

ویژگی‌های هندسی و سازوکار جوان گسل شمال قزوین: بر پایه بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی

بابک طاهرخانی^{۱*}، حمید نظری^۲، محسن پورکرمانی^۳ و مهران آرین^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
^۳ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۴ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۶

چکیده

گسل شمال قزوین با روند خاوری-باختری از ۱۱ کیلومتری شمال قزوین می‌گذرد و در راستای آن سازند ائوسن کرج بر روی نهشته‌های آبرفتی هزاردره (A) و سازند آبرفتی (B) رانده شده است. زمین‌لرزه تاریخی ۱۱۱۹ میلادی با بزرگای نسبی ۶/۵ منسوب به جنبش این گسل دانسته شده است. گسل شمال قزوین از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی فعال بوده و از این رو می‌تواند یک عامل تهدید زمین‌لرزه‌ای برای استان قزوین به عنوان یکی از مراکز صنعتی کشور به‌شمار آید. بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی و بررسی‌های دقیق و بزرگ مقیاس میدانی در راستای بخش میانی این گسل امکان اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های افقی و قائم در اثر عملکرد جوان آن را فراهم کرد. میزان بیشینه و کمینه جابه‌جایی افقی و قائم اندازه‌گیری شده در این بخش از گسل به ترتیب برابر با 5 ± 1 و 4.5 ± 1 متر است. ویژگی‌های هندسی گسل شمال قزوین (راستای گسل، شیب و زاویه افت) در این بخش از گسل به ترتیب برابر با ۴۵، ۵۱ درجه برآورد شد. بر پایه پژوهش‌های انجام شده گسل موسوم به گسل شمال قزوین گسلی است فشاری با شیب به سوی شمال که به همراه دیگر گسل‌های پیرامون چون گسل نجم‌آباد به صورت سامانه گسلی پیشرونده با سازوکار چپ‌گرد در دامنه جنوبی بخش باختری البرز مرکزی قابل مشاهده است.

کلیدواژه‌ها: ریخت‌زمین‌ساخت، زاویه افت گسل، گسل شمال قزوین، البرز، ایران.

*نویسنده مسئول: بابک طاهرخانی

E-mail: taherkhani.babak@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

گسل شمال قزوین در بخش شمال و شمال خاوری شهر قزوین و در لبه جنوبی پهنه البرز مرکزی، رشته‌کوه در برگرفته حوضه کاسپین جنوبی، قرار گرفته است (شکل‌های ۱-الف و ب). استان قزوین واقع در ۱۲۰ کیلومتری شمال خاوری تهران دارای جمعیتی بالغ بر ۱/۲ میلیون نفر (طبق آمار سال ۱۳۹۰ (www.amar.org.ir)) است. گسل یادشده بنا به پیشینه لرزه‌خیزی تاریخی (Ambraseys, 1974؛ بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۲) و شواهد زمین‌ساختی فعال (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ طاهرخانی، ۱۳۸۹) می‌تواند یک عامل تهدید لرزه‌ای برای استان قزوین به‌شمار آید.

زمین‌لرزه تاریخی ۱۰ دسامبر ۱۱۱۹ میلادی قزوین احتمالاً با عملکرد این گسل روی داده است. پس‌لرزه‌های این گسل تا یک سال ادامه داشته است و زمین‌لرزه‌ای که با تردید به سال ۱۶۳۹ میلادی نسبت داده می‌شود نیز در صورت درستی مربوط به عملکرد گسل شمال قزوین بوده است (Ambraseys, 1974؛ بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۲؛ نظری و شهیدی، ۱۳۹۰).

اگرچه بر اساس اطلاعات تاریخی، پیش از این گسل شمال قزوین گسلی فعال و لرزه‌زا به‌شمار می‌رود (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱)، ولی به بررسی گسل‌های بخش پیشانی گسل شمال قزوین با درازای میانه تا کم به خوبی پرداخته نشده است. از دیدگاه زمین‌شناسی، گستره گسل شمال قزوین با سنگ‌های آتشفشانی سازند کرج (ائوسن) و نهشته‌های آبرفتی کواترنری پوشیده شده است. سنگ‌های کهن‌تر پالئوزوئیک (سازند روته به سن پرمین) و مزوزوئیک نیز به‌طور ناچیز در این محدوده بروز دارند (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین (رادفر و امامی، ۱۳۷۹) و تاکستان (مهابادی و همکاران، ۱۳۷۹) (شکل ۱-ج). گسل شمال قزوین با حرکات راندگی خود سبب قرارگیری سازند کرج بر روی نهشته‌های تخریبی کواترنری (سازند هزاردره و کهریزک) و ناودیس به سن نئوژن در بخش جنوبی شده است (شکل ۲). خطواره مغناطیسی F-357 (Yousefi & Friedberg, 1977) با گسل یادشده برابری دارد. گسل شمال قزوین اولین بار توسط Rieben (1966) معرفی شد. پس از وی

پژوهشگران دیگری (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ آرام، ۱۳۸۲؛ Allen et al., 2003a) نیز به بررسی این گسل پرداختند. بربریان و همکاران (۱۳۷۱) این گسل را گسلی فشاری با شیب حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه رو به شمال در نظر گرفته و اختلاف ارتفاع میان شهر قزوین و نزدیک‌ترین ستیغ‌ها را به این گسل نسبت می‌دهند. مطالعات ساختاری گسل شمال قزوین (آرام، ۱۳۸۲)؛ شیب گسل یادشده را رو به شمال، حرکت آن را از نوع معکوس با مؤلفه امتدادلغز چپ‌گرد و سوی بیشینه تنش شمال خاوری-جنوب باختری بیان می‌دارد. Allen et al. (2003a) نیز در نوشتار خود از گسل شمال قزوین بدین صورت یاد می‌کنند: در البرز جنوبی-باختری تعدادی از گسل‌های راندگی با روند خاوری-باختری قابل مشاهده‌اند که در آنها به‌جز یک پهنه pop-up در بین گسل‌های تالقان و مشای باختری به ندرت سنگ‌های پیش از ترشیری بروز دارند. برخی از این گسل‌ها به سوی باختر ناپدید شده و یا حداقل در زیر رسوبات کواترنری مستور شده‌اند. یک مورد استثنا در اینجا گسل شمال قزوین با روند خاوری-باختری و شیب به سوی شمال است که سبب راندگی سازند کرج بر روی سنگ‌های تخریبی کواترنری و ناودیس به سن نئوژن شده است (شکل ۱-ج).

در همه مطالعات صورت گرفته و نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساخت مربوط به ایران، البرز مرکزی و یا گسل شمال قزوین، این گسل گسلی فعال و لرزه‌زا عنوان شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ حسامی و همکاران، ۱۳۸۲؛ طاهرخانی، ۱۳۸۹؛ نظری و شهیدی، ۱۳۹۰). با این وجود سازوکار و هندسه جوان این گسل، تأثیر آن بر روی نهشته‌های جوان و همچنین ارتباط آن با گسل نجم‌آباد که در بخش جنوبی گسل شمال قزوین واقع شده همچنان مورد ابهام است. در این نوشتار بر اساس مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی مشتمل بر بررسی افزایش‌های گسلی شکل گرفته در اثر عملکرد گسل شمال قزوین و گسل نجم‌آباد، آرایش آبراهه‌ها و ستیغ‌ها، بهره‌گیری از تصاویر هوایی (۱:۴۰۰۰۰) تهیه شده در سال ۱۳۸۰، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی به بررسی مسائل یادشده پرداخته می‌شود.

۲- زمین‌شناسی و خاستگاه زمین‌ساختی

سرزمین ایران شاخه‌ای از کمربند کوهزایی فعال آلپ- هیمالیا به‌شمار می‌رود که دگرشکلی فعال آن ناشی از همگرایی صفحه عربستان با جنوب آسیا و نیز حرکت صفحه کاسپین جنوبی است. رشته‌کوه البرز در بخش شمالی ایران شامل کمربند لرزه‌ای بزرگی است که با گسترشی برابر با ۹۰۰ کیلومتر حوضه اقیانوسی کاسپین جنوبی را در بر گرفته است و سبب پیوند رشته‌کوه‌های قفقاز و طالش در شمال باختر و باختر و کپه‌داغ و بینالود در شمال خاور و خاور فلات ایران می‌شود (Berberian, 1983; Allen et al., 2003b; Jackson, 2006). این رشته‌کوه سینوسی شکل به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود. بخش درازتر آن (البرز مرکزی) در حدود ۶۰۰ کیلومتر گسترش داشته و در بخش جنوبی دریای کاسپین از قزوین ($36^{\circ} 15' N$, $49^{\circ} 00' E$) تا دامغان ($36^{\circ} 15' N$, $54^{\circ} 30' E$) کشیده شده است (شکل ۱-ج). البرز باختری شامل بخشی از رشته‌کوه البرز است که از قزوین تا تالش گسترش یافته است و البرز خاوری نیز در حدفاصل دامغان تا رشته‌کوه کپه‌داغ امتداد می‌یابد. بین طول جغرافیایی 50° درجه تا 54° درجه خاوری سیمای ۷ شکل گسترده‌ای نمایانگر شکل کلی البرز مرکزی است و مشتمل بر چین‌ها و گسل‌های فعالی است که دارای روند شمال باختر- جنوب خاور در بخش باختری بوده و به‌طور ناگهانی در بخش خاوری به روند شمال خاور- جنوب باختر تغییر می‌یابند (Berberian, 1983; Allen et al., 2003b; Ritz et al., 2006; Djamour et al., 2010; Solaymani et al., 2011).

