

الگوی دگرشکلی در زاگرس مرتفع باختری

نوشته: زمان ملک‌زاده*، محمدرضا عباسی**، اولیویه بلیه***، کریستین اوتیه مه‌یو*** و اسماعیل شابانیاں***

* دانشگاه پیام نور ساری، ساری، ایران.
** پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
*** دانشگاه پل سزان، مارسه، فرانسه.

Deformation Pattern in Western High Zagros

By: Z. Malekzadeh*, M. R. Abbassi**, O. Bellier***, C. Authemayou*** & I. Shabanian***

*Payam-e-Nour university of Sari, Sari, Iran

**International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran.

***Paul Cezanne University, France

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۸/۰۵

چکیده

این مطالعه ناحیه بین $30^{\circ} 51' - 50^{\circ}$ در امتداد کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس را در بر می‌گیرد. الگوی دگرشکلی در کمربند زاگرس مرتفع به‌خاطر همگرایی مورب صفحه عربی نسبت به ایران مرکزی به صورت تسهیم کرنش کامل (Complete strain partitioning) مطرح شده است. در این الگو گسل عهد حاضر زاگرس (MRF) در حاشیه شمالی کمربند، از نظر سینماتیکی تمام مؤلفه جابه‌جایی به موازات کمربند ناشی از حرکت مورب صفحه عربستان را جذب می‌کند و گسل زاگرس مرتفع (HZF) به همراه دیگر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها، پذیرای مؤلفه عمود بر کوهزاد جابه‌جایی در این حرکت است. با استفاده از وارون سازی خط لغزش‌هایی که اغلب بر صفحات گسلی که رسوبات جوان کنگلومرای بختیاری را در امتداد گسل زاگرس مرتفع متأثر ساخته، نقش بسته، تنسور تنش و شکل نسبی بیضوی تنش (R) در ۲۹ ایستگاه محاسبه شده است. شواهد زمین‌ریختی و سینماتیک گسل نشان دهنده آن است که بخش اعظم گسل زاگرس مرتفع دارای مؤلفه امتداد لغز است. بر اساس این سینماتیک، گسل زاگرس مرتفع نیز در انتقال دگرشکلی مؤلفه موازی کوهزاد زاگرس مشارکت می‌کند. در نتیجه ساز و کار جدید تشخیص داده شده، تسهیم کرنش از نوع بخشی (Partial strain partitioning) را برای زاگرس مرتفع باختری پیشنهاد می‌کند. انتقال دگرشکلی مؤلفه موازی کوهزاد توسط گسل عهد حاضر و زاگرس مرتفع، ممکن است دلیلی موجه برای کاهش آهنگ لغزش در امتداد گسل عهد حاضر پس از سازماندهی دوباره برخورد مورب صفحه عربستان باشد.

کلیدواژه‌ها: زاگرس، گسل عهد حاضر، تسهیم کرنش، همگرایی مورب، گسل زاگرس مرتفع، خش لغز

Abstract

The present study covers the area between 50° to $51^{\circ} 30' E$ of the Zagros Fold-and-Thrust Belt. The deformation pattern of west High Zagros Belt (HZB) has been considered to reflect a complete strain partitioning due to the Arabian oblique plate convergence and Central Iran. In this context the NW-SE trending Main Recent Fault (MRF) acts as rear boundary of the belt, kinematically taking up the strike-parallel component of oblique plate motion of Arabia, whereas the High Zagros Fault (HZF) with the same fault trend as MRF accommodates the orogen-normal shortening due to this movement. Using fault-slip inversion on fault planes mostly affecting the Bakhtiary conglomerate (Plio-Pleistocene in age) along the HZB, the deviatoric stress tensor and its shape factor (R) calculated at 29 stations. The geomorphic evidences and the fault kinematics show that the major parts of the HZF are consistent with strike-slip kinematics. This implies that the HZF also accommodates some part of strike-parallel



component of oblique convergence collision.

Keywords: Zagros, Main Recent Fault, Strain partitioning, Oblique convergence, High zagros Fault, Fault slip

مقدمه

و فقط به مطالعات گذشته (Berberian, 1995) که در آن با توجه به شواهد ریخت-زمین‌ساختی به آنها به عنوان گسل راندگی نگرسته، بسنده شده است. این مطالعه تلاشی است برای شناخت بیشتر ماهیت گسل‌های موجود در پهنه زاگرس مرتفع با تأکید بر روی سامانه گسلی زاگرس مرتفع (HZF)، در بخش باختری گسل کازرون. در این مطالعه، نشان داده خواهد شد که گسل‌های مذکور دست کم در محدوده مطالعاتی دارای سازوکار راندگی محض نبوده و در بخش‌های عمده این سامانه گسلی حرکات امتداد لغز محض و حرکات ترفشارشی (Transpressional) حاکم است. در این مطالعه برای شناخت رژیم زمین‌ساختی حاکم بر منطقه زاگرس مرتفع از مطالعه برگشتی (fault-slip inversion) که نخستین بار توسط Carey (1979) در قالب یک برنامه نرم‌افزاری ارائه شده، استفاده شده است. همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و اسپات برای نشان دادن شواهد زمین‌ریختی (مانند انحراف آبراهه‌ها، مخروط افکنه‌ها و پشته‌ها) و مشاهدات صحرائی نیز مکمل داده‌های فوق خواهد بود. نتیجه نهایی این مقاله، ارائه و پیشنهاد مدل تازه‌ای از زمین‌ساخت باختر زاگرس است که در آن به جای تسهیم کرنش کامل (Complete Strain Partitioning) تسهیم بخشی کرنش (Partial Strain Partitioning) مورد نظر است (شکل ۱).

زمین‌پویایی منطقه (Geodynamics)

تکوین زاگرس و آغاز بسته شدن نوتیس (فرارانش افیولیت‌ها) را به کرتاسه پسین نسبت می‌دهند (Berberian and King, 1981; Alavi, 1994). بسته شدن نهایی و برخورد صفحه عربستان را با ایران مرکزی از ۳۵ تا ۱۰ میلیون سال پیش (الیگو-میوسن) گسترش می‌دهند (Stonley, 1981). از این حادثه تا مرحله‌ای که به عنوان سازماندهی دوباره (Reorganization) حرکت این صفحه نسبت به اوراسیا نامیده می‌شود (Westaway et al., 1994; Allen et al., 2004) یعنی از 5 ± 2 Ma وضعیت زمین‌ساختی در حال سکونی حکمفرما بوده است و با وجودی که جهت حرکت صفحه عربستان از ۱۹ میلیون سال پیش تا کنون به سمت ایران مرکزی تغییر چندانی نکرده است (McQuarrie et al., 2003) به نظر می‌رسد که تغییر رژیم زمین‌ساختی از شرایط راندگی (وضعیتی که گسل اصلی راندگی زاگرس فعال بوده است) تا وضعیتی که تسهیم کرنش به عنوان سامانه زمین‌ساختی

زاگرس مرتفع باریکه‌ای از کمربند راندگی زاگرس در جنوب باختر ایران است که عرض آن به ۸۰ کیلومتر می‌رسد. این منطقه از شمال به گسل راندگی اصلی زاگرس (Main Zagros Thrust Fault, MZTF) و از جنوب به گسل زاگرس مرتفع (High Zagros Fault, HZF) محدود می‌شود (Berberian, 1995). از نظر ارتفاعی، بلندترین قسمت زاگرس محسوب شده و در بخش‌هایی از این نوار با دگرشکلی زیاد، فعالیت لرزه‌ای نسبت به دیگر بخش‌ها بیشتر است. در بخش باختری زاگرس مرتفع (محدوده این مطالعه) یعنی باختر گسل شمالی-جنوبی کازرون (شمال حوضه دزفول)، گسل فعال دیگری با سازوکار امتداد لغز راست‌گرد به نام گسل اصلی عهد حاضر زاگرس (Zagros Main Recent Fault, MRF) شکل گرفته است (Tchalenko & Braud, 1974) که به موازات و مجاور گسل راندگی اصلی زاگرس بوده و از نظر لرزه‌ای از جمله گسل‌های پر مخاطره به شمار می‌آید (شکل ۱). برای مثال فعالیت این گسل مسبب زمین لرزه دینه ور (1957.12.13) با بزرگای $M_s=6.7$ و زمین لرزه دورود (1909.01.23) با بزرگای $M_s=7.4$ هر دو با ساز و کار امتداد لغز راست‌گرد بوده است. گسل عهد حاضر در بعضی از مناطق گسل راندگی اصلی زاگرس را قطع می‌کند. در تازه‌ترین مطالعات انجام شده (Blanc et al., 2003; Talebian and Jackson, 2004; Authemayou et al., 2006) از گسل عهد حاضر زاگرس به عنوان محصول فرایند تسهیم کرنش (strain partitioning) یاد شده است. در این مدل همگرایی مورب صفحه عربستان به سمت ایران مرکزی به دو مؤلفه موازی کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس و عمود بر آن تقسیم می‌شود. در این مدل زمین‌ساختی گسل عهد حاضر در پاسخ به مؤلفه امتداد لغزی و گسل‌های راندگی و چین‌خوردگی‌های فعال در واکنش به مؤلفه عمودی شکل گرفته است. بنابر این گسل‌هایی مانند زاگرس مرتفع (HZF) و گسل جبهه کوهستانی (Mountain Frontal Fault, MFF) در این مدل دارای ساز و کار راندگی محض خواهند بود. با توجه به مطالعات انجام شده (که بخشی از مطالعه حاضر را هم شامل می‌شود) ساز و کار گسل عهد حاضر امتداد لغز و گسل کازرون راست‌گرد بوده (Baker et al., 1993; Sepehr and Casgrove, 2005; Authemayou et al., 2006; Yaminifard et al., 2006) و شواهد موجود نشان دهنده وجود ساز و کار تسهیم کرنش در این پهنه گسلی است. اما هیچ شواهدی دال بر وجود ساز و کار راندگی محض درباره گسل زاگرس مرتفع (HZF) و گسل جبهه کوهستانی (MFF) ارائه نشده

