



فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۲، سال هفتم، شماره ۲۵

doi 10.22077/jt.2024.7940.1183

واکاوی دگرریختی‌های ساختاری یال شمالی البرز مرکزی

حجت‌اله صفری^{۱*}، نرجس سادات درویش‌پور^۲، رضوانه حمیدی^۳

۱- دانشیار تکنونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تکنونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

۳- دانش‌آموخته دکتری تکنونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

چکیده:

در این پژوهش، منطقه بلده واقع در یال شمالی البرز مرکزی برای بررسی وضعیت دگرریختی‌های ساختاری انتخاب گردید تا با مطالعه ساختارهای منطقه بتوان الگویی زمین‌ساختی برای این بخش ارائه نمود. با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و بررسی‌های صحرایی ساختارها استخراج گردیده و مورد واکاوی‌های هندسی و سینماتیکی قرار گرفتند. نتایج این واکاوی‌ها نشان داد که مهمترین ساختارهای منطقه شامل گسل‌های رانده خزر، منگل، نورود و علی‌آباد، تاقدیس عمارت و ناودیس ناگله‌سر می‌باشند. این ساختارها روند خاوری-باختری داشته و از روند البرز مرکزی تبعیت می‌کنند. بررسی گسل‌های منطقه نشان داد که دگرریختی‌های منطقه توسط گسل‌های معکوس (یا رانده) اصلی کنترل شده‌اند. این ساختارها (بجز گسل علی‌آباد) با روند تقریباً خاوری-باختری شامل گسل‌هایی با شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه رو به جنوب می‌باشند که سبب راندگی رو به شمال واحدهای سنگی شده‌اند. بررسی ارتباط سینماتیکی ساختارها نشان داد که تاقدیس عمارت از نظر ژنتیکی وابسته به گسل رانده منگل است. همراهی دو گسل نورود و علی‌آباد سبب تشکیل یک ساختار گل‌مانند به صورت بلوکی فراجسته شده که سبب تشکیل این ناودیس گردیده است. وجود دو جهت محور فشارش با امتدادهای N160 و N336 در بخش جنوبی نشان از یک سیستم فشارشی پیچیده دارد که معمولاً در سیستم گسل‌های رانده با شیب مخالف نظیر دیده می‌شوند. چرخش چپگرد محورهای فشارش از شمال منطقه (N50) به جنوب (N15 و N336) می‌تواند به خاطر حرکت رو به جنوب-جنوب‌باختر صفحه خزر جنوبی و اثر آن بر یال شمالی البرز بوده که سبب ایجاد یک زمین‌ساخت برشی-فشارشی شده است.

واژه‌های کلیدی: البرز مرکزی، دگرریختی‌ها، گسلش معکوس، ساختار گل‌مانند، رژیم دگرفشارش

Structural Deformation Analysis of Baladeh Area in Central Alborz

Hojjat Ollah Safari¹, Narjes Sadat Darvishpour², Rezvaneh Hamidi³

1- Associate Professor in Tectonics, Geological Department, College of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran.

2- MSc in Tectonics, Geological Department, College of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran.

3- PhD in Tectonics, Geological Department, College of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran.

Abstract

In this research, the Baladeh area, located in Northern limb of Central Alborz, is selected for showing a Tectonic model via investigation on structural deformations. The structures were extracted with using of Remote sensing techniques, GIS capabilities and field surveys, and then the geometrical and kinematic analysis were performed on them. This research shown that main structures are Khazar, Mangel, Nowrud, and Aliabad reverse (thrust) faults, Emarat anticline and Nagolesar uplanded syncline. These structures have East-West strikes similar to Central Alborz trend. The investigations on faults present that the main deformation controlled by reverse (thrust) faulting. The structures (except Aliabad fault) with east-west strikes have low angle (40-50°) dip toward south and caused to northward thrusting of rock sequences. The investigation on kinematic relationship of structures shown that the Emarat anticline has a genetically relationship with Mangel fault and also, the companionship of Nowrud and Aliabad reverse (thrust) faults caused to form a Flower structure (as a Push up block) such as Nagolesar uplanded syncline. The existence of two P-axes with N336 and N160 azimuth in southern area present a complex compressional system which usually shown in interval of two thrust faults with opposite dips (such as Nowrud and Aliabad faults). The surveying of kinematic axes presents that Sinistral rotation of them from N50 in (Northern part) to N15 and N336 (in Southern part) which related to South-Southwest ward of South Khazar plate which impressed on Northern limb of Alborz. This phenomenon caused to establishment of Transpressional (Compressional- shearing) tectonic regime.

Keywords: Central Alborz, Deformations, Reverse faults, Flower structure, Transpressional regime

۱- مقدمه

به شمال) هستند که به این ترتیب، ساختاری گل‌مانند را شکل داده‌اند (Al-; Nazari, 2006; Stocklin, 1974; len et al., 2003). منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی پیشنهادی اشتوکلین (Stocklin, 1974)، بخشی از زون نئوژن شمالی محسوب گردیده است که از نظر ایشان، ناحیه‌ای به نسبت مقاوم از سنگهای تریاس تا کرتاسه را شامل می‌شود. گسست و همکاران (Gueš et al., 2007) با تهیه برش ساختاری عرضی در راستای حوضه خزر جنوبی - ایران مرکزی مدلی تاق‌گون با الگوی زمین‌ساختی پوسته‌نازک برای البرز در نظر گرفته‌اند. تاتار و همکاران (Tatar et al., 2007) نیز با مطالعه سازوکار و منشأ زمین‌لرزه‌ها، به این نتیجه رسیدند که دگرریختی البرز، تابع عملکرد گسل‌های رانده اصلی (و گسل‌های امتدادلغز) در قسمت‌های نسبتاً مرتفع البرز بوده است و اینکه، این ساختارها در بخش عمیق پوسته به یکدیگر متصل شده یک ساختار گل‌مانند^۱ ایجاد نموده‌اند. همچنین دیگر پژوهشگران چون نظری (Nazari, 2006)، اشتوکلین (Stocklin, 1974) و آلن و همکاران (Allen et al., 2003) الگوی دگرریختی برای این پهنه ساختاری در بخش البرز مرکزی یک ساختار گل‌مانند در نظر گرفته‌اند. ریتز و همکاران (Ritz et al., 2006) بر این اعتقاد بودند که رژیم ترافشارش^۲ حاکم بر البرز مرکزی، از حدود ۱/۵ - ۱ میلیون سال پیش (هم‌زمان با فعالیت آتشفشان دماوند) شکل گرفته است. همچنین، علوی (Alavi, 1991) ساختار البرز را در قالب ساختمان‌های دوپلکس نوع گرده‌ای مرکب^۳ در البرز خاوری تصور کرد. هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت ساختاری یال شمالی رشته‌کوه البرز در بخش مرکزی، با روند تقریباً خاوری-باختری (محل خمیدگی البرز) در حد فاصل گسل‌های خزر و البرز شمالی است، تا با مطالعه ساختارهای منطقه، بتوان به واکاوی و بررسی رژیم زمین‌ساختی آن اقدام نمود و به این ترتیب، الگویی زمین‌ساختی کاملی (بر اساس وضعیت حرکتی ساختارها) از وضعیت تکامل ساختاری این منطقه ارائه داد. از نظر جغرافیایی، ناحیه مورد مطالعه در جنوب آمل در حد فاصل طول‌های

