مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته

بهار۹۵، شماره ۱۹

خطر گسیختگی سطحی در محدوده شهر پردیس، استان تهران: لزوم رعایت حریم گسل در توسعه شهری

محسن احتشامی معین‌آبادی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت : ۹۴/۶/۱ *تاریخ پذیرش : ۹۴/۷/۶*

M_Ehteshami@sbu.ac.ir

چکیده

یکی از مهمترین خطرات زمین لرزه خطر گسیختگی سطحی گسل‌ها در هنگام زمین لرزه است که تنها راهکار مقابله با آن رعایت حریم گسل است. رعایت حریم گسل همچنان در شهرهای جدید و همچنین بخش‌های در حال توسعه در مجاورت کلان شهرها مورد توجه قرار نمی‌گیرد. بررسی‌های صحرایی و دورسنجی در محدوده شهر جدید پردیس، نشان دهنده وجود چندین گسل مهم و فعال در سطح شهر است که ساخت و ساز بر روی آنها صورت گرفته است. در این بین گسل پردیس به طول ۳۰ کیلومتر و جنبش راندگی با مولفه راستالغز چپگرد در نیمه جنوبی شهر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به نبود اطلاعات دقیق از میزان جابجایی گسل‌ها در حین زمین لرزه و براساس مقادیر تخمین زده شده، حداقل حریم به ویژه در بخش فرودیواره ای برای گسل های پردیس، فردوس و هسا به ترتیب ۴۰، ۲۱ و ۲۸ متر محاسبه شده است. شناسایی کامل گسل‌ها در محدوده شهر پردیس نیازمند مطالعات بیشتر و برداشتهای زیرسطحی است. از آنجا که گسل‌های پارچین-ایوانکی، پیشوا- گرمسار و رباط کریم در حدود ۱/۵ میلی‌متر از کوتاه شدگی محاسبه شده براساس داده های موقعیت‌یاب جهانی برای جنوب البرز مرکزی (۳ میلی‌متر) را هزینه می‌کنند، اختلاف موجود (حدود ۱/۵ میلی‌متر) می بایست در راستای گسل های دیگری مانند گسل‌های رودهن و پردیس مصرف گردد.

کلمات کلیدی: *گسیختگی سطحی، حریم گسل، گسل پردیس، شهر پردیس، البرز مرکزی*

مقدمه

طیف وسیعی از خطرات زمین‌شناختی کلان شهرهای ایران از جمله تهران، مشهد، تبریز و کرج را تهدید می‌کنند. یک زمین لرزه شهری بزرگ در هر یک از این شهرها می‌تواند علاوه بر جنبش زمین، با خطراتی مانند آتش سوزی، زمین‌لغزش، فرونشست زمین، روانگرایی و فروچاله همراه باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). گسیختگی سطحی گسل ها یکی از مسایل مهمی است که در مطالعات پیش از توسعه شهرها در ایران کمتر به آن توجه شده است. گواه این مسئله تعداد فراوان گسل های کواترنری شناخته شده در محدوده کلان شهر تهران است که در طول مطالعات متعدد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ Tchalenko et al., 1974; Ashtari et al., 2005; Abbassi and Farbod, 2009; Ritz et al., 2012) شناسایی شده‌اند ولی توجه کافی به آنها نشده است. متاسفانه از این لحاظ کلان شهرهای دیگر مانند مشهد، تبریز و کرج نیز وضعیت بهتری ندارند. اخیرا، مرکز مدیریت بحران شهر تهران نیز پروژه‌ای با عنوان طرح تدقیق گسل‌های تهران را انجام داده است که نتایج آن هنوز منتشر نشده است.

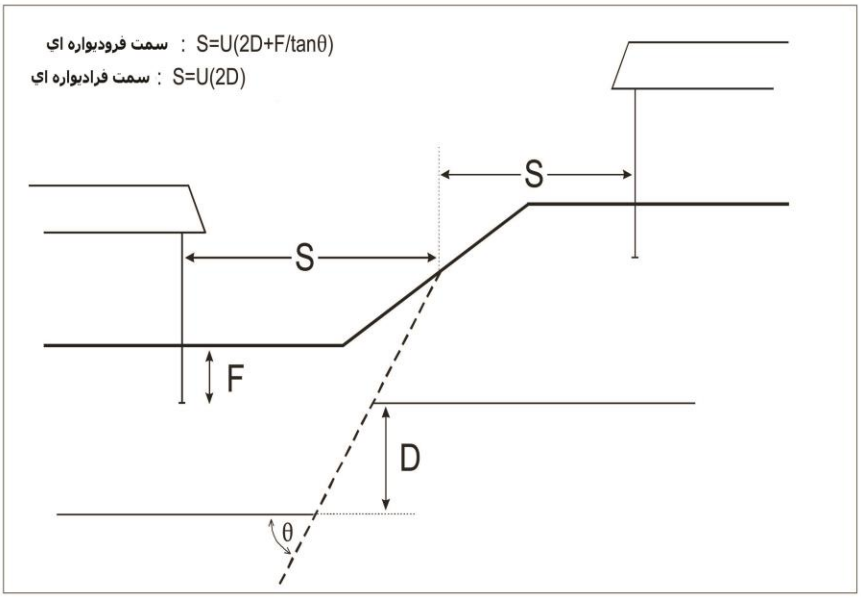
در این میان نکته قابل تامل اینست که هرچند کمبود آگاهی را می‌توان یکی از دلایل کم توجهی تصمیم‌گیران به مسایل خطرات زمین‌شناختی در توسعه شهرهای ایران در گذشته دانست، ولی این مسئله در توسعه شهرهای جدیدی که طی دو دهه اخیر آغاز شده‌اند، بسیار نگران کننده است. در این مقاله برای نمونه خطر گسیختگی سطحی در شهر جدید پردیس مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور بررسی تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های موجود و مطالعه صحرایی ترانشه‌ها و کوه‌بری‌های صورت گرفته جهت احداث راه و ساختمان در محدوده شهر پردیس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گسل های معرفی شده از جهت تحت تاثیر قرار دادن نهشته‌های کواترنری کنترل شده اند. هدف از این نوشتار، بررسی جامع خطر گسیختگی سطحی در این شهر نیست، بلکه این مقاله قصد دارد با ارائه نمونه عینی، لزوم توجه به زمین‌شناسی شهری و مطالعات ساختگاهی به عنوان مبنایی برای مطالعات توسعه شهرهای جدید را پررنگ‌تر کند.

گسیختگی سطحی و حریم گسل

خطرات ناشی از زمین لرزه ها متعدد بوده که برخی از آنها بطور مستقیم به زمین لرزه وابسته‌اند و می‌توان از آنها به عنوان خطرات اولیه یاد کرد. جنبش نیرومند زمین و گسیختگی سطحی ناشی از گسلش زمین لرزه‌ای از جمله مهمترین خطرات اولیه زمین لرزه‌ها هستند (PNSN, 2014). گسیختگی سطحی عبارتست از جابجایی در سطح زمین ناشی از امتداد پارگی گسل به سطح زمین (PNSN, 2014) و یا جابجایی ناشی از گسلش یا جابجایی سطح زمین در اثر زمین لرزه (Batatian, 2002). یکی از جنبه‌های مطالعاتی مهم پیش از توسعه ساختمان ها و سازه‌ها در مناطق شهری، که می‌توان آن را بخشی از مطالعات زمین‌شناسی شهری دانست، پژوهش های ساختگاهی به منظور شناسایی گسل های فعال و اطمینان یافتن از عدم ساخت بناها بر روی گسل های فعال شناسایی شده با رعایت حریم گسل است (Batatian, 2002).

حریم گسل عبارتست از محدوده‌ای با فاصله معین از گسل فعال شناخته شده که هیچ سازه یا ساختمانی حتی خانه‌های تک خانوار نیز در آن محدوده نباید ساخته شود (Nestle and Lem, 2010). تعیین محدوده حریم گسل نیازمند مطالعات ساختگاهی است. مراحل مطالعات ساختگاهی جهت تعیین حریم و خطر گسل عبارتست از مرور ادبیات، مطالعه عکس هوایی و دورسنجی، برداشت‌های صحرایی شامل نقشه‌برداری سطحی و برداشت زیرسطحی با کمک حفاری و حفر ترانشه. برای نمونه سازمان زمین شناسی یوتا (Christenson et al., 2003) پیشنهاد می‌کند که برای همه انواع سازه‌های حساس و مسکونی در نزدیکی گسل های عهد حاضر (فعالیت طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته) و

برای سازه‌های حساس در نزدیکی گسل های کواترنری پایانی (فعالیت طی ۱۳۰ هزار سال اخیر)، مطالعات ساختگاهی بر روی گسل‌های فوق به منظور تعیین حریم گسل صورت گیرد. از طرفی این سازمان پیشنهاد می‌کند برای گسل‌های خوب شناسایی شده، محدوده‌ای به عرض ۱۵۰ متر در فرودیواره و عرض ۷۵ متر در فرادیواره و برای گسل های کمتر شناخته شده محدوده‌ای به عرض ۳۰۰ متر از هر طرف گسل جهت شناسایی گسل‌های احتمالی دیگر مد نظر قرار گیرد (Christenson et al., 2003). در مناطقی که گسل‌ها به خوبی و دقت بالا شناسایی نشده‌اند، تهیه نقشه‌های اولیه ۱:۵۰۰۰۰ از گسل های کواترنری، اولین قدم در جهت شناسایی گسل‌ها بوده و سپس مطالعات ساختگاهی جهت افزایش دقت برداشت‌ها و تعیین حریم صورت می‌گیرد. محدوده یا فاصله حریم تا گسل‌هایی که اثر سطحی معین و شناخته شده‌ای دارند، توسط اغلب زمین شناسان در کالیفرنیا ۵۰ فوت (حدود ۱۵ متر) از هر طرف در نظر گرفته می‌شود (Christenson et al., 2003; Zhou et al., 2010)، هرچند برخی این فاصله را تا ۲۵ متر نیز پیشنهاد کرده‌اند (Zhou et al., 2010). با وجود اینکه بیشتر گسل‌های لرزه‌زا پهنه به نسبت باریکی از چند متر تا چند ده متر دارند (e.g. Kelson et al., 2001; Xu et al., 2002; Lettis et al., 2002; Xu et al., 2008 and 2009)، اما عواملی حریم گسل را تحت تاثیر قرار می‌دهند که از آن جمله می‌توان به ساز و کار گسل، میزان جابجایی گسل، عمق و هندسه مواد رسوبی (و خاک) که سنگ بستر را پوشانده‌اند و دقت تعیین موقعیت گسل اشاره کرد (Bray, 2001). از این رو، روشهای بهینه‌تری برای محاسبه حریم گسل توسعه داده شده‌اند. برای نمونه روشی پیشنهاد شده است (Batatian, 2002) که بر مبنای شیب گسل، فاکتور بحرانی که متناسب با نوع کاربری در منطقه معین می‌شود و همچنین جابجایی مورد انتظار از گسل، حریم گسل را برای فرادیواره و فرودیواره به صورت مجزا محاسبه می‌کند (شکل ۱).