می‌کند و بالاخره نمودارهای مربوطه (صفحات گسل در شبکه اشمیت)، بازتاب شده است. یکی از کاربردهای اساسی و مهم پارامتر شکل تنش (R) استفاده از آن برای یافتن رژیم تنش است.

در روش وارون سازی فرض می‌شود که خط لغزش (s) در جهت تنش برشی بیشینه (تنش مماسی که از تصویر تنش اعمالی روی سطح گسل به دست می‌آید روی هر یک از سطوح گسلی که از قبل موجود بوده‌اند، رخ می‌دهد. نتیجه وارون سازی، تنسور تنش تفریقی با بهترین سازگاری نسبت به مجموعه گسل‌هایی است که اندازه‌گیری شده‌اند و این کار با کمینه کردن انحراف زاویه‌ای بین بردار لغزش پیش بینی شده (τ) و بردار مشاهده شده (s) عملی می‌شود (Carey, 1979; Angelier, 1984; Mercier et al., 1991). در این روش، همچنین فرض می‌شود که جابه‌جایی بلوک‌های گسلی نسبت به هم مستقل بوده و حاصل این تحلیل جهت (آزموت و شیب) محورهای تنش اساسی تنسور تفریقی و همچنین پارامتر شکل تنش $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_2 - \sigma_3)$ است. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ به ترتیب محورهای تنش کمینه، میانگین و بیشینه است. در یک مجموعه صفحه گسلی اندازه‌گیری شده داده‌هایی را که ممکن است نشان دهنده دو رویداد جداگانه باشند، باید از هم متمایز ساخت (برای توضیح بیشتر به عباسی و فرید، ۱۳۸۳ و عباسی و شبانیان، ۱۳۸۴ مراجعه شود).

در یک رژیم امتداد لغز، $R = 0$ با وضعیت تنشی مطابقت دارد که گذر به رژیم کششی است (رژیم تراکشنی یعنی σ_1 یا σ_2 عمودی و σ_3 از نظر بزرگی نزدیک به هم هستند). در حالی که برای $R = 1$ مقادیر نشان دهنده گذر به رژیم تنشی رانندگی است (رژیم ترفشارشی یعنی σ_2 یا σ_3 عمودی و σ_1 از نظر بزرگی نزدیک به هم هستند). و بالاخره برای R نزدیک به ۰ یا ۱ یعنی $0.85 < R < 1$ و $0 < R < 0.15$ با یک تغییر کوچک به رانندگی و نرمال به ترتیب تغییر می‌کند. بنابر این در چنین رژیم تنش می‌توان ترکیبی از گسل‌ها نظیر امتداد لغز، رانندگی و مورب لغز داشته باشیم. نتایج وارون سازی داده‌ها، زمانی مورد قبول است که ۸۰ درصد انحراف زاویه‌ای بین τ و s کمتر از ۲۰ درجه باشد. داده‌های ایده‌آل شامل گسل‌هایی هستند که دارای شیب به دو سمت بوده و امتداد متفاوت باشند (شامل گسل‌های هم‌بوغ و مزدوج). برای داده‌های با توزیع نامناسب (داده‌هایی که دارای دسته گسل‌های با شیب و امتداد یکنواخت باشند)، از روش وارون سازی ثابت شده (fixed inversion) که توسط Bellier and Zoback (1995) ارائه شده، استفاده می‌شود که بر اساس آن محورهای اساسی تنش، در دو وضعیت عمودی و افقی قرار می‌گیرند. در این شرایط فقط دو دسته از گسل‌های مستقل، برای به دست آمدن یک تنسور تنش کافی هستند.

جهت‌های تنش به دست آمده حاصل از روش تثبیت شده ۱۰ تا ۱۵ درصد با تنش به دست آمده از طریق استاندارد تفاوت دارد. اگر چه نتایج حاصل از

بوده است (یعنی آغاز فعالیت MRF به عنوان گسل امتداد لغز و توقف فعالیت گسل (ZMTF) تحولات ساختاری مهمی از نقطه نظر ناحیه‌ای رخ داده است. از نظر ساختاری و زمین‌پویایی کمربند چین‌خورده زاگرس به سه ناحیه تقسیم شده است (Talebian and Jackson, 2004): شمال باختری (باختر گسل کازرون) با تسهیم کرنش، جنوب خاوری (ایالت فارس) با ساز و کار رانندگی و ناحیه مرکزی با ساز و کار امتداد لغز. در این بین، بخش مرکزی در واقع یک پهنه گذر از رانندگی به ناحیه با تسهیم کرنش به شمار می‌آید (شکل ۱). یکی از عوامل مؤثر بر تغییر رژیم زمین‌ساختی در طول کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس، تغییر مکانی در جهت همگرایی صفحه عربستان نسبت به ایران مرکزی است (Jackson and McKenzie, 1988). به گونه‌ای که در جنوب خاور حرکت دارای روند 70° به سمت خاور، در قسمت مرکزی تقریباً شمالی-جنوبی و بالاخره در شمال باختری دارای روند 30° باختری است به همین ترتیب سرعت حرکت این صفحه از خاور به باختر کاهش می‌یابد و آنرا به استقرار قطب اولر حرکت این دو صفحه در دریای مدیترانه ارتباط می‌دهند. همچنین با استناد به تغییر راستای حرکت صفحه عربستان به سمت ایران مرکزی از شمال خاور- جنوب باختر به شمال- جنوب، از تقریباً ۱۹ میلیون سال پیش (McQuarrie et al., 2003)، دوباره فعال شدن گسل اصلی عهد حاضر زاگرس در قالب گسل امتداد لغز را مسئول این تغییر سینماتیک می‌دانند (Navabpour et al., 2007). آهنگ کوتاه شدگی زاگرس بین خلیج فارس و رانندگی اصلی زاگرس در فارس 8 ± 2 میلی‌متر در سال است (Tatar et al., 2002; Walpersdorf et al., 2006) در ضمن زمین لرزه‌های رخ داده در محدوده مطالعاتی دارای ژرفای بیشینه ۲۰ کیلومتر هستند (Talebian & Jackson, 2004).

روش مطالعه

برای مشخص شدن سینماتیک (جنبش) و رژیم تنش در طول گسل‌های فعال از نظر زمانی و مکانی، تحلیل سینماتیکی توسط وارون سازی داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌های خط لغزش‌ها (fault slip) به تنسور تنش انجام شده است. وارون سازی با استفاده از برنامه رایانه‌ای که توسط Carey (1979) ارائه شده، انجام گردید. اساس، محدودیت‌ها و کاربردهای این روش و الگوریتم‌های لازم برای نواحی با رژیم زمین‌ساختی مختلف توسط Mercier et al. (1991) ارائه شده است. در ۲۹ ایستگاه این مطالعه انجام شده است که محل آن در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج وارون سازی در جدول‌های ۱، ۲ و شکل ۳ شامل جهت محورهای تنش اساسی تنسور تنش محاسبه شده ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)، بزرگای آنها و پارامتر شکل تنش که با نسبت $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_2 - \sigma_3)$ مشخص است، و از صفر تا ۱ تغییر



روش تثبیت شده ممکن است مقادیر R نامطمئن را ارائه نماید.

گرانشی توده سنگی است که در اثر حرکات راندگی بالا آمده‌اند.

