

بررسی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و گسلش جوان در گستره شهر جدید هشتگرد، شمال باختر تهران

سعیده علیمردان^{۱*}، شهریار سلیمانی آزاد^۲، منوچهر قرشی^۳، محمدرضا قاسمی^۴، بهنام اویسی^۲ و احمد حاتمی^۵

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۴ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۵ کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۳

چکیده

به دلیل رشد جمعیت شهرنشین کشور در چند دهه اخیر و لزوم تمرکززدایی از شهرهای دارای امکانات محدود و نیز افزایش حاشیه‌نشینی در اطراف کلان‌شهرها تدوین یک طرح نوین برای ایجاد شهرهای جدید در اطراف این گونه شهرها مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین معیارها برای ایجاد این گونه مراکز جمعیتی جدید را می‌توان بررسی توان لرزه‌خیزی آن‌ها برشمرد. شهر جدید هشتگرد در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی (واقع در ۶۵ کیلومتری شمال باختر تهران) و بر روی نهشته‌های فرایش یافته پلایو-کواترنری در حال بنا شدن است. مؤلفه شاقولی جنبش‌های زمین‌ساختی در این گستره سبب شکل‌گیری اختلاف ارتفاعی به میزان حدود ۳۰۰ متر در میان بلندی‌های هشتگرد و دشت جنوبی آن شده است. با توجه به قرارگیری این شهر بر روی نهشته‌های آبرفتی یادشده و نبود شناخت از گسله‌های جنبا در این گستره، بر آن شدیم تا با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، مدل رقمی زمین و برداشت‌های میدانی ریخت‌زمین‌ساختی به مطالعه زمین‌ساخت جنبا و گسلش جوان این منطقه رو به رشد بپردازیم. در پژوهش حاضر، پهنه‌های گسلی جنبا با روند شمال باختر-جنوب خاور شناسایی شده است که در وضعیت جنبش‌شناختی حاکم بر این گستره، دارای جنبش‌های کج‌لغز (راندگی به همراه مؤلفه راستالغز چپ‌بر) هستند. راستای تنش شمال-شمال خاور نسبت به روند ساختاری یادشده مایل بوده و از این رو یک رژیم ترفاشاری را آشکار می‌سازد. شناسایی گسله‌های جوان یادشده می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه برای این شهر جدید برخوردار باشد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌ساخت جنبا، ریخت‌زمین‌ساخت، ترفاشار، البرز مرکزی، شهر جدید هشتگرد.

*نویسنده مسئول: سعیده علیمردان

Email: sa.alimardan@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

زمین‌ساختی ترفاشاری چپ‌بر در این گستره شده است. البرز مرکزی در دو راستای شمالی-جنوبی و خاوری-باختری در حال دگرریختی است (Djamour et al., 2010). بر پایه برداشت‌های GPS، میزان کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی در البرز مرکزی 5 ± 2 mm/yr و دگرریختی برشی چپ بر 4 ± 2 mm/yr است (Djamour, 2004; Vernant et al., 2004).

شهر جدید هشتگرد در کوهپایه‌های پهنه چین خورده جنوبی البرز مرکزی-باختری (Guest et al., 2006) واقع شده است (شکل ۱). این شهر بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه خاوری و عرض‌های ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵ دقیقه شمالی قرار گرفته و به منظور کاهش تمرکز جمعیت در کلان‌شهر تهران در حال بنا شدن است. پیش‌بینی جمعیت متمرکز در این شهر جوان در مقاطع مختلف برنامه‌ریزی از حدود ۲۰ هزار نفر در سال ۱۳۷۵ تا حدود ۵۰۰ هزار نفر برای سال ۱۳۹۵ است.

با نگاهی به نقشه توزیع خردلرزه‌های گستره مورد پژوهش از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بر روی نقشه گسله‌ها (بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی)، می‌توان به وجود روند اصلی شمال باختری-جنوب خاوری در گستره مورد پژوهش پی برد (شکل ۲). همان‌گونه که در شکل قابل مشاهده است بر روی این روند، ساختارها بسیار ضعیف به نقشه درآمده است و نیاز به بررسی بیشتر در این گستره را ضروری می‌نماید.

در این پژوهش، با توجه به روندهای ساختاری-توپوگرافیکی، توزیع خردلرزه‌ها، سابقه لرزه‌خیزی موجود در گستره سعی بر پیاده نمودن دقیق سرچشمه‌های لرزه‌زا شده و تلاش شده است تا شاخه‌های جوان و جنبای گسله‌های موجود در گستره و ویژگی‌های هندسی و کینماتیکی هر یک از آنها مورد بررسی قرار گیرد. از

رشته کوه البرز در جنوب حوضه کاسپین جنوبی و در بخش مرکزی کمربند کوهزایی آلپ-همالیا قرار دارد (Stoklin, 1974; Berberian & King, 1981; Alavi, 1996; Allen et al., 2003; Guest et al., 2006 & 2007).

بر پایه بررسی‌های برآمده از پایش شبکه GPS ایران، نرخ همگرایی صفحات تازی-اوراسیا حدود $25-22$ mm/yr با گرایش به سمت NNE برآورد شده است (Nilforoushan et al., 2003; Vernant et al., 2004). دگرریختی حاصل از این همگرایی، شکل‌گیری پهنه‌های دگرریختی اصلی زاگرس، البرز و کپه‌داغ و گسله‌های راستالغز بزرگ در اطراف بلوک‌های ایران مرکزی، لوت و جنوب دریای کاسپین می‌باشد (Jackson & McKenzie, 1984; Berberian & Yeats 1999). جنبایی زمین‌ساختی در البرز، به دلیل حرکات رو به شمال بلوک ایران مرکزی و نیز روبه شمال باختر حوضه کاسپین جنوبی صورت می‌پذیرد (Vernant et al., 2004; Ritz et al., 2006). وجود این دو سازوکار همزمان سبب ایجاد یک رژیم ترفاشاری (روند NNE-SSW) در البرز شده که از 2 ± 5 میلیون سال قبل آغاز شده است (Jackson & McKenzie, 1984; Ritz et al., 2006). بررسی‌های نوزمین‌ساختی نشان می‌دهد که دگرریختی کنونی در البرز در طول راندگی‌ها و گسله‌های راستالغز چپ‌بر تسهیم شده است (Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003; Ritz et al., 2006; Solaymani Azad, 2009).

از دیدگاه Jackson et al. (2002) و Allen et al. (2003)، بخش‌شدگی کرنش (strain partitioning) حاصل از همگرایی کج صفحات تازی-اوراسیا به سمت NNE و همچنین حرکت به سوی SSW حوضه کاسپین جنوبی مسبب اصلی رویدادهای ژئودینامیک اخیر در منطقه البرز مرکزی می‌باشد که باعث ایجاد رژیم

آبرفتی هستند، بالا آمدگی چشمگیری را تحمل نکرده‌اند و با شیب بسیار ملایم به دشت می‌رسند. در این نهشته‌ها تراکم آبراهه‌ها کم بوده و فرو کاوی قابل توجهی وجود ندارد.

