تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۱

بررسی سازوکار روندهای شمال باختری در بخش کوهپایه‌ای شهر تهران و تأثیر آنها در مورفولوژی سازندهای آبرفتی

محمدرضا عباسی (نویسنده مسؤول)
دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
abbassi@iiees.ac.ir
حسین مختاری
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران

چکیده
برآورد خطر زمین‌لرزه با آگاهی از سازوکار، فعالیت و روندهای گسلی گره خورده است. با رشد سریع شهر تهران که جمعیت قابل‌ملاحظه‌ای را در خود جای داده، انجام مطالعات نوینی لازم است که در برگیرنده همه روندهای گسلی فعال ممکن باشد. روندهای گسلی خاوری – باختری به دلیل عوارض به‌جای مانده از آنها به‌راحتی بر روی عکس‌های هوایی (۱۹۵۵) قابل شناسایی هستند. در این پژوهش، روندهای گسلی با راستای شمال باختری به‌عنوان یک چشمه‌ی گسلی احتمالی در هنگام یک رویداد لرزه‌ای بررسی شده‌اند. اندازه‌گیری ۵۶ صفحه گسلی در ۱۳ رخنمون نشان دادند که شاخص‌های مورفولوژیکی روندهای شمال باختری در نهشته‌های یخچالی (پلایستوسن میانی) نهشته‌های پلایستوسن جوان با درازاهای میان ۲/۶ تا ۶/۵ کیلومتر با آرایش پله‌ای، قابل‌پیگیری هستند. سازوکار فشاری این روندها با جهت تنش شمال خاوری (جهت تنش عهد حاضر) همخوان است. روندهای یاد شده، گسله‌هایی قدیمی هستند که در زمان پلایستوسن پیشین به‌صورت کششی کارسازی کرده‌اند.

کلمات کلیدی: *بازکاری گسله ها[1]، چشمه لرزه ای[2]، گسله های فعال، روندهای شمال باختری، تنش دیرینه[3]*

۱- مقدمه

در سازندهای آبرفتی تهران کارهای متفاوتی صورت گرفته است. پیشینه‌ی مطالعات در تهران را می‌توان به چند دوره تقسیم کرد: ۱- دوران پس از تهیه اولین عکس‌های تهران و ایران در سال ۱۳۳۴. در این دوران مطالعات زمین‌شناسی معطوف به شناسایی و جداسازی آبرفت‌های تهران بود و اولین نقشه آبرفت‌های تهران تهیه شد [۱-۳]. در همین دسته از مطالعات باید کارهای پدرامی [۴] را که منجر به تقسیم‌بندی‌های دقیق‌تر و پیشنهاد سنی برای آبرفت‌های تهران شد، قرار داد. ۲- از نیمه‌ی دهه‌ی هفتاد میلادی نگاه‌ها به‌سوی زمین‌ساخت و شناسایی سازوکار گسله‌هایی که آبرفت‌ها را متأثر می‌کند، معطوف شد [۵-۶]. در کارهای این پژوهشگران، روند گسله‌های اصلی با طول‌های بیش از ۱۰ کیلومتر بیشتر خاوری- باختری هستند و جذب دگر شکلی در دشت تهران به‌صورت عمده در راستای همین گسله‌ها انجام می‌گیرد. گسله‌های فرعی با روند شمال باختری- جنوب خاوری با نام‌های تلویزیون، ونک پارک و باغ فیض معرفی شدند. همین روندها با عنوان گسله‌های کششی قدیمی معرفی شدند [۷].