فرازیابی ساختارهای کهن و جنبش دوباره گسل‌های بنیادین کهن در قالب رخداد‌های ترافشاری و تراکشتی در بخش‌های داخلی البرز از نشانه‌های ساختاری تنش‌های وارد شده به این پهنه ساختاری در حاشیه شمالی صفحه ایران است. این ساختارهای کهن فراز یافته با جنبش‌های زمین‌ساختی (از پلیوسن تا به امروز) در کناره‌های خود با ساختارهای بنیادین گسل‌های بیشتر خاوری- باختری چون رودبار، تالقان، مشا، فیروزکوه، آستانه و جاجرم در بخش داخلی و گسل‌های خزر (کاسپین) و شمال البرز در لبه شمالی و گسل‌های دامغان، گرمسار، شمال تهران و شمال قزوین در لبه جنوبی کنترل و محدود می‌شوند (نظری و شهیدی، ۱۳۹۰).

البرز مرکزی از نظر لرزه‌زمین‌ساختی، منطقه‌ای پویا به‌شمار می‌آید که رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگی در آن ثبت شده است. در این منطقه گسل‌های فعال با توان لرزه‌زایی زیادی دیده می‌شوند که توالی‌های رسوبی نتوژن و پلیستوسن- هولوسن را بریده و جابه‌جا کرده‌اند. برخلاف وجود زمین‌لرزه‌های مهلک فراوان در کمربند لرزه‌ای البرز، تا پیش از اجرای پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌ای بر روی برخی از گسل‌های گستره البرز مرکزی چون گسل جنبای شمال تهران (Ritz et al., 2012)، تالقان (Nazari et al., 2009)، آستانه (Hollingsworth et al., 2010)، پیشوا (مجیدی‌نیری و همکاران، ۱۳۹۰)، چیتگر (کاوه، ۱۳۸۸) هیچگونه شواهد محکمی در رابطه با گسلش سطحی برای زمین‌لرزه‌های تاریخی در دسترس نبوده و در نتیجه ارتباط دادن زمین‌لرزه‌های کهن با گسل‌های شناخته شده در آن به‌طور قطعی امکان‌پذیر نداشته نمی‌باشد (Berberian et al., 1992).

مطالعات نوزمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی نمایانگر بخش‌بندی دگرشکلی کنونی البرز در طول گسل‌های راندگی و راستالغز چپ‌گرد است و این دگرشکلی می‌تواند حاصل رژیم ترافشاری آغاز شده در پلیوسن (۳ تا ۵ میلیون سال گذشته) به واسطه حرکت حوضه کاسپین جنوبی نسبت به بلوک ایران مرکزی باشد. پیش از زمان یادشده کوتاه‌شدگی شمالی- جنوبی البرز سبب جابه‌جایی‌های راندگی و حرکات راستالغز راست‌گرد و چپ‌گرد به ترتیب در بخش باختری و خاوری البرز بوده است (Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003a). شایان ذکر اینکه در مورد زمان آغاز دگرشکلی نوین البرز بین پژوهشگران مختلف بحث است. اولین برآورد سازوکار کنونی البرز مرکزی به کمک شبکه GPS توسط

(Vernant et al., 2004) ارائه و نرخ کوتاه‌شدگی شمالی- جنوبی و برشی چپ‌گرد در این پهنه ساختاری به ترتیب برابر با $5 \pm 2 \text{ mm/y}$ و $4 \pm 2 \text{ mm/y}$ تعیین شد. برآورد دقیق حرکت و چرخش بلوک کاسپین جنوبی نسبت به اوراسیا توسط (Djamour et al., 2010) محاسبه شد. نتایج حاصل از مطالعه اخیر بدین صورت است: نرخ دگرشکلی در طول پهنه ساختاری البرز متغیر است، به‌طوری‌که بخش خاوری البرز موازنه‌کننده بیشتر جابه‌جایی راستالغز چپ‌گرد (2 mm/yr) در بخش جنوبی و (5 mm/yr) در بخش شمالی و میزان کمتری جابه‌جایی کوتاه‌شدگی عمود بر رشته‌کوه به مقدار (2 mm/yr) بر روی گسل راندگی کاسپین است. دگرشکلی در بخش باختری البرز به صورت کوتاه‌شدگی عمود بر رشته‌کوه به میزان (6 mm/yr) بر روی گسل راندگی کاسپین و مؤلفه حرکتی امتدادلغز چپ‌گرد به اندازه (2 mm/yr) در بخش شمالی و (1 mm/yr) در بخش جنوبی آن است. سازوکار کنونی به‌دست آمده برای البرز با نرخ لغزش حاصل از پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی مطابقت دارد. البته باید توجه کرد که نرخ لغزش بیان شده به دگرشکلی عهد حاضر مربوط بوده و نتیجه حرکت و چرخش حوضه کاسپین جنوبی است (Djamour et al., 2010). میزان احتمالی بردار لغزش بر روی گسل شمال قزوین (1 mm/yr) برآورد شده است (Talebian et al., 2008).

بلندی‌های شمال قزوین مشتمل از مجموعه‌های آذرآواری دوران نوزیستی از یک سری چین‌ها و راندگی‌های خاوری- باختری تشکیل شده است که از محور مرکزی البرز بر روی هم و به سوی شمال و جنوب رانده شده‌اند. شدت دگرختی در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز به بیشترین مقدار خود می‌رسد، به‌طوری‌که دامنه‌های البرز به‌طور ناگهانی در طول گسل‌های مشا، شمال تهران و شمال قزوین در سوی جنوبی و گسل خزر در بخش شمالی به دشت متصل می‌شوند (Berberian & King, 1981; Berberian & Yeats, 1999; Jackson et al., 2002).

گسل شمال قزوین در بخش جنوبی البرز مرکزی قرار گرفته و توسط پژوهشگران مختلف به عنوان گسلی راندگی با شیب به سوی شمال معرفی شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ Allen et al., 2003a؛ Rieben, 1966; Annells et al., 1975). گسل شمال قزوین با شیبی حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه به سوی شمال، همانند راندگی شمال تهران خطوط هم‌تراز ۱۵۰۰ متر را دنبال می‌کند. آنچنان که اختلاف ارتفاع میان شهر قزوین و نزدیک‌ترین ستیغ‌ها از ویژگی‌های بارز این گسل است. از دیدگاه چینه‌شناسی گستره گسل شمال قزوین عمدتاً توسط سازند کرج به سن اتوسن پوشانده شده است، به‌طوری‌که این سازند فرادواره گسل شمال قزوین را در بیشتر نقاط گستره تشکیل می‌دهد. سنگ‌های پالئوزویک و مزوزویک همچون سازند روته به سن پرمین و واحدهای دیگری به سن ژوراسیک نیز به ندرت در آن برونزد دارند (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین (رادفر و امامی، ۱۳۷۹) و تاکستان (مهابادی و همکاران، ۱۳۷۹)).

واحدهای کواترنری منطقه قزوین نیز بر مبنای نامگذاری صورت گرفته در واحدهای کواترنری گستره تهران به واحدهای کواترنری هزاردره (A)، کهریزک (B)، سازند آبرفتی تهران (C) و آبرفت کنونی (D) تقسیم‌بندی می‌شوند (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱). از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی گسل شمال قزوین گسلی فعال و لرزه‌زا به‌شمار می‌رود (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ حسامی و همکاران، ۱۳۸۲؛ طاهرخانی، ۱۳۸۹). گسل شمال قزوین در بخشی از ایران قرار گرفته که از نظر لرزه‌زمین‌ساختی بسیار ناآرام و پرتکاپو است ولی به سبب کمی داده‌ها سرگذشت لرزه‌ای آن به‌درستی مشخص نیست. با این وجود زمین‌لرزه ۱۱۱۹ میلادی با بزرگای نسبی ۶/۵ و زمین‌لرزه‌ای که با تردید به سال ۱۶۳۹ میلادی نسبت داده می‌شود نیز در صورت درستی مربوط به عملکرد گسل شمال قزوین بوده است که سبب ویرانی شهر قزوین شده است (Ambraseys, 1974؛ بربریان و همکاران، ۱۳۷۱؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۲؛ نظری و شهیدی، ۱۳۹۰).