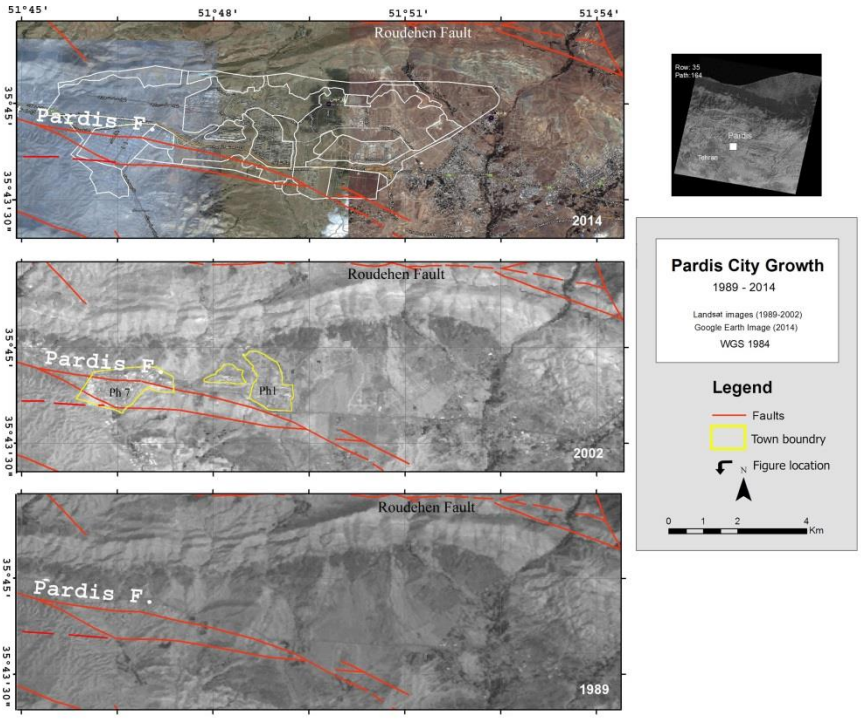


شکل ۱. نحوه محاسبه حریم گسل برای گسل های با سطح لغزشی معین، S: فاصله حریم، D: میزان جابجایی مورد انتظار، F: بیشینه عمق سازه در زیرزمین، θ: زاویه شیب گسل، U: عامل بحرانی که مطابق با کد بین‌المللی و با توجه به نوع کاربری تعیین می‌گردد (برای کاربری‌های تجاری، صنعتی، کارخانجات، اجتماعی و مسکونی بیش از یک خانوار ۲، کاربری‌های آموزشی، سازمانی و کاربری‌های پرخطر ۳، کاربری‌های مسکونی تک خانوار ۱/۵ و کاربری‌های انبار، امکانات عمومی و غیره ۱). براساس (Batatian, 2002; Christenson et al.. 2003).

لازم به ذکر است در ایران با توجه به کمبود اطلاعات از موقعیت دقیق گسل‌ها در مناطق شهری، اغلب بجای انجام مطالعات دقیق ساختگاهی جهت تعیین موقعیت گسل و گسل های همراه، پیشنهاداتی برای انتخاب فواصلی تا دو هزار متر به عنوان حریم ذکر می‌شود که با مقاومت مالکان روبرو می‌گردد. در صورتیکه انجام مطالعات ساختگاهی ضمن کمک به شناسایی دقیق موقعیت گسل، منجر به انتخاب حریم طبق معیارهای معتبر علمی و همچنین قابل قبول برای سرمایه‌گذاران و صاحبان املاک خواهد بود. هرچند اعمال نظارت در زمینه رعایت حریم نیازمند قانون‌گذاری و توجه بیشتر است.

شهر جدید پردیس

شهر جدید پردیس در ۱۷ کیلومتری شرق تهران واقع گردیده است. پردیس از شمال به رشته کوه های البرز، از غرب به منطقه جاجرود، از جنوب به روستاهای کرشت، سیاه سنگ و طاهرآباد و از شرق به بومهن محدود می‌گردد. این شهر که در حوزه آبریز رودخانه جاجرود قرار گرفته است، دارای حدود ۳۶۰۰ هکتار وسعت و شامل ۹ فاز که ۶ فاز آن مسکونی و سه فاز دیگر تحقیقاتی، صنعتی و گردشگری است (شرکت عمران شهر جدید پردیس، ۱۳۹۳). شکل ۲ روند توسعه شهر جدید پردیس در دو دهه گذشته را نشان می‌دهد. در این شکل وضعیت توسعه شهر پردیس در طی سال های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ براساس تصاویر ماهواره لندست و تصویر Google earth (2014) نشان داده شده است.



شکل ۲. گسترش ساخت و ساز در محدوده شهر جدید پردیس از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ به همراه گسل های اصلی منطقه برگرفته از وحدتی دانشمند (۱۳۷۶).

زمین شناسی منطقه پردیس

محدوده شهر جدید پردیس در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی قرار گرفته است. بخشی از کوتاه شدگی ناشی از همگرایی ورقه های عربی و اوراسیا در رشته کوههای البرز رخ می‌دهد (Vernant et al., 2004). این رشته کوه با زمین‌شناسی پیچیده ناشی از عملکرد کوهزایی‌های سیمرین و آلپی (Alavi, 1996; Allen et al., 2003; Zanchi et al., 2006 and 2009; Ehteshami-Moinabadi et al., 2012) گسل های بزرگی را در خود جای داده است که با حنبش معکوس و امتداد لغز در طی میوسن و پس از آن ریخت‌شناسی کنونی البرز مرکزی را شکل داده‌اند (Axen et al., 2001; Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003). در واقع حرکت امتداد لغز در راستای گسل های اصلی در البرز مرکزی متاثر از حرکت امتدادی بین ورقه‌های ایران مرکزی و حوضه خزر جنوبی است (Jackson et al., 2002) که بخشی از آن در جنبش نو زمین ساختی گسل های منطقه مطالعه بروز کرده است.

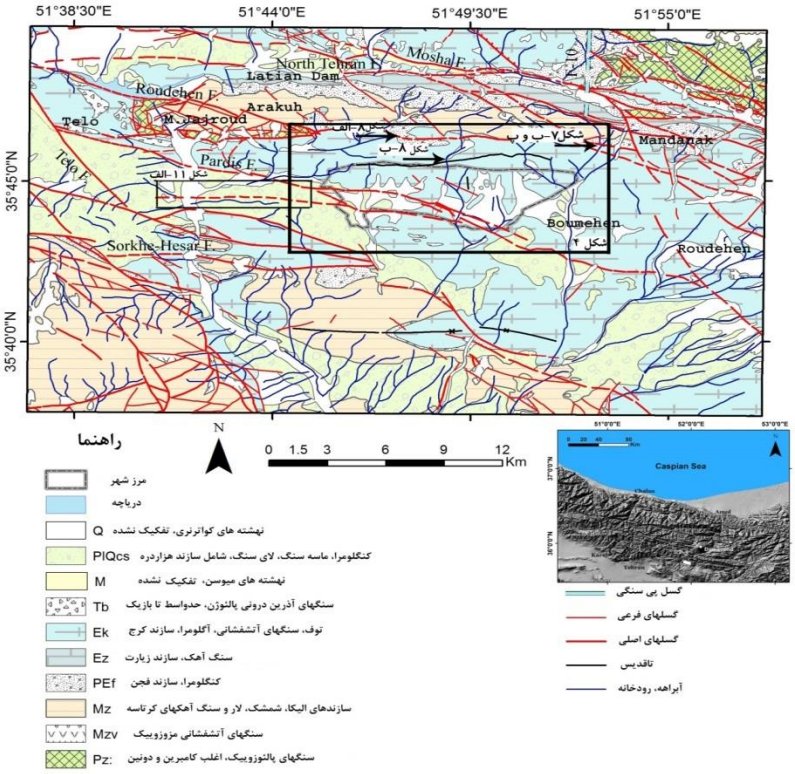
از دیدگاه زمین شناسی سنگ بستر، محدوده شهر پردیس بر گستره‌ای از واحدهای سنگی سنوزوییک شامل مجموعه‌ای از توف‌های ضخیم لایه، شیل توفی، سنگهای آذرآواری، گدازه‌های آندزیتی و بازالتی و آگلومراهای متعلق به سازند کرج به سن ائوسن میانی توده های آذرین اولیگو- میوسن و همچنین کنگلومرا، ماسه‌سنگ و گلسنگ‌های سازند پلیو-کواترنری هزاردره به همراه نهشته‌های واریزه‌ای و زمین لغزشی کواترنری قرار گرفته است (شکل‌های ۳، ۴ و ۵-الف). می‌توان از نظر جنس و سن سنگ بستر محدوده شهر را به دو نیمه شمالی و جنوبی تقسیم کرد.

بستر شهر در قسمت های شمالی بیشتر بر روی توف، سنگ های آتشفشانی و آگلومرا و رخنمون کوچکی از ریوداسیت‌های پس از ائوسن گسترش یافته است (شکل ۴). رخنمون توف‌های سازند کرج در این محدوده با شیب زیاد به سمت جنوب در یال جنوبی یک تاقدیس جبه‌ای بزرگ به طول حدود ۱۰ کیلومتر و روند شرقی – غربی مشاهده شده است که اثر محوری تاقدیس در شمال شهر پردیس در این مطالعه به نقشه در آمده است (شکل ۴). سنگ های آتشفشانی بازیک و حدواسط درون سازند کرج در قسمت های شمالی شهر رخنمون دارند که در بسیاری از مناطق دچار هوازدگی و دگرسانی شدید شده‌اند (شکل ۵-ب). این سنگها در بعضی مناطق سنگ بستر ساخت و ساز قرار گرفته‌اند (شکل ۵-پ).