سه ویژگی در آبرفت‌های تهران می‌توانند شناسایی گسله‌ها را بر روی عکس‌های هوایی و یا ماهواره‌ای دشوار کنند. نکته‌ی اول مربوط به سازوکار است، نکته‌ی دوم مقدار دگر شکلی و سیمان آبرفت را در بر می‌گیرد و نکته‌ی آخر اندازه‌ی جابه‌جایی در راستای گسله‌هاست. در مورد نکته‌ی اول که به سازوکار گسله مربوط می‌شود واقعیت این است که شناسایی جابه‌جایی‌های افقی در راستای گسله به‌مراتب آسان‌تر از گسله‌هایی با سازوکار شیب لغز است. با کم شدن اندازه جابه‌جایی در راستای گسله‌ها نمود سازوکارها بیشتر خود را نمایان می‌کند؛ زیرا شناسایی جابه‌جایی زیر یک متر با سازوکار شیب‌لغز بسیار دشوارتر از گسله‌هایی با سازوکار راستالغز است. مقدار سیمان میان دانه‌ها همان‌طور که یاد شد در شناسایی گسله‌ها مؤثر است. این به آن معنی است که سازندهایی با سیمان به نسبت خوب قابلیت بهتری در نگهداری و حفظ مورفولوژی گسله دارند. در سازندهایی چون سازند یخچالی

(سازند ب) که کمتر دگر شکل شده‌اند و از سیمان ضعیف‌تری برخوردارند فرسایش آسان‌تر اثر می‌کند و همین امر باعث می‌شود تا آثار مورفولوژیکی گسل‌هایی که این سازند را متأثر می‌کنند به‌سختی بر روی عکس‌های هوایی و یا ماهواره‌ای قابل شناسایی باشند. دشواری دیگری در شناسایی گسله‌ها در آبرفت‌ها مربوط به سازوکار گسله‌ها می‌شود. در بخش کوهپایه‌ای تهران برونزد سازند هزار دره که از سیمان به نسبت خوبی برخوردار است در بسیاری از جاها با سازند یخچالی (ب) با ضخامت‌های متفاوت پوشیده شده است [۷].

در آبرفت‌های بخش کوهپایه‌ای تهران گسله‌هایی با روندهای شمال باختری که سازند یخچالی را می‌برند به‌آسانی قابل‌شناسایی نیستند زیرا هر سه ویژگی که در بالا شرح داده شد در مورد روندهای گسلی شمال باختری صدق می‌کند.

همه‌ی دست‌اندرکاران ساخت‌وساز در سطح شهر تهران که توانایی شناسایی گسله‌ها را در گودبرداری‌ها دارند بر این نظر هستند که در شهر تهران هر کجا کنده شود گسله‌ای دیده خواهد شد. حتماً این گفته در بخش کوهپایه‌ای تهران به واقعیت نزدیک است؛ اما آنچه نامشخص است آن است که چه روندهای گسلی بیشتر در این گودبرداری‌ها دیده می‌شوند. برای پاسخ به این پرسش می‌باید دسترسی و امکان اندازه‌گیری در گودبرداری‌ها فراهم باشد. در این پژوهش بخشی از این پرسش بررسی می‌شود.

درازای این روندهای گسلی تاکنون از ۲ تا ۷ کیلومتر گزارش شده‌اند [۵] و آنچه بیشتر مهم می‌نماید سازوکار این گسله‌ها است. بیشتر سازوکارها همراه با یک مؤلفه‌ی شاقولی کششی هستند و در برخی از آنها این مؤلفه‌ی فشاری تعیین شده است. چگونه می‌باید این تضاد را توضیح داد؟ پرسش دیگر این است که چنانچه طول این گسله‌ها بیش از ۱۰ کیلومتر باشند، در صورت وقوع یک زمین‌لرزه‌ی احتمالی چه خطری ساختمان‌هایی که بر روی این گسله‌ها قرار می‌گیرند را تهدید خواهد کرد؟ تعیین هرگونه ساختاری در آبرفت‌های چهارگانه تهران رین [۲] (A, B, C, D) مستلزم ایجاد برش تا عمق دست‌کم ۴ متر است. در گزارش ۵۶ سازمان زمین‌شناسی [۵] از گودبرداری برج‌ها و احداث مترو به‌عنوان یک فرصت طلایی برای شناسایی گسله‌ها نام برده می‌شود. با گذشت نزدیک به سی سال این هشدار چقدر جدی گرفته شده است؟ آیا برای هر گودبرداری شناسنامه‌ای وجود دارد که خریدار ملک نیز از حق دانستن در مورد پی ساختمان خود برخوردار شود؟