۳- ریخت زمین ساخت

حرکات متوالی در گسل‌های واژگون یا رانندگی سبب قرارگیری سنگ بستر سخت در فرادیواره گسل در مجاورت رسوبات جوان و سست فرودیواره می‌شود. این اختلاف در ویژگی مواد فرادیواره و فرودیواره موجب تمرکز لغزش در پهنه باریکی در پای پیشانی کوهستانی برخاسته، چین خورده و برجسته از نظر ریخت‌شناسی می‌شود. در این ناحیه فرایندهای شیب فعال، فرسایش آبراهه‌ای و ته‌نشست بادبزنی‌های آبرفتی در مجموع می‌توانند باعث نامعلوم شدن خط اثر گسل گردند (MacCalpin, 2009). از این رو بررسی و تفسیر زمین‌ساختی بر روی این نوع از گسل‌ها بیشتر با تکیه بر شواهد زمین‌ریختی صورت می‌پذیرد. در محدوده مورد مطالعه این وضعیت به چشم می‌خورد؛ گسل شمال قزوین به واسطه مؤلفه شیب‌لغز معکوس خود موجب قرارگیری واحد سنگی کرج در مجاورت رسوبات کواترنری (سازند هزاردره و کهریزک) شده است.

گسل‌های عادی، معکوس و امتدادلغز مرتبط با چشم‌اندازهای فعال از نظر زمین‌ساختی می‌توانند از دیدگاه ریخت‌زمین‌ساختی به انواع داخلی (internal) و خارجی (external) طبقه‌بندی شوند. گسل‌های داخلی موجب گسیختگی سنگ بستر کوهستان می‌شوند و گسل‌های خارجی می‌توانند در محل رسوب‌گذاری سامانه‌های رودخانه‌ای (fluvial systems) تشکیل شوند. برخاستگی در طول گسل‌های رانندگی محدودکننده رشته‌کوه می‌تواند به وجود آورنده یک پرتگاه بارز شود، اما موقعیت گسیختگی سطحی اولیه با شکل‌گیری شاخه‌هایی از یک گسل در حال گسترش به داخل حوضه مجاور، منتقل می‌شود. در این حالت گسل محدودکننده رشته‌کوه اولیه به گسلی داخلی مبدل می‌شود که از دیدگاه زمین‌ساختی فعالیت آن تنزل یافته و یا غیر فعال می‌شود. گسیختگی‌ها و چین‌های مربوط به دگرریختی زمین‌ساختی در این پیش‌بوم‌های کوهپایه‌ای توسط بقایای آبرفت کوهپایه‌ای مستور می‌شوند. پارینه‌لرزه‌شناسی پیش‌بوم‌های کوهپایه‌ای از نظر ریخت‌شناسی زمین‌ساختی حائز اهمیت است. گسل‌های خارجی که به راحتی از نظر مخفی می‌مانند از دیدگاه مخاطرات زمین‌لرزه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارند (Bull, 2007).

به منظور انجام مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی بر روی گسل شمال قزوین ابتدا نقشه ریخت‌زمین‌ساخت گستره گسل (شکل ۱-ج) با بهره‌گیری از تصاویر هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، داده‌های رقومی SRTM (۹۰ متر)، Aster (۳۰ متر)، تصاویر ماهواره‌ای IRS-Pan, Land Sat (ETM+) (۵/۶ متر)، داده‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر برگرفته از ماهواره Quickbird تهیه شد و نقاط مشکوک برای بازدیدهای صحرایی مشخص شدند. آنگاه با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مشاهده شواهدی از واپسین جنبش‌های کواترنری در بخش میانی گسل شمال قزوین (شکل ۳)، امکان بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی در این بخش از گسل فراهم شد.

۳-۱. قطعه‌بندی (Segmentation)

قطعه‌بندی گسل‌ها بر اساس نشانه‌های ساختاری و ویژگی‌های ریختاری صورت می‌پذیرد. نشانه‌های ساختاری شامل تغییرات ناگهانی در جهت‌گیری گسل، بریده شدن گسل با گسل‌های دیگر، تغییرات ناگهانی در شیب و تغییر در لغزش کلی گسل هستند و ویژگی‌های ریختاری برای قطعه‌بندی گسل‌ها عبارتند از تفاوت‌های ارتفاعی در توپوگرافی برخاسته در فرادیواره گسل، تغییرات ناگهانی در راستای آن و حد چین‌خوردگی سطحی (MacCalpin, 2009).

گسل شمال قزوین پیش از این به دو بخش خاوری با راستای شمال باختر- جنوب خاور و بخش باختری با روند کلی خاوری- باختری به نقشه درآمده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱). بر اساس هندسه گسل و سوی تقریبی پیشینه تنش (شمال خاور- جنوب باختر) بخش باختری گسل شمال قزوین از خاور به باختر به چند بخش کوچک‌تر تقسیم می‌شود (شکل ۴) که ویژگی‌های هر بخش در جدول ۱ خلاصه شده است.

۳-۲. الگوی آبراهه‌ای

آبراهه‌ها نشانگرهای زمین‌ریختی هستند که می‌توانند لغزش‌های رخ داده در گسل‌ها را ثبت کرده و برای اندازه‌گیری میزان دگرشکلی ایجاد شده در اثر فرایندهای زمین‌ساختی مورد استفاده قرارگیرند. با تکیه بر الگوی آبراهه‌ای ارائه شده توسط (Nazari, 2006)، آبراهه‌های اصلی در محدوده مورد بررسی تحت مطالعه قرار گرفتند. بر این اساس دو دسته انحراف چپ‌گرد و راست‌گرد دیده می‌شود که با الگوی ارائه شده برای گسل‌های معکوس برابری دارد. الگوی ایجاد شده در آبراهه‌های اصلی قطع شده توسط گسل شمال قزوین نشان‌دهنده گسلی با مؤلفه شیب‌لغز معکوس با شیب رو به کوه (رو به شمال) است، از سوی دیگر بنا به چیرگی جابه‌جایی چپ‌گرد گسل یادشده واجد مؤلفه راستالغز چپ‌گرد نیز است (شکل ۵). در تعدادی از رودخانه‌های اصلی قطع‌کننده گسل شمال قزوین سیمای پیچ‌خورده دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل تغییر رژیم زمین‌ساختی کنونی البرز و تغییر مؤلفه راستالغز گسل از راست‌گرد به چپ‌گرد باشد (شکل ۶).

۴- گسل نجم‌آباد

پرتگاه گسلی قابل رؤیت بر روی تصویر ماهواره‌ای SRTM (۹۰ متر)، Aster (۳۰ متر)، عکس‌های هوایی گستره گسل شمال قزوین و تصاویر ماهواره‌ای نمایانگر گسلی با روند تقریبی خاوری- باختری در بخش جنوبی گسل شمال قزوین است (شکل‌های ۵ و ۷). گسل یادشده اولین بار در مجاورت روستای نجم‌آباد (۱۰ کیلومتری شمال قزوین) مورد بررسی قرار گرفته و از این رو گسل نجم‌آباد نام گرفت. آنچه از این گسل بر روی سطح زمین قابل مشاهده است چین‌خوردگی سازند آبرفتی هزاردره است که جزو چین‌های گسترش گسلی (fault-propagation folds) به‌شمار می‌رود (شکل ۷-ب). چین‌خوردگی شکل گرفته بر فراز گسل نجم‌آباد نسبتاً نامتقارن است. از این رو گسل یادشده می‌تواند گسلی پنهان به‌شمار آید که به تازگی به سطح زمین رسیده است.

بنا به تقسیم‌بندی ارائه شده در مورد سامانه گسترش گسل‌های رانندگی به سوی کوهپایه (Bull, 2007)، گسل نجم‌آباد شاخه‌ای پیشرونده از گسل شمال قزوین به‌شمار می‌آید که در محل نهشته شدن رسوبات آبرفتی کواترنری و بادبزنی‌های آبرفتی به‌وجود آمده در اثر عملکرد گسل شمال قزوین تشکیل شده است و در مقایسه با گسل شمال قزوین (پهنه گسلی داخلی) به عنوان گسل خارجی در نظر گرفته می‌شود. گسل نجم‌آباد گسلی جنب و لرزه‌زا بوده و محتمل است با شکل‌گیری آن از فعالیت زمین‌ساختی گسل شمال قزوین کاسته شده باشد (طاهرخانی، ۱۳۸۹). با توجه به آرایش آبراهه‌ای شکل گرفته در عرض گسل نجم‌آباد (شکل ۵) و بهره‌گیری از الگوی آبراهه‌ای (Nazari, 2006) سازوکار گسل نجم‌آباد همانند گسل شمال قزوین به صورت معکوس با مؤلفه راستالغز چپ‌گرد تعیین می‌شود.

