

# هندسه، سازوکار و تکوین ساختاری پهنه گسلی چشمه‌نی در البرز خاوری - الله‌داغ

امیر نعیمی<sup>۱</sup>، قاسم حیدرزاده<sup>۲</sup> و محمد رضا شیخ‌الاسلامی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، تهران، ایران؛ گروه زمین‌ساخت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران؛ گروه زمین‌ساخت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۶/۳۱

## چکیده

پهنه گسلی چشمه‌نی با طول حدود ۱۰۰ کیلومتر و روند عمومی شمال خاوری - جنوب باختری در رشته کوه‌های البرز - الله‌داغ قرار گرفته است. این پهنه متشکل از گسل‌های بسیاری است که به‌طور عمده دارای شیب زیاد  $40^{\circ}$  -  $85^{\circ}$  به سمت شمال باختر یا جنوب خاور هستند. این پهنه متعلق به سامانه گسلی شاهرود و دارای جنبش چپ‌بر است. شواهد ریخت‌زمین‌شناسی از جمله آبراه‌های منحرف شده، مخروط‌افکنه‌های جا‌جا شده و نهشته‌های کواترنری بریده شده نشان‌دهنده پویا بودن پهنه گسلی چشمه‌نی در کواترنری هستند. برنزود واحدهای پالئوزویک و مزوزویک در مجاورت یا بر روی واحدهای جوان‌تر به همراه وجود صفحات گسلی با سازوکار راندگی نشان می‌دهند که دست‌کم یک سازوکار راندگی در بخشی از دوره تکوین ساختار این گسل وجود داشته است. از سوی دیگر پهنه گسلی چشمه‌نی بر روی خط‌واره مغناطیسی F-431 منطبق شده است و به نظر می‌رسد در نتیجه فعالیت این گسل پی‌سنگی تشکیل شده است. این پهنه گسلی مرز بین دو حوضه البرز و کپه‌داغ را شکل داده و یک پهنه گسلی عادی محدودکننده حوضه است که تغییر سازوکار داده و به یک پهنه گسلی راندگی مبدل شده است. این تغییر سازوکار به احتمال در اثر حرکت بلوک ایران به طرف توران و کپه‌داغ در تریاس و با پدیده وارون شدگی در کرتاسه پسین روی داده است. به دنبال تجدید سازمان در دگرشکلی ناحیه‌ای در پهنه برخورد عربی - اوراسیا در بازه ۳ تا ۷ میلیون سال پیش و یا در کواترنری، پهنه گسلی چشمه‌نی به یک پهنه گسلی با مؤلفه چیره چپ‌بر مبدل شده است.

**کلیدواژه‌ها:** شمال خاور ایران، پهنه گسلی چشمه‌نی، گسلش چپ‌بر، سامانه گسلی شاهرود.

\***نویسنده مسئول:** امیر نعیمی

E-mail: Naeimi60@gmail.com

## ۱ - مقدمه

بیشتر دگرشکلی کنونی در ایران از برخورد صفحه‌های عربی و اوراسیا ناشی می‌شود (Allen et al., 2004, 2006; Walker & Jackson, 2004). این برخورد منجر به گسلش راندگی همراه با مؤلفه امتدادلغز در رشته‌کوه‌های فعال البرز (Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003; Guest et al., 2006) و زاگرس (Lyberis & Manby, 1999; Hollingsworth et al., 2006a, b, 2008) می‌شود. در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری بر روی بخش‌های مختلف شمال خاور ایران انجام شده است. برای مثال (Tchalenko (1975; Lyberis & Manby (1999) و همکاران (Hollingsworth et al., 2006 a,b, 2007, 2008) و همکاران (۱۳۸۲) و همچنین می‌توان به مطالعات (Zamani et al., 2008) و (Shabanian et al., 2010) اشاره کرد. با این سبزواری و حقی‌پور (۱۳۸۶) بر روی ریخت‌زمین‌شناسی این ناحیه اشاره کرد. با این حال هنوز در مورد بخش‌های گسترده‌ای از این ناحیه اطلاعات زیادی در دست نیست. افزون‌بر آن، بیشتر پژوهش‌ها بر پایه مطالعات زمین‌ساخت پویا و یا بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی بوده و ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل‌ها کمتر مورد توجه بوده‌اند. در این مطالعه به بررسی ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل چشمه‌نی در شمال و شمال باختر شهرستان جاجرم پرداخته شده است. با این که این گسل در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دوزین (Salamati & Shafei, 2001) برداشت شده، اما چندان مطالعه

مورد مطالعه در ادامه خاوری البرز و در رشته‌کوه‌های البرز - الله‌داغ قرار گرفته است (شکل ۲). رشته‌کوه‌های البرز - الله‌داغ به‌وسیله زمین‌درز پالئوتتیس از کپه‌داغ جدا می‌شوند (Alavi, 1992, 1996). در البرز خاوری - الله‌داغ گسل‌ها روند ENE و سازوکار چپ‌بر دارند (Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). به‌گونه‌ای که گسل‌های مشاء، فیروزکوه و پهنه گسلی شاهرود به روشنی نشان‌دهنده حرکات چپ‌بر جوان در این بخش از البرز هستند (Hollingsworth et al., 2008; Ritz et al., 2006; Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). در البرز خاوری در باختر طول جغرافیایی  $30^{\circ}$   $55^{\circ}$  خاوری، کوتاه‌شدگی عمود بر رشته‌کوه (arc-normal shortening) بیشتری به دلیل تقسیم کرنش به حرکت بر روی گسل خزر و گسل‌های امتدادلغز آستانه و فیروزکوه روی می‌دهد. حال آن‌که در خاور طول جغرافیایی  $30^{\circ}$   $55^{\circ}$  خاوری (باختر منطقه مورد مطالعه)، گسل خزر پایان می‌یابد و دگرشکلی البرز خاوری اساساً بر روی پهنه گسلی شاهرود که می‌تواند تا حدود  $3 \text{ mm/yr}$  لغزش داشته باشد، روی می‌دهد (Hollingsworth et al., 2006b) (شکل ۳).

## ۲ - موقعیت زمین‌شناسی و زمین‌ساختی

منطقه مورد مطالعه در ادامه خاوری البرز و در رشته‌کوه‌های البرز - الله‌داغ قرار گرفته است (شکل ۲). رشته‌کوه‌های البرز - الله‌داغ به‌وسیله زمین‌درز پالئوتتیس از کپه‌داغ جدا می‌شوند (Alavi, 1992, 1996). در البرز خاوری - الله‌داغ گسل‌ها روند ENE و سازوکار چپ‌بر دارند (Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). به‌گونه‌ای که گسل‌های مشاء، فیروزکوه و پهنه گسلی شاهرود به روشنی نشان‌دهنده حرکات چپ‌بر جوان در این بخش از البرز هستند (Hollingsworth et al., 2008; Ritz et al., 2006; Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). در البرز خاوری در باختر طول جغرافیایی  $30^{\circ}$   $55^{\circ}$  خاوری، کوتاه‌شدگی عمود بر رشته‌کوه (arc-normal shortening) بیشتری به دلیل تقسیم کرنش به حرکت بر روی گسل خزر و گسل‌های امتدادلغز آستانه و فیروزکوه روی می‌دهد. حال آن‌که در خاور طول جغرافیایی  $30^{\circ}$   $55^{\circ}$  خاوری (باختر منطقه مورد مطالعه)، گسل خزر پایان می‌یابد و دگرشکلی البرز خاوری اساساً بر روی پهنه گسلی شاهرود که می‌تواند تا حدود  $3 \text{ mm/yr}$  لغزش داشته باشد، روی می‌دهد (Hollingsworth et al., 2006b) (شکل ۳).

Hollingsworth et al. (2008) بر این باورند که از ۱۰ میلیون سال پیش، حوضه خزر جنوبی شروع به حرکت غرب‌گرا نسبت به ایران و اوراسیا کرد و پهنه گسلی عشق‌آباد در شمال و پهنه گسلی شاهرود در جنوب به تحقق این خروج غرب‌گرا کمک می‌کنند. پهنه گسلی چشمه‌نی بخشی از سامانه گسلی شاهرود به حساب می‌آید (شکل ۳). بنابراین کوتاه‌شدگی در این ناحیه به‌صورت جنبش چپ‌بر محقق می‌شود.