میزان متفاوت فرو کاوی در بادزن‌های آبرفتی گستره مورد پژوهش را می‌توان به سبب وجود جنبش‌های فرایشی گسله‌هایی برشمرد که در آنها جای گرفته‌اند. عملکرد مؤلفه شاقولی گسله‌های یاد شده سبب شکل‌گیری ایجاد اختلاف ارتفاع (بین بلندی‌های هشتگرد و دشت جنوبی آن) در حدود ۳۰۰ متر و برجستگی‌های توپوگرافیکی به شکل افزایش‌های گسلی شده است. به طور کلی در گستره کوهپایه‌ای البرز در گستره شهر جدید هشتگرد، شیب فرسایشی گستره از کوه به سمت دشت به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد. ولی در برخی نقاط این کاهش شیب از حالت یکنواخت خارج شده و سبب شکل‌گیری اختلاف ارتفاع در ریخت‌شناسی گستره شده است. این اختلاف ارتفاع‌ها، برجستگی‌های توپوگرافی با رویه (facing) رو به جنوب باختر را ایجاد کرده‌اند (شکل ۵-۵). علاوه بر وجود این برجستگی‌های توپوگرافی در گستره، می‌توان برجستگی‌هایی با رویه رو به شمال خاور مشاهده کرد. نیمرخ توپوگرافی شماتیک ترسیم شده از گستره شهر جدید هشتگرد (شکل ۵-۵)، ۶ برجستگی توپوگرافی را نمایش می‌دهد. در بررسی تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و برداشت‌های میدانی صورت پذیرفته، سعی شده است که علت شکل‌گیری این برجستگی‌های توپوگرافی مورد بررسی قرار گیرد. دلایل ساختاری برای علت شکل‌گیری برجستگی‌های توپوگرافی اول تا پنجم در شکل ۵-۵ یافت شده که در متن زیر به توصیف آنها پرداخته شده است، ولی به سبب این که افزایش‌های گسلی به طور معمول مسطح و همواری را بر روی بخش افزایش یافته خود ایجاد می‌نمایند، در بسیاری از پروژه‌های عمرانی ایران از آنها برای راه‌سازی و ... استفاده کرده‌اند، از برجستگی توپوگرافی ششم نیز برای ساخت بزرگراه تهران - قزوین به کار گرفته شده است و به همین سبب بریدگی که بتوان رخنمون گسله را در آن مشاهده کرد یافت نشده است (شکل ۵-۵ ب).

در نیمرخ توپوگرافی به دست آمده مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM (شکل ۶) سه برجستگی توپوگرافی قابل مشاهده است که مطابق با موقعیت سه افزایش گسله شیب‌لغز (a, b, c) با شیب رو به شمال - شمال خاور و روند تقریبی شمال باختر - جنوب خاور هستند. میزان مؤلفه شاقولی بر روی این گسله‌ها متفاوت است و به سبب آن فرایش متفاوتی را نیز در نهشته‌های آبرفتی پلیو کوآترنری ایجاد نموده‌اند.

گسله a سبب فرایش بادزن‌های نسل Qt_1 و گسله b سبب فرایش بادزن‌های نسل بعدی یعنی Qt_2 شده و به نظر می‌رسد گسله c دارای مؤلفه شاقولی کمتری نسبت به گسله‌های a و b است و فرایش اندکی را در بادزن‌های Qt_3 (به عنوان جوان‌ترین نسل) ایجاد کرده است (شکل ۷).

در شمالی‌ترین بخش گستره (در نزدیکی روستای فشنند)، مرز جداکننده بین کوه البرز و گستره کوهپایه‌ای آن گسله‌ای با شیب رو به شمال خاور است. فرایش حاصل از عملکرد این گسله سبب فرو کاوی رودخانه فشنند به میزان حدود ۲۵ متر در مرز بین گستره کوهستانی و کوهپایه‌ای شده است (شکل ۸-۸).

در بخش خاوری روستای فشنند بریدگی قابل مشاهده است که رخنمون گسله فشنند را در مرز بین سنگ و آبرفت می‌توان مشاهده کرد. در این بریدگی سازند ائوسن کرج توسط شکستگی‌های فراوانی دگر ریخت شده است و حد بین سنگ و آبرفت کوآترنری را می‌توان گسله‌ای با شیب رو به شمال خاور در نظر گرفت که به سبب فعالیت‌های عمرانی فرسایش یافته است (شکل ۸-۸ ب). این گسله را می‌توان علت شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی اول در شکل ۵-۵ آ به شمار آورد.

در پژوهش‌های میدانی صورت پذیرفته در گستره شهر جدید هشتگرد، بریدگی‌هایی (trench) یافت شد که برای ساختمان‌سازی و جاده‌سازی

این رو، قرارگیری این شهر در نزدیکی گسله‌های جنب و لرزه‌زای شناخته شده‌ای همچون گسله شمال تهران (در جنوب خاور) و گسله مشا (در خاور) و نبود شناخت از گسله‌های جنب در این گستره، بررسی وضعیت لرزه‌خیزی امری مهم به شمار می‌آید.

در گام اول این پژوهش نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰) و توپوگرافی (۱:۲۵۰,۰۰۰ و ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵,۰۰۰) که گستره مورد پژوهش در آن واقع شده است و گزارش‌های مربوط به این نقشه‌ها از سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور گردآوری شده و مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. سپس عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۵۵,۰۰۰ (سازمان جغرافیایی ارتش) گستره مورد پژوهش بررسی و به منظور ترسیم نقشه ریخت‌زمین‌ساخت گستره، زمین مرجع (georeference) شده‌اند. به منظور مشخص نمودن ایستگاه‌های مورد نظر برای پژوهش‌های میدانی از تصاویر ماهواره‌ای MrSID و IRS و Landsat و Google earth بهره گرفته شده است.

در پژوهش‌های میدانی با تکیه بر علم ریخت‌زمین‌ساخت (morphotectonics)، زمین‌ریخت‌شناسی (geomorphology) به مشاهده، ارزیابی و برداشت‌های زمین‌ساختی پرداخته شده است. در این پژوهش‌ها سطوح زمین‌ریختی (geomorphic surfaces)، فرو کاوی (incision) غیر معمول آبراهه، برجستگی‌های توپوگرافی، عامل ایجادکننده این برجستگی‌ها، ویژگی‌های هندسی و کینماتیکی و روند گسله‌های جنبی شناسایی شده در گستره و ... مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با پیاده کردن نقاط GPS گسله‌های برداشت شده، بر روی نقشه گسله‌های گستره مورد پژوهش، محل دقیق گسله‌ها و دیگر ساختارها در آن ترسیم شده است. در گام آخر سرچشمه‌های لرزه‌زای این گستره با دقت بالا به نقشه درآمده است.

۲- بحث

در گستره شهر جدید هشتگرد هیچ گسلی همراه با دگرشکلی جنبی معرفی نشده است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴)؛ (شکل ۳)، تنها در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ اسوا (عمیدی، ۱۳۶۳)، برای این گستره گسله احتمالی گزارش شده است. همچنین سلیمانی و حسینی (۱۳۷۷) با توجه به شواهد ریخت‌زمین‌ساختی، خطواره زمین‌ساختی را برای جنوب این گستره معرفی می‌نمایند.