۵- برآورد میزان دگرشکلی برشی - فشاری تجمعی در مقیاس بزرگ

برای اندازه‌گیری مقدار دگرشکلی ایجاد شده به موجب رخداد‌های زمین‌ساختی، وجود عارضه‌ای که به سبب حرکت گسل جابه‌جا شده باشد ضروری است. ساختارهایی که در عرض گسل، پیش از جابه‌جایی بلوک‌های طرفین گسل، وجود دارند می‌توانند به عنوان مبنا (datum) یا piercing point برای اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های متعاقب مورد استفاده قرار گیرند (Burbank & Anderson, 2001). در ریخت‌شناسی زمین‌ساختی به بررسی نشانگرهای جابه‌جا شده (offset markers) برای دستیابی به هدف یادشده در بالا پرداخته می‌شود. بهترین نشانگرهای زمین‌ریختی شناسایی شده، چشم‌اندازها و روندهای خطی هستند. در مطالعه اخیر از آبراهه‌های منحرف شده در اثر عملکرد گسل شمال قزوین برای تعیین هندسه و سازوکار آن استفاده شده است. متأسفانه به دلیل نبود سن رسوبات

عوارض زمین‌ریختی به کار گرفته شده در این پژوهش برای محاسبه زاویه افت گسل شامل آبراهه‌های جابه‌جا شده هستند. این عوارض به خوبی نمایانگر عملکرد دو فاز زمین‌ساختی متفاوت (فاز زمین‌ساختی پیشین با مؤلفه حرکتی راستالغز راست گرد و فاز زمین‌ساختی نوین با مؤلفه حرکتی راستالغز چپ گرد) هستند. مشکلی که در به کارگیری آبراهه‌ها و ستیخ‌ها به عنوان نقاط نافذ در برآورد میزان زاویه افت وجود دارد اثرگذاری فرسایش و رسوب‌گذاری بر روی این عوارض است. این تأثیرپذیری با فاصله گرفتن از زمان رخداد لرزه‌ای و شرایط آب و هوایی زیاد می‌شود. از این رو همیشه در محاسبات انجام شده یک بازه خطا (bar error) در نظر گرفته می‌شود. پرتگاه گسلی شکل گرفته در اثر عملکرد گسل نجم‌آباد نسبت به زمین‌های اطراف در حدود ۱۰ متر ارتفاع دارد. به نظر می‌رسد که این گسل با سازوکاری مشابه با گسل شمال قزوین در ژرفا به آن پیوندند. الگوی آبراهه‌ای شکل گرفته بر روی گسل نجم‌آباد نمایانگر اینست که سازوکار آن به صورت معکوس با مؤلفه راستالغز چپ گرد است. تاریخچه لرزه‌خیزی گسل شمال قزوین و گسل نجم‌آباد به شواهد ساختاری و زمین‌ریختی (الگوی آبراهه‌ای، افرازشای گسلی و ...) محدود می‌شود و این داده‌ها نمایانگر فعال بودن گسل‌های بیان شده هستند. به‌جز یک مورد زمین‌لرزه تاریخی منسوب به گسل شمال قزوین که در حدود ۹۰۰ سال از رویداد آن می‌گذرد، هیچگونه داده دستگامی بر روی این گسل به ثبت نرسیده است (شکل ۱- ب). البته با انجام بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی دقیق در طول گسل یادشده و یافتن شواهدی از لغزش‌های جوان و متعلق به کواترنری پایانی رویداد زمین‌لرزه گفته شده به واسطه لغزش گسل شمال قزوین تا حدودی قابل تأیید است. اظهارنظر دقیق‌تر در مورد پیشینه لرزه‌خیزی منطقه مستلزم اجرای پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در محدوده گسل شمال قزوین است.

۸- نتیجه‌گیری

در این نوشتار ویژگی‌های هندسی و سازوکار جوان گسل شمال قزوین با دقتی قابل توجه به عنوان پهنه‌ای گسله و بازمانده از گسیخت ناشی از جنبش این گسل با درازای چند ده کیلومتر (~80Km) با بهره‌گیری از روش‌های هندسی در اندازه‌گیری‌های ریخت‌زمین‌ساختی ارائه شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیش روی امکان برآوردی دقیق از هندسه و سازوکار جوان گسل شمال قزوین را با اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش میانی گسل با عنوان گسلی جنب‌و سازوکار فشاری با مؤلفه راستالغز چپ گرد فراهم آورد.

گسل نجم‌آباد گسلی است فشاری با شیب به سوی شمال واقع در بخش جنوبی گسل شمال قزوین که بنا به الگوی آبراهه‌ای ایجاد شده دارای سازوکار معکوس با مؤلفه چپ گرد است. این گسل گسلی پنهان، لرزه‌زا و جنب‌و در نظر گرفته می‌شود که با توجه به سیمای چین‌خوردگی ایجاد شده در اثر عملکرد آن محتمل است که پایانه (tip) آن در نزدیکی سطح زمین قرار گرفته باشد. گسل نجم‌آباد شاخه‌ای پیش‌رونده از گسل شمال قزوین به شمار می‌آید که در مقایسه با گسل شمال قزوین (پهنه گسلی داخلی) به عنوان گسل خارجی در نظر گرفته می‌شود.

آبراهه‌های جابه‌جا شده امکان سن‌یابی دقیق حادثه زمین‌ساختی مربوطه وجود ندارد. تنها چیزی که می‌توان اظهار داشت اینست که حادثه زمین‌ساختی مربوطه جوان بوده و به نظر می‌رسد مربوط به واپسین حوادث زمین‌ساختی رخ داده در اثر عملکرد گسل شمال قزوین باشد.

با استفاده از روابط مثلثاتی $\delta = \arctg(vf/H)$ و $vf = v/\sin\delta$ که در آن H مؤلفه افقی، V مؤلفه قائم تصویر شده بر روی سطح گسل، δ شیب گسل و p زاویه افت برادر لغزش (pitch) است، محاسبه زاویه افت (ریک بردار لغزش) بر روی سطح گسل امکان‌پذیر می‌شود (Nazari et al., 2009؛ نظری و ریتز، ۱۳۸۸).

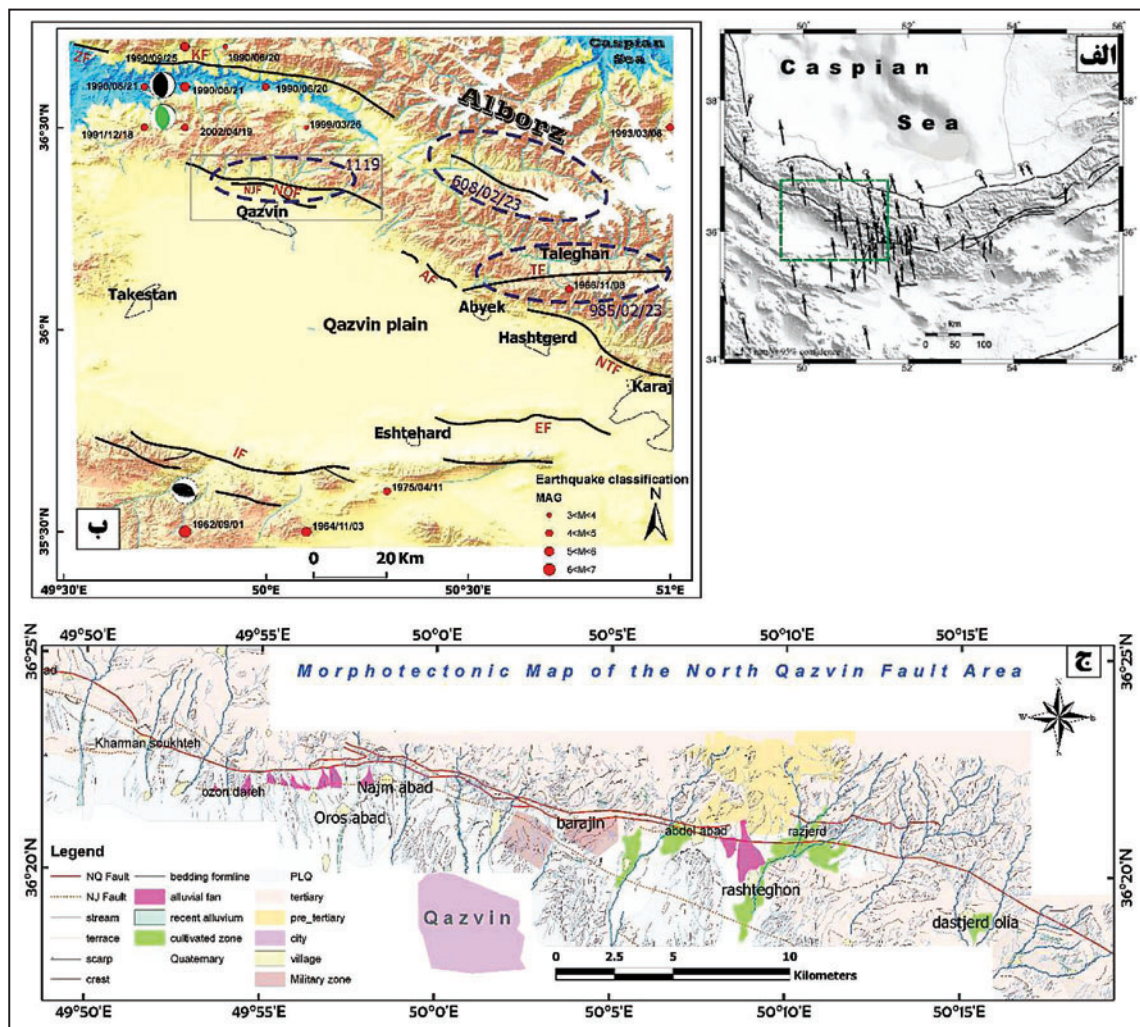
در این مطالعه با مشخص کردن آبراهه‌های جابه‌جا شده به واسطه عملکرد گسل شمال قزوین (شکل‌های ۸- الف، ب، ج) و اندازه‌گیری اندیس‌های H و V بر روی زمین (شکل‌های ۸- د و ه) و قرار دادن آنها در روابط بالا امکان محاسبه زاویه افت بردار لغزش به میزان ۵۱ درجه فراهم شد.