گسل قرمزیه با طول بیش از ۵/۵ کیلومتر و روند شمال خاوری- جنوب باختری به موازات گسل اصلی چشمه‌نی قرار گرفته است. گسل قرمزیه در بخش‌هایی درون آهک‌های کرتاسه عمل کرده و در بخش‌هایی دیگر هم این واحد و کنگلومرای پالئوسن را در کنار هم یاد رکنار نهشته‌های اتوسن قرار داده است (شکل‌های ۹-الف و ب). میانگین صفحات گسلی برداشت شده وضعیت گسل را ۸۱/۱۳۴ و خش‌لغزش‌های موجود روی صفحه گسل سازوکار آن را چپ‌بر با مؤلفه راندگی نشان می‌دهند (شکل ۹-ج).

### ۳-۳. محدوده باختر کاشیدار

در باختر کاشیدار گسل اصلی چشمه‌نی واحد کنگلومرای پلیوسن- کواترنری را بریده است و در بخش‌هایی نیز باعث جابه‌جایی واحد شیل و ماسه‌سنگ شمشک شده است (شکل ۱۰). بر اثر عملکرد گسل قزقلعه، سازند باروت و سازندهای جوان‌تر شمشک، لار و آهک‌های کرتاسه در کنار هم قرار گرفته‌اند. رخنمون سازند باروت به سن پالئوزویک زیرین (کامبرین) در راستای این گسل می‌تواند نشانگر جنبش‌های ژرف در این راستا باشد. دیواره گسل قزقلعه در بخش زیادی از درازای آن بر روی زمین قابل مشاهده و پیگیری است (شکل ۱۱-الف). ویژگی‌های صفحه گسل به صورت ۸۵/۱۲۵ است. در راستای بخش شمال خاوری این گسل، دره ژرفی پدید آمده است.

– **گسل یگسرا** دارای راستای شمال خاوری- جنوب باختری و سازوکار راستالغز چپ‌بر است و در راستای آن سازندهای باروت (کامبرین)، شمشک (ژوراسیک زیرین)، لار (ژوراسیک بالایی) و نهشته‌های اتوسن در سطح بریده شده‌اند. صفحه گسل در بیشتر درازای آن پرسیب تا قائم است اما در بخش جنوب باختری به سوی جنوب خاور شیب دارد. ویژگی‌های صفحه گسل در بخش میانی ۸۰/۱۳۲ و در بخش جنوب باختری ۶۰/۱۲۳ است. در درازای گسل، دره‌ای ژرف و مستقیم شکل گرفته است. گسل FI با راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری بخشی از پهنه گسلی چشمه‌نی در این ناحیه است. دنباله گسل FI به سوی جنوب باختر نیز در دره تیل‌آباد ادامه می‌یابد. سازوکار این گسل نیز بر اساس خش‌لغزش‌های موجود روی صفحه گسل، راستالغز چپ‌بر است و در راستای آن سازندهای شمشک (ژوراسیک زیرین) و لار (ژوراسیک بالایی) و آهک کرتاسه بریده و جابه‌جا شده است. در یک قسمت بلوک جنوب خاوری گسل متشکل از آهک کرتاسه است و بلوک شمال باختری آن از سازندهای ژوراسیک تشکیل شده است. در راستای گسل FI دره‌ای ژرف و مستقیم تشکیل شده است که صفحه گسل دیواره آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۲-الف). صفحه گسل در بیشتر نقاط، پرسیب و دیواره‌ساز است اما در برخی بخش‌ها شیب کمتری دارد. ویژگی‌های صفحه گسل در بخش جنوب باختری ۷۵/۳۱۷ است (شکل ۱۲-ب).

### ۴- شواهد جنبش‌های جوان در راستای پهنه گسلی چشمه‌نی

نمود گسل اصلی چشمه‌نی در باختر روستای چشمه‌نی بر روی توپوگرافی بسیار مشخص است و در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به صورت خطی دیده می‌شود (شکل ۱۳). پهنه گسل چشمه‌نی دارای سازوکار چپ‌بر بوده و در بسیاری از بخش‌ها سبب انحراف آبراه‌ها شده است (شکل ۱۴). در خاور روستای چشمه‌نی (شکل ۱۴-الف)، گسل چشمه‌نی سبب انحراف یک آبراه تا حدود ۱۸۰ متر به صورت چپ‌بر شده است. این آبراه از نهشته‌های آهکی کرتاسه عبور کرده و به طرف شمال باختر وارد نواحی کم‌ارتفاع می‌شود. در باختر روستای چشمه‌نی (شکل ۱۴-ب)، گسل چشمه‌نی ضمن ایجاد یک اثر مشخص بر روی توپوگرافی سبب شده است تا آبراه‌ها به صورت چپ‌بر منحرف شوند. این آبراه‌ها در بخش‌های بسیار فرسوده آهک‌های کرتاسه دیده می‌شوند. گسل F4 هم که بخشی از پهنه گسلی چشمه‌نی است مرز میان بخشی از ارتفاعات باختر چشمه‌نی و نواحی

– **گسل چشمه‌نی** دارای طول حدود ۱۰۰ کیلومتر و روند شمال خاوری- جنوب باختری است. بخشی از مرز بین دو حوضه البرز و کپه‌داغ بر این گسل منطبق شده و در بخش‌های جنوبی آن سازندهای حوضه البرز و در بخش‌های شمالی آن، سازندهای کپه‌داغ نهشته شده‌اند (Vaziri & Salamati, 2001; Salamati & Shafei, 2001). از این رو پهنه گسلی چشمه‌نی، یک پهنه گسلی مهم به‌شمار می‌آید. این پهنه گسلی از شمال خاور به گسل سفیدالی و از جنوب باختر به سامانه گسل راندگی خوش ییلاق می‌پیوندد (شکل ۲). این پهنه گسلی آشکارا دارای شواهد جنبش چپ‌بر بوده و در بخش‌های مختلف مرز بین جبهه کوهستان و دشت را تشکیل داده و دارای فعالیت جوان است (بخش ۴ این نوشتار). به موازات گسل اصلی چشمه‌نی، شاخه‌های فرعی بسیاری با سازوکار امتدادلغز چپ‌بر تشکیل شده‌اند که پهنه‌ای به عرض متوسط ۱/۵ کیلومتر در دربرمی‌گیرد. از این رو به نظر می‌رسد که این گسل با جنبش خود یک پهنه گسلی را تشکیل داده است. گسل‌های تشکیل‌دهنده این پهنه نهشته‌های مختلفی مانند سازند باروت، آهک‌های ژوراسیک و کرتاسه، کنگلومرای پالئوسن، مارن‌های نئوزن و غیره را در کنار هم قرار داده‌اند. این پهنه در سه محدوده خاور چشمه‌نی، باختر چشمه‌نی و باختر کاشیدار (شکل ۲) بررسی و ویژگی‌های هندسی و جنبشی آن مطالعه شده است.

### ۳- هندسه و تحول جنبشی گسل چشمه‌نی

#### ۳-۱. محدوده خاور روستای چشمه‌نی

در خاور روستای "چشمه‌نی" می‌توان گسل اصلی را از شاخه‌های فرعی تشخیص داد. گسل اصلی چشمه‌نی در این ناحیه از درون آهک‌های کرتاسه عبور کرده و به طرف خاور، مرز میان کوه و دشت را تشکیل می‌دهد (شکل ۴). وضعیت سطح گسل اصلی در این بخش ۸۵/۳۴۰ است. یکی از شاخه‌های فرعی این گسل به نام گسل خاور چشمه‌نی دارای وضعیت ۸۵/۲۹۳ است و بر اساس خش‌لغزش‌های موجود بر روی صفحات گسلی، سازوکار امتدادلغز چپ‌بر دارد (شکل ۵). این گسل سبب شده است که نهشته‌های ژوراسیک در کنار نهشته‌های کرتاسه قرار گیرند. گسل حق‌الخواجه هم سبب شده تا آهک‌های مارنی معادل چمن‌بید در کنار آهک‌های خاکستری معادل سازند مزدوران قرار بگیرد.

#### ۳-۲. محدوده باختر روستای چشمه‌نی

بخش بیشتر گسل اصلی چشمه‌نی در این ناحیه، نهشته‌های آهکی کرتاسه را بریده و سبب تشکیل پهنه‌های خرد شده بسیار و صفحات گسلی بشمار شده است (شکل ۶). صفحات برداشت شده جهت‌گیری‌های مختلفی دارند که به سبب برهم کنش میان گسل‌های فرعی و یا جنبش‌های قدیمی‌تر این گسل است. با این حال، همگی روند خاوری، شمال خاوری- باختری، جنوب باختری و ریک به سمت جنوب باختر دارند. صفحات اندازه‌گیری شده موقعیت گسل اصلی را ۷۷/۳۲۵ و خش‌لغزش‌های موجود روی صفحه گسل سازوکار آن را چپ‌بر نشان می‌دهند (شکل ۷).