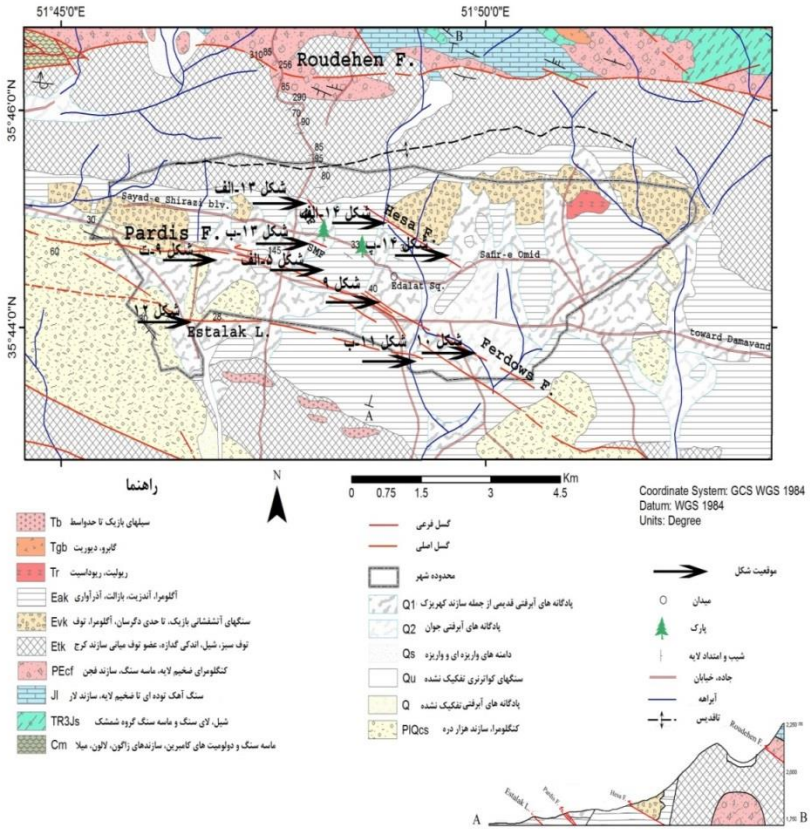
در قسمت های جنوبی شهر، بستر شهر بر روی نهشته‌های پلیو – کواترنری سازند هزار دره، رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌ای کواترنری معادل سازند کهریزک و پادگانه‌های رودخانه‌ای جوان توسعه یافته است (شکل ۴). نهشته‌های سازند هزار دره و معادل کهریزک در منطقه شیبدار بوده که نشان از فعالیت زمینساختی طی کواترنری می‌دهد.

گسلش در محدوده شهر پردیس

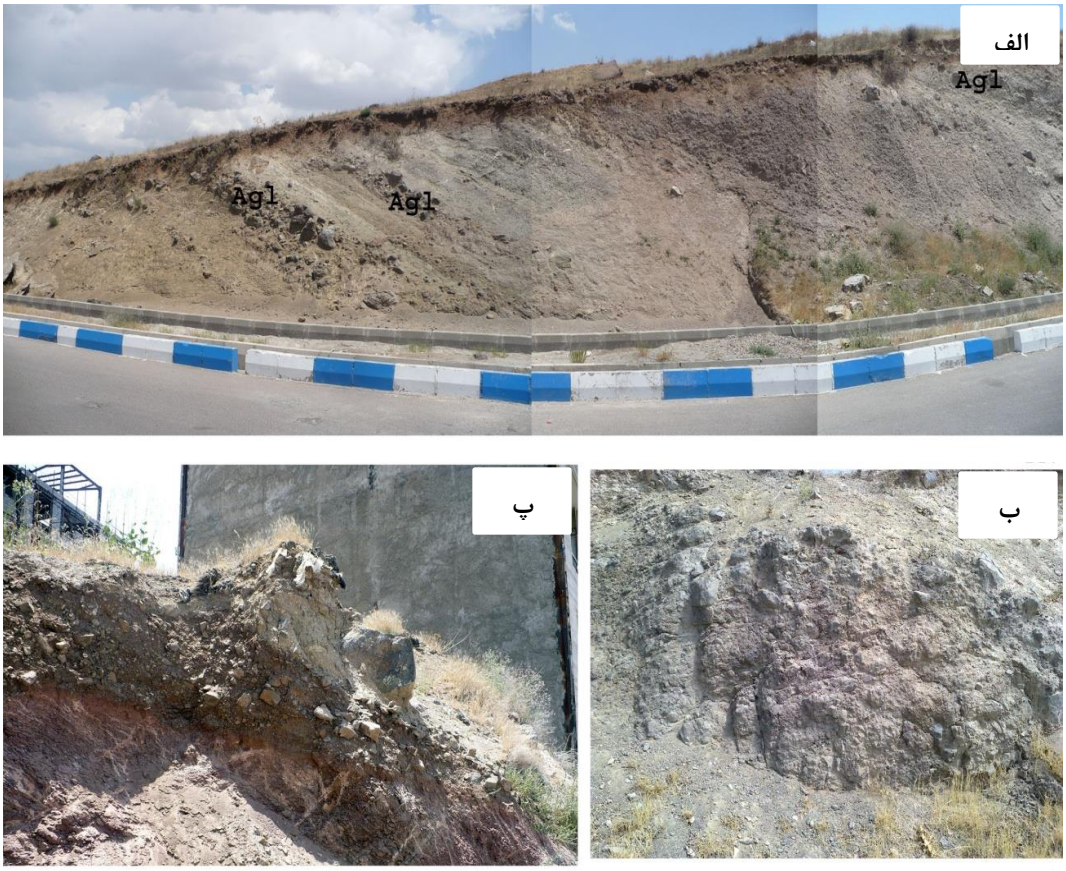
از نظر لرزه شناختی، محدوده شهر پردیس در پهنه مه لرزه ای زمین لرزه ۱۸۳۰ میلادی قرار می گیرد (Berberian and Yeats, 1999). در این بخش چند گسل کواترنری کوچک و بزرگ و همچنین گسل های با جنبایی ناآشکار که طی بررسی‌های صحرایی از رخنمون‌های زمین‌شناختی در محدوده شهر که هنوز پوشیده نشده‌اند، شناسایی شد، معرفی می‌شوند. لازم به ذکر است گسل های مذکور همه گسل های محتمل موجود در سطح شهر پردیس نبوده، چراکه امکان بررسی همه نقاط شهر با هزینه شخصی توسط نگارنده میسر نبوده و از طرفی بسیاری از رخنمون‌ها اکنون پوشیده شده اند. هدف این بخش توجه به مغفول ماندن مجدد مطالعات پایه زمین‌شناسی در توسعه شهرهای جدید است.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی کلی محدوده پردیس - بومهن. تغییر یافته از وحدتی دانشمند (۱۳۷۶). موقعیت شکلهای ۴ و ۸-الف بر روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی محدوده شهر جدید پردیس به همراه ساختارهای معرفی شده در این مقاله. اصلاح شده از وحدتی دانشمند (۱۳۷۶).

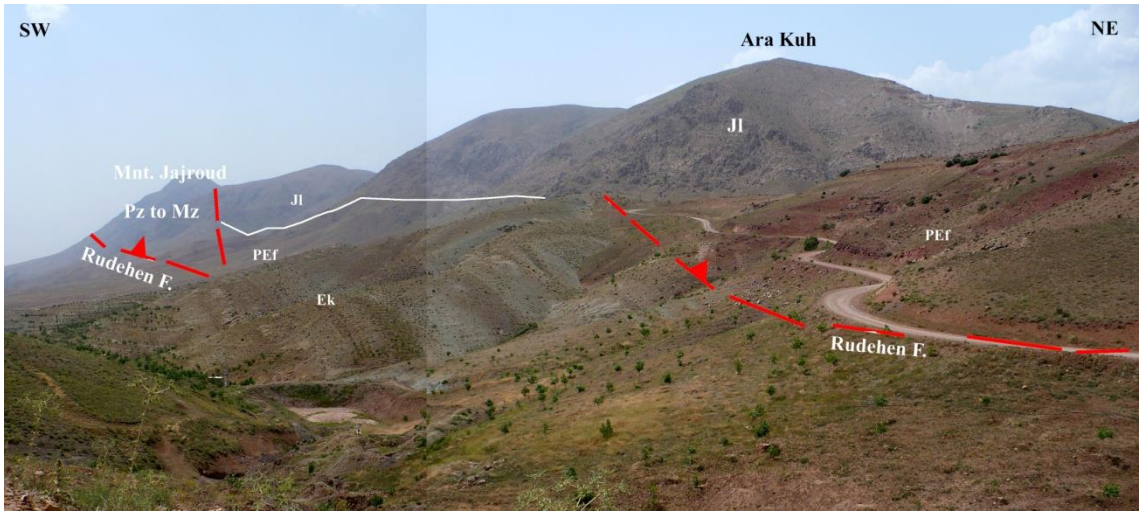


شکل ۵. الف: نمایی از تنوع سنگی و ناهمگونی در نهشته‌های ائوسن و واحدهای آگلومرا (Agl) که سنگ بستر را در بسیاری از مناطق شیبدار شهر پردیس تشکیل می‌دهد. ب: پهنه ای از سنگهای دگرسان و هوازده ائوسن که به دلیل سستی می‌تواند در ناپایدارسازی دامنه‌ها موثر باشد. پ: ساخت و ساز بر روی سنگهای به شدت درزه شده و رگه‌دار ائوسن در محدوده شهر پردیس. موقعیت الف بر روی شکل (۳) نشان داده شده است.