در پژوهش حاضر، با توجه به تغییرات میزان فرایش نهشته‌های آبرفتی و اثر آن در میزان فرو کاوی (incision) آبراهه‌های شکل گرفته بر روی این گونه نهشته‌ها، به تفکیک بادزن‌های آبرفتی با سن‌های نسبی متفاوت پرداخته شده است. برای رسیدن به این منظور، با به کارگیری عکس‌های هوایی (به مقیاس ۱/۵۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش)، سه نسل از بادزن‌های آبرفتی Qt_1 ، Qt_2 و Qt_3 (به عنوان جوان‌ترین نسل) شناسایی شده است (شکل ۴).

بادزن‌های Qt_1 شامل قدیمی‌ترین رسوبات و حاوی لایه‌های نامنظم از سنگ‌جوش‌های سخت نشده تا نیمه سخت هستند. نهشته‌های تشکیل دهنده این بادزن‌ها را می‌توان هم‌ارز سازند هزاردره (A) (Rieben, 1955) در نظر گرفت. لایه‌بندی در بادزن‌های Qt_1 نامنظم می‌باشد و به علت عملکرد نیروهای زمین‌ساختی در گستره، افق‌ها دارای کج‌شدگی (tilting) هستند که شیب کمی را در این نهشته‌ها سبب شده است. در برخی نقاط در این رسوبات شکستگی‌هایی با شیب تند قابل مشاهده می‌باشد. میزان بالا آمدگی این نهشته‌های آبرفتی، تراکم آبراهه‌های شکل گرفته در آن و نیز میزان فرو کاوی آنها نسبت به دو نسل دیگر بیشتر است که این امر می‌تواند به سبب قدیمی‌تر بودن این نهشته‌ها و بیشتر بودن میزان جابه‌جایی جمعی و فرایش در آنها باشد. بادزن‌های Qt_2 متشکل از افق‌های قله‌سنگ، ریگ و ماسه بوده که شیب بسیار کمی دارند. بادزن‌های Qt_3 که حاوی جوانترین نهشته‌های

علاوه بر گسله‌های یاد شده که دارای شیب رو به شمال خاور یا جنوب باختر هستند، در نهشته‌های کواترنری گستره مورد پژوهش گسله‌هایی با راستای شمال باختر- جنوب خاور رخمون دارند که دارای شیب رو به باختر (شکل ۱۵) و یا خاور (شکل ۱۶) می‌باشند. در بریدگی‌هایی که گسله در آن رخمون دارد، از خمیدگی چین‌های کشان شکل گرفته بر روی سطح گسله می‌توان سازوکار راندگی را برای اغلب این گسله‌ها تشخیص داد.

این گسله‌ها در بادزن‌های Qt_1 و Qt_2 و با زاویه کوچکی نسبت به روند گسله‌های a و b قرار دارند. با توجه به راستای گسله‌ها، شیب به نسبت زیاد و زاویه قرارگیری آن‌ها نسبت به گسله‌های اصلی گستره شاید بتوان آن‌ها را به عنوان شکستگی‌های R و P در نظر گرفت (شکل ۱۷).

پهنه گسلی در گستره شهر جدید هشتگرد علاوه بر دارا بودن مؤلفه راندگی از خود ویژگی‌های گسلس راستالغز را نیز نشان می‌دهد که یک جایگاه ترفاشارش (transpression) را تداعی می‌نماید. در جایگاه ترفاشارش یادشده، شاخه‌های گسلی متعدد با مقدار شیب متفاوتی وجود دارند (شکل ۱۸). به طور کلاسیک در پهنه‌های گسلی راندگی، جوان‌ترین شاخه پهنه گسلی که دارای زاویه شیب کمتری است، در پیشانی پهنه گسلی جای می‌گیرد (مانند شکستگی‌های حاصل از رانده شدن خاک توسط یک بولدوزر) (Keller & Pinter, 1996). بر این پایه در پهنه گسلی مورد بحث، گسله c را می‌توان جوان‌ترین شاخه گسله در این پهنه برشمرد که در پیشانی این پهنه دگرشکلی جای گرفته است. این گسله نسبت به شاخه‌های دیگر دارای شیب و جابجایی شاقولی کمتری است. با توجه به وجود شاخه‌های گسلی با مقدار شیب و جابجایی شاقولی متفاوت در یک جایگاه ترفاشارش، در مجموع شاید بتوان این پهنه گسلی را یک ساختار گل ساخت مثبت (positive flower structure) برشمرد (شکل ۱۸).

با نگاهی به نقشه توزیع خردلرزه‌های گستره مورد پژوهش از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بر روی نقشه گسله‌های پیاده شده در این پژوهش می‌توان ارتباط ساختاری مناسبی را بین گسله‌های پیاده شده و روند تقریبی شمال باختری - جنوب خاوری خردلرزه‌ها مشاهده کرد (شکل ۱۹).

این پهنه گسلی دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری و طول دست کم ۳۵ کیلومتر است که دارای سازوکار راندگی همراه با مؤلفه راستالغز است. این پهنه گسلی جنبه‌ای که نهشته‌های آبرفتی کواترنری را متأثر کرده است، ساختاری جوان به شمار می‌آید و با نظر به طول قابل توجه آن و نزدیکی آن به شهر کرج (متمرکزترین بخش جمعیتی پیرامون گستره) خطری بسیار جدی برای این شهر به شمار می‌آید.

۳- نتیجه‌گیری

در پژوهش‌های پیشین صورت پذیرفته در گستره شهر جدید هشتگرد، ساختار اصلی این گستره گسله احتمالی (عمیدی، ۱۳۶۳) و خطواره زمین‌ساختی (سلیمانی و حسینی، ۱۳۷۷) معرفی شده است ولی در پژوهش حاضر و با تکیه بر روش‌های ریخت‌زمین‌ساختی سعی بر شناسایی و مشخص نمودن سازوکار جوان گسله‌ها شده است. بر پایه پژوهش‌های دفتری و میدانی پهنه گسلی با روند شمال باختری- جنوب خاوری و طول دست کم ۳۵ کیلومتر شناسایی شده است که دارای جنبش‌های کج‌لغز (راندگی به همراه مؤلفه راستالغز چپ‌بر) است. اختلاف ارتفاعی به میزان حدود ۳۰۰ متر در میان بلندی‌های هشتگرد و دشت جنوبی آن وجود دارد که می‌تواند به سبب وجود مؤلفه شاقولی پهنه گسلی یاد شده باشد. با توجه به مشاهده رخمون برخی از شاخه‌های گسلی این پهنه در نهشته‌های پلیو کواترنری و نیز به سبب پیروی روند خردلرزه‌های موجود در گستره از روند این پهنه گسلی، می‌توان آن را ساختاری جوان برشمرد. راستای تنش

ایجاد شده‌اند. گسله‌های قابل مشاهده در این بریدگی‌ها دارای راستای شمال باختری - جنوب خاوری و شمال خاوری - جنوب باختری هستند.