در این پهنه گسلی گسل F2 دارای روند خاوری، شمال خاوری- باختری، جنوب باختری است. گسل F2 متشکل از دو شاخه به طول بیش از ۱/۵ کیلومتر و حدود ۱ کیلومتر درون نهشته‌های کرتاسه باختر چشمه‌نی عمل کرده است. پهنه خرد شده این گسل به صورت یک پهنه سرخ‌رنگ نازک دیده می‌شود. میانگین سطوح شکستگی برداشت شده در پهنه گسلی وضعیت آن را به صورت ۵۸/۱۵۳ نشان می‌دهد (شکل ۸).

– **گسل قرمزیه** در این پهنه به چند شاخه موازی هم تقسیم می‌شود، که جنوبی‌ترین آنها آهک‌های کرتاسه و یا کنگلومرای پالئوسن را در کنار آبرفت‌های کواترنری قرار داده است. همچنین شکستگی‌های بسیاری به موازات سطح این گسل تشکیل شده است که شیب زیادی به سمت شمال باختر یا جنوب خاور دارند (شکل‌های ۶ و ۹).

جاجرم و کوه کورخود (Yousefi & Friedberg, 1978a, b) نشان می‌دهد که پهنه گسلی چشمه‌نی بر روی خطواره مغناطیس F-431 منطبق می‌شود (شکل ۱۷). از این رو به نظر می‌رسد که پهنه گسلی چشمه‌نی در نتیجه فعالیت یک گسل پی‌سنگی تشکیل شده است. از سوی دیگر بخشی از مرز میان دو حوضه البرز و کپه‌داغ بر این پهنه گسلی منطبق می‌شود (Salamati & Shafei, 2001) و می‌توان این گسل را یک گسل محدودکننده حوضه دانست که در ابتدا سازوکار عادی داشته است. با توجه به شواهد حرکت راندگی و همچنین جنبش چپ‌بر جوان در این پهنه، این احتمال وجود دارد که پهنه گسل چشمه‌نی یک گسلش دیرین باشد که تغییر سازوکار داده و از یک گسلش عادی به یک گسلش راندگی و سپس به یک گسلش امتدادلغز چپ‌بر تبدیل شده است.

چنین تغییر سازوکاری احتمالاً در اثر یک تغییر اساسی در وضعیت زمین‌ساختی ناحیه روی داده است. نواب‌پور و همکاران (۱۳۸۲) عنوان می‌کنند که چهار فاز اصلی کشش پس از تریاس، وارون شدن حرکت کششی به فشارشی در ماستریشتین، آغاز حرکت چین‌خوردگی و راندگی در پایان میوسن و پیدایش سامانه گسلش راستالغز در پایان پلیوسن در فرگشت رسوبی-ساختاری این گستره نقش اساسی داشته‌اند. آقائباتی (۱۳۸۳) بیان می‌کند که در اثر حرکت بلوک ایران به طرف توران و کپه‌داغ گسل‌های پی‌سنگی عادی با شیب رو به شمال به گسل‌های راندگی تغییر سازوکار داده‌اند. این احتمال وجود دارد که تغییر از گسلش عادی به گسلش راندگی در این زمان و یا در فاز ماستریشتین مورد نظر نواب‌پور و همکاران (۱۳۸۲) روی داده باشد. شواهد نشان می‌دهند که یک تجدید سازمان (reorganization) مهم در دگرشکلی ناحیه‌ای در بسیاری از بخش‌های پهنه برخورد عربی-اوراسیا در بازه ۷-۳ میلیون سال پیش روی داده است که عامل تغییر اساسی در رسوبگذاری و دگرشکلی البرز، حوضه خزر جنوبی و کپه‌داغ، آغاز چین‌خوردگی گسترده در زاگرس و گسلش امتدادلغز پویای شمالی-جنوبی در خاور ایران بوده است (Allen et al., 2004; Walker & Jackson, 2004). اگرچه داده‌های سن‌سنجی در دست نیست، اما به نظر می‌رسد این زمانی است که گسلش راندگی در ناحیه مورد مطالعه به گسلش امتدادلغز تغییر سازوکار داده است. با این حال برخی پژوهشگران، زمان این تغییر سازمان را جدیدتر عنوان می‌کنند. برای مثال Shabanian et al. (2010) ضمن معرفی سه وضعیت تنش در پلیو-کواترنری در شمال خاور ایران بیان می‌کنند که تغییرات تنش در شمال خاور ایران از وضعیت تنش دیرین ( $\sigma_1$  با راستای شمال باختری) به وضعیت تنش میانه ( $\sigma_1$  با راستای شمالی) و سپس به وضعیت تنش جدید ( $\sigma_1$  با راستای شمالی، شمال خاوری)، مشخص و ناپیوسته بوده است، و در وارون‌شدگی مؤلفه گسلش قائم در راستای گسل‌های امتدادلغز و در تبدیل گسلش راندگی به گسلش مورب تا امتدادلغز بیان می‌شود. چنین تغییری در رژیم زمین‌ساختی پلیو-کواترنری از سوی Ritz et al. (2006) در البرز نیز بیان شده است. Ritz et al. (2006) عنوان می‌کنند که حرکت رو به شمال باختر حوضه خزر جنوبی نسبت به اوراسیا و یا چرخش ساعت‌گرد حوضه خزر جنوبی سبب تغییر از رژیم زمین‌ساختی فشارشی (با راستای شمالی) به رژیم زمین‌ساختی تراکشنی کنونی (با راستای شمالی، شمال خاوری) در بخش درونی رشته‌کوه شده است. از این رو به نظر می‌رسد که یک تجدید سازمان جنبشی ناحیه‌ای در کواترنری در مقیاس حوضه خزر جنوبی و نواحی پیرامون صورت گرفته است. اما داده‌های ما برای تعیین دقیق زمان پدید آمدن جنبش‌های چپ‌بر در این پهنه کافی نیست. به باور Masson et al. (2006) دلیل این امر می‌تواند یک نیروی زمین‌ساختی ثانوی ناشی از فرورانش رو به شمال پوسته اقیانوسی قدیمی باقیمانده حوضه خزر جنوبی و نیز فشارش رو به شمال برگه عربی باشد.

پست جنوبی را شکل داده است. این گسل همچنین موجب انحراف یک آبراهه حدود ۱۵۰ متر و آبراهه دیگری حدود ۲۰۰ متر شده است (شکل ۱۴-ج). در برخی از بخش‌های این پهنه گسلی، بویژه در خاور روستای چشمه‌نی، گسل چشمه‌نی مرز میان کوه و دشت را تشکیل داده است. در شکل ۱۵، در محدوده خاور حق‌الخواجه، این پهنه گسلی سبب شده تا آهک‌های ژوراسیک و نهشته‌های مارنی و کنگلومرایی نوژن در کنار رسوبات کواترنری قرار گیرند. عملکرد این گسل منجر به همبری مشخص در راستای جبهه کوهستان شده است. در باختر روستای چشمه‌نی هم افزون‌بر این که گسل همبری مشخصی را بین کوه و مخروط‌افکنه‌ها پدید آورده است، شاخه‌ای از آن مخروط‌افکنه قدیمی را بریده است، که افزاز آن به خوبی دیده می‌شود (شکل ۱۶).