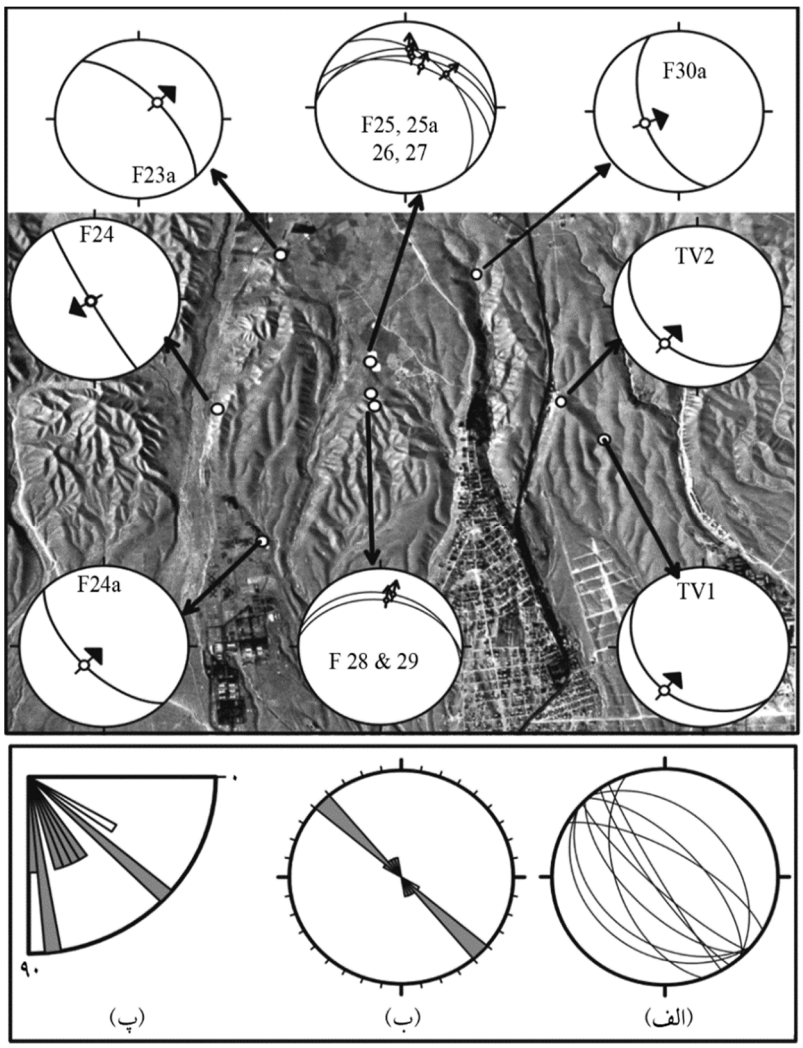
این مقاله به دنبال پاسخی برای این پرسش‌های مطرح‌شده به غیر از پرسش آخرین است. البته ناگفته نماند که شناسایی سازوکار گسله‌های موجود در آبرفت‌های تهران به‌طور یقین تابعی از برش‌ها و گودبرداری‌هایی است که در سطح شهر انجام می‌شود و دانش هر برهه در مورد سازوکار گسله‌ها به‌صورت مستقیم در ارتباط با رخنمون‌های ایجاد شده و بازدیدهای محلی است که انجام می‌گیرد. آنچه ما امروز بیشتر در مورد این روندهای گسلی می‌دانیم مدیون برش‌های بیشتر و کارهای بیشتر عمرانی در سطح شهر تهران و نفوذ دانش زمین‌شناسی در شهرداری تهران است که امکان دسترسی به اطلاعات بیشتر را فراهم کرده است. افزون بر این سعی بر این است که نقش روندهای شمال باختری در جذب دگر شکلی از زمان نهشته شدن سازند یخچالی (ب) تا عهد حاضر بررسی شود و سازوکار این گسله‌ها در فرایند سه جهت تنش که در البرز مرکزی کارسازی کرده است نشان داده شود.