گسله a دارای شیب رو به شمال خاور و راستای شمال باختر - جنوب خاور است که نهشته‌های کواترنری سازند A را متأثر کرده است. از خمیدگی چین‌های کشان (fold drag) شکل گرفته بر روی سطح گسله می‌توان سازوکار راندگی را برای این گسله پیشنهاد کرد (شکل ۹). این گسله سبب شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی با ارتفاع حدود ۲۵ متر و با رویه رو به جنوب باختر شده است (برجستگی سوم در شکل ۵-آ). گسله b دارای شیب رو به شمال خاور و سازوکار راندگی است. این گسله نیز نهشته‌های کواترنری را متأثر کرده است و در بادزن‌های Qt_2 رخمون دارد (شکل ۱۰). مؤلفه شاقولی این گسله می‌تواند مسبب شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی با ارتفاع حدود ۶ متر و رویه رو به جنوب باختر (برجستگی پنجم در شکل ۵-آ) باشد. برجستگی پنجم با رویه رو به جنوب باختر دارای ارتفاع حدود ۶ متر نیز می‌تواند به سبب عملکرد مؤلفه شاقولی گسله b شکل گرفته باشد.

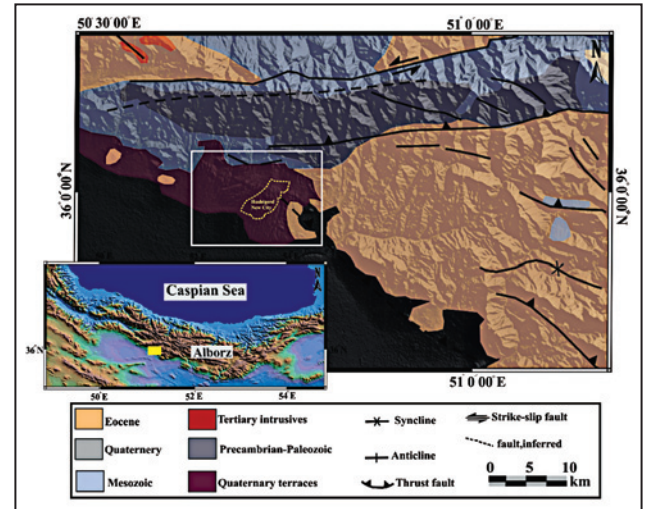
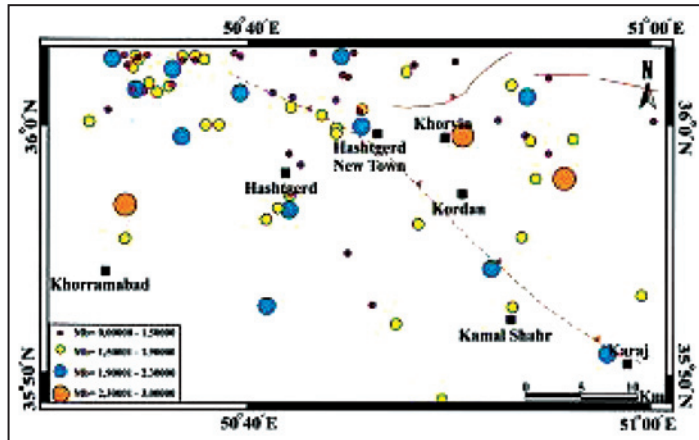
همان‌گونه که اشاره شد، شیب فرسایشی گستره کوهپایه‌ای شهر جدید هشتگرد از شمال خاور به جنوب باختر به صورت به نسبت یکنواخت کاهش می‌یابد ولی در بررسی نیمرخ‌های توپوگرافی ترسیم شده در این گستره می‌توان دست کم دو برجستگی توپوگرافی با رویه رو به شمال خاور (برجستگی‌های دوم و چهارم در شکل ۵-آ) مشاهده نمود که از لحاظ ریخت‌شناسی گستره غیر عادی است. به طور کلی ریخت‌شناسی پستی و بلندی‌های کلی گستره با گسله‌های راندگی با شیب رو به شمال - شمال خاور مطابقت قابل قبولی دارد ولی در بادزن‌های Qt_1 و Qt_2 گستره، رخمون گسله‌هایی را نیز می‌توان مشاهده کرد که دارای جهت شیب رو به جنوب و یا جنوب باختر و سازوکار راندگی هستند. از این رو، گسله‌های موجود با شیب رو به جنوب را می‌توان به عنوان پس‌راندگی (back thrust) گسله‌هایی با شیب رو به شمال (a,b) در نظر گرفت (شکل ۱۱). یکی از این گسله‌ها را می‌توان مسبب شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی دوم در شکل ۵-آ که دارای ارتفاع حدود ۵ متر و رویه رو به شمال خاور است در نظر گرفت. این گسله را می‌توان به عنوان پس‌راندگی گسله a در نظر گرفت. در شمال گسله b و در فاصله ۱/۵ کیلومتری از آن رخمون گسله دیگری قابل مشاهده است که آن گسله نیز دارای شیب رو به جنوب باختر و سازوکار راندگی می‌باشد (شکل ۱۲). مؤلفه شاقولی این گسله نیز سبب شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی (برجستگی توپوگرافی چهارم در شکل ۵-آ) با ارتفاع حدود ۲ متر و رویه رو به شمال خاور شده است. در فرادیواره این گسله، دو شاخه گسلی با سازوکار عادی وجود دارد. زمانی که گسلس معکوس سبب فرایش لایه‌ها در فرادیواره گسله می‌شود و چین‌ها ایجاد می‌گردند، گسله‌های عادی در فرادیواره گسله معکوس به جهت جبران کشش حاصل از خمیدگی لایه‌ها می‌توانند شکل‌گیرند (Burbank and Anderson, 2001). با بررسی مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM و عکس‌های هوایی گستره، می‌توان اثر مؤلفه چپ‌بر را در بعضی از آبراهه‌های تغییر شکل یافته (به شکل S) به سبب حرکت چپ‌بر گسله a مشاهده کرد (شکل ۱۳).

در گسله‌هایی که دارای راستای خم‌دار و مؤلفه راستالغز هستند، با توجه به سوی برش در محل خم آنها، خم گرفتاری (restraining bend) و یا خم رهایی (releasing bend) می‌تواند شکل‌گیرد (Twiss & Moores, 1992). همان‌طور که در تصویر SRTM قابل مشاهده است، گسله a دارای امتداد خم‌دار راست پله می‌باشد و مؤلفه چپ‌بر گسله سبب فشارش محلی در پهنه خمیده و ایجاد خم گرفتاری در باختر گسله شده است (شکل ۱۴). مؤلفه چپ‌بر را در بخش خاوری گسله می‌توان مشاهده کرد و بیشترین ارتفاع در امتداد گسله، در بخش باختری و در خم گرفتاری قرار دارد که این موضوع با شواهد ریخت‌زمین‌ساختی ارایه شده همخوانی مناسبی نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از پروژه پژوهشی گروه لرزه‌زمین‌ساخت و زلزله‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تحت عنوان "مورفوتکتونیک و تهیه نقشه گسله‌های فعال منطقه کرج" است. از این رو، از این گروه و ریاست محترم آن به سبب همکاری و مساعدت بی دریغ در انجام این پژوهش سپاسگزاریم.