## ۵- بحث

### ۵-۱. هندسه و تحول جنبشی پهنه گسلی چشمه‌نی

گسل امتدادلغز چشمه‌نی با روند عمومی شمال خاوری-جنوب باختری از شاخه‌های بسیار و به شکل یک پهنه گسلی امتدادلغز چپ‌بر تشکیل شده است. پهنه گسلی چشمه‌نی به سامانه گسلی چپ‌بر شاهرود تعلق دارد و در خاور طول جغرافیایی  $30^{\circ} 55'$  خاوری واقع شده است. بر اساس Hollingsworth et al. (2008) در طول جغرافیایی  $30^{\circ} 55'$  خاوری، بیشتر حرکت بلوک خزر جنوبی نسبت به ایران به صورت لغزش چپ‌بر با نرخ  $2/4 \text{ mm/yr}$  بر روی گسل سیاه‌کوه (جاجرم) محقق می‌شود. به باور Vernant et al. (2004) و Hollingsworth et al. (2006b, 2008) سرعت‌های رو به شمال GPS در شمال ایران مرکزی، جنوب البرز، به طور خطی به طرف خاور کاهش می‌یابد و روند کمربند دگرشکلی به منظور توازی با راستای حرکت نسبی خزر-ایران تغییر می‌کند. به باور ایشان این امر باعث کاهش مؤلفه کوتاه‌شدگی در خاور البرز و ایجاد مناطق کم‌ارتفاع‌تری بین طول جغرافیایی  $54^{\circ}$ - $57^{\circ}$  خاوری (محدوده مورد مطالعه این نوشتار) شده است. در این ناحیه است که شواهد آشکار زمین‌ریخت‌شناسی مبنی بر جنبش امتدادلغز گسل دیده می‌شود. همچنین شواهد ریخت‌زمین‌شناسی در راستای پهنه گسلی نیز نشان‌دهنده جنبش جوان گسل به صورت چپ‌بر است. این شواهد که به طور عمده شامل انحراف آبراهه‌ها و گسلش چپ‌بر در نهشته‌های کواترنری هستند، عمدتاً در بخش‌های خاوری مشاهده می‌شوند. با این حال، دیده می‌شود که در راستای گسل، نهشته‌های پالئوزویک (سازند باروت) بروزند یافته (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) و یا نهشته‌های کرتاسه و ژوراسیک در کنار یا بر روی واحدهای جوان‌تر رانده شده‌اند (شکل‌های ۴، ۶ و ۹). از سوی دیگر در پهنه گسلی در برخی بخش‌ها صفحات گسلی با سازوکار راندگی دیده می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۱). ضمن آن‌که ریک خش‌لغزهای بخش‌های میانی بیشتر شده است (شکل‌های ۷ و ۹). بنابراین مؤلفه‌ای از جنبش راندگی در طی زمان تکوین این پهنه گسلی روی داده است.

### ۵-۲. تکوین ساختاری پهنه گسلی چشمه‌نی

به نظر آقائباتی (۱۳۸۳) از نظر زمان تشکیل و سازوکار حرکتی، گسل‌های کپه‌داغ را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه نخست گسل‌های هم‌زمان با فرونشست حوضه است که بیشتر روند E-W و یا شمال NE-SW دارند، و در آغاز، سازوکار حرکتی عادی داشته‌اند اما پس از برقراری رژیم‌های فشارشی به انواع برگشته با شیب رو به شمال تبدیل شده‌اند. گسل‌های گروه دوم محور چین‌ها را قطع می‌کنند و از نوع همگرا هستند که ممکن است امتدادلغز راست‌بر با روند NW و یا امتدادلغز چپ‌بر با روند NE باشند. (Afshar Harb (1969, 1979) چهار گسل پی‌سنگی پیش از ژوراسیک را مطالعه کرد که بعدها در اثر فشارش سنوزویک تغییر سازوکار داده‌اند. بررسی نقشه‌های مغناطیس هوایی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

### ۵-۳. رژیم تنش‌ها حاکم بر پهنه گسلی چشمه‌نی

مطالعات (Zamani et al., 2008) در شمال خاور ایران نشان از وجود دو جهت اصلی تنش N-S و NNE در ناحیه دارد. به باور ایشان دو گروه حل کانونی زلزله‌ها در شمال خاور ایران دیده می‌شود: گروهی که راستای تنش را  $032^{\circ}N$  نشان می‌دهند و در سراسر ناحیه پراکنده هستند و گروه دیگر که نشان‌دهنده کوتاه‌شدگی در راستای  $172^{\circ}N$  هستند و در باختر کپه‌داغ، باختر بینالود، البرز خاوری و بخش باختری گسل درونه دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد راستای تنش  $172^{\circ}N$  عامل حرکات چپ‌بر در راستای این بخش از رشته کوه است. اما (Shabanian et al., 2010) با بازگردانی سازوکارهای کانونی زلزله‌ها، تنها یک رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی همگن با راستای پیشینه تنش افقی  $(\sigma_1)$   $023 \pm 5^{\circ}E$  را برای وضعیت کنونی تنش در کپه‌داغ نشان می‌دهند. کوتاه‌شدگی در کپه‌داغ ناشی از برش راست‌بر بین ایران مرکزی و افغانستان است (Walker & Jackson, 2004).

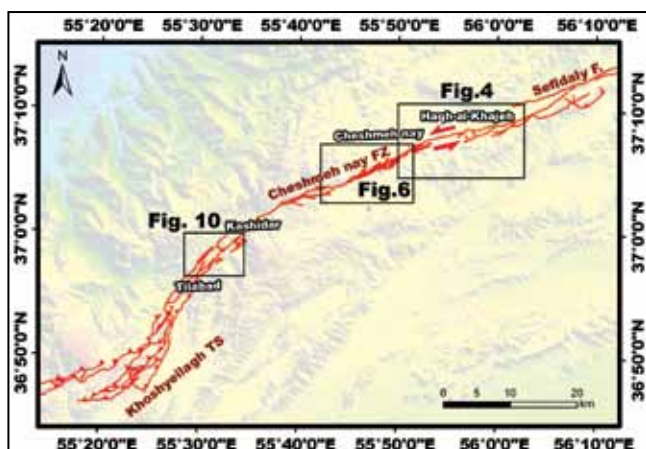
(Masson et al., 2007) بیان می‌کنند که نرخ کوتاه‌شدگی کنونی در عرض رشته کوه کپه‌داغ در شمال خاور ایران، حدود  $1 \pm 5$  mm/yr در راستای  $011^{\circ}N$  است، و میزان  $1 \pm 2$  mm/yr کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی در عرض کپه‌داغ خاوری و  $1 \pm 3$  mm/yr کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی در عرض بینالود و کوه سرخ روی می‌دهد. داده‌های ایشان نشان‌دهنده تفاوت نحوه ساختاری در جنوب خاور و شمال باختر کپه‌داغ است. با توجه به روند گسل، یک تنش افقی با راستای شمالی-جنوبی یا شمال‌خاوری-جنوب‌باختری می‌تواند سبب پیدایش جنبش چپ‌بر چیره بر روی این گسل شده باشد. با توجه به ریک صفحات برداشت شده در بخش‌های مختلف پهنه گسلی که به حدود  $70^{\circ}$  درجه در بخش‌های میانی می‌رسد، به نظر می‌رسد راستای تنش زاویه زیادی با راستای پهنه ساخته و یک کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی سبب جنبش‌های مختلف این پهنه گسل شده است.

### ۶- نتیجه‌گیری

آنچه در نقشه‌های زمین‌شناسی به عنوان گسل چشمه‌نی معرفی شده است، یک پهنه گسلی متشکل از گسل اصلی و گسل‌های فرعی بسیار است. این پهنه جنبش چیره چپ‌بر دارد که گسل‌های واقع در آن شیب  $40^{\circ}$  تا  $85^{\circ}$  به سمت شمال باختر یا جنوب خاور دارند. شواهدی از جمله بروزند واحدهای پالئوزویک و مزوزویک در همبری یا بر روی واحدهای جوان‌تر به همراه وجود صفحات گسلی با سازوکار راندگی در این پهنه نشان‌دهنده وجود یک سازوکار راندگی در بخشی از دوره تکوین ساختار این گسل است. همچنین دیده می‌شود که این پهنه گسلی بر روی یک خطواره مغناطیسی به نام F-431 واقع شده و یک گسل پی‌سنگی است. از آنجا که این گسل مرز بین دو حوضه البرز و کپه‌داغ را شکل داده است، به نظر می‌رسد یک گسل محدودکننده حوضه است که در دوران تکوین خود تغییر سازوکار داده، به یک گسل راندگی و سپس به دلیل یک تجدید سازمان ناحیه‌ای و یک رژیم تنش شمال-جنوبی به یک گسل با مؤلفه چیره چپ‌بر تبدیل شده است.

### سپاسگزاری

این نوشتار بخشی از دستاوردهای پروژه تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی  $1:250,000$  محدود جاجرم است که در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام پذیرفت. از این رو بر خود لازم می‌دانیم که از مساعدت‌های معاونت زمین‌شناسی و مدیریت زمین‌شناسی منطقه‌ای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سپاسگزاری کنیم. همچنین از همراهی‌ها و راهنمایی‌های دکتر محمودرضا مجیدی‌فرد، مهندس ابوالفضل حاجی‌حسینی، مهندس علیرضا شافعی و مهندس هیراد ندیم کارشناسان گروه چینه‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تقدیر به عمل می‌آوریم. از James Hollingsworth و دکتر اسماعیل شبانیان به سبب در اختیار گذاشتن مقالاتشان سپاسگزاری می‌کنیم.