گسل‌ها و آرایش گسلی در زاگرس مرتفع

(۱) گسل عهد حاضر زاگرس

شکل ۲ آرایش گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در چهار ایستگاه مبادرت به اندازه‌گیری خط لغزش شده است (۲، ۴، ۵ و ۶). از این میان، دو ایستگاه (۲ و ۴) در محلی بوده است که گسل MRF سازند کنگلومرای بختیاری را تحت تأثیر قرار داده است. شواهد به دست آمده از این دو ایستگاه نشان دهنده دو نسل از خط لغزش‌هاست که با توجه به قاعده برش (crosscutting) تنسور تنش جوان‌تر به دست آمده نشان دهنده رژیم امتداد لغز است (جداول ۱ و ۲ و شکل ۳). همچنین دو ایستگاه (۵ و ۶) در محل‌هایی است که گسل، واحدهای سنگی مربوط به پالئوزوییک را متأثر کرده است. در یکی از این ایستگاه‌ها صفحات گسلی دو نسل خط لغزش را نشان می‌دهد که به ترتیب دارای رژیم تنش راندگی و امتداد لغز هستند. نکته جالب توجه در نتایج به دست آمده آن است که اولاً رژیم تنش در امتداد گسل عهد حاضر زاگرس از راندگی به امتداد لغزی تغییر کرده و ثانیاً "جهت محور تنش بیشینه در دو رژیم دارای روند تقریبی شمالی-جنوبی است.

(۲) محل تقاطع گسل‌های کازرون و گسل عهد حاضر

انتقال دگرشکلی از گسل عهد حاضر به گسل کازرون یعنی جایی که فعالیت گسل عهد حاضر، به عنوان یک گسل امتداد لغز راست‌گرد، به حداقل می‌رسد، مقداری پیچیده به نظر می‌آید. نتایج مطالعات و مشاهدات صحرائی و اندازه‌گیری خط لغزش‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از این دگرشکلی توسط گسل‌های راندگی در انتهای شمالی گسل کازرون جذب می‌شود جایی که به واسطه این رویداد، این منطقه دارای ارتفاع محلی زیادی نسبت به مناطق مجاور است. از سوی دیگر، بخش عمده‌ای از این دگرشکلی توسط شاخه‌ای از گسل عهد حاضر که دارای خمیدگی به سمت جنوب است (قطعه آوردگان: ایستگاه ۷) و به واسطه این تغییر در روند (از شمال باختر-جنوب خاور به شمال خاور-جنوب باختر) دارای سینماتیک متفاوتی نسبت به گسل عهد حاضر شده است (یعنی تغییر از امتداد لغز راست‌گرد به امتداد لغز یا مورب لغز چپ‌گرد) جذب می‌شود. شکل ۴ نشان دهنده ساز و کار انتقال دگرشکلی از گسل عهد حاضر به گسل کازرون است. تفاوت ساختاری در باختر گسل کازرون نسبت به خاور آن به مقداری است که می‌توان از آن (انتهای شمالی گسل کازرون) به عنوان یک syntax یاد کرد. در پیشانی این syntax و در رسوبات جوان، منطقه وسیعی تحت تأثیر گسلش نرمال قرار گرفته است (ایستگاه ۸). به نظر می‌رسد گسل‌های نرمال نشان دهنده حرکات

(۳) گسل زاگرس مرتفع

به واسطه این که این گسل در واقع دارای یک پیکره مجزا نیست و خود از مقاطع مختلفی با سینماتیک مختلف تشکیل شده است بهتر است از آن به عنوان یک سامانه گسلی (fault system) نام برده شود. شکل ۲ این سامانه گسلی و ارتباط آن با گسل کازرون را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد در محل اتصال این سامانه گسلی به گسل کازرون، بخش عمده‌ای از دگرشکلی‌های زاگرس مرتفع نیز به گسل کازرون و مجموعه گسل‌های امتداد لغز موازات آن (مانند کره بس، سیزپوشان، سروستان و اردکان) منتقل می‌شود (برای مطالعه بیشتر به Authemayou et al., 2005 مراجعه شود). به عبارت دیگر در انتقال دگرشکلی از سامانه زمین‌ساختی با تسهم کرنش در زاگرس مرتفع باختری به سامانه راندگی در فارس گسل HZF نیز مشارکت داشته و در واقع در بخش شمالی گسل کازرون یک پیوستگاه سه‌گانه را با مشارکت گسل MRF تشکیل می‌دهد.

در دو منطقه‌ای که HZF به طور دقیق مطالعه شده است (قطعه سبز کوه و بازفت) شواهد کافی اعم از اندازه‌گیری سینماتیکی (جدول‌های ۱ و ۲) و انحراف آبراهه‌ها (شکل‌های ۵ و ۶) نشان دهنده تغییر رژیم زمین‌ساختی از راندگی به امتداد لغز است. به عنوان مثال قطعه سبز کوه را می‌توان یک پهنه گسلی ترافشارشی تلقی کرد که عملکرد آن سبز کوه را ایجاد کرده است. شکل ۷ این مورد را به خوبی نشان می‌دهد. پهنه مذکور در واقع یک ساختار غنچه‌ای را به تصویر می‌کشد که در آن یک گسل مرکزی امتداد لغز و گسل‌های همراه، با رژیم راندگی دیده می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها در این قطعه نشان دهنده تغییر رژیم زمین‌ساختی در اواخر پلیوسن است چون این تغییر در سازند کنگلومرای بختیاری نیز دیده شده است.

در قطعه بازفت (ایستگاه‌های ۲۵، ۲۴، ۲۳، ۲۲ و ۲۶) که می‌توان از آن به عنوان بلندترین قطعه در سامانه گسلی HZF نام برد شکل ۲ و انحراف آبراهه‌ها نیز گواهی بر این باورند (شکل ۶)، اندازه‌گیری‌ها در صفحات گسلی که سازند کنگلومرای بختیاری را متأثر کرده‌اند، نشان از وجود دو نسل از خط لغزش‌هاست که به ترتیب ناشی از دو رژیم فشاری و امتداد لغز است (شکل ۳). در بخش جنوب خاوری این قطعه (شکل ۸) گسل بازفت که سنگ‌های متعلق به کرتاسه را تحت تأثیر قرار داده، موجب شده است تا این سنگ‌ها از طریق سطح جداکننده (decollement) میشان بر روی رسوبات آبرفتی عهد حاضر و کنگلومرای بختیاری رانده شوند. این امر نشان دهنده حرکت خارج از توالی (out-of-sequency) در امتداد گسل HZF است که می‌توان آن را به حرکات اواخر پلیوسن (یعنی مربوط به مرحله بازسازماندهی حرکت

در منطقه‌ای که گسل عهد حاضر به گسل کازرون وصل می‌شود، از مطالعات پیشین متمایز می‌شود. در این محل بخش عمده‌ای از دگرشکلی توسط یک قطعه کوچک به نام آوردگان که دارای سینماتیک متفاوتی نسبت به گسل عهد حاضر است، به گسل کازرون منتقل می‌شود. به عبارت دیگر قطعه آوردگان در پایانه خاوری گسل عهد حاضر زاگرس (MRF)، دارای روند شمال خاوری-جنوب باختری (عکس روند اصلی MRF) است که این وضعیت موجب شده است با توجه به جهت تنش تقریباً شمالی-جنوبی، سینماتیک آن نیز متفاوت باشد.

۱-۲ گسل HZF: با یافته‌های جدید این گسل را (دست کم در زاگرس مرتفع باختری) نمی‌توان یک گسل راندگی محض قلمداد کرد، بلکه این گسل در پاره‌ای از قطعات کاملاً امتداد لغز هستند. در واقع هر یک از قطعات شمالی (سبزکوه) و جنوبی (بازفت) یک ساختار غنچه‌ای را شکل می‌دهند که می‌توان گسل‌های راندگی و امتداد لغز را با هم مشاهده کرد (شکل ۷). مقادیر R به دست آمده از تحلیل سینماتیک نیز نشان دهنده این گسل‌های با سینماتیک متداخل (mixed-mode) هستند. به نظر می‌رسد قطعه بازفت به همراه مسان در شمال باختر و قطعه کرمان به همراه ارمند در جنوب خاور یک ساختار غنچه‌ای را تشکیل می‌دهند که به ترتیب نقش امتداد لغز و راندگی را ایفا می‌کنند. در شکل ۱۱ انحراف تقریباً ۵۰۰ متری راست‌گرد آبراهه توسط فعالیت قطعه کرمان حاکی از این مسئله است. به نظر می‌رسد مجموعه گسل‌های دویلان، سبزکوه، مسان، کرمان، ارمند و جنوب خاور بازفت یک منطقه فشاری (restraint step over) در انتهای دو گسل راست‌گرد بازفت و کازرون باشد (شکل ۱۰).