۶- برآورد میزان دگرشکلی برشی - کششی تجمعی در مقیاس کوچک

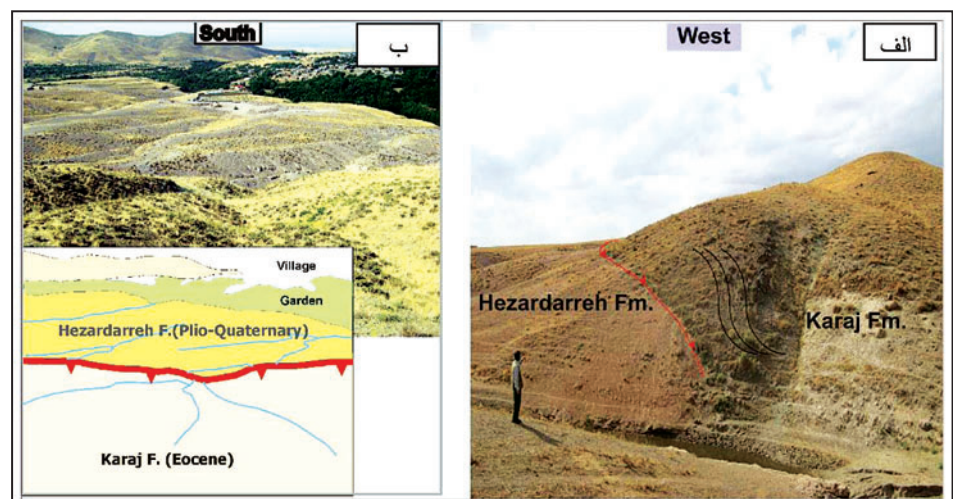
برش‌های توپوگرافی رسم شده بر روی مدل رقومی حاصل از رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و داده‌های SRTM امکان برآورد میزان جابه‌جایی قائم و افقی را بر گذر از پهنه گسل فراهم می‌آورد. بر این اساس در بخش میانه گسل پیشینه جابه‌جایی قائم و افقی چپ گرد اندازه‌گیری شده بر روی آبراهه‌های عمود بر راستای صفحه گسل شمال قزوین به ترتیب برابر با 23 ± 5 و 40 ± 8 متر است (شکل‌های ۹- الف و ب). اگرچه بر اساس نبود داده‌های دقیق از آهنگ فرسایش در گستره مورد مطالعه همیشه امکان محاسبه عددی کمتر از میزان واقعی به‌ویژه در برآورد جابه‌جایی افقی است (نظری و ریتز، ۱۳۸۸). بر مبنای مقادیر محاسبه شده برای راستا، شیب و مقدار جابه‌جایی‌های افقی و قائم و به کارگیری روش و روابط هندسی، میزان زاویه افت بر روی سطح گسل (ریک) در حدود ۳۵ درجه به سوی باختر است. بنابراین، ویژگی‌های صفحه گسل چون راستا، شیب و زاویه افت، در این بخش از گسل شمال قزوین، به ترتیب برابر با ۵۳ و ۳۵ با سازوکار چپ گرد عادی تعیین می‌شود.

۷- بحث

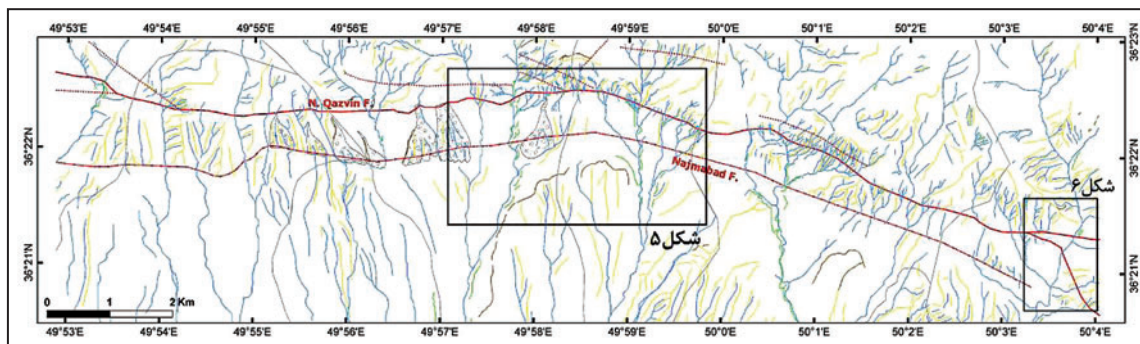
بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی بر روی گسل شمال قزوین با طول تقریبی ۸۰ کیلومتر واقع در دامنه جنوبی کوهزاد البرز برای اولین بار در این مطالعه صورت گرفت. مطالعات پیشین بیشتر با تکیه بر داده‌های ساختاری، تمام طول گسل را واجد سازوکار راندگی با مؤلفه راستالغز چپ گرد معرفی کردند. در این پژوهش، گسل شمال قزوین بر اساس هندسه و راستای تقریبی پیشینه تنش فشاری (شمال‌خاوری- جنوب باختری) (Allen et al., 2003a; Ritz et al., 2006) به چند قطعه با روندهای کلی NW-SE، E-W و NE-SW تفکیک شد که دارای سازوکارهای متفاوت شامل فشاری چپ گرد، چپ گرد فشاری و چپ گرد کششی هستند. در برخی از قطعات نقاط نافذ (Piercing points) امکان محاسبه زاویه افت گسل را فراهم ساختند (جدول ۱).



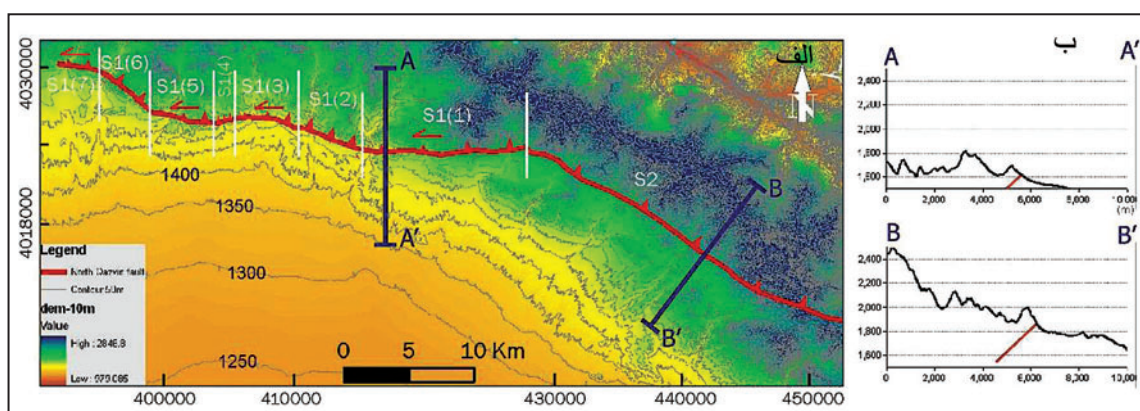
شکل ۱ - الف) گستره البرز و جنوب کاسپین نمایانگر سرعت‌های نسبی GPS نسبت به اوراسیا (برگرفته از Djamour et al., 2010؛ ب) نقشه لرزه‌زمین ساخت بخشی از البرز مرکزی با تصویر پس‌زمینه ماهواره‌ای SRTM؛ خطوط مشکی سبتر نمایانگر گسل‌های فعال اصلی (AF: Abyek fault, EF: Eshtehard fault, IF: Ipak fault, KF: Kashachal fault, NQF: North Qazvin fault, NTF: North Tehran fault, TF: Taleghani fault, ZF: Zardgoli fault) هستند، کادرهای بیضی رومرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی (برگرفته از Ambraseys & Melville, 1982) را به همراه زمان رویداد نشان می‌دهند، تحلیل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های دستگاهی (کادر دایره‌ای سبز رنگ و سیاه رنگ، برگرفته از Harvard CMT solution) و دواپر توپر سرخ رنگ رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی با بزرگی بیش از ۳ (برگرفته از EBH Catalogue (www.isc.ac.uk)) را نمایش می‌دهند؛ ج) نقشه ریخت‌زمین ساخت گستره گسل شمال قزوین.