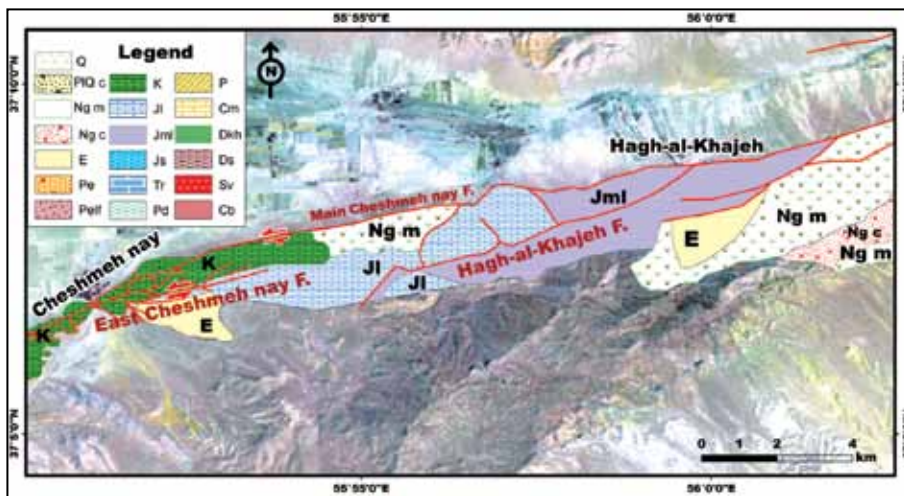
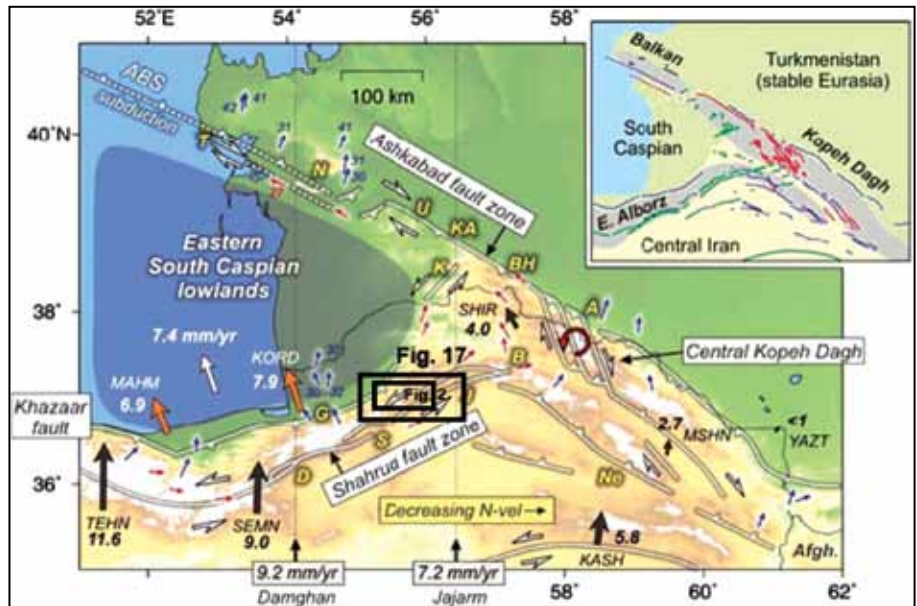
شکل ۲- گسل چشمه‌نی بر روی توپوگرافی رقومی گستره مورد مطالعه. Khoshyeilagh TS، سامانه راندگی خوش‌بیلاق و Cheshmeh nay FZ، پهنه گسلی چشمه‌نی هستند. موقعیت این شکل بر روی شکل ۳ نشان داده شده است.



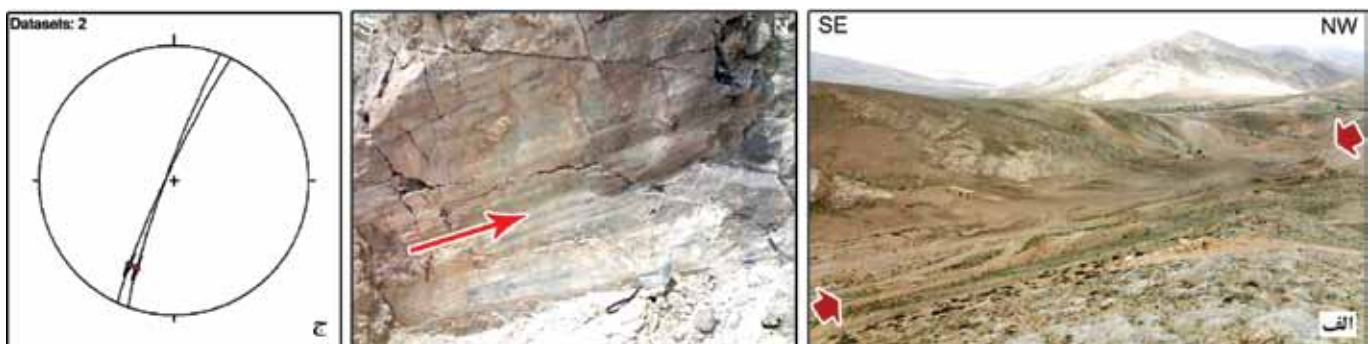
شکل ۱- الف) نقشه نمادین ناحیه‌ای نشان‌دهنده پهنه عربی-آفریقا-اوراسیا (Reilinger et al., 2006). CAU - بلوک قفقاز، AN - ورقه آتاتولی، ب) تصویر توپوگرافی GTOPO30 از وضعیت زمین‌ساختی ناحیه‌ای و گسل‌های پویای اصلی شمال خاور ایران (Shabanian et al., 2010). پیکان‌های سفید و اعداد آنها نشان‌دهنده سرعت‌های افقی GPS در یک چهارچوب مرجع ثابت اوراسیا هستند (Tavakoli, 2007). MKDF - گسل اصلی کپه‌داغ، BQFS - سامانه گسلی باخاردن-قوچان، DF - گسل درونه، MTZ - پهنه انتقالی مشکان، N - نیشابور، Q - قوچان، Ch. FZ - پهنه گسلی چشمه‌نی.



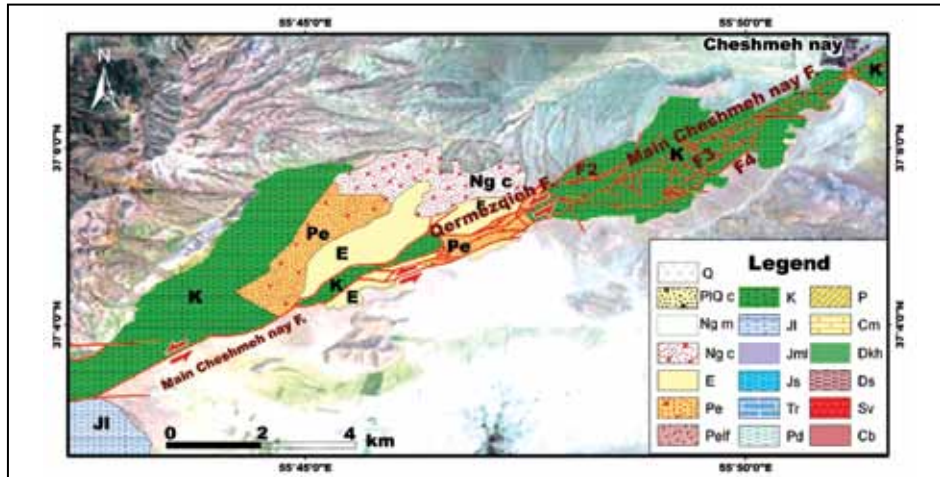
شکل ۳- نقشه گسل‌های اصلی خاور ناحیه خزر جنوبی از (Hollingsworth et al., 2008). پیکان‌های کوچک بردارهای لغزش را نسبت به شمال نشان می‌دهند. اعداد بیانگر ژرفای زلزله‌ها (برحسب کیلومتر) هستند. بردارهای بزرگ سرعت‌های GPS را از ایران مرکزی (به رنگ مشکی) و بلوک خزر جنوبی (به رنگ نارنجی) برحسب mm/yr نشان می‌دهند. بردار سفیدرنگ سرعت خزر جنوبی را نشان می‌دهند. ABS- سیل آپشرون- بالکان، T- ترکمنباشی، N- نیب‌داغ، U- اوشک، KA- کراکالا، G- گرگان، BH- باخاردن، A- عشق‌آباد، K- کراکالا، G- گرگان، D- دامغان، S- شاهرود، J- جاجرم، B- بجنورد، Ne- نیشابور. شکل بالایی: نقشه دقیق ساختارهای ناحیه گسل‌های راست‌بر (به رنگ سرخ)، گسل‌های چپ‌بر (به رنگ سبز) گسل‌های راندگی (به رنگ آبی)، مستطیل‌های مشکی موقعیت شکل‌های ۲ و ۱۷ را نشان می‌دهند.