کوهزاد البرز با پهنای حدود ۱۰۰ و طولی بیش از ۹۰۰ کیلومتر، با روند تقریبی خاوری-باختری، بخشی از کوهزاد آلپ-همالیا در آسیا بوده که در شمال ایران و جنوب حوضه خزر جنوبی واقع شده است (Berberian & Yeats, 1999; Djamour et al., 2010; Safari & Gholami, 2011). شکل‌گیری اولیه این کمربند چین‌خورده-رانده در طی تریاس پسین در اثر برخورد گندوانا به اوراسیا بوده است. در نهایت این کوهزاد، در طی فازهای پایانی کوهزایی آلپی، به شکل کنونی خود درآمده است (Alavi, 1996; Berberian & Yeats, 1999; Allen et al., 2003; Zanchi et al., 2006; Yassaghi & Maadanipour, 2008; Djamour, 2010; Safari & Gholami, 2011). زمین‌ساخت البرز در سنوزئیک متأثر از همگرایی ورقه‌های عربی و اوراسیا (در نتیجه بازشدگی دریای سرخ) بوده و در طی آن دگرشکلی‌های گسترده‌ای را بصورت راندگی‌ها و چین‌خوردگی‌ها (به‌ویژه در نهشته‌های ائوسن) تجربه نموده است (Zanchi et al., 2006). چین‌های البرز بیشتر از نوع ملایم و ناهماهنگ با روندی خمیده می‌باشند. بالاتو و همکاران (Ballato et al., 2008) با بررسی روندهای ساختاری در البرز، این کمربند چین‌خورده-رانده را از لحاظ روندهای عمده ساختاری به چهار پهنه تالش (با روند شمالی-جنوبی)، البرز باختری (با روند شمال-باختر-جنوب-خاور)، پهنه البرز مرکزی (با روند خاوری-باختری) و البرز خاوری (با روند شمال‌خاور-جنوب‌باختر) تقسیم نمودند. البرز مرکزی دارای روند باختری-خاوری بوده و یکی از بخش‌های به‌شدت دگرریخت شده البرز را تشکیل می‌دهد که در آن، دگرریختی‌ها به‌طور عمده توسط گسل‌های اصلی رانده کنترل شده‌اند (Alavi; Yasaghi, 2005; vi, 1996). به گونه‌ای که روندهای ساختاری، شامل گسل‌هایی با شیب کم تا متوسط موازی با کمربند کوهزاد می‌باشند. عمده این گسل‌های رانده، دارای سازوکار رانده (یا معکوس) با مقداری مولفه امتداد لغز چپ‌بر هستند. بررسی وضعیت شیب گسل‌ها نشان می‌دهد که گسل‌های دامنه جنوبی دارای شیبی به سمت شمال (راندگی رو به جنوب) و گسل‌های دامنه شمالی دارای شیبی به سمت جنوب (راندگی رو

1. Flower Structure
2. Transpression
3. Antiformal Stack

تاروستای کرسی در محل دوآب و همچنین در راستای دره نوررود واقع شده است (شکل ۱).

۱۶° ۵۲ تا ۲۷° ۵۲ عرض‌های ۲۶° ۳۶ تا ۱۶° ۳۶ شمالی (در خاور و شمال‌خاوری منطقه بلده) قرار گرفته است. این منطقه از حوالی رزگه درجاده هراز



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی موجود و بررسی‌های صحرایی، محدوده رخنمون هر سازند تعیین گردیده و در محیط GIS اقدام به رقوم‌سازی آنها گردید و در نهایت با افزودن گسل‌ها و سایر لایه‌های اطلاعاتی (نظیر آبراهه‌ها و جاده‌ها) نقشه زمین‌شناسی تهیه گردید (شکل ۳).

ب- جهت شناسایی گسل‌ها، ابتدا تفکیک مکانی تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده به روش امتزاج تصاویر ارتقاء داده شد، در ادامه با اعمال فیلترهای جهت‌دار^۴ در جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰ درجه بر روی تصویر (شکل ۲-د) و همچنین با یاری گرفتن از تصویر مدل رقوم‌ی ارتفاعی (شکل ۲-ج) در محیط نرم‌افزاری اقدام به شناسایی و استخراج خطوطاره‌های موجود در منطقه به روش بصری نیمه‌خودکار^۵ گردید (شکل ۲-ه).

در طی عملیات صحرایی کلیه خطوطاره‌های استخراج‌شده توسط روش‌های سنجش از دور کنترل و سپس اندازه‌گیری گردیدند و سپس گسل‌هایی که با شواهد صحرایی به اثبات رسیدند؛ در نقشه ساختاری به‌همراه سایر عوارض آورده شدند (شکل ۲-و).

ج- برای درک وضعیت دگرریختی‌ها و دستیابی به

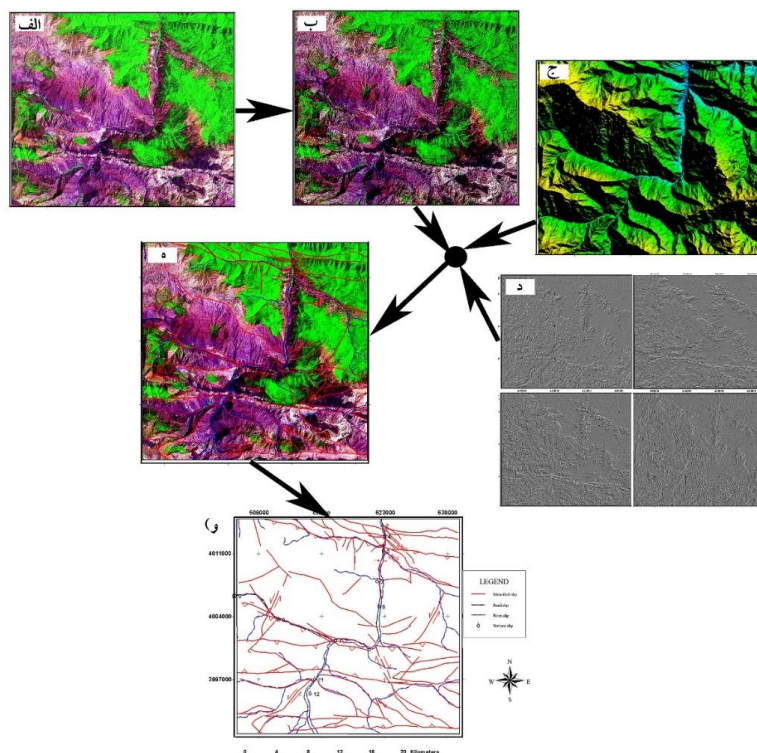
۲- روش انجام کار

روش‌های بکاررفته در این پژوهش، پیمایشی و توصیفی-واکاوانه بوده است. بدین منظور اقدام به مطالعه و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و پردازش اولیه آن‌ها به‌منظور ایجاد پایگاه داده‌ها در محیط نرم‌افزاری شده است. سپس این داده‌ها با هدف استخراج اطلاعات مورد واکاوی قرار گرفته و یافته‌ها از طریق بررسی‌های میدانی کنترل شده‌اند.