۲- پژوهش‌های پیشین

شهر تهران در پای کوه‌های البرز مرکزی قرار دارد که به دو بخش کوهپایه (از خیابان انقلاب تا شروع واحدهای سنگی در شمال تهران) و بخش هموار دشت که به کویر مرکزی می‌رسد تقسیم می‌شود. البرز مرکزی با انحنای محدب به‌سوی کویر مرکزی از نظر ساختاری از دو روند شمال باختری (در یال باختری) و شمال خاوری (در یال خاوری) تشکیل شده است. اولین برش از رشته‌کوه البرز نشان‌دهنده‌ی بالاآمدگی البرز با دو گسله با شیب‌های مخالف یکدیگرند. این بدان معنی است که در شمال، شیب گسله به‌سوی جنوب و در جنوب این رشته‌کوه با شیب به‌سوی شمال است [۸]. کوه‌هایی که تهران را در بر می‌گیرند در شمال تهران با بیشترین ارتفاع در قله‌ی توچال (۳۰۰۰ متر) و در بخش خاوری آن به نام آنتی البرز قرار می‌گیرد

با ارتفاعات نزدیک به ۲۰۰۰ متر که در برگیرنده‌ی واحدهای رسوبی دوران دونین تا ترشیری است [۹-۱۱]. واحدهای سنگی توف‌های سبز و آندزیت منظریه در شمال تهران با شیب بسیار تند به بخش کوهپایه‌ای می‌پیوندد. بخش کوهپایه‌ای تهران از تپه‌هایی تشکیل می‌شود که از سطح مجاور خود تا ۵۰ متر ارتفاع می‌گیرند. کوه هزار دره در شمال خاوری تهران تنها استثنایی است که از این قاعده پیروی نمی‌کند. ارتفاع این تپه‌ها از خاور به باختر کم می‌شود و آخرین آنها در کاظم‌آباد با کمترین مقدار ارتفاع پدیدار می‌شود.

حجم گسترده‌ای از مطالعاتی که بر روی آبرفت‌های تهران صورت گرفته، چینه‌شناسی را در بر می‌گیرد [۱، ۲، ۳، ۴، ۱۱]. آنچه مربوط به ساختارهای موجود در آبرفت‌ها به‌ویژه سازوکار گسله‌ها می‌شود متأخرترند [۵-۶]. روندهای شمال باختری- جنوب خاوری برای نخستین بار توسط چالنکو [۶] با نام گسله‌ی تلویزیون معرفی شد. برشی از این گسله در کار آنگالن [۳] معرفی شده است. شناسایی این روندها بیشتر از گذشته در کار بربریان و همکاران [۵] بر روی نقشه با درازای بیش از ۲ کیلومتر (قصر فیروزه و باغ فیض) و با اندازه گیری‌های متعدد به‌صورت پراکنده (F18, F 19, F24, F 24a, F25) در سطح شهر معرفی شدند. این روندهای گسلی از دیدگاه سازوکار با هم همخوانی ندارند (مقایسه جدول ۱ و شکل ۱).



شکل (۱): برهم نهاده شدن ایستگاه‌های اندازه‌گیری مربوط به گزارش بربریان و همکاران [۵] با عکس هوایی. خش خط‌های ترسیم شده در شبکه استریو مربوط به گزارش یاد شده نیستند و فقط برای به تصویر کشیدن سازوکارهای گزارش‌شده به کار گرفته شده‌اند. صفحه‌های گسلی و پیکان‌های مربوطه (خش خط‌ها) جهت حرکت نسبی فرادیواره را نشان می‌دهند. در شکل پایین همه‌ی صفحه‌های گسلی گزارش یاد شده از دیدگاه آماری ترسیم شده‌اند. (الف) تصویر استریوگرافیکی روندهای گسلی، (ب) دیاگرام گلسرخی روندها و (ج) بیانگر شیب صفحه‌های گسلی است.