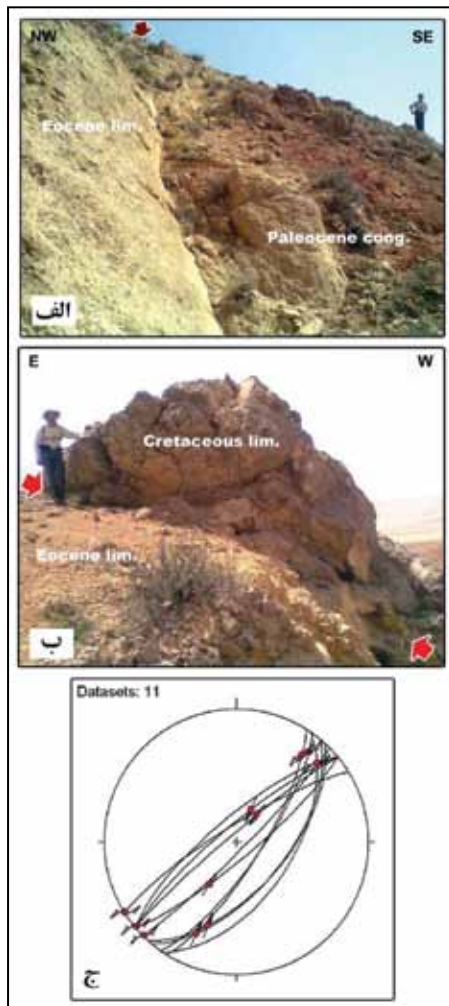
شکل ۴- نقشه زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای Landsat محدوده خاور روستای چشمه‌نی. واحدهای چینه‌نگاری براساس نقشه‌های زمین‌شناسی (جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳; Salamati & Shafei, 2001; Salamati & Padashi, 2001; Vaziri & Salamati, 2003). راهنمای نقشه: Cb- سازند باروت، Sv- سازند سلطان میدان، Ds- سازند پادها، Dkh- سازند خوش‌بیللاق، Cm- سازند مبارک، P- واحدهای پرمین، Pd- سازند درود، Tr- سازند الیکا، Js- سازند شمشک، JmI- آهک‌های معادل سازند چمن‌بید، JI- آهک‌های معادل سازند مزدوران، K- آهک‌های کرتاسه، Pelf- سازند فجن، Pe- تخریبی‌های معادل سازند پستلیق، E- واحدهای انوسن، Ngc- کنگلومرای نوژن، Ngm- مارن‌های نوژن، PIQc- کنگلومرای پلیو-کواترنری، Q- نهشته‌های کواترنری.



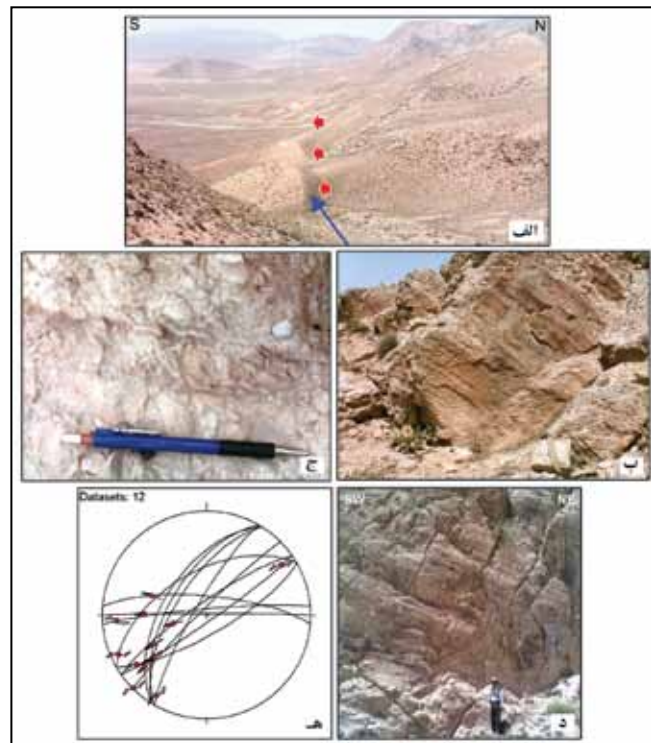
شکل ۵- الف) دره تشکیل شده در راستای گسل اصلی چشمه‌نی در خاور روستای چشمه‌نی، یکی از صفحه‌های گسلی، گسل خاور چشمه‌نی. بر اساس خش‌لغزش‌های موجود روی صفحه گسل، گسل خاور چشمه‌نی دارای سازوکار امتدادلغز چپ‌بر است و ج) استریوگرام نشان‌دهنده وضعیت گسل.



شکل ۶- نقشه زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای Landsat محدوده باختر روستای چشمه‌نی، برای شرح راهنمای نقشه به شکل ۴ مراجعه شود.



شکل ۷- الف) اثر گسل اصلی چشمه‌نی بر روی توپوگرافی، ب) صفحات برشی مختلف در پهنه گسلی، ج) عدسی‌های برشی که زیگموئیدال شده‌اند، د) صفحه گسلی یکی از شاخه‌های فرعی گسل چشمه‌نی و ه) استریوگرام نشان‌دهنده وضعیت صفحات برداشت شده و سوی حرکت فرادیواره در بخش‌های مختلف در راستای گسل اصلی.

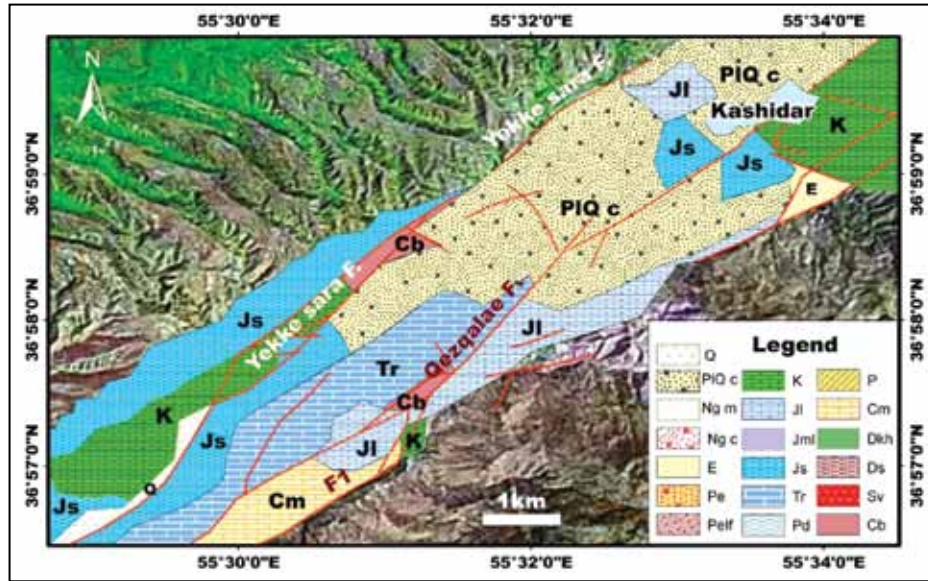


شکل ۸- اثر گسل F2 به شکل پهنه باریک سرخ‌رنگ.

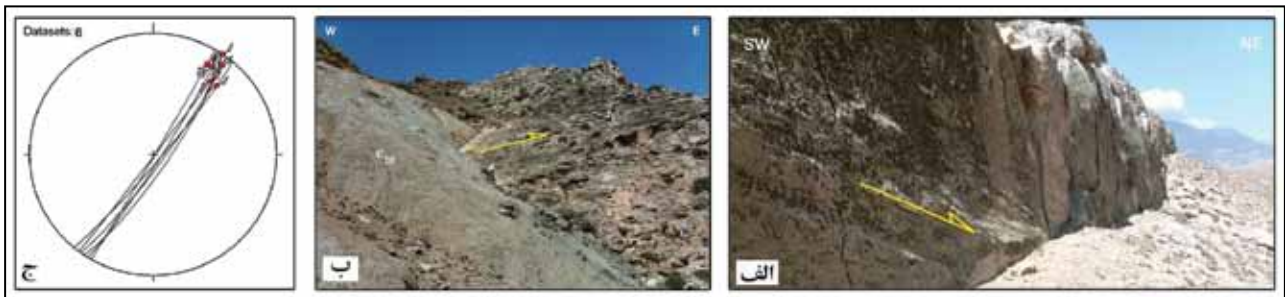


شکل ۹- الف) نمای از گسل قرمزیه که کنگلومرای پالتوسن را بر روی آهک‌های اتوسن قرار داده است، ب) نمای از گسل قرمزیه که آهک‌های کرتاسه را بر روی آهک‌های اتوسن قرار داده است و ج) استریوگرام نشان‌دهنده وضعیت صفحات گسلی برداشت شده و سوی حرکت فرادیواره در بخش‌های مختلف در راستای گسل قرمزیه.