الف- جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی، ابتدا تصویر ماهواره‌ای +ETM (مربوط به سال ۲۰۱۷) تهیه و تصویری با رنگ کاذب (از ترکیب باندهای ۱-۴-۷) بدست آمده (شکل ۲-الف) و به روش امتزاج تصاویر^۱ به کمک باند ۸ پانکروماتیک (با دقت ۱۴ متر) تفکیک مکانی آن ارتقاء داده شده است، به این ترتیب تصویری با بالاترین مقدار محتوای طیفی (سه باندهای) با دقت مکانی ۱۴ متر تهیه گردید (شکل ۲-ب). سپس با اعمال فیلترهای بالاگذر^۲ و بارزکننده لبه‌ها^۳ تصویر یادشده بارزسازی شد. در ادامه، با کمک نقشه‌های

4. Convolution/ Directional
5. Semi-automated Visual Interpretation

1. Fusion
2. High Pass
3. Edge Sharpening



شکل ۲: استخراج خطوطاره‌ها با استفاده از روش‌های سنجش از دور؛ الف- تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 ETM+ با ترکیب باند ۲۴۱ اصلاح شده، ب- تصویر بارزسازی شده به روش امتزاج تصاویر، ج- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، د- اعمال فیلترهای جهت دار بر روی تصویر، ه- استخراج خطوطاره‌ها از روی تصویر ماهواره‌ای به روش بصری نیمه اتوماتیک، و- رقومی نمودن خطوطاره‌های استخراج شده

نهایت نتایج بدست آمده بر روی نقشه ساختاری آورده شد (شکل ۴).

۳- نتایج بدست آمده

۳-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه

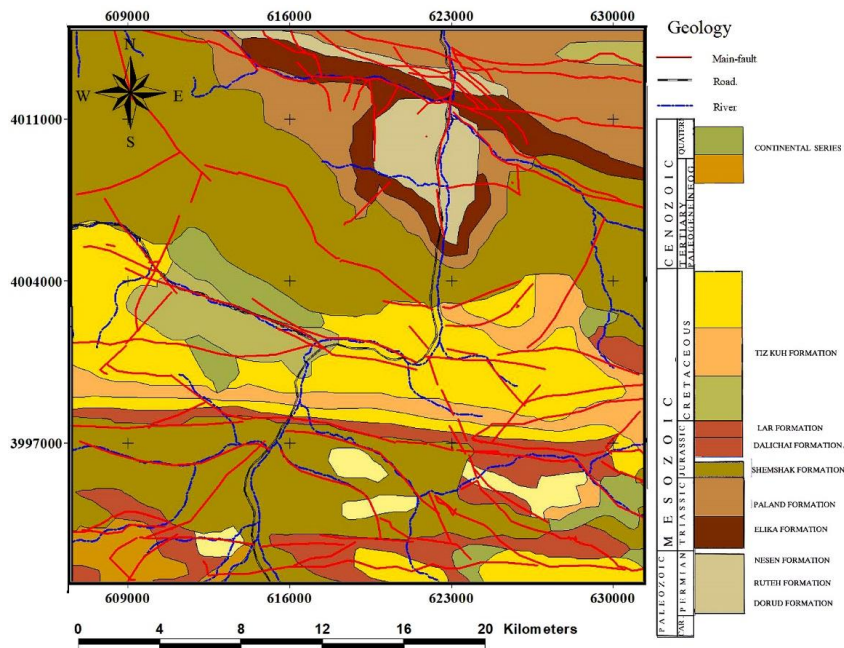
سازندهای رخنمون‌یافته در منطقه مورد بررسی بر اساس مشاهدات صحرایی (شکل ۴) و اصلاحات بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی موجود (شکل ۳) (اقاباتی، ۱۳۸۳)، شامل سازندهای ذیل می‌باشند:

الف- سازند مبارک: شامل ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر سنگ آهک تیره رنگ غالباً فسیل دار، سنگ آهک مارنی

و مارن‌های سیلت‌دار به سن کربونیفر پیشین
ب- سازند دورود: شامل ۱۵۰ متر شیل، ماسه‌سنگ، سنگ آهک ضخیم لایه، سیلت استون و کوارتزیت به سن پرمین پیشین

ج- سازند روته: شامل ۲۳۰ متر توالی شیل، ماسه‌سنگ، سنگ آهک ضخیم لایه، سیلت استون و کوارتزیت به سن پرمین میانی- بالایی

الگوی تکامل ساختاری، واکاوی‌های ساختاری گسل‌ها در قالب واکاوی‌های هندسی و سینماتیکی انجام گردید. در این پژوهش، ساختارها در ۱۲ ایستگاه در قالب سه بخش شمالی، مرکزی و جنوبی مورد پیمایش قرار گرفتند. مهمترین واکاوی هندسی صورت گرفته برای ساختارها، تهیه نمودار گل‌سرخ از شکستگی‌های منطقه است. که بر اساس روش تعداد- امتداد اقدام به ترسیم نمودار گل‌سرخ از شکستگی‌های این مناطق گردید (Ramsay & Hubber, 1987). در نهایت نتایج بدست آمده بر روی نقشه ساختاری هر بخش آورده شد (شکل ۴). اساس واکاوی سینماتیکی شکستگی‌ها در این پژوهش، روش محاسبه صفحه حرکتی (Marrett & Allmendinger, 1990) است. در این روش واکاوی، جهت محاسبه محورهای حرکتی (بخصوص محور فشارش)، ابتدا گسل‌ها همراه با قطب و خش‌لغز آنها ترسیم شده و سپس صفحه حرکتی آنها محاسبه گردید. در ادامه بر روی صفحه حرکتی ۴۵ درجه در جهت و خلاف جهت بردار لغزش حرکت نموده و به این ترتیب محورهای فشارش و کشش محاسبه شد و در