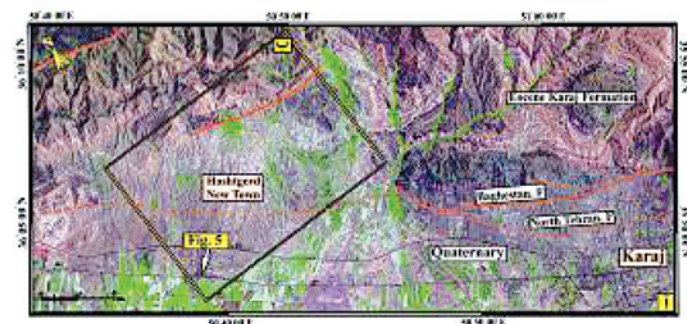
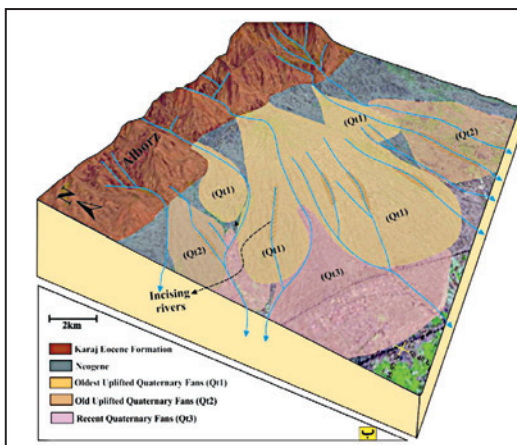
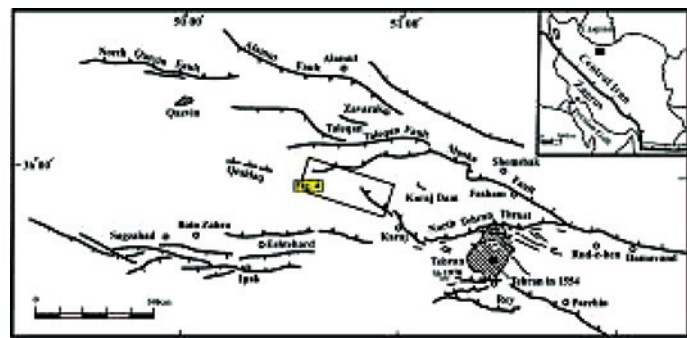
شمال-شمال خاور نسبت به روند محدوده مورد مطالعه مایل است و یک رژیم ترفشارشی را ایجاد کرده است. با توجه به طول قابل توجه این پهنه گسلی و نزدیکی آن به شهر کرج خطری بالقوه و بسیار جدی برای این شهر و به همراه شهر در حال احداث و توسعه هشتگرد به شمار می‌آید.



شکل ۲- نقشه پراکندگی خردلرزه‌های ثبت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بر روی نقشه گسله‌های پیاده شده در نقشه‌های زمین‌شناسی گستره شهر جدید هشتگرد و پیرامون.

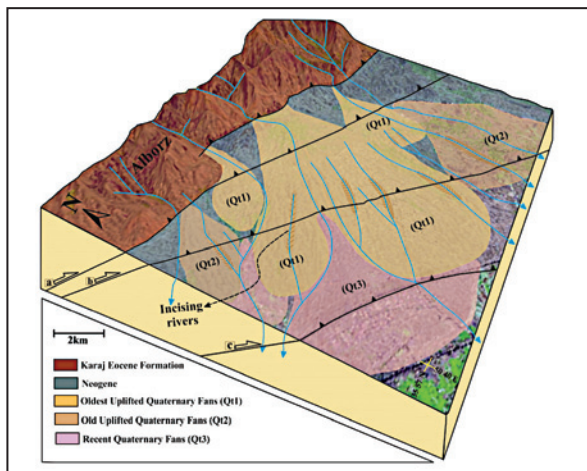
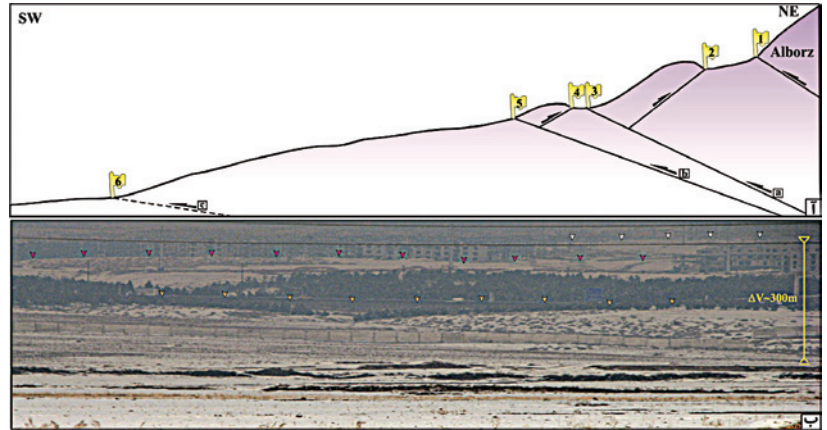
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده البرز مرکزی- باختری به همراه ساختارهای اصلی بر روی مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر. موقعیت گستره مورد پژوهش به صورت چهارگوش سفیدرنگ نمایش داده شده است.

شکل ۳- نقشه گسله‌های جنبای البرز مرکزی - باختری (با تغییر برگرفته از بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). موقعیت شکل ۴ به صورت چهارگوش نشان داده شده است.

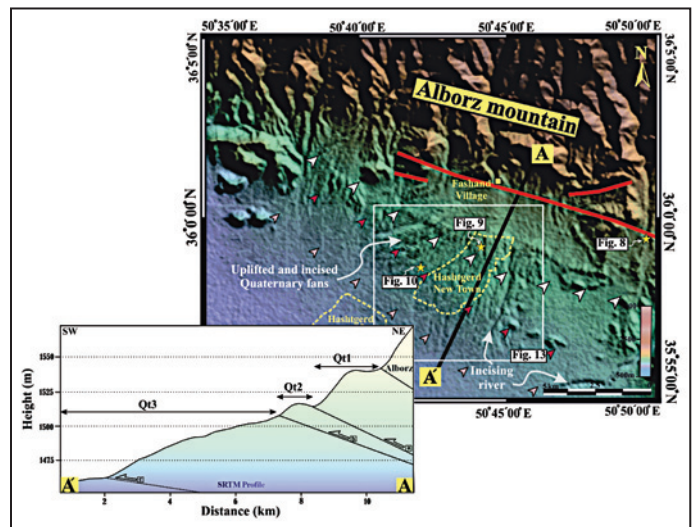


شکل ۴- (آ) تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ از کوهپایه‌های دامنه جنوبی البرز در شمال باختری کرج. موقعیت شکل ب به صورت چهارگوش زردرنگ و موقعیت تصویربرداری شکل (ب-۵) با پیکان نمایش داده شده است؛ (ب) نمای سه بعدی از گستره شهر جدید هشتگرد همراه با اسکچی از نسل‌های مختلف بادزن‌های کوتاه‌تری.

شکل ۵-آ) نیمرخ توپوگرافی شماتیک از گستره کوهپایه‌ای شهر جدید هشتگرد. همان‌گونه که تصویر قابل مشاهده است ساختارهای موجود در گستره سبب شکل‌گیری شش برجستگی توپوگرافی شده‌اند؛ ب) تصویری از گستره کوهپایه‌ای در شهر جدید هشتگرد که موقعیت آن در شکل ۴-آ نشان داده شده است. در این گستره دو برجستگی توپوگرافی اصلی (برجستگی‌های سوم و پنجم) به عنوان افزایش‌های گسلی سبب فرایش نهشته‌های پلیوگواترنری و اختلاف ارتفاع (ΔV) حدود ۳۰۰ متر شده‌اند. از جنوبی‌ترین برجستگی (برجستگی ششم) برای ساخت بزرگراه تهران - قزوین استفاده شده است (نگاه رو به شمال خاور).