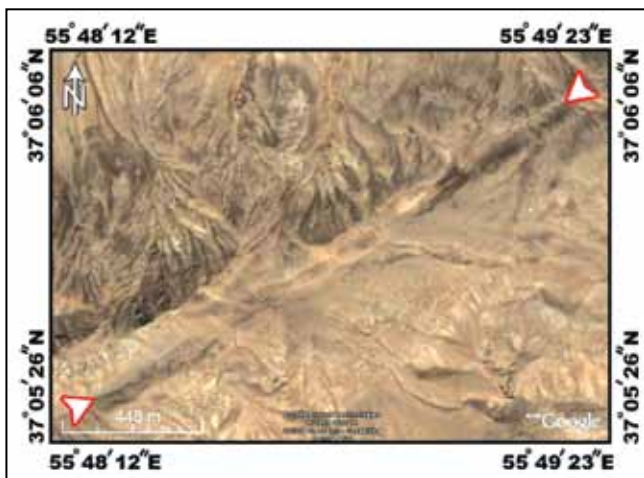




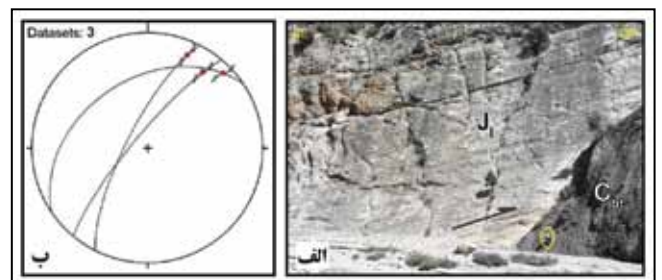
شکل ۱۰- نقشه زمین‌شناسی به همراه تصویر ماهواره‌ای Landsat که پهنه گسلی چشمه‌نی را در باختر روستای کاشیدار نشان می‌دهد. برای شرح راهنمای نقشه به شکل ۴ مراجعه شود.



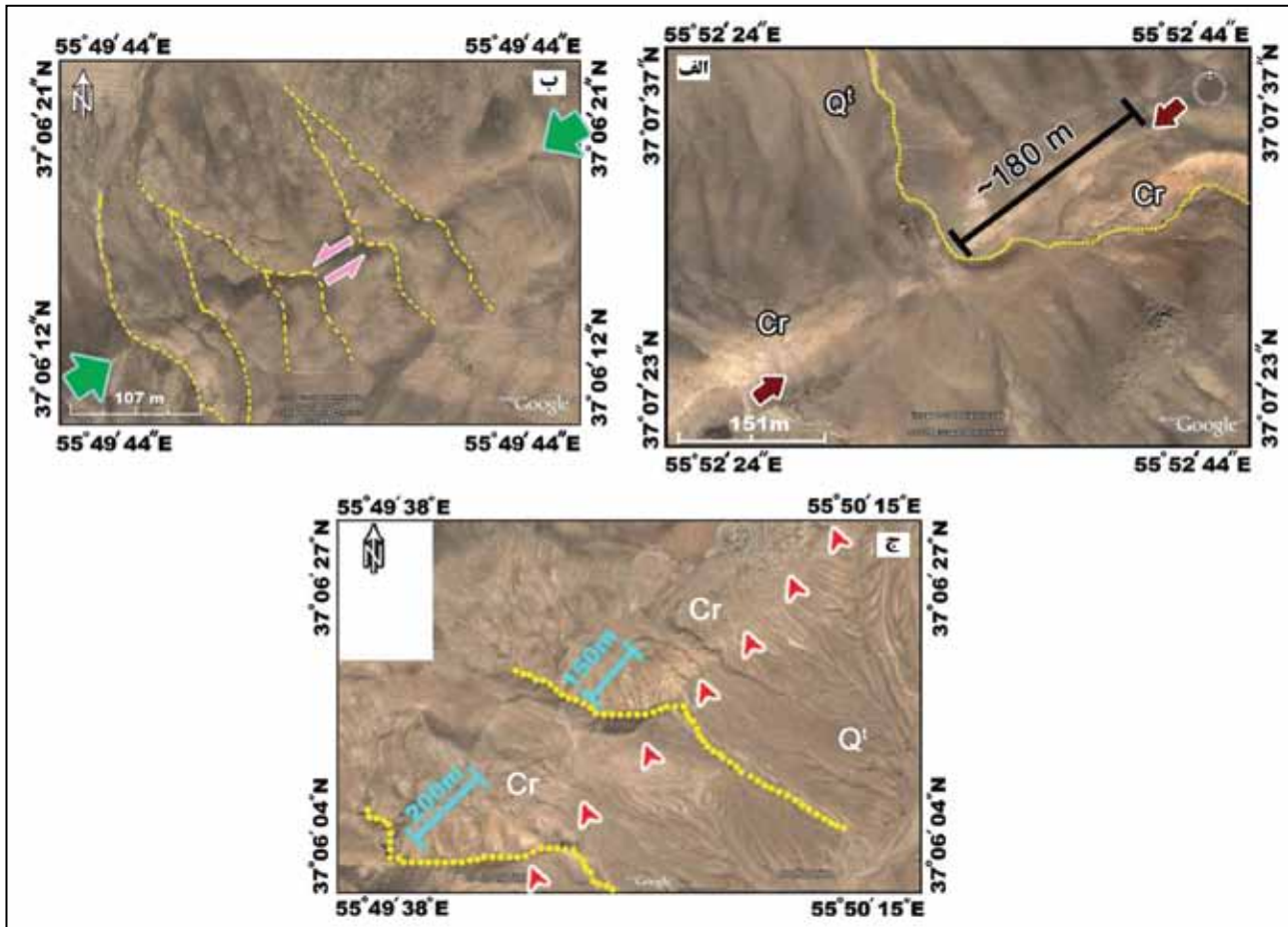
شکل ۱۱- الف) دیواره گسل قزقلعه در آهک لار، سوی جنبش بلوک حذف شده با پیکان نشان داده شده است، ب) جای‌گیری شیل‌های رنگی سازند باروت بر روی آهک لار در راستای شاخه فرعی گسل قزقلعه؛ سوی حرکت فرادیواره گسل با پیکان نشان داده شده است و ج) استریوگرام نشان‌دهنده صفحه‌های برداشت شده از گسل قزقلعه و سوی جنبش در آنها.



شکل ۱۳- تصویر ماهواره‌ای (GoogleEarth) Quickbird که اثر گسل اصلی چشمه‌نی را بر روی توپوگرافی نشان می‌دهد.



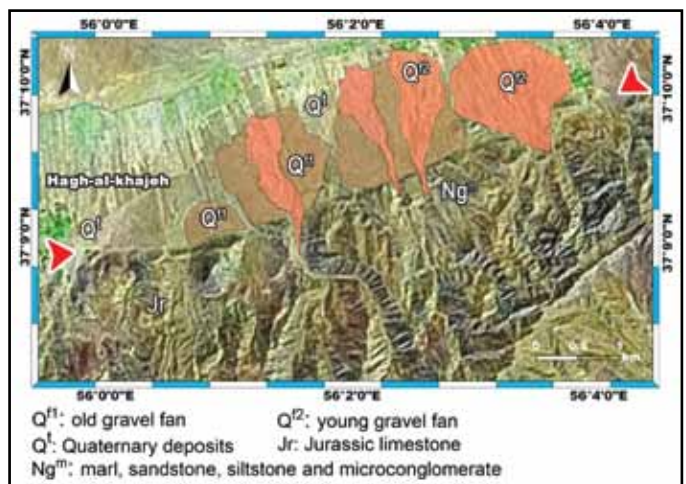
شکل ۱۲- الف) صفحه گسل F1 در بخش میانی درازای آن در آهک‌های ژوراسیک؛ سوی جنبش فرادیواره با پیکان نشان داده شده است. پروژند سازند باروت کوچک بوده و بر روی نقشه نشان داده نشده است و ب) استریوگرام نشان‌دهنده صفحه‌های برداشت شده گسل F1 و سوی جنبش در راستای آنها.



شکل ۱۴- تصاویر ماهواره‌ای (Quickbird (GoogleEarth) که بخش‌هایی از پهنه گسلی چشمه‌نی را نشان می‌دهند، الف) گسل اصلی چشمه‌نی در خاور روستای چشمه‌نی سبب شده تا یک آبراهه حدود ۱۸۰ متر به صورت چپر شود، ب) در باختر روستای چشمه‌نی، آبراهه‌ها در اثر عملکرد گسل اصلی چشمه‌نی به صورت چپر منحرف شده‌اند و ج) بخشی از گسل F4 را نشان می‌دهد که در راستای آن یک آبراهه حدود ۱۵۰ متر و دیگری ۲۰۰ متر منحرف شده است.