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد بررسی (وحدتی دانشمند ۱۳۷۸ و ۱۳۸۰ با اصلاحات)

در منطقه مورد مطالعه به شرح ذیل است:
 الف- گسل خنزر: گسل خنزر یکی از گسل‌های مهم در منطقه است که با طولی حدود ۵۵۰ کیلومتر و روندی خمیده به موازات سواحل دریای خزر کشیده شده است (درویش‌پور، ۱۴۰۲). این گسل جدا کننده زون گرگان - رشت از البرز بوده و به این ترتیب در مرز البرز با زون‌های ساختاری کپه داغ (در خاور) و حوضه خنزر جنوبی (در باختر) قرار گرفته است (آقائباتی، ۱۳۸۳). این گسل رانده با طولی بیش از ۱۰۰ کیلومتر و دارای مشخصات N90/45-S در جنوب آمل (اسکومحله)، مرز کوه- دشت را رقم زده است. عملکرد این گسل سبب فراخاست دامنه شمالی البرز شده و همچنین سبب راندگی رو به شمال نهشته‌های کنگلومرایی پلیوسن بر روی دشت آمل گردیده است (شکل ۵-الف). بر طبق مشاهدات صحرائی یک گسل رانده دارای روند خاور جنوب‌خاوری- باختر شمال‌باختری (ESE- WNW) است که دارای شیبی تقریباً ۴۵ تا ۵۰ به سمت جنوب است (شکل ۶-الف).

ب- گسل منگل (گسل شمال البرز): گسل منگل با طولی حدود ۳۰ کیلومتر از خاور تا باختر منطقه کشیده شده است (شکل ۵). این گسل در واقع بخشی از گسل شمال البرز (با طولی حدود ۳۰۰ کیلومتر) است که گسلی رانده با شیبی به سمت جنوب بوده و و

د- سازند نسن: شامل ۲۳۰ متر توالی سنگ آهک با چرت به همراه شیل‌های مارنی و ماسه‌ای به سن پرمین پسین

ه- سازند الیکا: شامل ۲۹۵ متر سکانس رسوبی شامل آهک، دولومیت و دولومیت ضخیم‌لایه با سن تریاس پایینی تا میانی

و- سازند شمشک: شامل ۱۵۰۰ متر سکانس‌هایی تکرارشونده از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، کنگلومرای سفیدرنگ، شیل‌های ذغالدار به همراه لایه‌های ذغال با سن تریاس بالایی- ژوراسیک پایینی
 ز- سازند دلچای: شامل ۱۰۷ متر مارن، آهک‌های آمونیت‌دار به همراه ماسه‌سنگ آمونیتی با سن ژوراسیک پایینی- میانی

ح- سازند لار: شامل ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای به سن ژوراسیک بالایی
 ط- سازند تیزکوه: شامل ۱۷۰ متر آهک‌های اریتولین‌دار به همراه شیل آهکی به سن کرتاسه پایینی.

۲-۳- بررسی گسل‌های اصلی

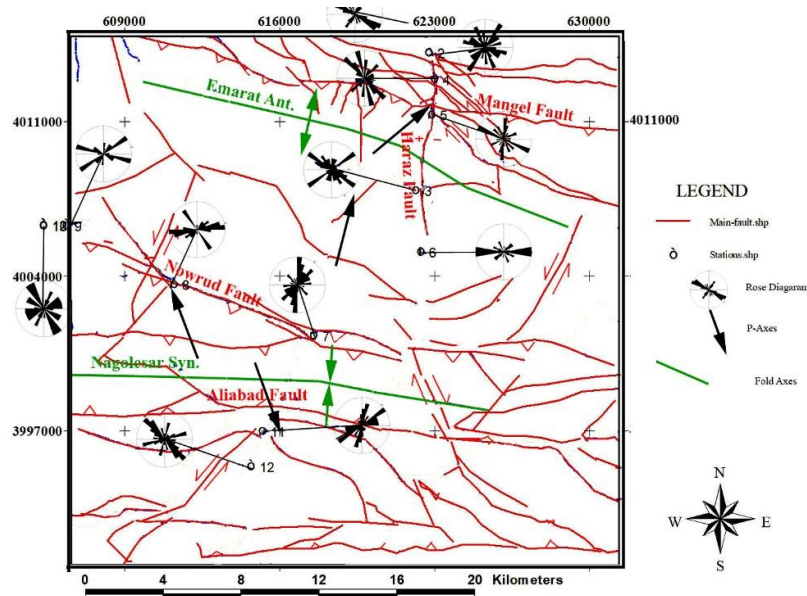
مهمترین ساختارهای منطقه شامل گسل‌های خنزر، منگل، هراز (در بخش شمالی)، نورود (در بخش مرکزی) و علی‌آباد (در بخش جنوبی) و تاقدیس عمارت (بخش شمالی و مرکزی) و ناودیس ناگله‌سر (بخش جنوبی) می‌باشند (شکل ۵). مشخصات گسل‌ها



شکل ۴: نمایی از رخنمون‌های سازندهای مختلف در منطقه؛ الف- سازند روته، ب- سازند نسن، ج- سازند الیکا، د- سازند شمشک، ه- سازند لار، و- آبرفت‌های کوتاه‌تری

تریاس) بر روی آبرفت‌های عهد حاضر گردیده است. ج- گسل نورود: این گسل دارای طولی بیش از ۳۰ کیلومتر است که در باختر گسل هزارا دارای روند جنوب‌خاوری-شمال‌باختری بوده ولی در خاور گسل

روند کلی آن به موازات گسل خزر است. بر طبق مشاهدات صحرائی (شکل ۶-ب) و محاسبه صفحات اصلی گسلش، این گسل دارای مشخصات N100/45-S است و عملکرد آن سبب راندگی آهک الیکا (با سن



شکل ۵: نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه

سازوکار حرکتی این گسل، معکوس می‌باشد (شکل ۶-۵).

۳-۳- بررسی چین‌های اصلی

مهمترین خصوصیات چین‌های اصلی منطقه به شرح ذیل است:

الف- تاقدیس عمارت: این تاقدیس با روند

تقریبی جنوب‌خاوری- شمال‌باختری (N100-110) در بخش‌های شمالی و مرکزی این منطقه واقع شده است (اشکال ۵ و ۷). شواهد صحرایی و همچنین بررسی مقطع عرضی تهیه شده، حکایت از آن دارد که این تاقدیس در فرادیواره گسل منگل (بلوک جنوبی گسل) شکل گرفته و بنظر می‌رسد که از نظر زایشی وابسته به این گسل رانده باشد (شکل ۸). همچنین عبور گسل هراز از این تاقدیس سبب فرسایش و رخنمون یافتن سازندهای قدیمی‌تر (با سن پالئوزوئیک بالایی) شده است (شکل ۳). به نظر می‌رسد که حرکت راستالغز گسل هراز سبب جابجایی راست‌بر در محور این تاقدیس گردیده است (شکل ۵).