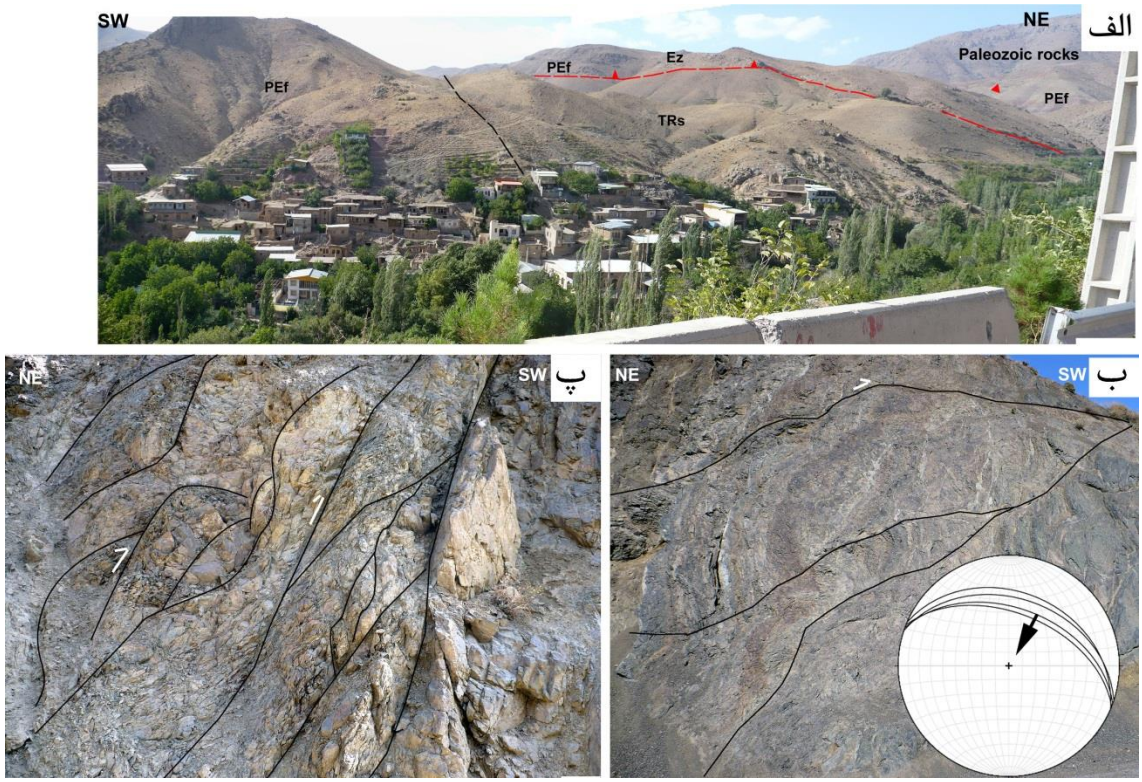
گسل رودهن

احتمالا نخستین بار Dellenbach (1964) از این گسل که با فاصله ای کمتر از سه کیلومتر از شمال شهر پردیس (شکل ۳) عبور می‌کند، شواهدی ارائه کرده است، اما وحدتی دانشمند (۱۳۷۶) بطور معین، این گسل را با امتداد شرقی – غربی و شیب رو به شمال توصیف کرد که سبب رانده شدن نهشته‌های مزوزوییک و پالئوسن - ائوسن بر روی ائوسن در امتدادی به طول ۴۰ کیلومتر شده است. با این وجود بعدها نویسندگانی از جمله سلیمانی و همکاران (۱۳۸۲) نام گسل آراکوه یا اره‌کوه را برای آن برگزیدند که به نظر می‌رسد با توجه به اهمیت موقعیت رودهن و سابقه آن، نام گسل رودهن مناسب‌تر است. انتهای شرقی گسل احتمالا در حوالی دماوند به گسل مشا برخورد می‌کند (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۶)، اما نخستین رخنمون واضح گسل در شرق سادات محله در مرز بین سازندهای لار و کرج کاملا آشکار است. به سمت غرب و در حدود منداک گسل رودهن به گسلی با روند تقریبا شمال -جنوب برخورد می‌کند (شکل ۳)، سپس به سمت غرب ادامه می یابد تا در حوالی کمرد به دو شاخه تقسیم می‌شود که شاخه جنوبی با عبور از دامنه جنوبی کوه جاجرود با گسل پردیس پیوند خورده و سپس تا گسل تلو ادامه می‌یابد (شکل ۶)، اما شاخه شمالی با عبور از محدوده سد لتیان به گسل شمال تهران پیوند می‌خورد (وحدتی دانشمند ۱۳۷۶). در این مطالعه، برشهایی از گسل رودهن در دره سیاه‌رود و مسیر پردیس به بورزن مشاهده شده است. در دره سیاه‌رود، گسل رودهن که از منطقه وسکاره عبور می‌کند، مجموعه‌ای از نهشته‌های تریاس بالا – ژوراسیک میانی گروه شمشک که با مرزی نادگرشیب در زیر نهشته‌های کنگلومرای ضخیم لایه پالئوسن فجن قرار گرفته است، را از شمال بر روی سازند ائوسن کرج قرار داده است (شکل ۷). پهنه گسل در این برش با گسل های فرعی متعدد با جابجایی راندگی و ساختارهای زیگموییدال مشخص می‌شود. پهنه گسلی حدود ۳۰ متر عرض دارد.

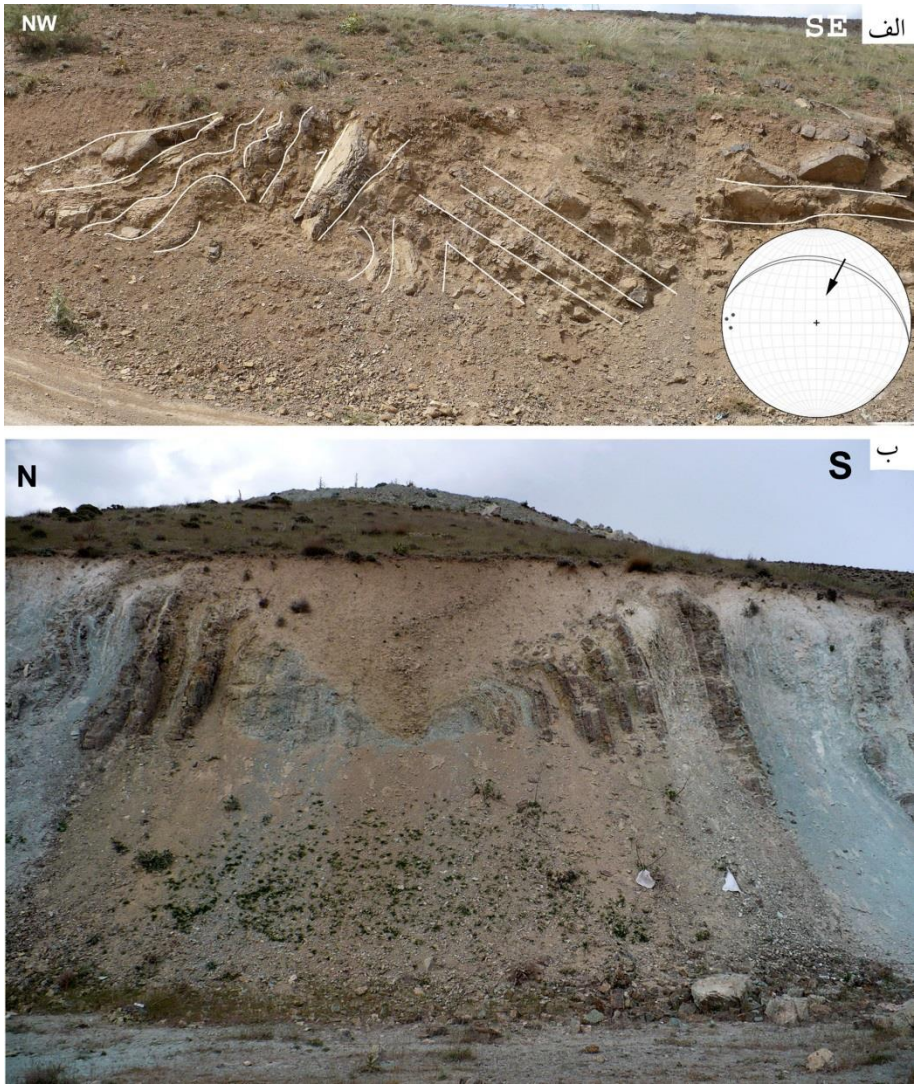
در مسیر پردیس به بورزن نیز گسل رودهن پهنه مشخصی دارد که با ریزچین‌ها و گسل های فرعی مشخص می‌شود که سبب راندن کنگلومرای فجن بر روی سازند کرج شده است (شکل ۸). از نظر ریخت‌زمین‌ساختی، گسل رودهن مرز ارتفاعات جاجرود – آراکوه را با دامنه‌های مشرف به کمرد و پردیس را تشکیل می‌دهد. هرچند به جز انتهای غربی گسل، امتداد گسل در ظاهر پیوسته است، ولی اثر عملکرد گسل های عرضی بر هندسه گسل در مناطق مختلف دیده می‌شود. برای مثال روند تقریبا شمال – جنوب منداک که در امتداد گسل پی‌سنگی F-10 (Yousefi and Friedberg, 1977) قرار داشته سبب جابجایی راستگرد گسل رودهن نیز شده است (شکل ۳).



شکل ۶. موقعیت گسل رودهن در پای ارتفاعات جاجرود – آراکوه که مرز نهشته های لار و فجن را با سازند کرج مشخص می سازد. در محدوده کوه جاجرود، گسل به دو شاخه تقسیم شده است که مجموعه‌ای به هم‌پیخته از سنگهای پالئوزوییک تا مزوزوییک را بر روی سازند کرج رانده است. موقعیت عکس در شکل (۳) نشان داده شده است.



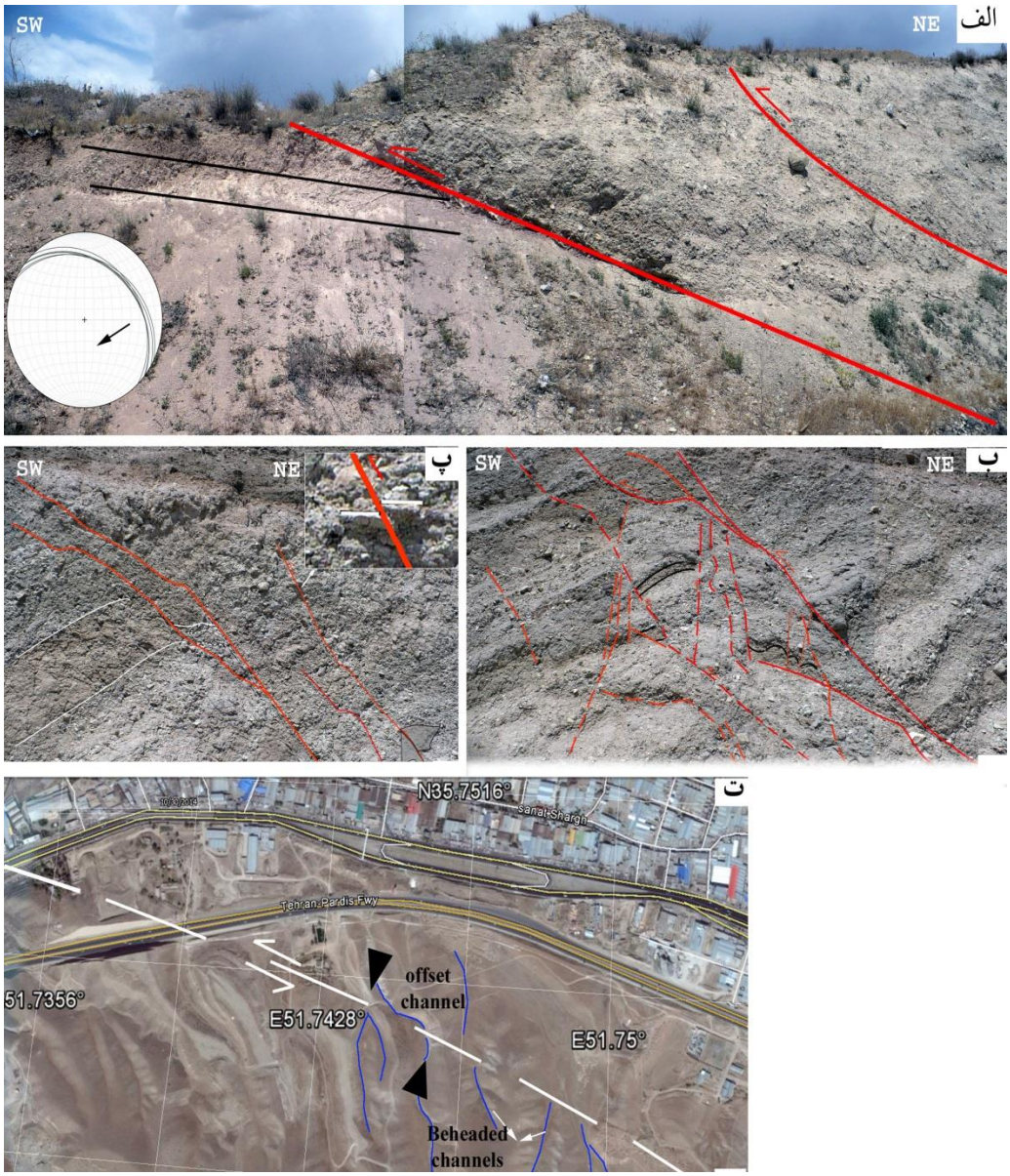
شکل ۷. الف: نمای کلی از وضعیت واحدهای مزوزوییک و سوزوییک در فرادیواره گسل رودهن، دره سیاه‌رود، (PEf: سازند فجن، Ez : سازند زیارت، TRs: گروه شمشک). ب و پ: گسلش راندگی با ساختارهای زیگموییدال و دوپلکس مانند در پهنه گسل رودهن در دره سیاه رود. استریوگرام شکل ب، کینماتیک گسل های فرعی در پهنه گسل رودهن را نشان می‌دهد. موقعیت عکس‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۸. الف: پهنه گسل رودهن با چین‌های کشیده در مسیر پردیس به بورزن. استریوگرام راندگی شمال شرق به جنوب غرب را براساس موقعیت چین‌ها در پهنه گسلی نشان می‌دهد. گسل رودهن سبب راندن سازند پالئوسن فجن ب. از شمال بر روی سازند کرج در جنوب شده است، پ. چین‌خوردگی جعبه‌ای (Box fold) در سازند کرج در فرودیواره گسل رودهن که اثر سطحی آن در شکل (۴) نشان داده شده است. موقعیت عکس‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است.