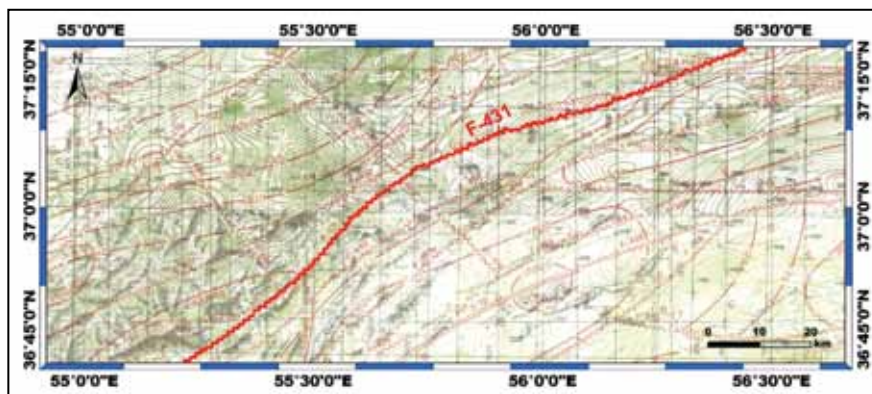


شکل ۱۶- تصویر ماهواره‌ای (Quickbird (GoogleEarth) که گسل اصلی چشمه‌نی و شاخه فرعی را در باختر روستای چشمه‌نی نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- تصویر ماهواره‌ای Landsat که گسل اصلی چشمه‌نی را در خاور روستای حق‌الخواجه نشان می‌دهد.





شکل ۱۷- نقشه مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه که پهنه گسلی چشمه‌نی را نشان می‌دهد (Yousefi and Friedberg, 1978a,b). موقعیت این شکل بر روی شکل‌های ۱ (مستطیل آبی رنگ) و ۳ (مستطیل مشکی بزرگ‌تر) نشان داده شده است.

## کتابنگاری

- آفشاری، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۶۲۰ صفحه.
- جعفریان، م. ب. و جلالی، ع.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- حق‌پور، ن.، ۱۳۸۶- بررسی ریخت‌زمین‌ساختی گستره کپه‌داغ- بینالود بر پایه شاخص‌های گرادیان شیب‌رود و هیپسومتری، فصلنامه علوم‌زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۴، صفحات ۸۷-۷۴.
- حیدرزاده، ق.، ۱۳۸۴- ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی گستره کپه‌داغ با تأکید بر بخش مرکزی آن. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (تکتونیک)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران.
- نواب‌پور، پ.، حیدرزاده، ق.، مافی، آ.، حق‌پور، ن.، ۱۳۸۲- الگوی دگرریختی و پهنه‌بندی ساختاری ایالت زمین‌ساختی کپه‌داغ، بیست و دومین گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

## References

- Afshar Harb, A., 1969- A brief history of geological exploration and geology of the Sarakhs area and the Khangiran gas field. Bull. Off. Iranian Petr. Ins. 37, 86–96 (in Farsi).
- Afshar Harb, A., 1979- The stratigraphy, Tectonics and Petroleum geology of Kopet Dagh region Northern Iran. Ph.D. Thesis. Petr. Geology Section, Royal School of Mines Imp. College, London, 316 p.
- Alavi, M., 1992- Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran, Tectonics, 11(2), 360–370
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran: Journal of Geodynamics, 21 (1), 1–33,
- Allen, M. B., Blanc, E. J. P., Walker, R., Jackson, J., Talebian, M. & Ghassemi, M. R., 2006- Contrasting styles of convergence in the Arabia-Eurasia collision: Why escape tectonics does not occur in Iran. in Dilek, Y., and Pavlides, S., eds., Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia: Geological Society of America Special Paper, 409, 579–589, doi: 10.1130/2006.2409(26).
- 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, 25, 659–672.
- Allen, M. B., Jackson, J. & Walker, R., 2004- Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. Tectonics, 23, TC2008, doi: 10.1029/2003TC001530.
- Falcon, N. L., 1974- Southern Iran: Zagros mountains, Geol. Soc. Spec. Publ., 4, 199 – 211.
- Fattahi, M., Walker, R., Hollingsworth, J., Bahroudi, A., Nazari, H., Talebian, M., Armitage, S. & Stokes, S., 2006- Holocene slip-rate on the Sabzevar thrust fault, NE Iran, determined using optically-stimulated luminescence (OSL). Earth and Planetary Science Letters, 245 (3–4), 673–684.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. Geosphere, 2 (1), 35–52.
- Hessami, K., 2002- Tectonic history and present-day deformation in the Zagros fold-thrust belt, Ph.D. thesis, Univ. of Uppsala, Uppsala, Sweden.

- Hollingsworth, J., Jackson, J., Alarcón, J. E., Bommer, J. & Bolourchi, M. J., 2007- The 4th February 1997 Bojnurd (Garmkhan) Earthquake in NE Iran: Field, Teleseismic, and Strong-Motion Evidence for Rupture Directivity Effects on a Strike-Slip Fault. *Journal of Earthquake Engineering*, 11, 193–214.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R. & Nazari, H., 2008- Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology*, 36(10), 763-766.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. R. & Bolourchi, M. J., 2006a- Strike-slip faulting, rotation and along-strike elongation in the Kopeh Dagh Mountains, NE Iran. *Geophysical Journal international*, 166, 1161–1177.
- Hollingsworth, J., Walker, R., Jackson, J., Bolourchi, M. J. & Eshraghi, S. A., 2006b- Left-Lateral Strike-Slip Faulting in the East Alborz, NE Iran. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2006, abstract*.
- Jackson, J. A., Priestley, K., Allen, M. B. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysical Journal International* 148, 214–245.
- Landsat image website, <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>
- Lyberis, N. & Manby, G., 1999- Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 83 (7), 1135–1160.
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignières, M., Nankali, H. & VanGorp, S., 2007- Large-scale velocityfield and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophysical Journal international*, 170, 436–440. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.
- Masson, F., Djamour, Y., Vangorp, S., Chéry, J., Tavakoli, F., Tatar, M. & Nankali, H., 2006- Extension in NW Iran inferred from GPS enlightens the behavior of the south Caspian basin. *Earth Planet. Sci. Lett.* 252, 180–188.
- Meyer, B. & Le Dortz, K., 2007- Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene. *Tectonics*, 26, TC5009, doi:10.1029/2006TC002073.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. & Agard, P., 2006- Evidence of Quaternary activity along the Deshir fault: Implication for the Tertiary tectonics of Central Iran. *Geophysical Journal international*, 164, 192 – 201.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. & Karam, G., 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*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- 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.
- Salamati, R. & Padashi, S. M., 2003- Geological map of Iran, Rey abad; 1:100,000 scale. Geological survey of Iran.
- Salamati, R. & Shafei, A. R., 2001- Geological map of Iran, Dozin; 1:100,000, scale. Geological survey of Iran.
- Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L. & Farbod, Y., 2010- Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges. *Tectonophysics*, 480, 280–304.
- Tavakoli, F., 2007- Present-day kinematics of the Zagros and east of Iran faults, Ph.D. thesis, University of Joseph Fourier, France, Grenoble.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismicity and structure of the Kopet Dagh (Iran, USSR), *Phil. Trans. R. Soc. Lond., Series A.*, 278(1275), 1–28.
- Vaziri, S. H. & Salamati, R., 2001- Geological map of Iran, Robat-e-Qarehbil; 1:100,000, scale. Geological survey of Iran.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal international*, 157, 381–398.
- Walker, R. & Jackson, J., 2002- Offset and evolution of the Gowk fault, S.E. Iran. A major intra-continental strike-slip system. *Journal of structural Geology*, 24, 1677-1698.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and Late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, TC5010, doi: 10.1029/2003TC001529.
- Yousefi, E. & Friedberg, J. L., 1978a- Aeromagnetic map of the Jajarm 1:250000 quadrangle. Geological Survey of Iran.
- Yousefi, E. & Friedberg, J. L., 1978b- Aeromagnetic map of the Kuh-e-kurkhod 1:250000 quadrangle. Geological Survey of Iran.
- Zamani, G. B., Angelier, A. & Zamani, A., 2008- State of stress induced by plate convergence and stress partitioning in northeastern Iran, as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Journal of Geodynamics*, 45, 120–132.