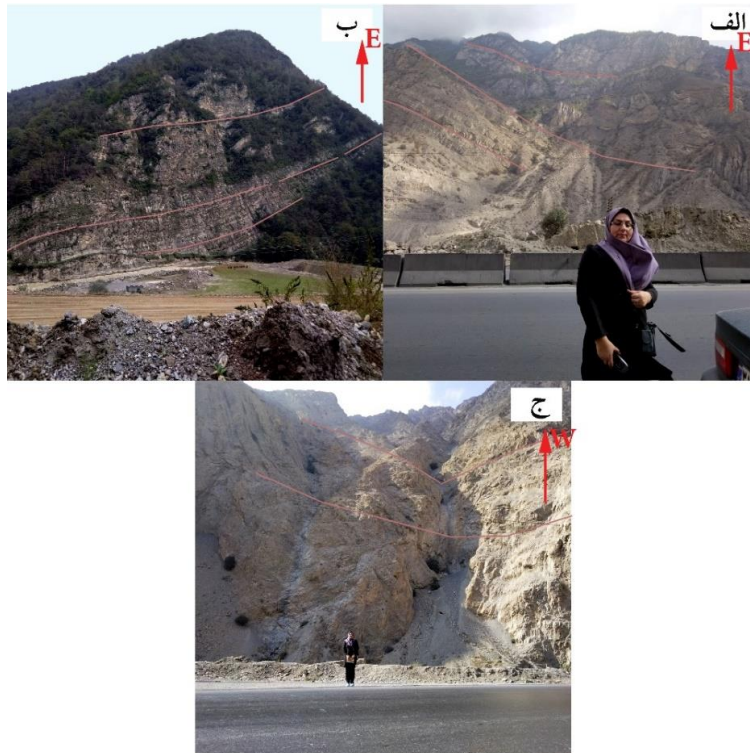
هراز، روند آن تبدیل به خاوری- باختری شده است (شکل ۵). شیب این گسل حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه به سمت جنوب است (شکل ۶-ج). سازوکار این گسل راندگی با کمی مولفه امتدادلغز چپ‌بر است. عملکرد این گسل سبب برخاستگی بلوک جنوبی آن و تشکیل ناودیس برخاسته ناگله‌سر شده است (شکل ۷).

د- گسل هراز: این گسل به صورت عرضی کمر بند البرز را قطع می‌نماید. بر طبق مشاهدات صحرایی (شکل ۶-د) و محاسبه صفحات اصلی گسلش، مشخصات این گسل N175/46-NE بوده و سازوکار حرکتی آن راستالغز راست‌بر (با کمی مولفه نرمال) است. عملکرد این گسل، مسیر رودخانه هراز را در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه رقم زده است (شکل ۵).

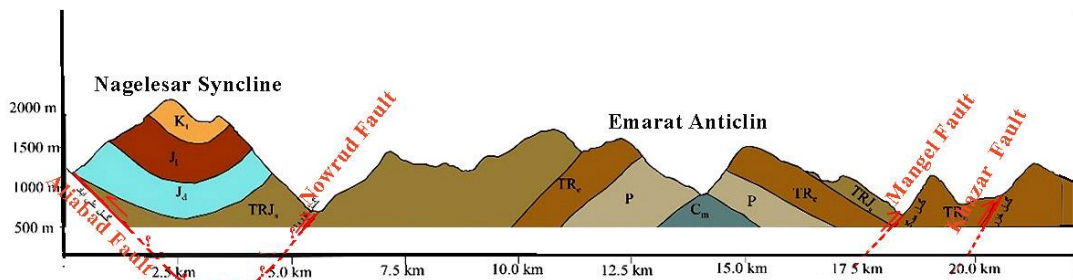
و- گسل علی‌آباد: در نقشه ساختاری تهیه شده (شکل ۵)، گسل علی‌آباد با طولی بیش از ۳۰ کیلومتر، دارای روند تقریباً خاوری- باختری (E-W) بوده و شیب صفحه آن حدود ۵۵ تا ۶۰ درجه به شمال (N90E/55-N) است.



شکل ۶: نماهایی از گسل‌های اصلی منطقه مورد بررسی، الف- گسل خزر؛ ب- گسل منگل (شمال البرز)؛ ج- گسل نورود؛ د- گسل هراز؛ و- گسل علی‌آباد



شکل ۷: نمایی از مهمترین چین‌های منطقه، الف و ب- بال‌های جنوبی و شمالی تاقدیس عمارت، ج- هسته ناودیس ناگله‌سر



شکل ۸: مقطع عرضی شماتیک با امتداد شمالی- جنوبی از وضعیت ساختارهای منطقه

ب- ناودیس ناگله‌سر: این ناودیس در مرز بخش‌های جنوبی و مرکزی قرار گرفته (اشکال ۵ و ۷) و با دارا بودن طولی بیش از ۲۰ کیلومتر (شکل ۵) بلندترین ارتفاع منطقه را رقم زده است (شکل ۲-ج). روند این ناودیس تقریباً خاوری- باختری (N85-90) بوده که با نزدیک شدن به انتهای گسل هزار دچار خمش راستگرد شده و به N105 تغییر یافته است (شکل ۵). بررسی مقطع عرضی تهیه شده (شکل ۸) و همچنین شواهد صحرایی (شکل ۷)، حکایت از آن دارد که این ناودیس در حد فاصل گسل‌های نورود و علی‌آباد تشکیل یافته است به گونه‌ای که به عنوان

یک تاقدیس بالاآمده^۱ دارای ارتفاع زیاد در فروهشته^۲ بین دو فرادیواره این گسل‌ها شکل گرفته و بنظر می‌رسد که از نظر زایشی به این گسل‌ها وابسته باشد.