شکل ۷-نمای سه بعدی از گستره شهر جدید هشتگرد همراه با اسکچی از نسل‌های مختلف بادزن‌های کواترنری. پهنه گسلی موجود در گستره (a, b, c) سبب دگرشکلی و فرایش بادزن‌های آبرفتی شده است. موقعیت این شکل در تصویر ماهواره‌ای لندست شکل ۴-آ نمایش داده شده است.

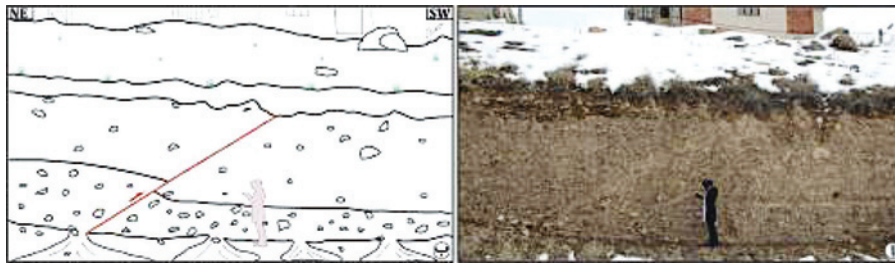
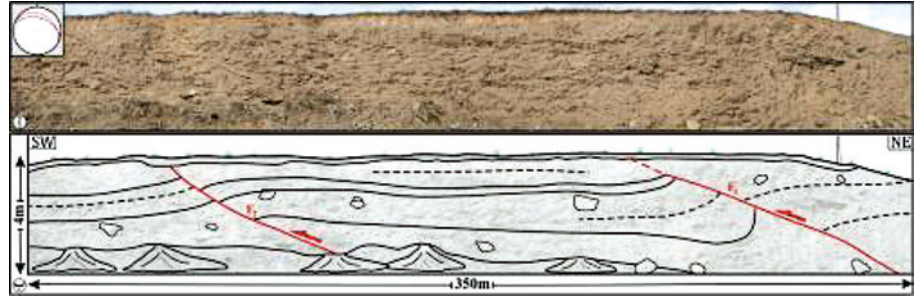


شکل ۶-آ) مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر از گستره شهر جدید هشتگرد. گسله a با پیکان‌های سفید رنگ، گسله b با پیکان‌های سرخ رنگ و گسله c با پیکان‌های صورتی رنگ نمایش داده شده است. موقعیت شکل ۸ و ۹ و ۱۰ به صورت ستاره زرد و موقعیت شکل ۱۳ به صورت چهارگوش سفید رنگ نمایش داده شده است؛ ب) نیمرخ به دست آمده از تصویر SRTM در امتداد خط AA'.

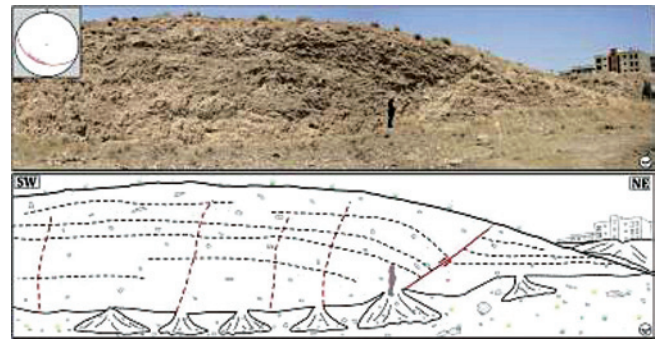
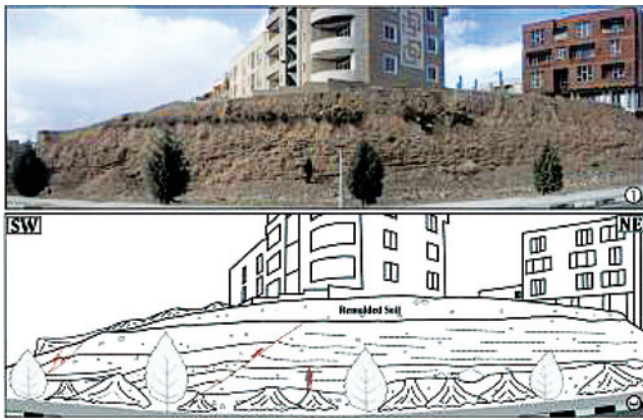
شکل ۸-آ) نمایی از دره فشند واقع در شمال شهر جدید هشتگرد (نگاه رو به شمال خاور). به سبب عملکرد مؤلفه شاقولی گسله موجود، به نظر می‌رسد دره فشند دره‌ای خشک است ولی رودخانه‌ای با فروکاوای حدود ۲۵ متر در مرز بین گستره کوهستانی و کوهپایه‌ای در آن جاری است که می‌توان این دره را نوعی دره جام‌گونه به شمار آورد؛ ب) تصویر یک بریدگی شمال خاوری - جنوب باختری در خاور شهر جدید هشتگرد که به نظر می‌رسد مرز بین سازند ائوسن کرج و آبرفت‌های کواترنری گسلی باشد (موقعیت این بریدگی در شکل ۶ نشان داده شده است؛ پ) اسکچ تصویر ب).



شکل ۹-آ) تصویر یک بریدگی شمال خاوری- جنوب باختری در نهشته‌های پلایو-کواترنری گستره شهر جدید هشنگرد (موقعیت این بریدگی در شکل ۶ نشان داده شده است)؛ ب) اسکیچ تصویر آ. در این بریدگی دو شاخه گسلی مرتبط با پهنه گسلی a قابل مشاهده است. ویژگی هندسی و کینماتیکی گسله F1 ($D.D= 18/44$) و F2 ($D.D= 25/30$) بر روی استریونوت در سمت چپ تصویر (آ) نمایش داده شده است (DD: Dip- Dip Direction)

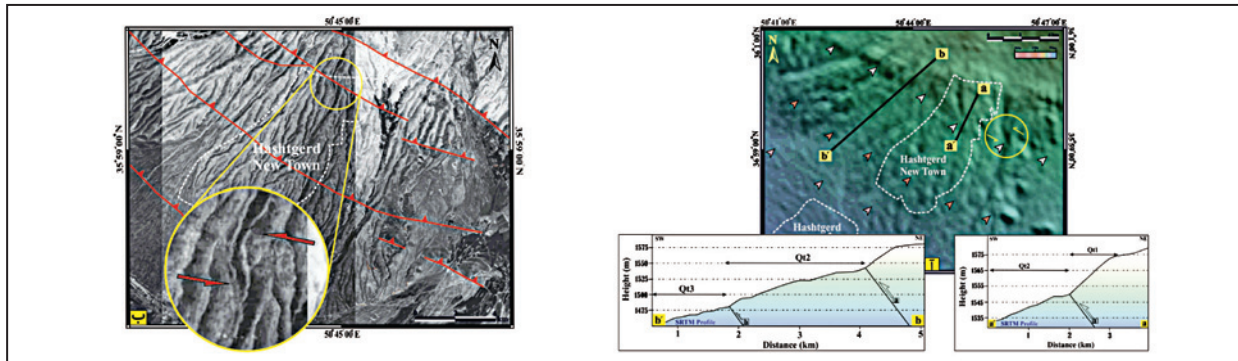


شکل ۱۰-آ) تصویر یک بریدگی شمال خاوری- جنوب باختری در گستره شهر جدید هشنگرد (موقعیت این بریدگی در شکل ۶ نشان داده شده است)؛ ب) اسکیچ تصویر آ. در این بریدگی گسله b با شیب رو به شمال خاور در نهشته‌های پلایو-کواترنری رخنمون دارد.