۲) آهنگ لغزش در امتداد گسل عهد حاضر

در مورد فعالیت این گسل، اظهار نظرهای متفاوتی وجود دارد. بر مبنای داده‌های زمین‌شناسی و ریخت‌شناختی (Talebian and Jackson, 2002; Bachmanov et al., 2004); آهنگ لغزش (slip rate) برای این گسل در صورتی که آغاز فعالیت این گسل را ۵-۳ میلیون سال بدانیم، (Talebian & Jackson, 2002; Authemayou et al., 2006) ۱۰-۱۷ mm/year تغییر می‌کند و این با یافته‌های حاصل از مطالعات اندازه‌گیری‌های GPS (Vernant, et al., 2004; Walpersdorf et al., 2006) که در حدود ۲ میلی‌متر در سال است، مغایرت اساسی دارد. چهار دلیل را می‌توان برای این تفاوت زیاد ذکر نمود. نخست آنکه ممکن است حرکات امتداد لغزی و یا در یک عبارت کلی‌تر حرکات راست‌گردی در امتداد شمالی زاگرس مرتفع از دیرباز (قدیمی‌تر از ۳-۵ میلیون سال پیش) شروع شده باشد (e.g. Navabpour et al., 2007). دوم آن که در گذشته آهنگ حرکت در امتداد گسل عهد حاضر از آنچه که در عهد حاضر است

صفحه عربستان به سمت اوراسیا) نسبت داد. این مورد قبلاً توسط محققان دیگر (Molinari et al., 2005a) در شمال بندر عباس گزارش شده است و از آن به عنوان گذر از زمین‌ساخت نازک-پوسته (thin-skinned tectonic) به زمین‌ساخت ستر-پوسته (thick-skinned tectonic) نام می‌برند. در جای دیگر آنها (Molinari et al., 2005b) این فعالیت out-of-sequence را به تحولاتی که در گوشته به واسطه جداسدن تختال (slab break-off) اتفاق افتاده، نسبت می‌دهد که در اثر آن و یا در پی این فرایند، گسل‌های پی‌سنگی فعال شده‌اند. با این تفاوت که در مورد بازفت مرحله دوم (thick-skinned tectonic) یک ساز و کار راندگی محض را شامل نمی‌شود و می‌توان با توجه به اثراتی که بر روی سطوح گسلی در سازند کنگلومرای بختیاری دیده می‌شود (شکل ۹)، آن‌را به عنوان یک گسل امتداد لغز یا مورب لغز راست‌گرد در نظر گرفت (ایستگاه‌های ۲۴، ۲۲).

در مورد قطعات دیگر نظیر دویلان، میلی و ارمند اندازه‌گیری‌های خط لغزش بر روی سطوح گسلی که به طور عمده کنگلومرای بختیاری است نشان دهنده وجود رژیم زمین‌ساختی ترا فشاری تا امتداد لغز هستند. اطلاعات ما بر اساس نتایج به دست آمده از تسور تنش، مقادیر R و بزرگای محورهای تنش اساسی است که در جدول‌های ۱ و ۲ و در متن مقاله درباره آنها توضیح داده شده است. در مورد قطعات مسان، کرمان، آب باغ و ارمند اطلاعات ما به دلیل عدم وجود راه دسترسی به گسل، به ساز و کار کانونی زلزله‌های بزرگ اخذ شده از (CMT Solution) و خرد لرزه‌ها (Yaminifard et al., 2006) که در امتداد این گسل‌ها رخ داده و همچنین به خصوصیات زمین‌ریختی آنها محدود می‌شود (شکل ۱۰).

۴) گسل سمیرم

این گسل در واقع به نظر می‌رسد که تداوم به سمت جنوب خاور گسل عهد حاضر زاگرس است. بحث ساختاری و سینماتیکی این گسل به طور مفصل در مطالعات گذشته (Authemayou et al., 2006) آمده است. در دو ایستگاه ۲۸ و ۲۹ که در طول این گسل مبادرت به اندازه‌گیری شده است، و نتیجه آن در جدول ۱ و ۲ بازتاب شده است.

بحث

۱) سینماتیک گسل‌های موجود در زاگرس مرتفع
۱-۱ گسل عهد حاضر: همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است و در کارهای پیشین (Authemayou et al., 2006) نیز منعکس شده، گسل عهد حاضر دارای ساز و کار امتداد لغزی است و یافته‌های این مطالعه با دست آوردهای گذشته تا حدودی زیاد مطابقت دارد. این مطالعه با ارائه اطلاعات بیشتر بخصوص



یا گسل‌های دیگر مانند MFF منتقل می‌شود. با توجه به وارون سازی داده‌های به دست آمده از صفحات گسلی در سازند کنگلو برای بختیاری، به نظر می‌رسد که این تحول در رژیم تنش از راندگی به امتداد لغز در اواخر پلیوسن یعنی همزمان با باز سازماندهی حرکت صفحه عربی نسبت به اوراسیا اتفاق افتاده باشد. بنابراین، این پژوهش با اعتقاد به وجود سامانه تسهیم کرنش (Strain Partitioning) در زاگرس باختری، و امکان وجود حرکت راست گردی در طول کمربند زاگرس مرتفع، پیش از آن که باز سازماندهی حرکت صفحه عربی، پیشنهاد می‌کند که این تسهیم از نوع کامل (Complete Strain Partitioning) نیست، بلکه بخش‌هایی از مؤلفه امتدادلغزی در عرض کمربند رانده و چین خورده زاگرس توسط گسل‌های موجود مانند HZF جذب شده و فقط بخشی از این مؤلفه توسط گسل اصلی عهد حاضر زاگرس جذب می‌شود (Partial Strain Partitioning). این یافته می‌تواند ما را در جواب این پرسش که چرا آهنگ لغزش (slip rate) در امتداد گسل عهد حاضر زاگرس کاهش یافته کمک نماید.

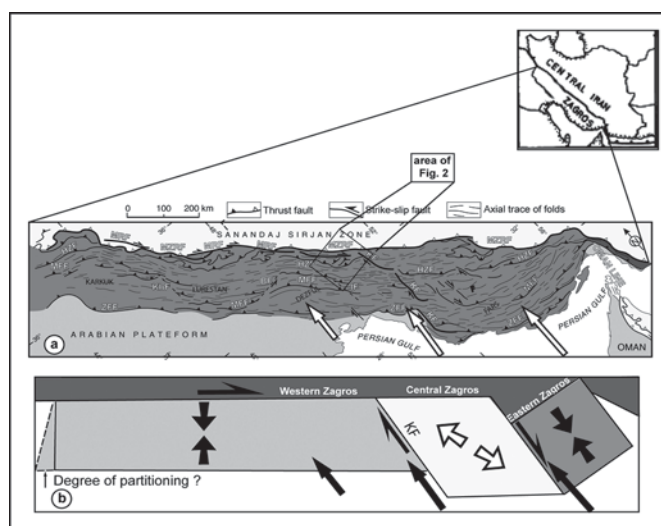
سپاسگزاری

مؤلفان از همکاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و استانداری چهارمحال و بختیاری بخصوص فرمانداری بروجن در تهیه امکانات مطالعاتی و رفاهی قدردانی می‌نمایند. از مساعدت‌های همکاران عزیز آقای مسعود مسی بیگی از بخش اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، سرکار خانم فرید و آقای سلیمانی از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله سپاسگزاری می‌شود.

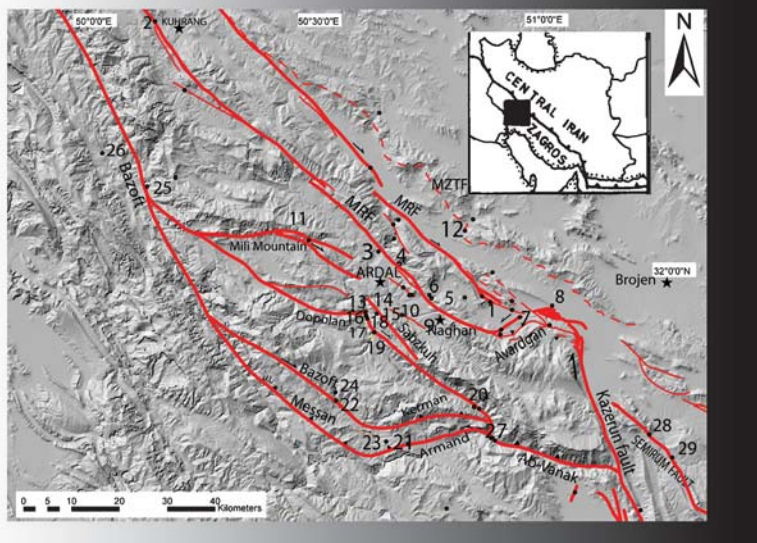
بیشتر باشد. به عبارت دیگر فعالیت این گسل در گذشته بیشتر از حال بوده و به موجب آن جابه‌جایی که اکنون شاهد آن هستیم با مقادیر گذشته منطبق نباشد. دلیل سوم را می‌توان در تفاوت ماهیت دگرشکلی زمین‌شناختی که یک فرایند کلی است، با دگرشکلی اندازه‌گیری شده توسط GPS که در یک مقطع کوتاه انجام می‌شود، جستجو کرد گرچه توافق بین این دو دگرشکلی در اغلب مطالعات گذشته نشان داده شده است (Relinger et al., 2006). بالاخره به عنوان دلیل چهارم، می‌توان بر آورد نادرست در میزان جابه‌جایی با تکیه بر شواهد زمین‌شناسی را ذکر کرد. با توجه به وجود مؤلفه‌های امتداد لغز در قطعات مختلفی از HZF از یک سو و با توجه به این که این حرکات از اواخر پلیوسن شروع شده است (وجود دو نسل راندگی و امتدادلغزی در سازند بختیاری و جوان تر بودن رژیم امتداد لغزی) از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که از آغاز باز سازماندهی، آهنگ حرکت امتداد لغزی در امتداد گسل عهد حاضر کاهش یافته است و این به دلیل جذب بخشی از این حرکت امتداد لغز توسط گسل HZF و احتمالاً MFF (Walpersdorf et al., 2006) است.