۳-۴- واکاوی‌های هندسی ساختارهای منطقه

در این بخش علاوه بر بررسی وضعیت تراکم شکستگی‌ها (تهیه و بررسی نمودار گل‌سرخ)، وضعیت خصوصیات عمقی گسل‌ها (محاسبه صفحات گسلش) و بررسی محور و سطح محوری تاقدیس عمارت (شکل ۹) پرداخته خواهد شد:

الف- واکاوی تراکم شکستگی‌ها (نمودار گل‌سرخ):

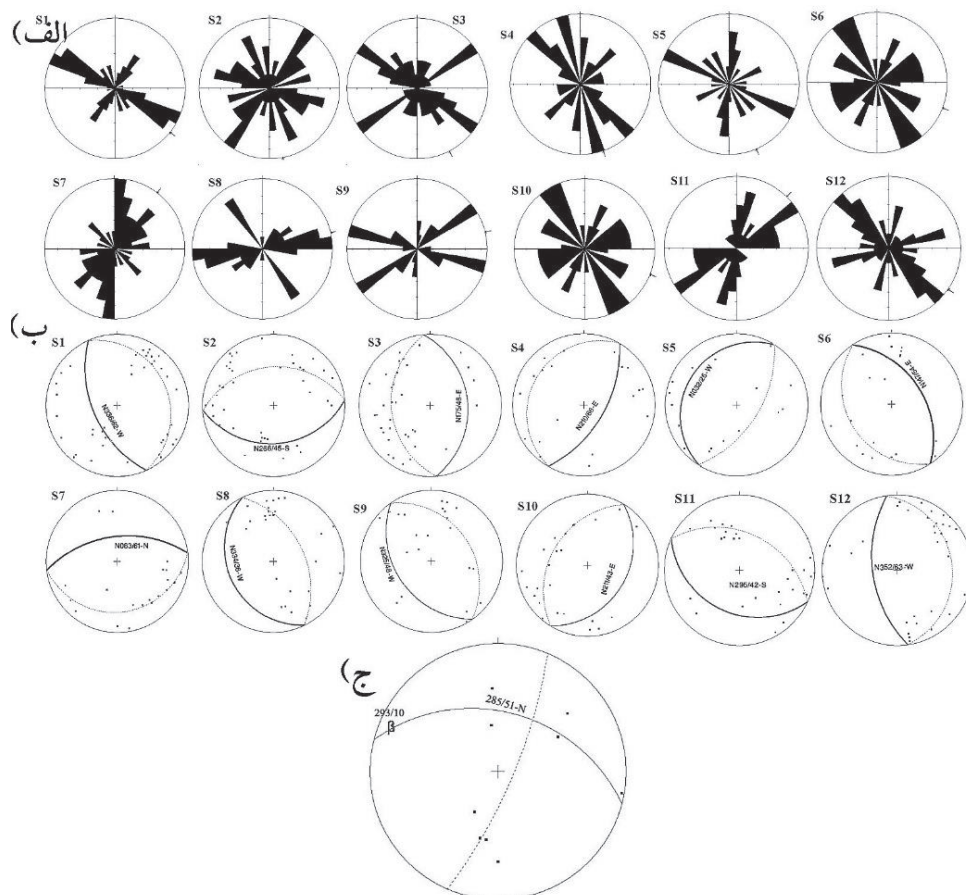
1. Uplanded Syncline
2. Inlier

بخش جنوبی رو به شمال (راندگی رو به جنوب) است (شکل ۵).

ج- محاسبه محور و سطح محوری: این محاسبات نشان داد که تاقدیس عمارت روند تقریباً خاوری-باختری داشته و محور آن پلانژ ۱۰ درجه‌ای به سوی شمال‌باختر دارد. این تاقدیس یک تاقدیس غیرمقارن با شیب ۵۱ درجه‌ای سطح محوری به سمت شمال‌خاور است (شکل ۹-ج). مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی نیز مشخص نمود که ناودیس ناگله‌سر یک ناودیس برخاسته با سطح محوری تقریباً قائم با امتداد N90-100 است (شکل ۷-ج).

نتایج این واکاوی‌ها نشان می‌دهد (شکل ۹-الف) که شکستگی‌های غالب در بخش شمالی دارای روند عمده ۱۱۰N-۱۳۰ می‌باشند، در حالی که در بخش مرکزی روندهای غالب ۸۰N-۹۰ و ۱۴۰N-۱۶۰ هستند و در بخش جنوبی ۰۶۰N-۰۵۰ و ۱۲۰N-۱۳۰ شده‌اند که در تمامی موارد این شکستگی‌ها بازتاب گسل‌های اصلی منطقه می‌باشند.

ب- محاسبه صفحات گسلش: این محاسبات نشان داد (شکل ۹-ب) که شیب گسل‌های رانده بخش‌های شمالی و مرکزی نظیر: خزر، منگل و نورود رو به جنوب (راندگی رو به شمال) و گسل علی‌آباد در



شکل ۹: واکاوی هندسی ساختارهای منطقه در ایستگاه‌های مختلف؛ الف- نمودارهای گل سرخی، ب- محاسبه صفحات گسلش (محل قطب شکستگی‌ها به صورت نقاط نمایش داده شده است) ج- محاسبه محور و سطح محوری تاقدیس عمارت

فشارشی با این امتداد بر روی گسل‌هایی نظیر خزر و منگل (شمال البرز) وجود داشته باشد؛ سازوکار این گسل‌ها می‌تواند معکوس با مولفه چپ‌بر باشد، مشاهدات صحرایی نیز این سازوکار حرکتی بر روی این گسل‌ها را تایید می‌کند (شکل ۶-الف و ب). ب- بخش مرکزی: مهمترین محور فشارش در بخش

۵-۳- واکاوی سینماتیکی (حرکتی) ساختارهای منطقه

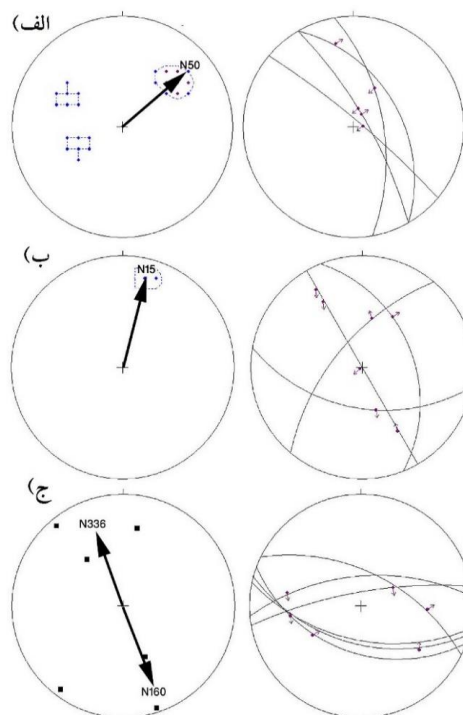
بررسی مهمترین محور فشارش در بخش‌های مختلف منطقه نشان می‌دهد که:

الف- بخش شمالی: محور فشارش در بخش شمالی دارای امتداد N50 است (شکل ۱۰-الف) که اگر

خاوری-باختری؛ محل خمیدگی البرز) پرداخته شد و با یاری گرفتن از نتایج روش‌های مختلف سعی گردید که مدلی برای تکوین زمین‌ساختی این بخش ارائه گردد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که این منطقه، از لحاظ زمین‌ساختی، بخشی از زون نئوژن شمالی از دیدگاه اشتوکلین (Stocklin, 1974) محسوب می‌شود که دارای پیچیدگی‌های ساختاری بسیاری است. بررسی گسل‌های اصلی منطقه حکایت از آن دارد که دگرریختی‌ها عمدتاً توسط گسل‌های اصلی معکوس (یا رانده) کنترل گردیده‌اند. این گسل‌های اصلی نظیر: گسل خزر (در مرز کوه-دشت در جنوب آمل) و گسل منگل (تحت عنوان گسل شمال البرز) در بخش شمالی و گسل نورود در بخش مرکزی منطقه، گسل‌هایی با سازوکار معکوس (یا رانده) با مقداری مولفه امتدادلغز چپ‌بر می‌باشند. این رانده‌ها با روند تقریباً خاوری-باختری (موازی با کمربند کوهزاد)، شامل گسل‌هایی با شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه رو به جنوب می‌باشند که موجب رانده‌گی رو به شمال واحدهای سنگی در یال شمالی البرز مرکزی شده‌اند. علاوه بر این، گسل علی‌آباد با روندی تقریباً مشابه (خاوری-باختری) و با شیبی مخالف (رو به شمال)، سبب رانده‌گی رو به جنوب بلوک شمالی خود گردیده است. به این ترتیب می‌توان به این نتیجه رسید که عمده دگرریختی‌های این منطقه توسط گسل‌های رانده صورت پذیرفته است که با نتایج بدست آمده توسط دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Alavi, 1996; Yasaghi, 2005). علاوه بر این، برخی پژوهشگران بر این باورند که میزان کوتاه‌شدگی (کلی) حاصل از اندازه‌گیری‌های GPS، همراه با داده‌های به‌دست آمده از محاسبه میزان نرخ لغزش بر روی گسل‌های اصلی، نشان می‌دهند که عمده کوتاه‌شدگی فعلی در حاشیه شمالی البرز، بر روی گسل‌های خزر و شمال البرز (گسل منگل)، واقع شده‌اند (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010; Nazari, 2015)

مطالعه ارتباط سینماتیکی ساختارها، نشان داد که ناودیس برخاسته ناگله‌سر، بر روی فرادواره‌های دو گسل علی‌آباد (با شیب رو به شمال، رانده‌گی رو به جنوب) و نورود (با شیب رو به جنوب، رانده‌گی رو به شمال) تشکیل یافته است. این پدیده ساختاری

مرکزی دارای امتداد N15 است (شکل ۱۰-ب) که اگر فشارشی با این امتداد بر روی گسل‌هایی نظیر نورود وجود داشته باشد؛ سازوکار این گسل‌ها می‌تواند معکوس خالص باشد که این مسئله در بررسی‌های صحرایی مورد تایید قرار گرفت (شکل ۶-ج).



شکل ۱۰: محاسبه محورهای حرکتی در بخش‌های مختلف؛ الف-بخش شمالی، ب-بخش مرکزی، ج-بخش جنوبی (بردارهای نمایش داده شده در شکل محورهای فشارشی محاسبه شده را به نمایش می‌گذارند)

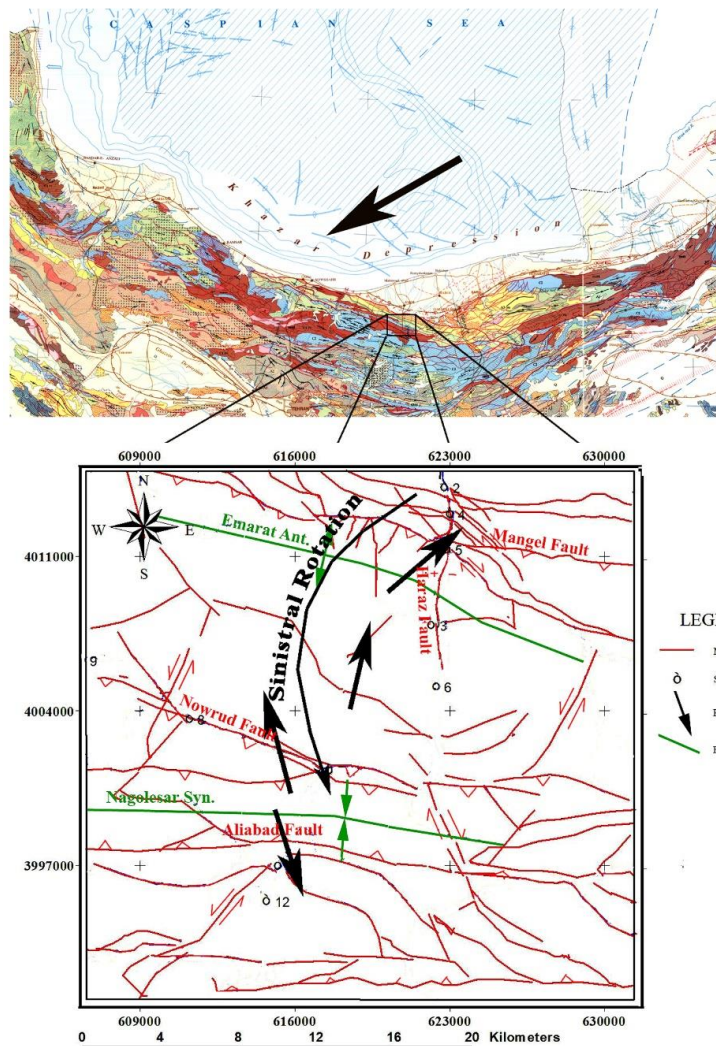
ج-بخش جنوبی؛ در بخش جنوبی حداقل دو جهت محور حرکتی (محور P) با آزیموت‌های N336 و N160 قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۱۰-ج). این دو جهت فشارش مخالف هم، نشان از یک سیستم فشارشی پیچیده دارد که معمولاً در سیستم گسل‌های رانده (معکوس) با شیب مخالف دیده می‌شوند. بررسی‌های صحرایی (رجوع شود به بخش ۳-۲) و کنترل وضعیت عمقی گسل‌ها در مقطع عرضی (شکل ۸) حکایت از وجود دو گسل نورود (با شیب رو به جنوب و رانده‌گی رو به شمال) و علی‌آباد (با شیب رو به شمال و رانده‌گی رو به جنوب) با شیب مخالف دارد.

۴- بحث و بررسی پیرامون نتایج

در این پژوهش، به بررسی شرایط دگرریختی‌های یال شمالی در بخش مرکزی رشته کوه البرز (با روند تقریباً

چپگرد محورهای فشارش از شمال به جنوب است و می‌تواند به خاطر حرکت روبه جنوب-جنوب‌باختر صفحه خزر جنوبی و اثر آن بر یال شمالی البرز مرکزی باشد که سبب ایجاد یک رژیم زمین‌ساختی برشی-فشارشی (دگرفشارش^۱) گردیده است. رخداد پدیده دگرفشارش نیز مد نظر برخی از پژوهشگرانی که بر روی نوار شمالی ایران پژوهش‌هایی داشته‌اند، قرار گرفته است (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010; Roberts et al., 2014; Nazari, 2015). برخی از پژوهشگران، نیز بر تشکیل ساختارهای گل‌مانند در البرز (به‌خصوص البرز میانی) تاکید داشته‌اند (Stocklin, 1968; Allen et al., 2003; Nazari, 1974; Shahidi, 2008).