گسل پردیس

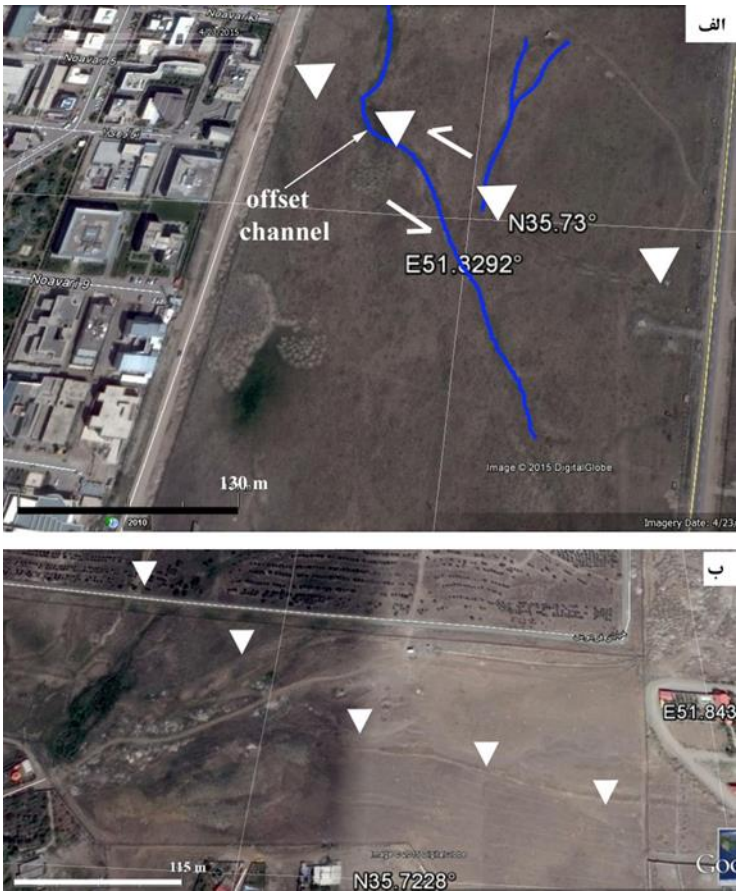
گسل پردیس، گسلی است فعال با شیب به سمت شمال و روند شمال غرب – جنوب شرق که از تلو بالا آغاز شده و به سمت شرق تا دوده (طول ۵۱،۹۳۴ درجه شرقی) ادامه پیدا می‌کند (شکل ۳). در این موقعیت، امتداد گسل پردیس به شمال غرب – جنوب شرق تغییر کرده و درون نهشته‌های پلیستوسن سازند کهریزک ادامه پیدا می‌کند. طول گسل پردیس نزدیک به ۳۰ کیلومتر بوده و در بیشتر طول خود از جمله قسمت غربی و مرکزی مرز نهشته‌های ائوسن کرج با سازند کهریزک در جنوب را مشخص می‌سازد، اما به سمت شرق، نهشته‌های سازند کرج و کهریزک را نیز متاثر ساخته است. اثر سطحی گسل پردیس تقریبا از کل نیمه جنوبی شهر پردیس عبور می‌کند (شکل ۴) به گونه‌ای که فازهای هفت و یک را قطع نموده سپس به سمت جنوب شرق ادامه می‌یابد. بهترین رخنمون گسل در جاده دماوند بین خروجی پردیس و بومهن قرار دارد (شکل ۹ الف). در این برش گسل پردیس متشکل از چندین گسل فرعی و یک گسل اصلی است. گسل اصلی سبب راندگی نهشته‌های کواترنری سازند کهریزک بر روی سازند کرج شده است، اما شاخه‌های فرعی اغلب درون نهشته‌های سازند کهریزک عمل کرده و سبب جابجایی درون سازندی شده‌اند (شکل ۹-ب). پهنه گسلی پردیس شکنا بوده و بریدگی قلوه سنگ‌ها و قطع شدگی لایه ها عملکرد راندگی گسل را تایید می‌کنند (شکل ۹-پ). هرچند شیب اندک گسل نیز موید این مطلب است. بررسی اثر سطحی گسل پردیس در نگاره‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد جنبش این گسل با مولفه راستالغز چپگرد نیز همراه است به گونه‌ای که سبب جابجایی آبراهه‌ها در قسمت‌های غربی منطقه شده است (شکل ۹-ت). این احتمال وجود دارد که گسل پردیس و گسل رودهن در عمق با یکدیگر ارتباط ساختاری داشته باشند.



شکل ۹. الف: پهنه گسل پردیس در جاده دماوند که سبب راندگی نهشته‌های سازند کهریزک بر روی سازند کرج شده است. ب و پ: گسل های فرعی در فرادیواره گسل پـردیس درون نهشـته‌هـای کهریزک گسل های جوانی را نشان می‌دهند که ساخت و ساز بر روی آنها صورت گرفته است. موقعیت در شکل (۴) نشـان داده شـده اسـت. ت: تصـویر مـاهواره‌ای برگرفتـه از Google earth (2014) که جابجایی چپ گرد آبراهه‌های شمالی – جنوبی در امتداد گسل پردیس را نشان می‌دهد که شاهدی بر فعال بودن گسل است. موقعیت عکس در شکل (۴) نشان داده شده است.

گسل فردوس

از گسل های فرعی در فرادیواره گسـل پـردیس و هـم رونـد بـا آن اسـت کـه بخشی از آن توسط وحدتی دانشمند (۱۳۷۶) به نقشه درآمده است. این گسل هـم روند با گسل پردیس بوده و احتمالا با یکی از گسل هـای برداشـت شـده در بـرش جاده دماوند مطابقت دارد که نشـان دهنـده عملکـرد رانـدگی بـا مولفـه احتمـالی چپگرد است (شکل ۹- پ). تصویر ماهواره‌ای منطقه در بخشی از گسل که توسـط وحدتی دانشمند (۱۳۷۶) به نقشه درآمده است، وجود افتگاه و اثر سطحی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). طول گسل به ۵ کیلومتر مـی‌رسـد، امـا امتـداد آن بـه سـمت شمال غرب در زیر واحـدهای مسـکونی پنهـان بـوده و طـول واقعـی آن مشـخص نیست.



شکل ۱۰. الف: اثر سطحی گسل فردوس که سبب انحراف در آبراهه ها منطقه شده است. ب: افتگاه در امتداد گسل فردوس. موقعیت تصاویر در شکل (۴) نشان داده شده است.

خطواره استلک

در جنوب گسل پردیس و از شرق استلک خطوارهای به طول نزدیک به ۱۳ کیلومتر در نگارههای ماهوارهای دیده میشود که در نقشه زمینشناسی شرق تهران قسمتی از آن به صورت شاخهای از گسل پردیس در بخش میانی گسل به صورت خط چین رسم شده است (شکل های ۳ و ۴). بررسی تصاویر ماهوارهای منطقه نشان میدهد احتمال دارد این خطواره یک گسل به موازات گسل پردیس باشد که به سمت غرب تا حوالی دره جاجرود ادامه مییابد، به گونهای که نیمه شرقی آن به تقریب با خط الراس موجود در نهشتههای سازند هزاردره منطبق است (شکل ۱۱). عدم تقارن در آبراهها در طول خطواره به تنهایی نمیتواند شاهدی قطعی بر گسله بودن خطواره باشد. در بررسیهای صحرایی در محدوده فاز هفت شهر پردیس (منطقه صنعتی)، نهشتههای کواترنری سازندهای هزاردره و کهریزک در موقعیت عبور خطواره کج شدگی شیبدار شده، اما خطواره درون نهشتهها دیده نشد (شکل ۱۲). احتمال دارد که این خطواره به صورت یک گسل پنهان با شیب رو به شمال در زیر نهشتههای کواترنری مدفون باشد.

گسل های پارک مشاهیر و جنوب پارک مشاهیر

در ضلع شمال غربی پارک مشاهیر، گسلی واحدهای ائوسن سازند کرج را قطع نموده است. از آنجا که هیچ رسوب کواترنری بر روی گسل وجود ندارد، فعالیت آن نامشخص بوده و این گسل از نوع گسل با جنبایی ناآشکار در نظر گرفته شده است (شکل های ۴ و ۱۳-الف). امتداد گسل شمال غرب- جنوب شرق به شیب به سمت شمال غرب و عمکرد راندگی برای آن ثبت شده است. همچنین گسل کوچکی با شیب به سمت جنوب، در جنوب پارک مشاهیر نهشتههای کواترنری جوان را متاثر ساخته است (شکل های ۴ و ۱۳- ب).