نتیجه‌گیری

با مطالعات انجام شده نشان داده شده است که رژیم زمین‌ساختی حاکم بر زاگرس مرتفع در تمام مقاطع راندگی محض نیست بلکه از رژیم امتداد لغز پیروی می‌کند. بنابراین از مجموع مؤلفه امتداد لغز در همگرایی مورب صفحه عربستان تنها بخشی از این حرکت توسط گسل MRF جذب می‌شود و بقیه توسط گسل HZF و



شکل ۱- (a) نقشه موقعیت کمربند چین خورده و رانده زاگرس را نشان می‌دهد. کادر مربع در زمینه نقشه نشان‌دهنده محل مورد مطالعه است. علائم اختصاری در نقشه در متن توضیح داده شده‌اند. (b) الگوی ساده شده‌ای از زمین‌ساخت فعال زاگرس را نشان می‌دهد. این الگو توسط (Talebian & Jackson, 2004) ارائه شده و در متن مقاله تشریح شده است. عمده هدف این مقاله، پاسخ به علامت سؤال است که در زیر این الگو آمده است: آیا تسهیم تنش در زاگرس باختری از نوع کامل است؟ (تغییر یافته از Authemayou et al., 2006).



شکل ۲- نقشه برجسته بر گرفته از نقشه رقمی STRM90 که در آن محل با شماره از ۱ تا ۲۹ ایستگاه‌هایی بوده‌اند که اندازه‌گیری در آنها انجام شده است. نام قطعات گسلی در کنار گسل آمده است. فلش به رنگ مشکی نشان‌دهنده گسل امتداد لغز و سینماتیک آن است. مثلث‌های کوچک روی قطعات نشان‌دهنده حرکت راندگی است. علامت ستاره محل شهر است.

جدول ۱- نتایج وارون سازی خط لغزش‌های اندازه‌گیری شده بر روی صفحات گسلی که بیان‌کننده تنش نسل دوم (تنش عهد حاضر) است.

Site No.	Latitude	Longitude	Formation	Azimuth/Plunge			R	N	M.D.	S.D.	Magnitude			Quality
				a1	a2	a3					a1	a2	a3	
1*	31.94	50.88	Eocene	17490	7190	2640	0.5	8	8	13.4	-0.72	0	0.72	P
2	32.23	50.14	Plio-Quaternary	18607	29064	59225	0.43	11	8.8	10.3	-0.71	-0.07	0.76	W
3	32.03	50.63	Cretaceous	014712	26854	11233	0.93	8	7.5	9.5	-0.88	0.4	0.48	P
4	31.98	50.69	Plio-Quaternary	02102	11871	20019	0.12	12	10	12.6	-0.9	0.39	0.51	W
5	31.95	50.75	Cambrian	17300	28379	08311	0.57	16	9.1	11.7	-0.75	0.05	0.69	W
6	31.95	50.74	Cretaceous	19403	07485	28405	0.2	15	9.7	12.8	-0.57	-0.28	0.85	W
7	31.91	50.94	Plio-Quaternary	168717	25807	00871	0.05	9	6.4	7.8	-0.84	0.1	0.73	P
8	31.93	50.97	Plio-Quaternary	04484	25505	16503	0.84	19	12.2	13.36	0.61	0.3	0.5	W
9*	31.91	50.7	Plio-Quaternary	11300	27200	02300	0.48	8	8.75	9.3	-0.81	-0.02	0.83	P
10	31.92	50.68	Plio-Quaternary	33512	24118	09858	0.77	8	10	12.5	-0.9	0.27	0.68	P
11*	32.05	50.48	Eocene	21500	10099	30500	0.3	9	5.8	6.7	-0.77	-0.28	1	P
12	32.08	50.82	Cretaceous	05901	15201	32308	0.91	12	8.3	13	-1	0.45	0.58	W
13*	31.92	50.6	Plio-Quaternary	22300	13200	31300	0.85	8	11.87	15	-0.97	0.37	0.6	P
14*	31.92	50.62	Plio-Quaternary	18100	01600	27000	0.2	8	11.25	13.69	-0.54	-0.26	0.8	P
15	31.92	50.62	Cretaceous	35104	08104	21485	0.41	12	9.6	12.8	-0.87	-0.09	0.75	W
16	31.91	50.6	Plio-Quaternary	25503	34506	14184	0.48	16	11.38	13.96	-0.71	-0.02	0.73	W
17*	31.91	50.6	Plio-Quaternary	10600	19789	01601	0.98	8	2.5	6.25	-0.86	0.42	0.44	P
18	31.88	50.62	Plio-Quaternary	22406	31640	11075	0.83	12	14.58	18.3	-0.96	0.36	0.62	W
19	31.89	50.62	Plio-Quaternary	20701	29851	11629	0.92	13	13.6	17.8	-0.94	0.41	0.53	W
20*	31.74	50.85	Cambrian-Plio-Quaternary	15200	03390	24400	0.84	12	11.25	13.78	-0.97	0.27	0.53	W
21	31.670	50.69	Plio-Quaternary	28640	02850	18528	0.89	6	10.83	9.4	-0.83	0.12	0.71	P
23	31.68	50.85	Plio-Quaternary	19203	28316	09174	0.52	14	13.57	17.5	-0.74	0.02	0.72	W
24	31.75	50.538	Plio-Quaternary	00413	25762	19396	0.99	12	9.16	11.1	-0.85	0.42	0.43	W
25	32.15	50.118	Plio-Quaternary	15312	03368	24718	0.35	8	9.37	11.45	-0.78	-0.16	0.93	P
26*	32.21	50.018	Plio-Quaternary	15900	35490	24000	0.6	11	11.6	11.9	-0.95	0.15	0.81	W
27*	31.68	50.888	Cretaceous	09901	20989	33802	0.62	6	18.5	29.26	-0.79	-0.11	0.65	P
28*	31.68	51.239	Eocene	20300	07390	29300	0.33	12	12.5	43.3	-0.71	-0.18	0.89	W
29*	31.65	51.28	Plio-Quaternary	11501	20501	32880	0.44	8	11.25	11.8	-0.7	-0.06	0.75	P

“P”: مربوط به داده‌هایی که از قواعد فوق پیروی نمی‌کنند.

“*”: ایستگاه‌هایی که در آن وارون‌سازی به روش محور ثابت شده انجام گرفته است.