نشان می‌دهد که همراهی دو گسل علی‌آباد و نورود، سبب تشکیل یک ساختار گل‌مانند، به صورت بلوکی فراجسته گردیده که حاصل آن تشکیل ناودیس بالاآمده ناگله‌سر با ارتفاع زیاد شده است (اشکال ۵ و ۸). علاوه بر این، کنترل محورهای فشارش (سینماتیکی) نشان داد که با حرکت از بخش شمالی به سمت بخش‌های مرکزی و جنوبی؛ محورهای سینماتیکی (فشارش) دچار خمشی چپگرد گردیده‌اند (شکل ۱۱). این پدیده سبب تغییر میزان مولفه چپ‌بر در سازوکار گسل‌های رانده گردیده است به گونه‌ای که به سمت جنوب میزان مولفه چپ‌بر این گسل‌ها کمتر شده و به این ترتیب، گسل‌های جنوبی دارای سازوکار تقریباً رانده خالص شده‌اند. این مسئله، حکایت از چرخش



شکل ۱۱: مدل زمین‌ساختی از وضعیت چرخش چپگرد محورهای سینماتیکی و پدیده برخاستگی بخاطر دو جهت راندگی در بخش مرکزی



Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleotethys remnants in North-eastern Iran, Geological Society of American Bulletin, Vol: 3, pp 983- 992

Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphic Synthesis and Structural style of Alborz Mountain System in Northern Iran, J. Geodynamics, 21 (1), 1-33.

Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003, Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran, Journal of structural Geology, No:25, pp. 659-672.

Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Streckler, M. R., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H., 2008. Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran, *Tectonics*, 27, TC6001, doi:10.1029/2008TC002278.

Berberian, M., Yeats, R.S., 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in Iranian Plateau", Bull. Seim. Am. 89, pp. 120-139

Djamour, Y, Vernant, P, Bayer, R, Nankali, H.R, Ritz, J, Hinderer, J, Hatam, Y, Luck, B, Moigne, N, Sedighi, M, Khorrani, F, 2010, GPS & gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran, *Geophysical Journal International*, No: 183, p: 1287- 1301.

Gueřt, B., Gueřt, A., Axen, G., 2007. Late Tertiary tectonic evolution of Northern Iran: a case study of simple crustal folding, *Global and Planetary Changes*, 58, 435-453

Marrett, R., Allmendinger, R. W., 1990. Kinematic analysis of fault-slip data, *J. of structural Geology*, 12 (8), 973-986.

Nazari, H., 2006. Analyse de la tectonique récente

۵- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گسل‌های اصلی رانده خزر، منگل، نورود و علی‌آباد و همچنین تاقدیس عمارت و ناودیس ناگله‌سر با روند خاوری-باختری، چهارچوب ساختاری یال شمالی البرز مرکزی (جنوب آمل) را رقم زده‌اند. این بررسی‌ها نشان داد که دگرریختی‌های منطقه توسط این گسل‌های معکوس (یا رانده) کنترل گردیده‌اند. این گسل‌ها (بجز گسل علی‌آباد) دارای شیب ۴۰ تا ۵۰ درجه رو به جنوب بوده و سبب راندگی رو به شمال واحدهای سنگی شده‌اند، در حالی که گسل علی‌آباد با شیب رو به شمال و راندگی رو به جنوب به عنوان پشت‌راندگی گسل نورود عمل نموده است. بررسی ارتباط سینماتیکی ساختارها نشان داد که تاقدیس عمارت بر روی فرادیواره گسل منگل شکل گرفته و ارتباط زایشی با این گسل دارد. همچنین همراهی دو گسل نورود و علی‌آباد، سبب تشکیل ناودیس بالاآمده ناگله‌سر به عنوان یک ساختار فراجسته شده است. چرخش چپگرد محورهای فشارش (از شمال به جنوب منطقه) حکایت از یک زمین‌ساخت برشی-فشارشی داشته که می‌تواند به خاطر حرکت رو به جنوب-جنوب‌باختر صفحه خزر جنوبی و اثر آن بر یال شمالی البرز شکل گرفته است.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب انجام پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه گلستان انجام گردیده است.

منابع

آقاباتی، س.ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۵۷۶ ص.

درویش‌پور، ن، ۱۴۰۲. بررسی دگرریختی‌های محدوده بین گسل‌های خزر و شمال البرز در منطقه بلده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، ۱۰۵ صفحه

وحدتی دانشمند، ف، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی آمل، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وحدتی دانشمند، ف، ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی آمل، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره برگه ۶۴۶۲.

- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Tavakoli, F., 2004. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth and planetary science letters*, 223(1-2), 177-185
- Yassaghi, A. Madanipour, S., 2008. Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: Case study of the Mosha Fault, Central Alborz Range, Iran. *Journal of Structural Geology* 30(12): 1507-1519
- Yassaghi, A., 2005. The effect of deep-seated transverse faults on structural evolution of west-central Alborz mountains. *Geophysical Research Abstracts*,
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M.R., Sabouri, J., 2006. Inversion tectonics in central Alborz, Iran, *Journal of Structural Geology*, 1-15.
- et active dans l'Alborz Central et la région de Téhéran: Approche morphotectonique et paléoseismologique, PhD thesis, Univ. of Montpellier 2, Montpellier, France.
- Nazari, H., 2015. Analyse de la tectonique active en Iran: Approches morphotectonique et paléoseismologique: Implication en termes d'aléa sismique. *Géosciences Montpellier*, HDR thesis, Université Montpellier, Montpellier, France, pp:116.
- Ramsay J. G., Hubber M., 1987. The techniques of modern structural geology, Volume 2: Folds and Fractures, Academic Press, London, 406p.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S., & Vernant, P., 2006. Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics. *Geology*, 34(6), 477-480.
- Safari, H., Gholami, M., 2011, Tectonic Evolution Of Southern Limb Of Eastern Alborz, Iran, *I.J. Geoinformatics Reaserch and Development*, 2 (1), 1-13.
- Stocklin, J., 1974. North Iran: Alborz Mountains, Geological Society, London, Special Publications, Vol: 4, pp. 213- 2334.
- Stocklin, j., 1968. Structural history and tectonics of Iran, a review. *American Association of Petroleum geologists Bulletin*, 52(7), PP. 1229-1258.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D., & Bergman, E., 2007. The 2004 May 28 Baladeh earthquake (M w 6.2) in the Alborz, Iran: overthrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran. *Geophysical Journal International*, 170(1), 249-261.