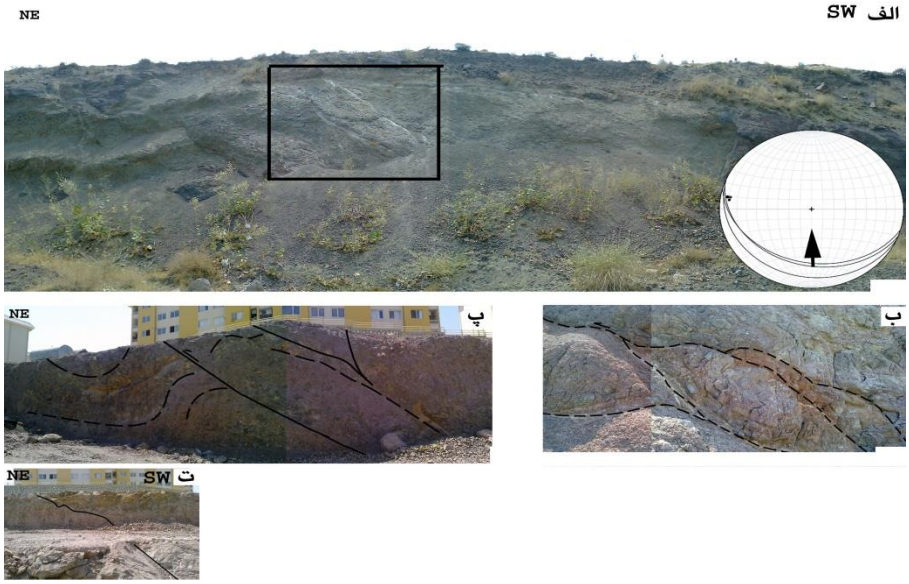
گسل هسا

گسلی به نسبت بزرگ به طول بیش از ۳ کیلومتر که ادامه آن در دو انتهای آن به دلیل پوشیدگی توسط منازل مسکونی آشکار نیست. این گسل در چند برش مشاهده شده است که موقعیت کلی آن N110, 30W با عملکرد راندگی بوده و سبب راندن واحدهای آذرآواری سازند کرج بر روی تودههای آتشفشانی درون این سازند شده است (شکل ۴). با توجه به میزان هوازدگی و دگرسانی در امتداد این گسل درون تودههای آتشفشانی به نظر میرسد، گسل مذکور از گسلهای مهم بوده که در گذشته فعال بوده است (شکل ۱۴-الف). نهشتههای کواترنری در بیشتر رخنمون گسل بر روی آن وجود ندارد، اما در ترانشه حفر شده در موقعیت مجتمع مسکونی هسا، آثار فعالیت در نهشتههای فوق بر روی گسل وجود دارد. در برش مذکور شکستگیهای زیگموییدال (شکل ۱۴-ب)، چینخوردگی لایههای آگلومرایی در سازند کرج در فرودیواره گسل (شکل ۱۴-پ) و لنزهای گسلی و آینه گسلی دارای خش لغز در برش های مختلف گسل دیده میشود (شکل ۱۴- ت). به نظر میرسد در بررسی خطر زمین لرزه و گسیختگی سطحی در شهر پردیس به این گسل باید اهمیت بیشتری داده شود.

شکل ۱۱. تصویر ماهواره‌ای برگرفته از Google earth (2014). الف: اثر سطحی خطواره استلک در به موازات خط الراس نهشته‌های شیبدار پلیوسن – کـواترنری سـازند هـزاردره در جنـوب دره جاجرود. موقعیت الف در شکل (۳) نشان داده شده است. ب: اثر سطحی خطواره استلک در آبراهه در انتهای شرقی خطواره. موقعیت ب در شکل (۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۲. سمت چپ: رخنمون نهشته‌های کواترنری که شیبدار شده‌اند، خط سفید لایه‌بندی را نشان می‌دهد و توسط لایه‌های رسوبی جوانتر به صورت دگرشیب (خط چین سیاه) پوشیده شده‌اند. بخشی از شکل در سمت راست بزرگ شده است. موقعیت عکس در شکل (۴) نشان داده شده است.

.شکل ۱۳. شواهد گسلش راندگی پارک مشاهیر در نهشته‌های ائوسن (الف) و گسل جنوب پارک مشاهیر در نهشته‌های کواترنری (ب) در محدوده شهر پردیس که بـدون توجـه بـه رعایـت حـریم گسل ساخت و ساز در مجاورت آن انجام شده است. استریوگرام‌ها کینماتیک گسل‌ها را نشان می‌دهند. موقعیت تصاویر بر روی شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۴. الف: پهنه گسل هسا که سنگ‌های آذرآواری سازند کرج را بر روی سنگ‌های آتشفشانی قرار داده است. استریوگرام جنبش گسل را نشان می‌دهد. چهارگوش سیاه رنگ در ب بزرگ شـده که لنزهای گسلی را نشان می‌دهد. پ- پهنه گسل هسا در محدوده فاز ۳. ت- آیینه گسلی و تاثیر گسل هسا بر نهشته‌های سطحی.

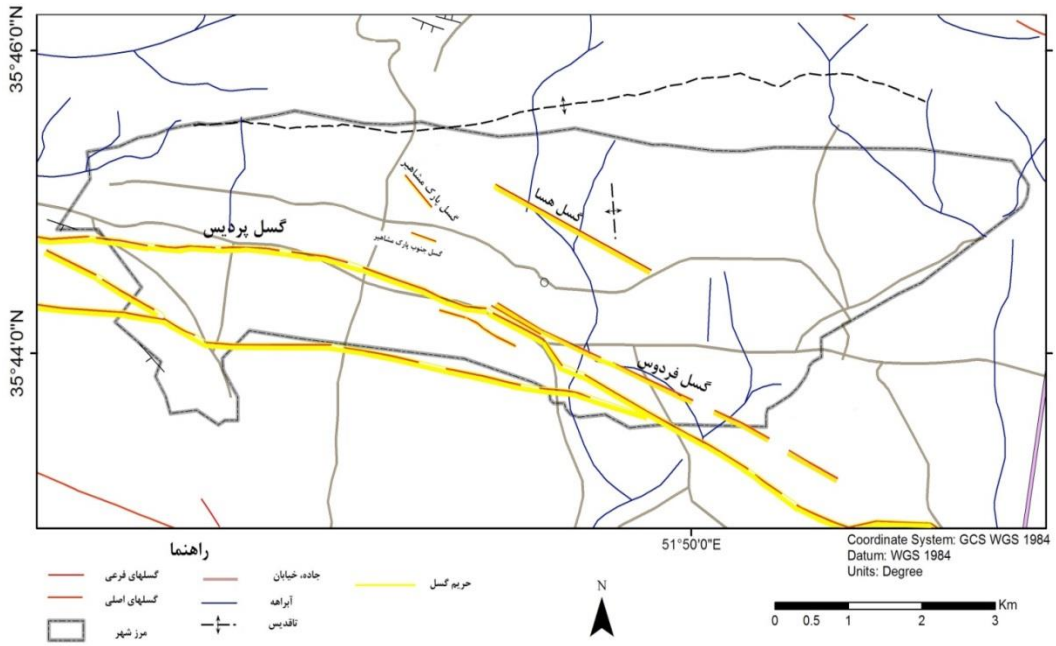
بحث

نوزمین ساخت منطقه پردیس متاثر از جنبش گسل های اصلی منطقه مانند گسل مشا، گسل شمال تهران، گسل پارچین - ایوانکلی و گسل های کوچکتر رودهن، پردیس و تلو قرار دارد. در شمال منطقه پردیس و در قطعه نیکنام ده گسل شمال تهران، جنبش امتدادلغز چپگرد قطعه شرقی گسل مشا به گسل شمال تهران منتقل شده و سبب ایجاد یک حوضه کششی محلی بنام فروافتادگی لتیان – دارآباد شده است (Ghassemi et al., 2014). جنبش امتدادلغز چپگرد در این قطعه بین ۱/۸ تا ۳ میلی‌متر بر سال برآورد شده است که از حدود چهار میلیون سال پیش آغاز شده است (Ghassemi et al., 2014). از طرفی به سمت شرق، نرخ لغزش قطعه شرقی گسل مشا ۲/۲ میلی‌متر بر سال تخمین زده شده است (Ritz et al., 2003) که این جنبش به سمت شرق به گسل فیروزکوه منتقل می شود. (Vernant et al., 2004) بر این باورند که بخشی در حدود ۳ میلیمتر بر سال از کوتاه شدگی بین بلوک ایران مرکزی و پیشانی جنوبی البرز توسط گسل های فشارشی پیشوا-گرمسار و پارچین - ایوانکی مصرف می شود. اما بررسی های خرمی و همکاران (۱۳۹۰) نشان می دهد که نیمی از این مقدار یعنی حدود ۱/۵ میلیمتر بر سال فشارش در حاشیه شمالی بلوک ایران مرکزی در بین گسل های پارچین-ایوانکی، پیشوا- گرمسار و رباط کریم تقسیم شده است. براساس مطالعات (Majidi et al., 2010)، گسل پیشوا با سازوکار معکوس و مولفه چپگرد می تواند عامل زمین لرزه ۱۳۸۴ میلادی شهر ری باشد. همچنین مطالعات بربریان و همکاران (۱۳۶۴) سازو کار گسل پارچین-ایوانکی به طول ۸۰ کیلومتر را معکوس در نظر می گیرد. افزون بر این، هروی و همکاران (۱۳۹۲) گسل گرمسار را گسلی با روند شرقی – غربی و طول نزدیک به ۷۵ کیلومتر است که قابل تفکیک به پنج قطعه گسلی بوده که بردار لغزش آنها راندگی با مولفه چپگرد و یا چپگرد با مولفه راندگی بسته به موقعیت قطعه تغییر می کند. چنانچه نتیجه مطالعات خرمی و همکاران (۱۳۹۰) درست باشد، این احتمال وجود دارد که گسل های دیگر منطقه مانند گسل رودهن، تلو و گسل پردیس نیز در تحمل بخشی از کوتاه شدگی باقیمانده (۱/۵ میلی‌متر در سال اختلاف بین برآورد (Vernant et al., 2004) و خرمی و همکاران (۱۳۹۰)) موثر باشند. این موضوع با توجه به ساختارهای مشاهده شده در راستای گسل های رودهن و پردیس (شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹) نیازمند توجه و بررسی دقیق‌تر است.