شکل ۱۲-آ) تصویر یک بریدگی شمال خاوری- جنوب باختری در نهشته‌های پلایو کواترنری گستره شهر جدید هشنگرد؛ ب) اسکیچ تصویر آ. در این بریدگی یک گسل رانندگی با شیب رو به جنوب باختر و دو گسل عادی قابل مشاهده است. این گسله را می‌توان پس‌رانندگی گسله b در نظر گرفت.

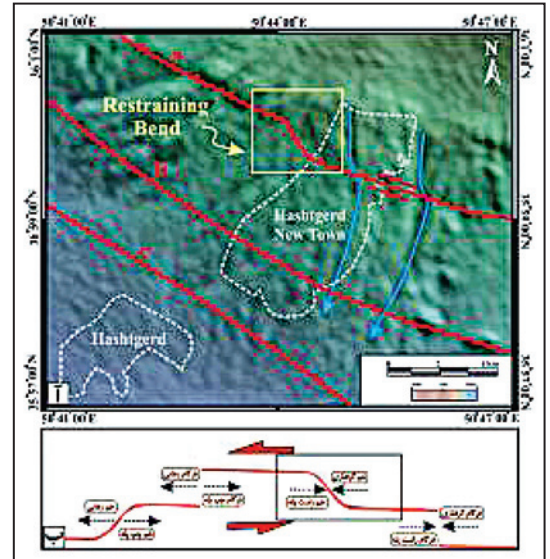
شکل ۱۱-آ) تصویر یک بریدگی شمال خاوری- جنوب باختری در نهشته‌های پلایوکواترنری گستره شهر جدید هشنگرد که سبب شکل‌گیری برجستگی توپوگرافی با رویه رو به شمال خاور شده است؛ ب) اسکیچ تصویر آ. در این بریدگی یک گسله رانندگی با شیب رو به جنوب باختر قابل مشاهده می‌باشد. این بریدگی در شمال خاور گسله a و در فاصله ۱ کیلومتری از آن قرار دارد. ویژگی‌های هندسی و کینماتیکی گسله بر روی استریونوت در سمت چپ تصویر (ب) نمایش داده شده است. ($D.D= 44/138$)



شکل ۱۳-آ) مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر از گستره شهر جدید هشنگرد بر روی بادن‌های آبرفتی جوان و نیمرخ‌های توپوگرافی به دست آمده از آن در امتداد خطوط aa' و bb' و عمود بر روندهای گسلی و برجستگی‌های توپوگرافیکی گستره. گسله a با پیکان‌های سفیدرنگ، گسله b با پیکان‌های سرخ رنگ و گسله c با پیکان‌های صورتی‌رنگ نمایش داده شده است (موقعیت این تصویر در شکل ۶ نشان داده شده است). همان‌گونه که در نیمرخ‌های توپوگرافی قابل مشاهده می‌باشد، دو افراز گسله a و b سبب ایجاد اختلاف ارتفاع در نهشته‌های پلایوکواترنری شده است؛ ب) بخشی از عکس هوایی (مقیاس: ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش) از گستره. دایره زردرنگ در تصویر SRTM موقعیت آبراهه دگرشکل شده را به صورت چپ‌بر و در حدود ۳۰۰ متر در روستای خور و در عکس هوایی موقعیت آبراهه دگرشکل شده را به صورت چپ‌بر در ۱/۵ کیلومتری خاور روستای خور نشان می‌دهند.

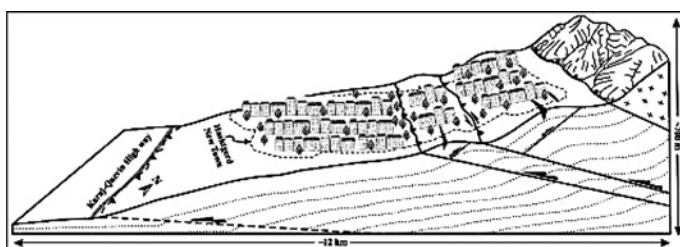
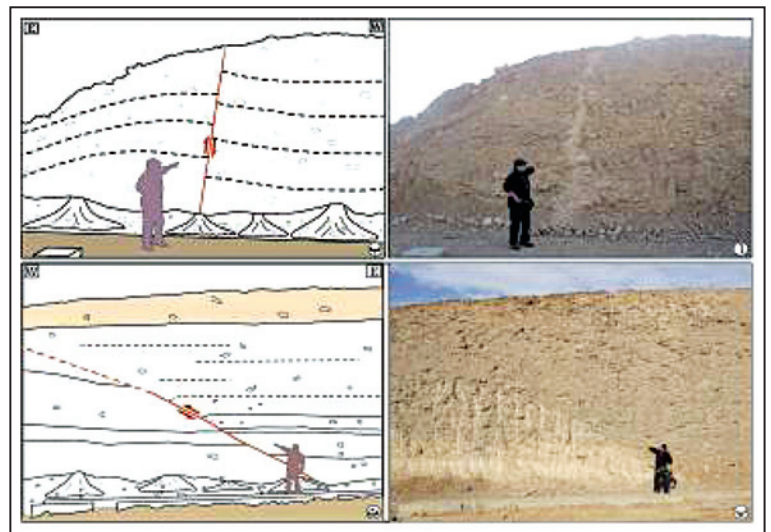


شکل ۱۵- آ و پ) شکل دو بریدگی خاوری-باختری در نهشته‌های پلیو کواترنری گستره شهر جدید هشنگرد؛ ب و ت) اسکیچ تصاویر آ و پ. گسله‌های رخنمون‌یافته در این بریدگی‌ها دارای راستای شمال باختر- جنوب خاور و شیب رو به باختر هستند. چین‌های کشان شکل گرفته در نهشته‌های کواترنری در این گستره نشانگر خوبی برای تشخیص سازوکار راندگی این گسله‌ها می‌باشد.

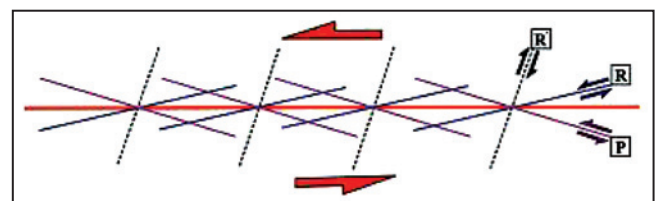


شکل ۱۴- آ) مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حاصل از داده‌های SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر از گستره شهر جدید هشنگرد واقع شده بر روی نهشته‌های آبرفتی پلیو کواترنری. چهار گوش زردرنگ، خم گرفتاری گسله را نشان می‌دهد؛ ب) شکلی از یک شاخه گسله راستالغز چپ‌بر که تغییر محل آن به صورت خم یا فرگام (stepover) سبب می‌شود که در راستای گسله فشارش یا کشش روی دهد. چهار گوش سیاه‌رنگ نمایش دهنده خم گرفتاری در یک پهنه گسلی با آرایش راست پله است.

