sup>2\*</sup> and M. R. Sheikholeslami<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Research Institute for Earth Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Research Institute for Earth Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Tehran, Iran

Received: 2017 April 12

Accepted: 2017 August 20

### Abstract

Continuation of the compressional regime within the convergence zone between the Central Iran and Turan rigid blocks caused thrusting of old rock complexes over the recent sediments. As a result of multiple thrusts and folds, the area uplifted at the same time and the Binalud range have been shortened. This study attempts to evaluate the amount of shortening of the Binalud mountains by reconstruction of a balanced cross-section. Field data from the Dulat-Abad-Neyshbur transect, study of the geological units and décollements along the section, and the Move software environment are used as the basis for this research. Based on these information, four tests were carried out for balancing the cross section in question. The first test, which used the arc and polygon method for the horizons and a listric fault without floor thrust, failed to display the deformed section. In the second test the section was drawn, however the deformed structure did not balance the section in the process of unfolding the fault bend folds. In the third and fourth tests, we used the kink method to restore the deformed state to an undeformed section. For the third test, deformation was proceeded from the hinterland, and in the process of restoration, a shortening of about 65% was revealed. The fourth test was proceeded from the foreland, and taking into account both the foreland uplifts and shortening, the amount of shortening of Binalud range was estimated to about 26%. The final structural model defined a thin-skinned fold and thrust belt which included fault-bend-folds with out-of-sequence and in sequence duplexes. Major décollement horizons defined in the region include: 1) shale horizons within the Silurian-Devonian rock units, 2) medium-bedded dolomite and limestone layers within the Bahram Formation, and 3) evaporitic layers in the Eocene sediments.

**Keywords:** Balanced cross-sections, Binaloud, Thrust faults, Shortening.

For Persian Version see pages 199 to 206

\*Corresponding author: M. R. Ghassemi; E-mail: mrghassemi@yahoo.com