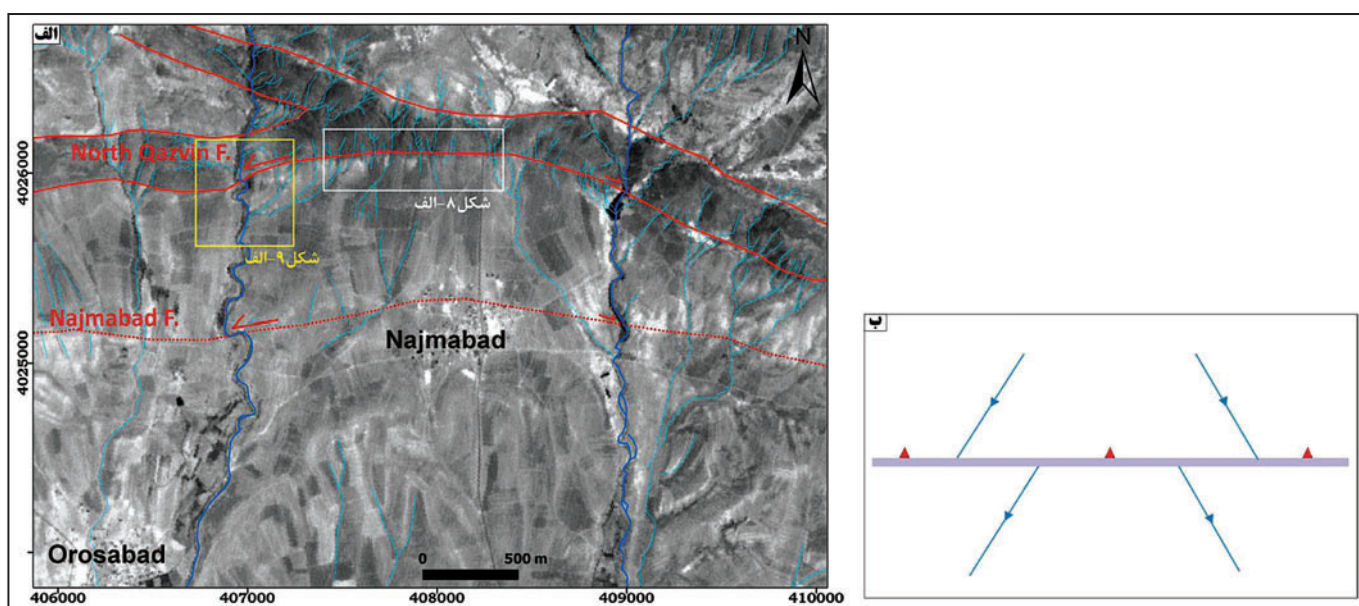
شکل ۲ - نمایی از راندگی سازند کرج (انوسن) بر روی سازند هزاردره. الف) در مجاورت روستای نجم‌آباد (موقعیت تقریبی UTM تصویر ۴۰۲۵۸۹۸، ۴۰۹۰۴۰) و ب) در نزدیکی روستای رزجرد (موقعیت تقریبی UTM تصویر ۴۰۲۲۸۲۷، ۴۲۵۹۹۷) قرار دارد.



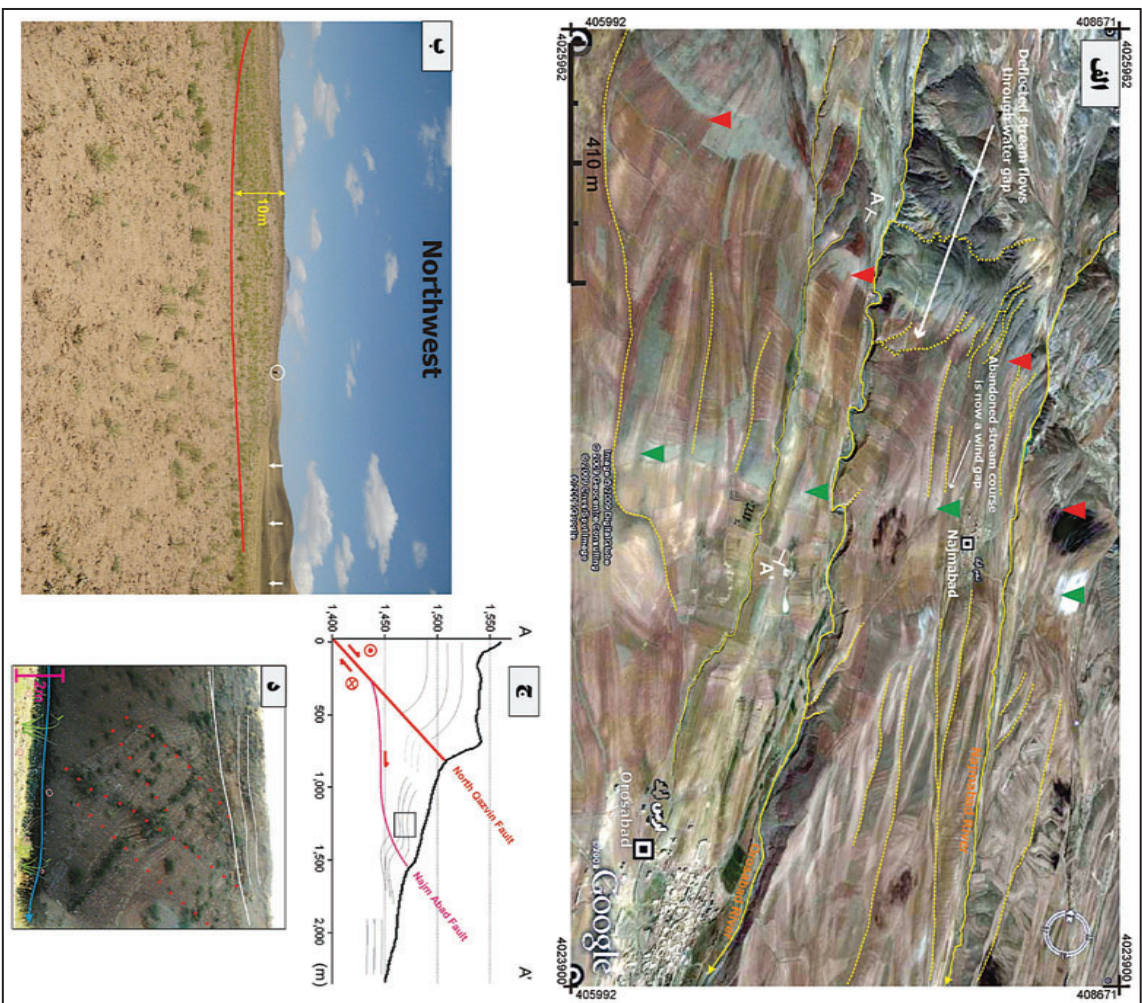
شکل ۳- نقشه دقیق از گسل شمال قزوین بر پایه تصاویر هوایی ۱/۴۰۰۰۰، چهار گوشه‌ها نشانگر موقعیت دیگر تصاویر بر روی نقشه هستند.



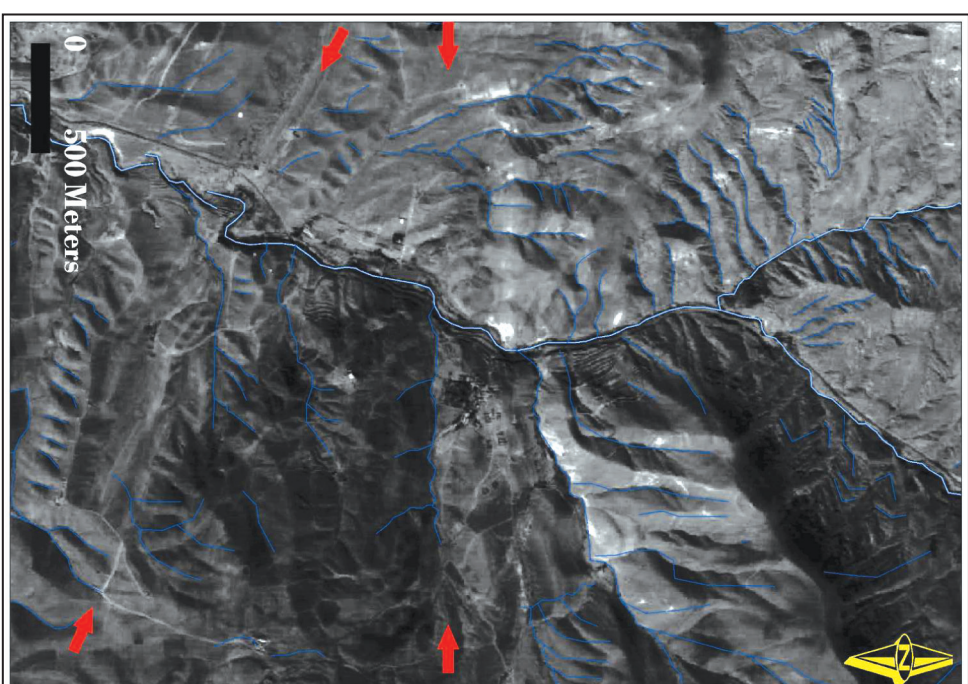
شکل ۴- الف) قطع‌بندی گسل شمال قزوین بر روی پس‌زمینه ارتفاعی رقومی تهیه شده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، خطوط سفید مرز بین قطعات را مشخص می‌کند و ب) نمایی از نیمرخ‌های توپوگرافی در طول خطوط آبی رنگ مشخص شده در شکل هستند.