بررسی خطر گسیختگی سطحی در شهر پردیس نشان می‌دهد بستر این شهر میزبان گسل های مهمی مانند گسل های پردیس، هسا و فردوس (شکل‌های ۴، ۹ و ۱۰) است که آشکارا نهشته‌های کواترنری را قطع نموده و متاسفانه حریم آنها رعایت نشده است. همچنین گسل های با جنبایی ناآشکار مانند گسل پارک مشاهیر (شکل ۱۳) نیز فاقد حریم هستند. این شرایط نشان می‌دهد که در مطالعات اولیه این شهر شرایط زمین‌شناسی و مطالعات ساختگاهی مد نظر قرار نگرفته است، چراکه شناسایی گسل های مذکور اغلب در پیمایش‌های معمول ساختاری امکان پذیر بوده است. حتی، متاسفانه اطلاعات اولیه موجود در نقشه زمین‌شناسی شرق تهران (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۶) نیز مد نظر قرار نگرفته است. وجود دامنه‌های پرشیب و بستر ناهمگونی از سنگ های دگرسان، هوازده و درزه و ترک‌دار ائوسن که در برخی مناطق به عنوان ساختگاه سازه‌های مسکونی و تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۵) شرایط را برای خطرات دیگری مانند زمین لغزش و فرونشست زمین فراهم کرده است که آثار آن در برخی ساختمان‌ها و همچنین پارک مشاهیر به صورت ترک‌های قائم مشاهده شده است. جدول ۱ مقدار حریم محاسبه شده برای گسل های مهم را، براساس جابجایی فرضی در حین گسیختگی براساس روابط (Well and Coppersmith 1994) نشان می‌دهد. البته باید خاطر نشان کرد که در محاسبه حریم، جابجایی باید براساس دانسته های موجود از فعالیت قبلی گسل و یا مطالعات دیرین لرزه شناسی تعیین گردد. شکل ۱۵، نقشه مقدماتی حریم محاسبه شده برای گسل های محدوده پردیس را ارائه می‌دهد. البته به نظر می‌رسد روش ارائه شده در شکل ۱ (Batatian, 2002; Christenson et al.. 2003) از این جهت که نوع گسل‌ها (معکوس، راستالغز و نرمال) را در محاسبه حریم در نظر نمی‌گیرد، خالی از اشکال نباشد. افزون بر این، تکمیل این نقشه نیازمند اطلاعات کامل تر از گسل‌های منطقه در دیگر بخش های شهر پردیس است.

جدول ۱. اطلاعات گسل ها و حریم محاسبه شده براساس فرمول شکل ۱، برای گسل های بزرگتر عمق ساختمانها ۸ متر و برای گسل های کوچکتر ۵ متر فرض شده است. همچنین پارامتر U برای گسل پردیس ۳ در نظر گرفته شده است.

نام گسل	طول (کیلومتر)	شیب (درجه)	جابجایی میانگین مورد انتظار (متر) در یک رخداد با فرض گسیختگی کل طول گسل براساس (Well and Copperwmith, 1994)	حریم در سمت فرادیواره ای (متر)	حریم در سمت فرودیواره ای (متر)
پردیس	۳۰	۳۵	۰/۷۴	۵	۴۰
فردوس	۵	~۵۰	۰/۱۵	۱	۲۱
هسا	۳	۳۰	۰/۰۹	۱>	۲۸
پارک مشاهیر	۰/۷	۴۵	ناچیز	۱>	۱۰
جنوب پارک مشاهیر	۰/۵	۳۰	ناچیز	۱>	۱۰



شکل ۱۵. الف: نقشه حریم گسل های مهم محدوده شهر پردیس براساس اطلاعات جدول (۱).

وجود خطر گسیختگی سطحی و عدم رعایت حریم گسل در شهر هشتگرد (علیمردان و همکاران، ۱۳۹۳) و همچنین شهرک های قدس و پردیسان قم (Ehteshami-Moinabadi, 2015) نیز مشاهده شده است. این نکته می‌تواند بیانگر این واقعیت باشد که احتمالا در هیچ یک از شهرهای جدید چنین ملاحظاتی اندیشیده نشده و خطر گسیختگی سطحی مانند اغلب کلان شهرها از جمله تهران (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ Abbasi and Farbod, 2009)، تبریز (Berberian and Arshadi, 1976; Hessami et al., 2003)، مشهد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸) و غیره در شهرهای جدید نیز وجود دارد. اینکه این بی‌توجهی معلول کوتاهی جامعه زمین‌شناسی کشور اعم از دانشگاهیان، متولیان دولتی و انجمن های تخصصی در معرفی لزوم مطالعات ساختگاهی زمین‌شناسی در توسعه شهرهاست و یا عدم اهتمام و احساس نیاز مسئولان شهری به این مطالعات، و یا هر دلیل دیگری، خود نیازمند مطالعه‌ای دیگر است که در اینجا مجال آن نیست. اما این مطالعه و کارهای دیگر از جمله (علیمردان و همکاران، ۱۳۹۳؛ امیرعلیمی و همکاران، ۱۳۹۳)، اغلب شهرهای جدید ایران از نظر خطر گسیختگی سطحی و خطرات لرزه ای دست کمی از شهرهای کهن این دیار ندارند.

حریم گسل یکی از راهکارهای پیشگیری و کاهش خسارات ناشی از زمین لرزه‌هاست که با وجود آنکه بیش از ۴۰ سال از اولین مطالعات لرزه زمین‌ساختی و شناسایی گسل‌های کواترنری در ایران می‌گذرد، همچنان نادیده گرفته می‌شود. خطر گسیختگی سطحی که تنها با رعایت حریم گسل قابل اجتناب است، در سرزمین‌هایی مانند فلات ایران که شهرهای بسیاری را در مجاورت گسل های لرزه‌زای بزرگ و شناخته شده دارد، اهمیت دوچندان دارد تا از این طریق از خطرات زمین لرزه‌های شهری در این شهرها کاسته شود. زمین لرزه‌های شهری مانند آنچه در شهر بم رخ داد (Berberian, 2005)، می‌توانند در بسیاری از دیگر شهرهای ایران خرابی به بار آورند. شناسایی دقیق گسل ها در مناطق شهری جدید و نیز ساخته شده نیازمند مطالعات ساختگاهی است که بسته به شرایط محلی با روش‌های زیرسطحی مناسب توام می‌شود. با توجه به گسترش اندیشه سیستمی در علوم زمین (Ben-Zvi-Assaraf and Orion, 2005) و با توجه به مغفول ماندن مسئله حریم گسل در ایران، به نظر می‌رسد یکی از راهکارهای اصلی، انجام مطالعات زمین‌شناسی شهری (e.g. Culshaw and Price, 2010) برای شهرهای جدید و همچنین مناطق در حال توسعه در حاشیه شهرهای موجود است.

اساس اندیشه مطالعات زمین‌شناسی شهری که اغلب در مقیاس‌های بسیار بزرگ مانند (۱:۵۰۰۰ تا ۱:۲۰۰۰۰) انجام می‌شوند (e.g. Nott, 2003; Santanach et al., 2011; Pi and Vilà, 2013)، تلفیق نتایج مطالعات مختلف در شاخه‌های زمین‌شیمی، زمین‌شناسی مهندسی، زمین ساخت، محیط زیست، آبهای زیرزمینی، زمین ریخت‌شناسی و غیره است. این مرحله می‌تواند بهترین زمان برای شناسایی دقیق گسل های موجود در پهنه شهری باشد. انجام مطالعات زمین‌شناسی شهری نیازمند ترویج این مفهوم نزد تصمیم گیران و مدیران شهری و منطقه‌ای است. اما بهترین مروج زمین‌شناسان علاقمند و سازمان های متولی دولتی و غیردولتی مانند سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، انجمن زمین‌شناسی ایران و دیگر انجمن‌های تخصصی علوم زمین هستند.

نتیجه‌گیری

خطر گسیختگی سطحی که پیش از این وجود آن در بسیاری از شهرهای بزرگ ایران به دلیل عدم رعایت حریم گسل گزارش شده است، در شهرهای جدید در حال توسعه مانند شهر پردیس وجود دارد. این شهر با خطر گسیختگی سطحی ناشی از گسل های فعال پردیس، هسا و فردوس و همچنین برخی گسل های با جنبایی ناآشکار قرار دارد. علاوه بر این گسل رودهن در فاصله سه کیلومتری شمال محدوده شهر، گسل شمال تهران و گسل مشا می‌توانند عوامل ایجاد زمین لرزه‌های مخرب در این شهر باشند. گسل پردیس با طول بیش از ۳۰ کیلومتر و عملکرد آشکار که سبب راندگی نهشته‌های کهریزک شده است و همچنین برش چپگرد آبراهه‌ها، گسلی اریب لغز به شمار می‌آید که همخوان با جنبش کواترنری گسل های مهم منطقه از جمله گسل شمال تهران، در نوزمین ساخت منطقه نقش ایفا می‌کند. حداقل حریم به ویژه در بخش فرودیواره ای برای گسل های پردیس، فردوس و هسا به ترتیب ۴۰، ۲۱ و ۲۸ متر محاسبه شده است که مقادیر حداقلی است، چون مقادیر در نظر گرفته شده برای جابجایی گسل های فوق تخمینی است. با توجه به اطلاعات موجود، شناسایی گسل ها در کلیه مناطق شهر ضروری و نیازمند کارهای بیشتر است. از آنجا که گسل های پارچین-ایوانکی، پیشوا- گرمسار و رباط کریم در حدود ۱/۵ میلی‌متر از کوتاه شدگی محاسبه شده براساس داده های GPS برای جنوب البرز مرکزی را هزینه می‌کنند، اختلاف موجود (حدود ۱/۵ میلیمتر) می بایست در راستای گسل های دیگری و یا چین خوردگی هزینه گردد. گسل هایی مانند گسل رودهن و پردیس می‌توانند در هزینه‌کرد بخشی از این کوتاه شدگی سهیم باشند. بستر شهر جدید پردیس متشکل از نهشته‌های آتشفشانی، آگلومرا و توفی سازند کرج در نیمه شمالی و نهشته‌های سازندهای هزاردره و کهریزک در جنوب است. نهشته‌های ائوسن در برخی مناطق دچار دگرسانی و هوازدگی شده‌اند که بستر مناسبی برای ساخت و ساز نیستند. دست‌کاری دامنه‌ها سبب ناپایداری شیب در برخی قسمت های شهر به ویژه در نیمه شمالی شده است که ایجاد ترک‌های قائم در ساختمان های مسکونی و بستر پارک مشاهیر از شواهد این مسئله است. رعایت حریم گسل تنها راهکار مقابله با خطر گسیختگی سطحی است که خود نیازمند انجام مطالعات ساختگاهی و زمین‌شناسی شهری پیش از اجرای طرح‌های توسعه شهری به منظور شناسایی گسل های فعال است. دغدغه ای که به نظر می‌رسد کمتر مورد توجه مسئولان شهری است و جامعه زمین‌شناسی کشور می‌بایست برای ترویج آن تلاش بیشتری نماید.

تشکر و قدردانی

نگارنده از نقطه نظرات داوران محترم و همچنین جناب آقای دکتر زراسوندی، سردبیر محترم مجله، جهت بهبود مقاله کمال تشکر را دارد. همچنین نویسنده از آقای مهندس محقق برای تهیه نسخه اولیه شکل ۲ تشکر فراوان دارد. همچنین از خانم مهندس علیمردان به خاطر در اختیار قرار دادن نسخه اولیه مقاله پذیرفته شده کمال تشکر را دارد.

منابع

احتشامی معین آبادی، م.، ۱۳۹۴، تاثیر گسل‌های عرضی در هندسه، پایانه‌ها و فعالیت گسل طالقان براساس شواهد ریخت‌زمینساختی و مغناطیس هوایی، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۱۷، ص ۱-۱۵.

امیرعلیمی، م.، خطیب، م.، حسامی آذر، خ.، هیهات، م.ر.، ۱۳۹۳، ارزیابی لرزه زمین ساختی راندگی ها و پهنه های گسلی پنهان در گستره مختاران- خاور ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۱، شماره ۱۲، ص۴۱-۵۲.