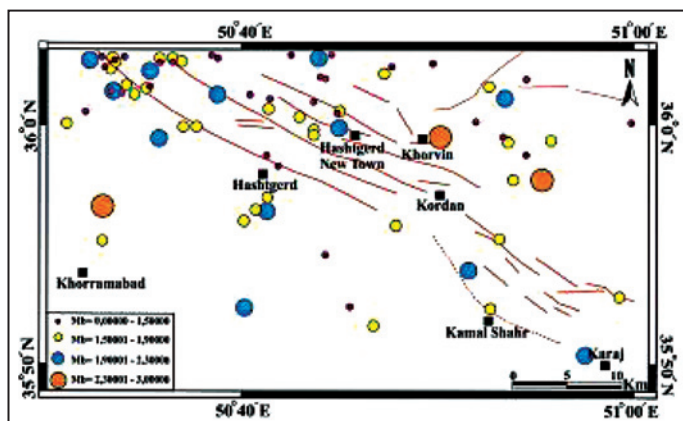
شکل ۱۶- آ و پ) تصویر دو بریدگی خاوری-باختری در نهشته‌های پلیو-کواترنری گستره شهر جدید هشنگرد. ب و ت) اسکیچ تصاویر آ و پ. گسله‌های رخنمون‌یافته در این بریدگی‌ها دارای راستای شمال باختر- جنوب خاور و شیب رو به خاور می‌باشند. چین‌های کشان شکل گرفته در نهشته‌های کواترنری در این گستره نشانگر خوبی برای تشخیص سازوکار راندگی این گسله‌هاست.



شکل ۱۸- طرح شماتیک سه بعدی از گستره شهر جدید هشنگرد و موقعیت گسله‌های موجود در آن.



شکل ۱۷- ساختارهای مرتبط با گسلش راستالغز چپ‌بر. شکستگی‌های R و P همساز با سوی برش اصلی و شکستگی‌های R دارای مولفه حرکتی متفاوتی نسبت به برش اصلی هستند (با تغییر برگرفته از Twiss & Moores, 1992).



شکل ۱۹- نقشه توزیع خردلرزه‌های ثبت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ بر روی نقشه گسله‌های پیاده شده گستره مورد بررسی و پیرامون در این پژوهش.

کتابنگاری

بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ، روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۶۴- پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره‌ی تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران زمین)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۱۵ صفحه.

سلیمانی، ش. و حسینی، م.، ۱۳۷۷- تحلیل خطر زمینلرزه با رهیافت تعیینی برای نیروگاه منتظرانم با تأکید بر روش‌های مورفوتکتونیک و نتوتکتونیک، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۶۵ صفحه.

عمیدی، س.، م.، ۱۳۶۳- نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه، سازمان زمین شناسی کشور.

References

- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of Geodynamics* 21, 1 – 33.
- Allen, M., Ghassemi, M. R. Shahrabi, M. & Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *J. Struct. Geol.*, 25, 659– 672.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265.
- Berberian, M. & Yeats, R.S., 1999- Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America* 89, 120±139.
- Burbank, D.W. & Anderson, R.S., 2001- *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Scientific, Oxford. 270 pp.
- Djamour, Y., 2004- Contribution de la Géodésie (GPS et nivellement) à l'étude de la déformation tectonique et de l'aléa sismique sur la région de Téhéran (montagne de l'Alborz, Iran). *Faculté des Sciences et des techniques du Languedoc l'Université Montpellier II (France)*, 180p.
- Djamour, Y., et al., 2010- GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. *Geophys. J. Int.* 183(3): 1287-1301.
- 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, 35– 52, doi:10.1130/GES00019.1.
- Guest, B., Horton, B. K., Axen, G. J., Hassanzadeh, J. & McIntosh, W. C., 2007- Middle to late Cenozoic basin evolution in the western Alborz Mountains: Implications for the onset of collisional deformation in northern Iran. *Tectonics*, vol. 26, tc6011, doi:10.1029/ 2006TC002091.
- Jackson, J. A. & McKenzie, D. P., 1984- Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal, Royal Astronomical Society, London* 77, 185-264.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysical Journal International* 148, 214– 245.
- Keller, E. A., & Pinter, N., 1996- *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape*: Prentice Hall, London, 362 p.
- Nilforoushan, F., Vernant, P., Masson, F. Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignie' res, M., Collard P. & Che'ry, J., 2003- GPS networks monitors the Arabia– Eurasia collision deformation in Iran, *J. Geod.* 77. 411– 422.
- Rieben, H., 1955- The geology of Tehran plain, *Amer. J. Sci.* Vol. 253 No. 11, PP.617-639.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Salamati, R., Shafiei, A., Solymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477–480.
- Solymani Azad, S., 2009- Evaluation de l'aléa sismique pour les villes de Téhéran, Tabriz et Zandjan dans le NW de l'Iran. *Approche morphotectonique et paléosismologique*, PhD, University of Montpellier, 150 p, (in French & in English).
- Stöcklin, J., 1974- Northern Iran: Alborz Mountains. In *Mesozoic-Cenozoic belts*. Edited by A. M. Spencer. Geological Society of London, Special Publications 4, 213-234p.
- Twiss, R. J. & Moores, E. M. 1992- *Structural Geology*. W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Che'ry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M., & Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: *Earth and Planetary Science Letters* 223, 177–185.

Morphotectonic Markers and Active Faulting Research In Hashtgerd New Town, West of Karaj

S. Alimardan ^{1*}, Sh. Solaymani Azad ², M. Ghorashi ³, M.R. Ghassemi ⁴, B. Oveisi ² & A. Hatami ⁵

¹ M. Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

² Ph. D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁵ M.Sc., Department of Geology, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: 2012 October 24

Accepted: 2013 April 29

Abstract

Due to urban population growth in recent decades and the need for decentralization of cities with limited facilities and increasing marginalization in the larger cities, construction of new cities around large towns has been considered by decision makers to develop a plan to create new cities around these towns. One of the most important parameters for the construction of new population centers is seismotectonic studies. Hashtgerd New Town in southern slopes of the Alborz (located 65 km northwest of Tehran) is located on the uplifted deposits of the Plio-Quaternary. Vertical tectonic movements in the range caused the height difference of about 300 m between Hashtgerd and its southern plain elevations. Due to the emplacement of the city on the uplifted Plio-Quaternary deposits, and the lack of information about the causative active fault in this region, an attempt has been made to investigate the morphotectonic characteristics of the area on the basis of survey satellite image, aerial photo, digital elevation model, and field observations. In the present study, an active fault zones with NW-SE trends has been identified with oblique-slip movements (compression with left-lateral strike-slip component). The N-NE stress direction, in regards to the abovementioned trend is oblique, and hence, the result could be a transpressional regime for the area. Recognition of mentioned active faults is very important for earthquake hazard assessment studies for the new town.

Keywords: Active Tectonics, Morphotectonics, Transpression, Central Alborz, Hashtgerd New Town.

For Persian Version see pages 227 to 234

*Corresponding author: S. Alimardan; E-mail: Sa.alimardan@yahoo.com