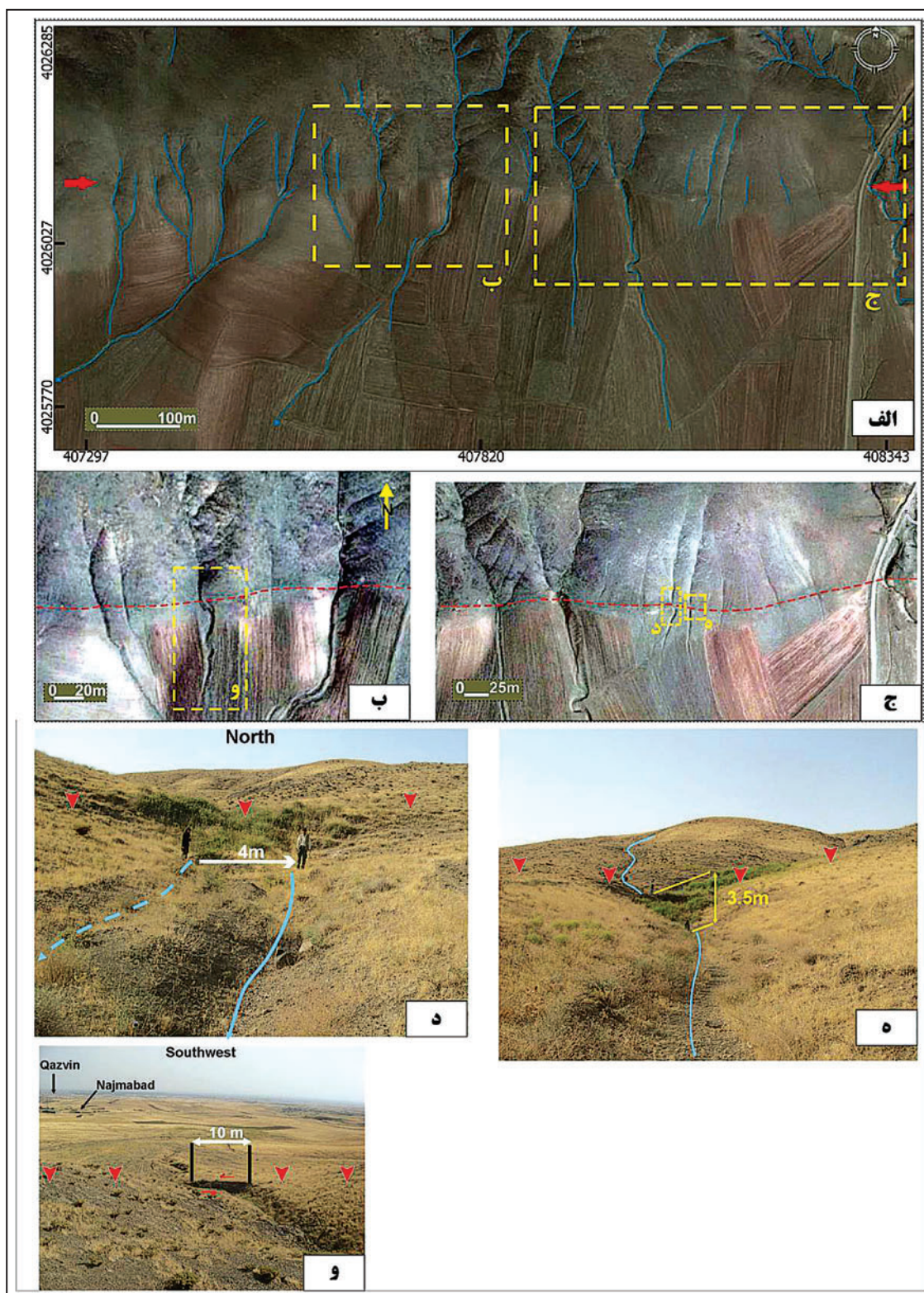
شکل ۵- الف) پهنه گسل شمال قزوین بر روی تصویر ماهواره‌ای IRS-Pan که آبراه‌های جابه‌جا شده در اثر عملکرد گسل شمال قزوین و گسل نجم‌آباد بر روی آن نشان داده شده است؛ ب) شکل کوچک نشان‌دهنده الگوی آبراه‌ای است که در آن گسل معکوس دارای شیب به سوی کوه است.



شکل ۷- الف) تصویر ماهواره ای Quickbird From Google Earth) در نمای ساندی از پهنه گسل شمال قزوین نمایانگر گسل شمال قزوین و بر نگاه گسلی شاخه پیرونده از آن (گسل نجم آباد)؛ ب) نمایی از اثر چین گسلی ایجاد شده در اثر عملکرد گسل نجم آباد در مجاورت روستای نجم آباد، پیکان های سفید رنگ گسل شمال قزوین را نشان می دهند؛ ج) برش نمایان نمایانگر گسل شمال قزوین و گسل نجم آباد، محل برش در شکل الف نشان داده شده است؛ د) عکس صحرایی از کادر مشخص شده در شکل ج.

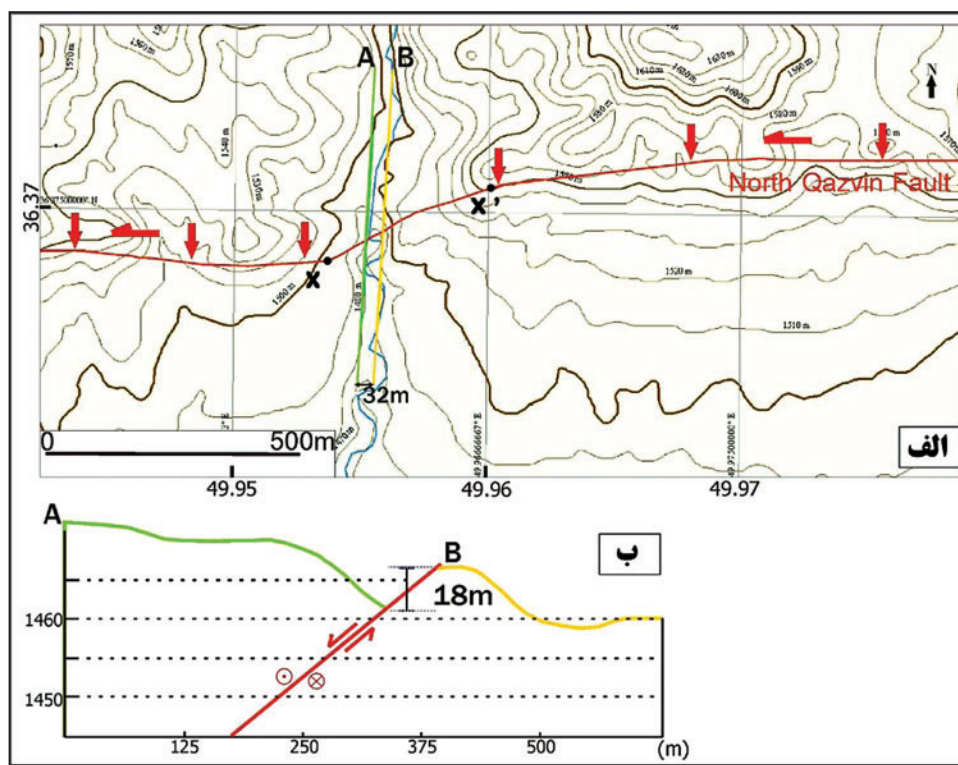


شکل ۸- عکس هوایی اسکن شده از پهنه گسلی گسل شمال قزوین، موقعیت تصویر در شکل ۳ نشان داده شده است. پیکان های سرخ رنگ نمایانگر گسل شمال قزوین و خطوط آبی آبراهه ها را نمایش می دهند.



شکل ۸- الف) تصویر ماهواره ای Quickbird (Quickbird satellite imagery, From Google Earth) نمایشگر جابه جایی افقی آبراهه ها به همراه موقعیت دیگر تصاویر، پیکان‌های سرخ رنگ خط اثر گسل شمال قزوین و خطوط آبی رنگ آبراهه ها را نمایش می دهند؛ ب و ج) نمایی نزدیک تر از چهارچوب‌های مشخص شده در شکل‌های الف، د، ه؛ و) جابه جایی افقی و قائم آبراهه‌های مشخص شده در شکل‌های ب و ج، مثلث‌های قرمز راستای گسل شمال قزوین را نشان می دهند.

شکل ۹- الف) نقشه توپوگرافی پهنه گسل شمال قزوین که موقعیت آن در شکل ۵ نشان داده شده است، خط اثر گسل با رنگ سرخ و خطوط مماس بر آبراهه‌های جابه‌جاشده با رنگ سبز و زرد نمایش داده شده‌اند؛ ب) نیمرخ قائم در طول محور آبراهه جابه‌جا شده به همراه برآوردی از مؤلفه جابه‌جایی قائم تجمعی. افت قائم با جابه‌جایی عادی در محل برش توپوگرافی نتیجه خمش سطح گسل و ایجاد پهنه کششی در گستره بین حروف X-X' است.



جدول ۱- خلاصه اطلاعات مربوط به ویژگی‌های هندسی و سازوکار بخش‌های مختلف گسل شمال قزوین (شکل ۴ را ببینید).