بزرگای تنش اساسی: $\sigma_3, \sigma_2, \sigma_1$

فاکتور شکل تنش: $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$

M.D. میانگین زاویه عدم انطباق: $M.D. = (\sum(\tau, s)) / N, (\tau, s)$

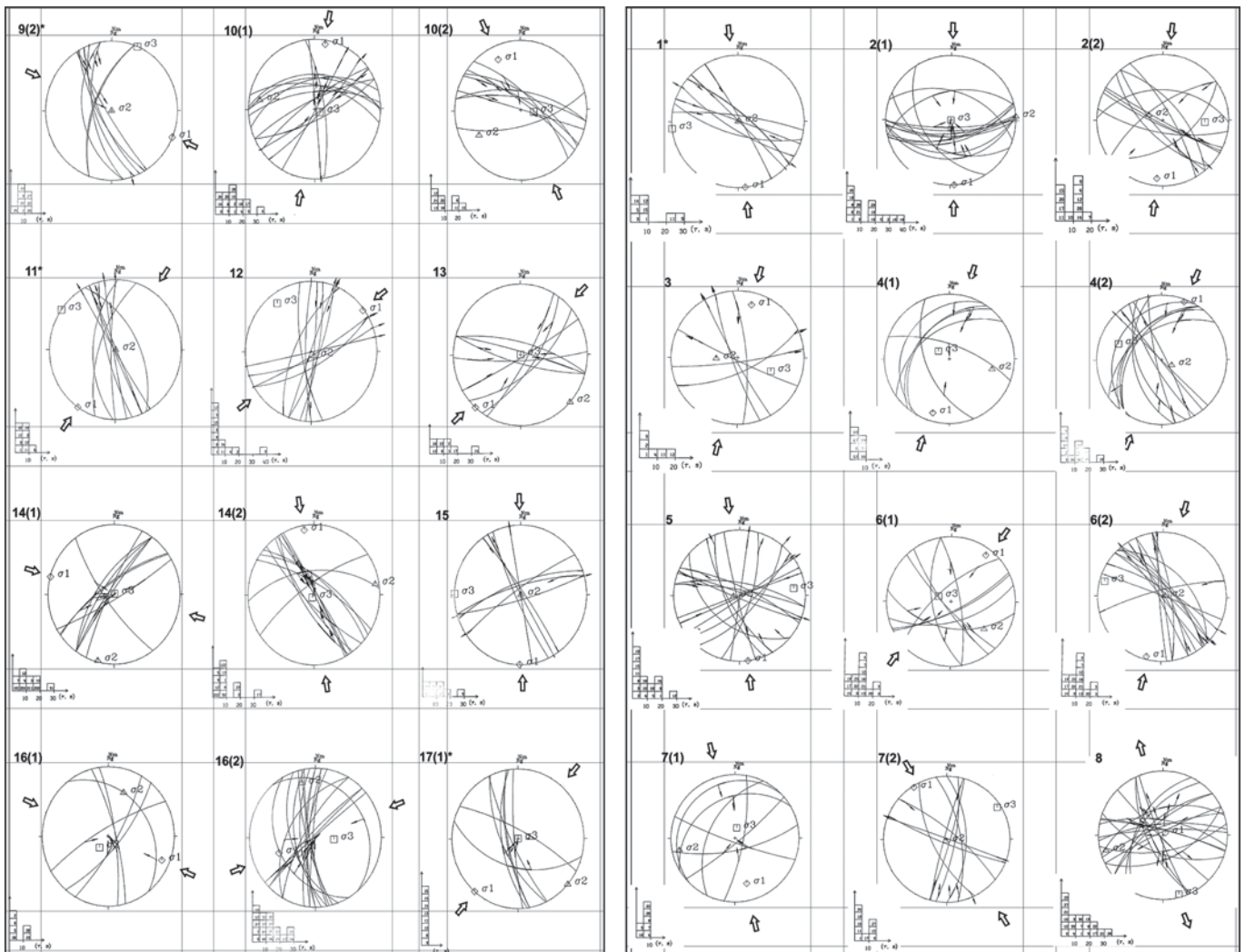
S.D. انحراف معیار: $S.D. = (\sum(\tau, s)^2) / N^{1/2}$

“W” مربوط به داده‌هایی که از قاعده Bellier & Zoback (1995) به صورت زیر پیروی می‌کنند:

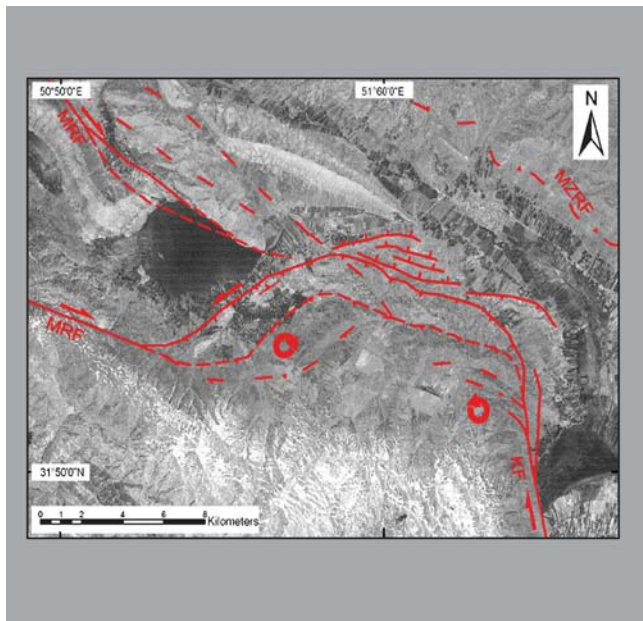
$N > 11, M.D. < 13, M.D < S.D < 3/2 M.D, 70^\circ < \alpha_v \text{ plunge} < 90^\circ, \alpha_{\text{hmin}}$ and $\alpha_{\text{hmax}} \text{ plunge} < 20^\circ$

جدول ۲- نتایج وارون سازی خط لغزش ها اندازه گیری شده بر روی صفحات گسلی که بیان کننده تنش نسل اول (تنش دیرینه) است.

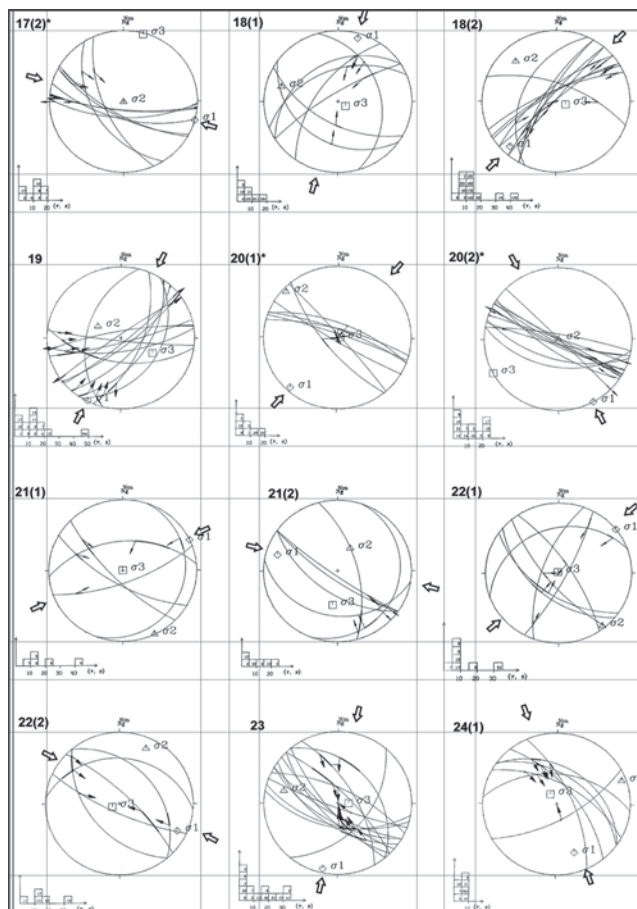
Site No.	latitude	longitude	Formation	Azimuth/Plunge			R	N	M.D	S.D	Magnitude			Quality
				σ_1	σ_2	σ_3					σ_1	σ_2	σ_3	
2*	32.33	50.2	Pliocene-Quaternary	1770	087700	295/60	0.52	15	13.8	10.3	-0.72	0.02	0.7	W
6	31.95	50.74	Pliocene-Quaternary	036/06	129/23	292/66	0.61	15	9.6	12.76	-0.87	0.12	0.75	W
7	31.91	50.94	Pliocene-Quaternary	329/01	215/86	058/03	0.95	7	6.1	6.5	-0.99	0.46	0.53	P
9	31.91	50.7	Pliocene-Quaternary	239/02	330/20	144/70	0.51	9	16.3	15.8	-0.78	0.01	0.77	P
10	31.92	50.68	Pliocene-Quaternary	010/04	279/10	119/80	0.58	15	12.8	15.26	-0.75	0.06	0.69	W
15*	31.92	50.62	Cretaceous	285/00	195/10	23/89	0.39	10	11.5	13.6	-0.63	-0.15	0.78	P
16	31.91	50.61	Pliocene-Quaternary	113/07	020/22	220/66	0.18	6	5.8	7.5	-0.58	-0.31	0.9	P
17*	31.91	50.6	Pliocene-Quaternary	221/00	131/00	315/00	0.13	8	2.5	6.25	-0.49	-0.32	0.81	P
18	31.88	50.62	Pliocene-Quaternary	016/04	285/13	123/76	0.85	7	7.5	9.2	-0.85	0.32	0.53	P
20*	31.74	50.85	Cambrian+Pliocene-Quaternary	221/00	311/00	090/60	0.2	7	7.5	9.2	-0.54	-0.27	0.81	P
21*	31.67	50.69	Pliocene-Quaternary	65/00	155/00	322/90	0.88	5	19.5	23	-0.91	0.37	0.54	P
22	31.75	50.55	Cretaceous	052/00	142/02	322/66	0.97	7	11.78	15.1	-1.01	0.49	0.52	P
22	31.75	50.55	Cretaceous	116/08	025/09	246/78	0.89	6	15.5	18.1	-0.93	0.38	0.55	P
24	31.75	50.55	Pliocene-Quaternary	160/18	069/04	328/71	0.53	7	5.3	5.9	-0.81	0.03	0.78	P
25	32.15	50.12	Pliocene-Quaternary	346/06	077/07	218/81	0.72	5	5.5	6	-0.82	0.21	0.61	P
26*	32.21	50.02	Pliocene-Quaternary	180/00	276/00	090/60	0.88	4	10	10.89	-0.81	0.33	0.48	P
27*	31.68	50.89	Cambrian	136/00	046/00	345/00	0.18	5	9.5	11.6	-0.53	-0.28	0.81	P
27	31.68	50.89	Cambrian	254/08	350/37	153/52	0.79	6	10.8	8.5	-0.87	0.29	0.59	P