بربریان م.، قریشی م.، شجاع طاهری ج.، طالبیان م.، ۱۳۷۸، بررسی نوزمینساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره مشهد-نیشابور، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۷۲.

بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب.، مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۶۴، پژوهش وبررسی ژرف نوع زمین ساخت ، لرزه زمین ساخت و خطرزمین لرزه ـ گسلش در گستره تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران زمین : بخش پنجم)، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شمارهٔ ۵۶، ۳۱۶ ص.

خرمی، ف.، حسامی، خ.، نانکلی، ح.ر.، توکلی، ف.، ۱۳۹۰، بررسی زمین ساخت جنبا در منطقه البرز با استفاده از مشاهدات شبکه دائمی GPS، فصلنامه علوم زمین، جلد ۲۱ شماره ۸۲، ص ۲۲۳-۲۳۰.

سلیمانی، س.، فقهی، خ.، شبانیان، ا.، ۱۳۸۱، بررسی‌های دیرینه لرزه شناسی مقدماتی بر روی گسل مشا در دره مشا. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، گزارش شماره ۳-۲۰۰۳-۸۱، ۹۶ ص.

شرکت عمران شهر جدید پردیس ۱۳۹۳، شهر جدید پردیس. (http://pardis-ntoir.gov.ir/?id=6119).

علیمردان، س.، سلیمانی، ش.، قرشی، م.، قاسمی، م.ر.، اویسی، ب.، احمدزاده، ا.، ۱۳۹۳، زمینساخت جنبا و گسلش جوان در محدوده شهر جدید هشتگرد، شمال باختر تهران، فصلنامه علوم زمین، جلد ۲۴ شماره ۹۴، ص ۲۲۷-۲۳۴.

وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۶، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرق تهران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

هروی، س.آ.، نظری، ح.، شهیدی، ع.، طالبیان، م.، ۱۳۹۲، هندسه و سازوکار گسل گرمسار از دوره نئوژن تا به امروز، فصلنامه علوم زمین، جلد۲۲، شماره ۸۸، ص ۱۷۵-۱۸۶.

Abbassi. M.R., Farbod.Y., 2009, Faulting and folding in quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran), Journal of Asian Earth Sciences, Vol: 34, p: 522–531.

Alavi. M., 1996, Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran, Journal of Geodynamics, Vol: 21, p: 1–33.

Allen. M., Ghassemi. M.R., Shahrabi. M., Qorashi. M., 2003, Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, Journal of Structural Geology, Vol: 25, p: 659–672.

Ashtari. M., Hatzfeld. D., Kamalian. N., 2005, Microseismicity in the region of Tehran, Tectonophysics,Vol: 395, p: 193–208.

Axen. G.J., Lam. P.S., Grove. M., Stockli. D.F., Hassanzadeh. J., 2001, Exhumation of the West-Central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence and collision-related tectonics, Geology, Vol: 29, No: 6, p: 559–562. doi:10.1130/0091-7613.

Batatian. D., 2002, Minimum Standards for Surface Fault Rupture Hazard Studies. Salt Lake County Geologic Hazards Ordinance, Appendix A, 11p.

Ben-Zvi-Assaraf. O., Orion. N., 2005, The development of system thinking skills in the context of earth system education, Journal of Research in Science Teaching, Vol: 42, No: 5, p: 518-560.

Berberian. M., 2005, The 2003 Bam Urban Earthquake: A Predictable Seismotectonic Pattern Along the Western Margin of the Rigid Lut Block, Southeast Iran, Earthquake Spectra, Vol: 21, No: S1, p: S35–S99.

Berberian. M., Yeats. R.S., 1999, Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian plateau, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol: 89, p: 120–139.

Berberian. M., Arshadi. S., 1976, On the Evidence of the Youngest Activity of the North Tabriz Fault and the Seismicity of Tabriz City), In: Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part II (ed. M. Berberian). GSI, Vol: 39, p: 397-418.

Bray. J.D., 2001, Developing Mitigation Measures for the Hazards Associated with Earthquake Surface Fault Rupture, in "A Workshop on Seismic Fault-Induced Failures – Possible Remedies for Damage to Urban Facilities", Research Project 2000 Grant-in-Aid for Scientific Research (No. 12355020), Japan Society for the Promotion of Science, University of Tokyo, Japan, p: 55-79.

Christenson. G.E., Batatian. L.D., Nelson. C.V., 2003, Guidelines for Evaluating Surface-Fault-Rupture Hazards in Utah, Miscellaneous Publication 03-6, Utah Geological Survey, 14p.

Culshaw. M.G., Price. S.J., 2010, The Contribution of Urban Geology to the Development, Regeneration and Conservation of Cities, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol: 70, No: 3, p: 333-376.

Dellenbach. J., 1964, Contribution a` l'e´tude ge´ologique de la re´gion situe´ea` l'est de Te´he´ran (Iran). Faculty of Science, University of Strasbourg (France), 117 p.

Ehteshami-Moinabadi. M., 2015, Modern faulting and surface rupture hazard in the qods and pardisan towns (Qom), 7th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering. IIEES.

Ehteshami-Moinabadi. M., Yassaghi, A., Amini, A., 2012, Mesozoic basin inversion in Central Alborz, evidence from the Taleqan-Gajereh-Lar Paleograben, Journal of Geopersia, Vol: 2, No: 2, p: 43–63.

Ghassemi. M.R., Fattahi. M., Landgraf. A., Ahmadi. M., Ballato. P., Tabatabaei. S.H., 2014, Kinematic links between the Eastern Mosha Fault and the North Tehran Fault, Alborz range, northern Iran, Tectonophysics, Vol: 622, p: 81–95.

Hessami. K., Pantosti. D., Tabassi. H., Shabanian. E., Abbassi. M. R., Feghhi. K., Solaymani. S., 2003, Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results, Annals of Geophysics, Vol: 46, No: 5, p: 903-915.

Jackson. J.A., Priestley. K., Allen. M.B., Berberian. M., 2002, Active tectonics of the South Caspian Basin, Geophysical Journal Internatonal, Vol: 148, p: 214–245.

Kelson. K., Kang. K.H., Page. W.D., Lee, C.T., Cluff. L.S., 2001, Representative styles of deformation along the Chelungpu fault from the 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake: Geomorphic characteristics and responses of man-made structures, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol: 91, p: 930-952.

Lettis. W., Bachhuber. J., Witter. R., Brankman. C., Randolph. C., Barka. A., Page. W., Kaya. A., 2002, Influence of releasing topovers on surface fault rupture and fault segmentation: examples from the 17 August 1999 İzmit Earthquake on the North Anatolian fault, Turkey, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol: 92, p:19–42.

Majidi-Niri. T., Nazari. H., Qarashi. M., Talebian. M., 2010, Paleoseimology study on Pishva fault (South Tehran), Iran, Geophysical Research Abstracts, Vol: 12, p: EGU2010-1511.

Nestle. C., Lem. G., 2010, Manual for preparation of geotechnical report, Department of Public Works, Los Angeles County, 70 p.

Nott. J.F., 2003, The urban geology of Darwin, Australia, Quaternary International, Vol: 103, p: 83-90.

Pi. R., Vilà. M., 2013, The 1:5000 Urban Geological Map of Catalonia, Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Vol: 164, No: 4, p: 525-534.

PNSN (Pacific Northwest Seismic Network), 2014- Surface Rupture. (http://pnsn.org/outreach/earthquakehazards/surface-rupture).

Ritz. J.F., Nazari. H., Balescu. S., Lamothe. M., Salamati. R., Ghassemi. A., Shafei. A., Ghorashi. M., Saidi. A., 2012, Paleoearthquakes of the past 30,000 years along the North Tehran Fault (Iran), Journal of Geophysical Research, Vol: 117, p: B06305.

Ritz. J.F., Balescu. S., Soleymani. S., Abbassi. M.R., Nazari. H., Feghhi. K., Shabanian. E., Tabassi. H., Farbod. Y., Lamothe. M., Michelot. J.L., Massault. M., Che'ry. J., Vernant. P., 2003, Determining the Long-term Slip Rate Along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran: Implications in Terms of Seismic Activity, SEE4 Meeting, Tehran.

Santanach. P., Casas. J., Gratacós. O., Sàbat. F., Liesa. M., Muñoz. J., Sàbat. F., 2011, Variscan and Alpine structure of the hills of Barcelona: geology in an urban area, Journal of Iberian Geology, North America, Vol: 37, No: 2, p: 121-136.

Tchalenko. J.S., Berberian. M., Iranmanesh. H., Bailly. M., Arsovsky. M., 1974, Tectonic framework of the Tehran Region, Geological Survey of Iran Report No 29, p: 7-22.

Vernant. P., Nilforoushan. F., Chery. 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 Planetry Science Letters, Vol: 223, p: 177–185.

Wells. D.L., Coppersmith. K.J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the seismological Society of America, Vol: 84, No: 4, p: 974-1002.

Xu. X., Wen. X., Yu. G., Chen. G., Klinger. Y., Hubbard. J., Shaw. J., 2009, Coseismic reverse- and oblique-slip surface faulting generated by the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, China, Geology, Vol: 37, p: 515–518.

Xu. X., Yu. G., Ma. W., Klinger. Y., Tapponnier. P., 2008, Rupture behavior and deformation localization of the Kunlunshan earthquake (Mw 7.8) and their tectonic implications, Science in China Series D: Earth Sciences, Vol: 51, p: 1361–1374.

Xu. X., Yu. G., Ma. W., Ran. Y., Chen. G., Han. Z., Zhang. L., 2002, Evidence and methods for determining the safety distance from the potential earthquake surface rupture on active fault, Seismological Geology, Vol: 24, p: 470–483.

Yousefi. E., Friedberg. J.L., 1977, Aeromagnetic map of Iran, Tehran Quadrangle (1:250000). Geological Survey of Iran.

Zanchi. A., Zanchetta. S., Berra. F., Mattei. M., Garzanti. E., Molyneux. S., Nawab. A., Sabouri. J., 2009, The Eo-Cimmerian (Late? Triassic) orogeny in North Iran, In: Brunet, M.F., Wilmsen, M. and Granath, J.W. (eds) South Caspian to Central Iran Basins, The Geological Society, London, Special Publications, Vol: 312, p: 31–55.

Zanchi. A., Berra. F., Mattei. M., Ghassemi. M.R., Sabouri. J., 2006, Inversion tectonics in central Alborz, Iran, Journal of Structural Geology, Vol: 28, p: 2023 – 2037.

Zhou. Q., Xu. X., Yu. G., Chen. X., He. H., Yin. G., 2010, Width Distribution of the Surface Ruptures Associated with the Wenchuan Earthquake: Implication for the Setback Zone of the Seismogenic Faults in Postquake Reconstruction, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol: 100, No: 5B, p: 2660–2668.