ردیف	شماره بخش	طول و عرض جغرافیایی ابتدا (UTM)	طول و عرض جغرافیایی انتها (UTM)	روند	جهت شیب و مقدار آن	جابه‌جایی قائم (m)	جابه‌جایی افقی (m)	زاویه افت (ریک)	سازوکار
۱	S1(1)	۴۲۸۳۱۷-۴۰۲۳۸۱۰	۴۱۶۰۴۹-۴۰۲۳۷۲۰	E-W	N	-	-	-	چپ‌گرد فشاری
۲	S1(2)	۴۱۶۰۴۹-۴۰۲۳۷۲۰	۴۰۴۹۹۲-۴۰۲۶۱۵۶	NW-SE	NE	-	-	-	فشاری چپ‌گرد
۳	S1(3)	۴۰۹۸۴۸-۴۰۲۵۶۶۸	۴۰۴۹۹۲-۴۰۲۶۱۵۶	E-W	N, 45°	۵±۱	۴/۵±۱	۵۱°	چپ‌گرد فشاری
۴	S1(4)	۴۰۴۹۹۲-۴۰۲۶۱۵۶	۴۰۴۱۰۹-۴۰۲۵۸۵۷	NE-SW	NW, 53°	۲۳±۵	۴۰±۸	۳۵°	چپ‌گرد کششی
۵	S1(5)	۴۰۴۱۰۹-۴۰۲۵۸۵۷	۳۹۹۲۹۱-۴۰۲۶۵۹۸	E-W	N	-	-	-	چپ‌گرد فشاری
۶	S1(6)	۳۹۹۲۹۱-۴۰۲۶۵۹۸	۳۹۴۶۲۳-۴۰۳۰۰۱۴	NW-SE	NE	-	-	-	فشاری چپ‌گرد
۷	S1(7)	۳۹۴۶۲۳-۴۰۳۰۰۱۴	۳۹۱۹۰۲-۴۰۳۰۴۳۶	E-W	N	-	-	-	چپ‌گرد فشاری
۸	S(2)	۴۲۸۳۱۷-۴۰۲۳۸۱۰	۴۵۱۱۷۰-۴۰۲۳۶۹۵	NW-SE	NE	-	-	-	فشاری چپ‌گرد

کتابنگاری

آرام، ز.، ۱۳۸۲- مطالعات ساختاری گسل شمال قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۱- پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه‌زمین ساخت و خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۷ صفحه.

حسامی، خ.، جمالی، ف. و طبسی، ه.، ۱۳۸۲- نقشه گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

رادفر، ج. و امامی، م.، ه.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

طاهرخانی، ب.، ۱۳۸۹- مورفوتکتونیک و جنبش‌های جوان گسل شمال قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۰۵ صفحه.

قاسمی، م.، ر.، قرشی، م. و سعیدی، ع.، ۱۳۸۲- گسله‌های لرزه‌زای بنیادی البرز، گزارش طرح پژوهشی شورای پژوهش‌های علمی کشور، ۸۲ صفحه.

کاوه‌فیروز، آ.، ۱۳۸۸- پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی پهنه گسلی شمال تهران (پاره گسل چینگر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

مجیدی‌نیری، ط.، نظری، ح.، قرشی، م.، طالبیان، م. و کاوه‌فیروز، آ.، ۱۳۹۰- اولین نشانه‌های زمین‌لرزه تاریخی AD۱۳۸۴ شهری، بر روی گسل پیشوا بر پایه پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی، جنوب خاوری تهران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۱، ص. ۱۶۹-۱۷۸.

مهابادی، س.، فنودی، م. و امامی، م. ه. ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تاکستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
نظری، ح. و ریتز، ف. ۱۳۸۸- ویژگی‌های هندسی و سازوکار جوان گسله تالقان: به وسیله بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۱، ص. ۱۷۶-۱۷۳.
نظری، ح. و شهیدی، ع. ۱۳۹۰- زمین‌ساخت ایران (البرز)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. & Qorashi, M., 2003a- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Labors rang, northern Iran. *Journal of structural Geology*, V.25, P.659-672.
- Allen, M. B., Stephen, J. V., Alsop, G., Ismail Zadeh, A. & Flecker, R., 2003b- late Cenozoic deformation in the South Caspian region: effects of a rigid basement block within a collision zone. *Tectonophysics*, V. 366, P. 223-239.
- Ambraseys, N. N., 1974- Historical seismicity of Iran. In materials for the study of seism tectonics of Iran. North central Iran. geological survey of Iran, V 29, P.47- 116.
- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian earthquakes. Cambridge university press, New Yourk.
- Annells, R. N., Artherton, R. S., Bazley, R. A. & Davies, R. G., 1975- Geologicalquadrangle map of Iran, Qazvin and Rasht quadrangle: Tehran. Geological Survey of Iran, scale1:250000.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, V. 18, P. 210-265.
- Berberian, M., 1983- The southern Caspian: a compressional depresion floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth sciences*, V 20, P.163-183.
- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J., Priestly, K. & Wallace, T., 1992- The Rudbar-Tarom Earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: Preliminary field & seismological observation, and its tectonic significance. *Bulletin of seismological society of American*, V.82, p.1726-1755.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 1999- Patterns of historical earthquakes rupture in the Iranian plateau. *Bull. Seismol. Soc. Am*, V. 89, P.120-139.
- Burbank, D. & Anderson, R., 2001- Tectonic Geomorphology. Blackwell science, P. 274.
- Bull, W. B., 2007- Tectonic geomorphology of mountains: A new approach to paleoseismology. Blackwell publishing, P. 316.
- Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Nankali, H. R., Ritz, J. F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Moigne, N. L., Sedighi, M. & Khorrami, F., 2010- GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. *Geophys. J. Int.*, V.183, P. 1287-1301.
- Hollingsworth, J., Nazari, H., Ritz, J. F., Salamati, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Walker, R. T., Rizza, M. & Jackson, J., 2010- Active tectonics of the east Alborz mountain, NE Iran: Rupture of left-lateral Astaneh fault system during the great 856 A.D. Qumis earthquake. *J.Geophys. Res.*, V. 115, P. 1-19.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophys. J. Int.*, V. 148, p.214-245.
- Jackson, J., 2006- Fatal attraction: Living with earthquakes, the growth of village into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, P. 1911-1925.
- MacCalpin, J. P., 2009- Paleoseismology, International geophysics. Elsevier.
- Nazari, H., 2006- Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: approche morphotectonique et paleoseismologique. Ph.D thesis. University of Montpellier II, Montpellier,France.
- Nazari, H., Ritz, j. F., Salamati, R., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, L., Massault, M. & Ghorashi, M., 2009- Morphological & paleoseismological analysis along Taleghan fault (Central Alborz,Iran). *Geophys. J. Int.*, V.178, P.1028-1041.
- Rieben, E. H., 1966- Geological observations on alluvial deposits in northern Iran. *Geol. Surv. Iran*, V. 9, P. 39.
- Ritz, F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtention inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics, *Geology*,V.34, P. 477-480.
- Ritz, J., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M. & Saidi, A., 2012- Paleoeearthquakes of the past 30000 years along North Tehran Fault (Iran). *J. Geophys. Res.*, V. 117, P.1-15.
- Solaymani, S., Ritz, J. F. & Abbasi, M., 2011- Left-lateral active deformation along the Mosha-North Tehran fault system (Iran): Morphotectonics and paleoseismological investigations. *Tectonophysics*, V. 497, P. 1-14.
- Talebian, M., Ghorashi, M. & Nazari, H., 2008- Seismotectonic map of Central Alborz: Scale:1:750000., *Geol. Surv. Iran*.
- Vernant, P., Nilfroushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. & Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, V. 157, P. 381-398.
- Yousefi, E. & Friedberg, J. L., 1977- Aeromagnetic map of the Qazvin quadrangle, Scale 1:250000. *Geol. Surv. Iran*.

Geometry and Recent Kinematics of the North Qazvin Fault: Morphotectonics Approach

B. Taherkhani ^{1*}, H. Nazari ², M. Pourkermani ³ & M. Arian ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Birjand University, Birjand, Iran

² Assistant Professor, Research Institute for Earth Science, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2012 October 22

Accepted: 2013 August 17

Abstract

The E-W trending North Qazvin Fault is situated in north & northeast of Qazvin city in south-central Alborz. Across the fault, Karaj formation (Eocene) is thrust over Hezardarreh Formation (A) and the alluvial B Formation. It could be the source for the 1119 AD earthquake with an estimated magnitude of Ms: 6.5. The North Qazvin Fault is a seismically active fault, therefore it is one of the most important earthquake threats for the Qazvin as an industrial city of Iran. Morphotectonic and detailed field studies along a part of the North Qazvin Fault allows us to measure horizontal and vertical offsets caused by recent movements on this fault. One of the measured horizontal and vertical displacements due to the recent movements on the fault is 4 and 3.5 meters, respectively. The geometry (strike, dip and rake) of the North Qazvin Fault in this part is 090°, 45°, 51° respectively. Our investigations show that the North Qazvin Fault is a north-dipping compressional fault. The North Qazvin Fault and its surrounding faults such as Najm-abad fault appear as a propagating fault system which has left-lateral compressional kinematics in southern part of the west-central Alborz.

Keywords: Morphotectonics, Rake, North Qazvin Fault, Alborz, Iran.

For Persian Version see pages 29 to 38

*Corresponding author: B. Taherkhani; E-mail: taherkhani.babak@gmail.com