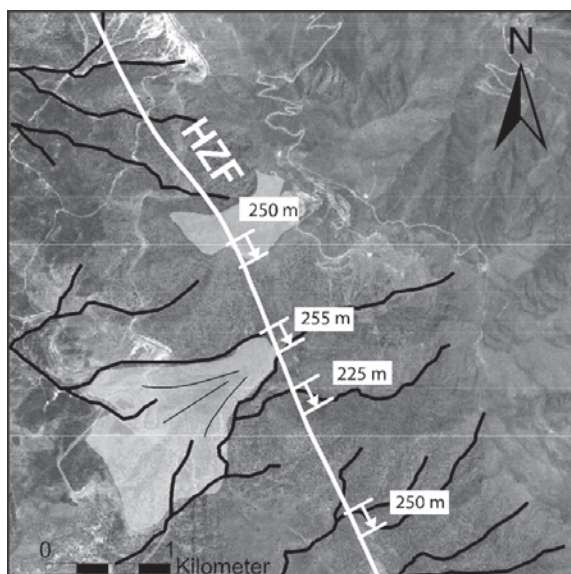
شکل ۳- صفحات گسلی و ساز و کار آنها که به کمک شبکه اشمیت رسم شده است. زاویه ناهمخوانی (محور افقی) و تعداد صفحات اندازه گیری شده مربوطه (محور عمودی) در سمت چپ آمده است.



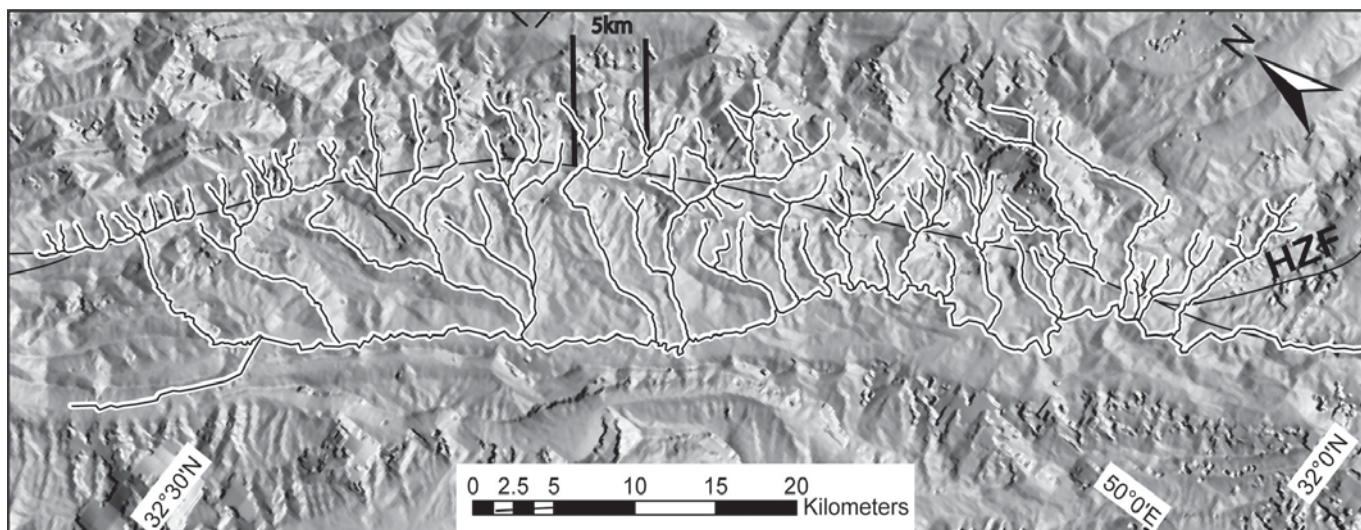
شکل ۴- محل تقاطع دو گسل فعال کازرون (KF) و گسل عهد حاضر زاگرس (MRF) بخش عمده دگرشکلی توسط قطعه آوردگان که با سینماتیک چپ گرد نشان داده شده است، منتقل می شود. به نظر می رسد حرکت راست گردی در امتداد گسل کازرون و چپ گردی در راستای قطعه آوردگان موجب حرکت به ترتیب پادساعتگرد و ساعتگرد در مناطق مجاور شده است. توده بالا آمده تحت تأثیر این ساز و کار در اثر ناپایداری گرانشی در پیشانی این جبهه دگر شکلی (syntax) گسلش عادی را موجب شده اند.



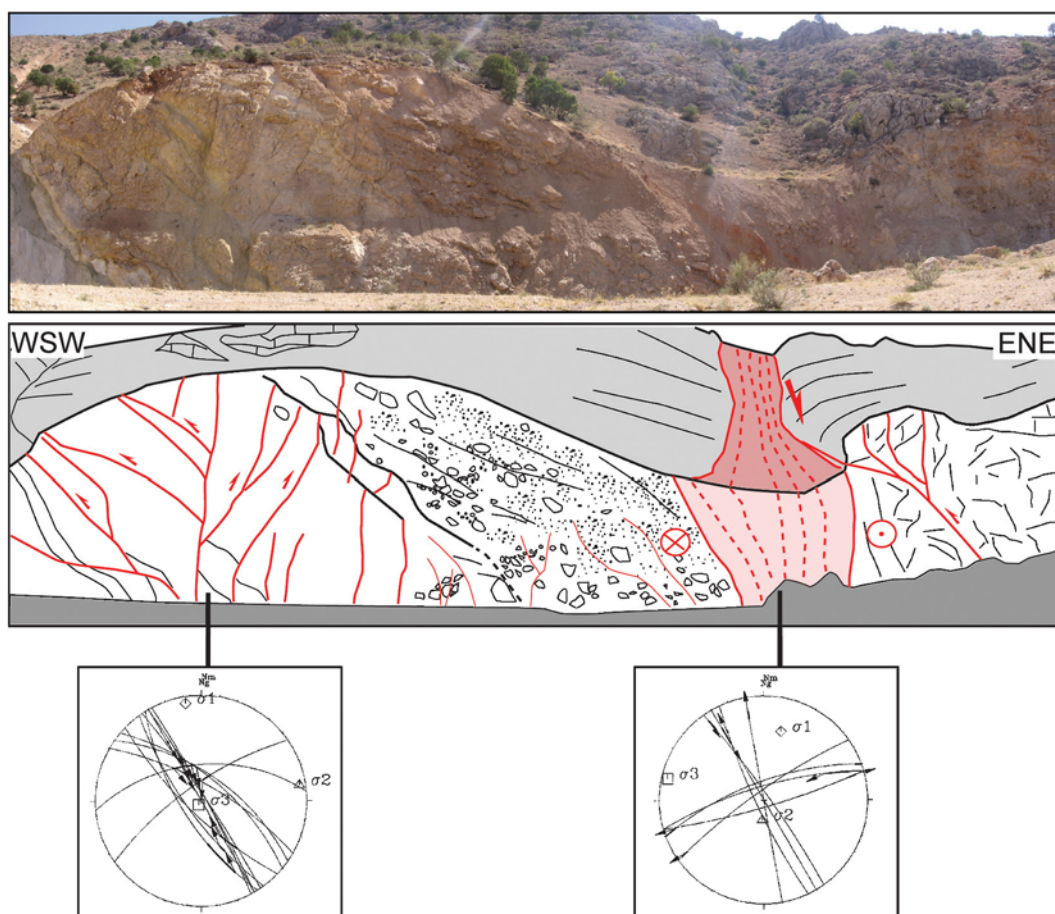
ادامه شکل ۳



شکل ۵- مقطعی از قطعه گسلی سبز کوه که موجب انحراف آبراهها و پشته ها شده است. این دگر شکلی ها نشان دهنده وجود مؤلفه راست گرد در سینماتیک این قطعه از گسل HZF است.



شکل ۶- انحراف راست گرد شبکه‌های زهکشی در امتداد قطعه گسلی بازفت که طولی‌ترین قطعه گسلی HZF است، نشان‌دهنده وجود مؤلفه راست گرد در سینماتیک این قطعه است. میزان جابه‌جایی میانگین ۵ km است که نسبت به قطعه سبز کوه بسیار بیشتر به نظر می‌رسد.



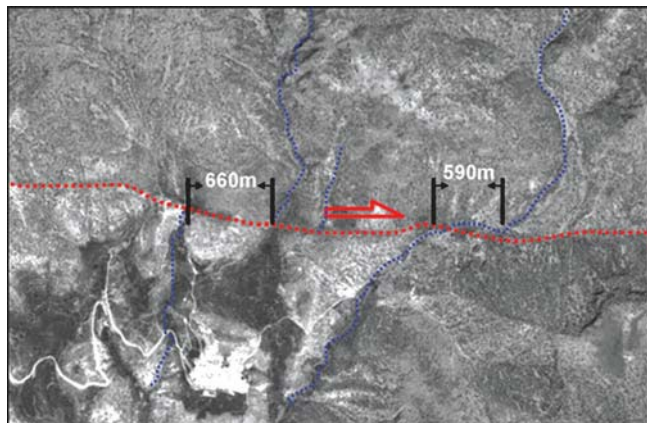
شکل ۷- مقطعی از قطعه گسلی سبز کوه که نشان‌دهنده یک ساختار غنچه‌ای (flower structure) در مجاورت یک گسلش امتداد لغزی است. این گسلش که واریزه‌ها را متأثر ساخته دارای سینماتیک راست گرد است.



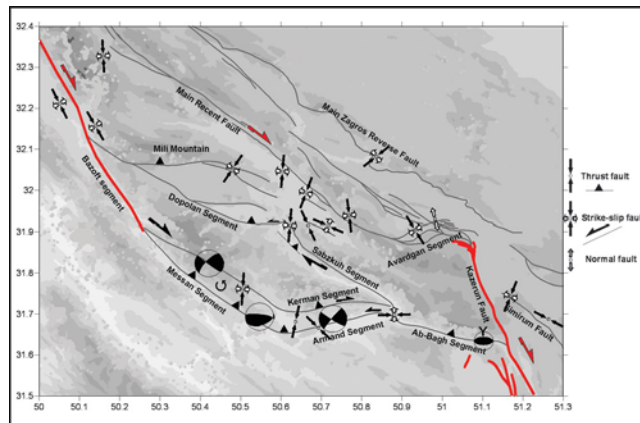
شکل ۸- مقطعی از گسل بازفت که در آن سازندهای مربوط به کرتاسه روی سازند میشان و کنگلومرای بختیاری رانده شده‌اند. سازند میشان در حرکت توده سنگ‌های متعلق به کرتاسه به عنوان یک سطح جدایش عمل می‌کند و گسلش در بخش مرکزی خود شامل حرکات امتداد لغز با مؤلفه راست گرد است.



شکل ۹- مقطعی از سازند کنگلومرای بختیاری که توسط قطعه گسل بازفت تحت تأثیر قرار گرفته است. سینماتیک این گسلش با خط لغزش‌هایی که روی تخته‌سنگ‌های این سازند به جای گذاشته شده است، قابل ملاحظه است. همان گونه که مشاهده می‌شود، دو نسل از خط لغزش‌ها قابل پی‌گیری است که با توجه به قطع شدن خط لغزش با سینماتیک راندگی (۱) توسط امتداد لغز (۲)، جوان تر بودن رویداد امتداد لغز نتیجه‌گیری می‌شود.



شکل ۱۱- انحراف راست گرد آبراهه نشان دهنده تداوم سینماتیک ترا فشارشی در امتداد HZF از شمال باختر به جنوب خاور است.



شکل ۱۰- نقشه‌ای که نتایج تحلیل سینماتیکی را در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود از شواهد صحرائی، تحلیل سینماتیک، سازوکار کانونی زلزله‌ها می‌توان ساز و کار گسل‌های موجود و رژیم تنش حاکم را به دست آورد. سازوکار کانونی که روی آن با Y مشخص شده است از روی مطالعات خرد لرزه (Yaminifard et al., 2006) برگرفته شده است.

کتابنگاری

عباسی، م.ر.، شباتیان بروجنی، ا.، ۱۳۸۴- تعیین وضعیت تنش به روش برگشتی از صفحه‌های گسلی لبه جنوبی البرز مرکزی. علوم زمین شماره ۵۵
عباسی، م.ر.، فرید، ی.، ۱۳۸۳- مقدمه‌ای بر تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی صفحه‌های گسلی و خط‌خس‌های مربوطه. علوم زمین شماره ۵۴

References

- Alavi, M., 1994 - Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations, *Tectonophysics*, 229, 211 – 238.
- Allen, M. B., Jackson, J. & Walker, R., 2004 - Late Cenozoic re-organization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and longterm deformation rates, *Tectonics*, 23, TC2008, doi:10.1029/2003TC001530.
- Angelier, J. , 1984- Tectonics analysis of slip data sets, *J. Geophys. Res.*, 89, 5835 – 5848.
- Authemayou, C. et al., 2007- Quaternary slip-rates along the Kazerun and the Main Recent Faults: evidence for slip partitioning in the Zagros fold and thrust belt.
- Authemayou, C., Bellier, O. , Chardon, D. , Malekzadeh, Z. & Abbassi, M., 2005a- Role of the Kazerun Fault system in active deformation of the Zagros Fold-and-Thrust belt (Iran), *C. Acad. Sci., Geoscience*, 337, 539-545
- Authemayou, C., D. Chardon, O. Bellier, Z. Malekzade, I. Shabanian & M. Abbassi, 2005- Late Cenozoic Partitioning of oblique plate convergence in the Zagros Fault-and-Thrust belt (Iran), *Tectonics*, VOL. 25, TC3002, doi:10.1029/2005TC001860.
- Bachmanov, D. M., Trifonov, V. G., Hessami, K. T., Kozhurin, A. I., Ivanova, T. P., Rogozhin, E. A., Hademi, M. C. & Jamali, F. H., 2004-- Active faults in the Zagros and central Iran, *Tectonophysics*, 380, 221 – 241.
- Baker, C., Jackson, J. & Priestley, K. , 1993- Earthquakes on the Kazerun line in the Zagros Mountains of Iran: Strike-slip faulting within a fold-and-thrust belt, *Geophys. J. Int.*, 115, 41 – 61.

- Bellier, O. & Zoback, M., 1995- Recent state of stress change in the Walker Lane zone, western Basin and Range province, United States, *Tectonics*, 14, 564 – 593.
- Berberian, M., 1995- Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds : active basement tectonics and surface morphotectonic, *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981-Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Can. J. Earth Sci.*, 18, 210 – 285.
- Blanc, E. J.-P., Allen, M. B., Inger, S. & Hassani, H., 2003- Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran, *J. Geol. Soc. London*, 160, 401 – 412.
- Carey, E., 1979- Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles, *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.*, 21, 57 – 66.
- Jackson, J. A. & McKenzie, D. P., 1988- The relationship between plate motion and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 93, 45 – 73.
- McQuarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C. & Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 30(20), 2036, doi:10.1029/2003GL017992.
- Mercier, J., L., Carey-Gailhardis, E. & Se'brier, M., 1991- Paleostress determinations from fault kinematics: Application to the Neotectonics of the Himalayas-Tibet and the central Andes, *Philos. Trans. R. Soc. London*, 337, 41 – 52.
- Molinaro, M., Guezou, P. J. C., Frizon de Lamotte, D. & Eshraghi, S. A., 2005a- The structure and kinematics of the south-eastern Zagros foldthrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics, *Tectonics*, 24, TC3007, doi:10.1029/2004TC001633.
- Molinaro, M., Zeyen, H. & Laurencin, X., 2005b- Lithospheric structure underneath the south-eastern Zagros Mountains, Iran: Recent slab break-off?, *Terra Nova*, 17, 1–6. ntitental tectonics in aftermath of plate tectonics, *Nature*, 335, 131-137, 1988.
- Navabpour, P., Angelier, J., Barrier, E., 2007- Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province), *Tectonophysics*, 432, 101–131
- Reilinger, R. et al., 2006- GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions *Journal of Geophysical Research*, VOL. 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2005- Role of the Kazerun Fault zone in the formation and deformation of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran, *Tectonics*, 24, TC5005, doi:10.1029/2004TC001725.
- Stoneley, R., 1981- The geology of the Kuh-e Dalneshin area of southern Iran, and its bearing on the evolution southern Tethys, *J. R. Soc. London*, 138, 509 – 526.
- Talebian, M. & Jackson, J., 2004 - A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros Mountains of Iran, *Geophys. J. Int.*, 156, 506 – 526.
- Talebian, M. & Jackson, J., 2002- Offset on the Main Recent Fault of the NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia Eurasia collision zone, *Geophys. J. Int.*, 150, 422 – 439.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J. Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M. & Chéry, J., 2002- The present-day deformation of the central Zagros from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 29(19), 1927, doi:10.1029/2002GL015427.



- Tchalenko, J. S. & Braud, J., 1974 - Seismicity and structure of Zagros (Iran): The Main Recent Fault between 33° N and 35° N, *Philos. Trans. R. Soc. London*, 277, 1 – 25.
- Vernant, P., et al., 2004- Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157, 381 – 398
- Walpersdorf, A., Hatzfeld, D., Nankali, H., Tavakoli, F., Nilforoushan, F., Tatar, M., Vernant, P., Chéry J. & F. Masson, 2006- Difference in the GPS deformation pattern of North and Central Zagros (Iran), *Geophysical Journal International*, in press.
- Westaway, R., 1994- Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, 99, 12,071 – 12,090.
- Yamini-Fard, F., Hatzfeld, D., Tatar, M. & Mokhtari, M., 2006- Microseismicity on the Kazerun fault system (Iran): Evidence of a strike-slip shear zone and a thick crust, *Geophys. J. Int.*, in press.