جدول (۱): اندازه‌گیری‌های مربوط به گزارش بربریان و همکاران [۵] به همراه جابه‌جایی‌ها، نهشته‌های متأثر شده، سازوکارها و راستای آنها

نام گسله	راستای گسله و شیب	زاویه خط خش	سازوکار	جای رخنمون	رسوبات بریده شده	اندازه جابه‌جایی
F2	E-W	-	کششی	باغ فیض	A	۲ متر
F18	N120E/70N	-	کششی	هتل استقلال	B	-
F19	N133E/80S	-	راستالغز	هتل استقلال	B	-
F22a	N145E/80S	-	کششی	کوروش	A	-
F23a	N137E/65N	-	کششی	ملاصدرا	A	-
F24	N150E/86S	-	کششی	ژئوفیزیک	A	۲ متر
F24a	N135E/63S	-	فشاری	راکتور اتمی	A, B & C	۰/۶ متر
F25	N139E/40N	-	کششی	ونک پارک	A & B	-
TV1	N130E/30S	-	فشاری	تلویزیون	A	-
TV2	N130E/40S	-	فشاری	بزرگراه آفریقا	A	۰/۵ متر
F30a	N160E/55S	-	فشاری	برزیل	B	۰/۷ متر

حسینی [۱۲] با اندازه‌گیری لایه‌بندی‌های موجود در سازند هزار دره به روشن شدن هندسه‌ی چین‌ها و ارتباط آنها با گسله‌های تهران کمک کرد. شبانیان و همکاران [۱۳] یک روند جدید گسلی با نام جهان کودک در خاور تپه عباس‌آباد معرفی کردند و ارتباط آن را با بخش خاوری تاقدیس تپه عباس آباد (تاقدیس طالقانی) نشان دادند. در این کار مشخص شد که گسله ی جهان کودک با بریدن محور این تاقدیس به‌صورت راست‌بر، منجر به چرخش لایه‌ها شده است. کار گسترده‌تری برای تعیین جهت تنش و سازوکار گسله های تهران صورت گرفت که منجر به شناسایی سه جهت تنش پس از نهشته شدن سازند هزار دره تاکنون شد [۱۴].

۳- روش پژوهش

برای انجام این کار از دو روش میدانی و دفتری بهره گرفته شد. در راستای انجام کارهای دفتری از موزاییک عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰ که در سازمان مدیریت بحران شهر تهران با دقت زیر ده متر تصحیح هندسی شده اند، بهره گرفته شد. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در گزارش ۵۶ سازمان زمین‌شناسی [۵] که در مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شده بودند پس از تصحیح هندسی، بازخوانی و بر روی نقشه‌های جدید منتقل شدند. به‌این‌ترتیب بخشی از اطلاعاتی که به‌صورت محلی در برش‌ها اندازه‌گیری شده بودند و با حرف (F) و عدد در کنار آنها نامیده شده بودند بازیابی مکانی شدند. گسله‌های نامبرده شامل F25، F24a، F24، F19 و F18، گسل‌های کششی پارکینگ فروشگاه کوروش و گسله‌ی میان لایه‌ای ملاصدرا می‌شوند و دربرگیرنده‌ی همه‌ی روندهای گسلی شمال باختری- جنوب خاوری هستند. با این اطلاعات و یافته‌های جدید امکان مناسب تری برای شناسایی روندهای گسلی بر روی عکس‌های هوایی به وجود آمد.

در کارهای میدانی با حضور در گودبرداری‌ها و برش‌هایی که در کارهای عمرانی در سطح شهر صورت گرفته امکان اندازه‌گیری‌های بیشتر محلی فراهم شد. با داشتن موزاییک عکس‌های هوایی با دقت یاد شده، امکان برهم نهادن نقاط بازدید شده بر روی عکس‌های هوایی به وجود آمد. در نتیجه، پیگیری و مشاهده‌ی آثار مورفولوژیکی به‌جای مانده از گسله‌ها با اطمینان بیشتری ترسیم شدند. ایستگاه‌هایی که در آنها اندازه‌گیری انجام‌شده بر روی عکس هوایی با شماره معرفی شده‌اند و از دادن نشانی کامل به این دلیل که در زیر ملک‌های شخصی قرار می‌گیرند خودداری شده است. ایستگاه‌های اندازه‌گیری با عدد مشخص و هرکدام از آنها همراه با اندازه‌گیری صفحه‌های گسلی و سازوکار مربوطه بر روی نقشه همراه با توضیح به‌صورت نوشته معرفی شده‌اند.

۴- ایستگاه‌های اندازه‌گیری

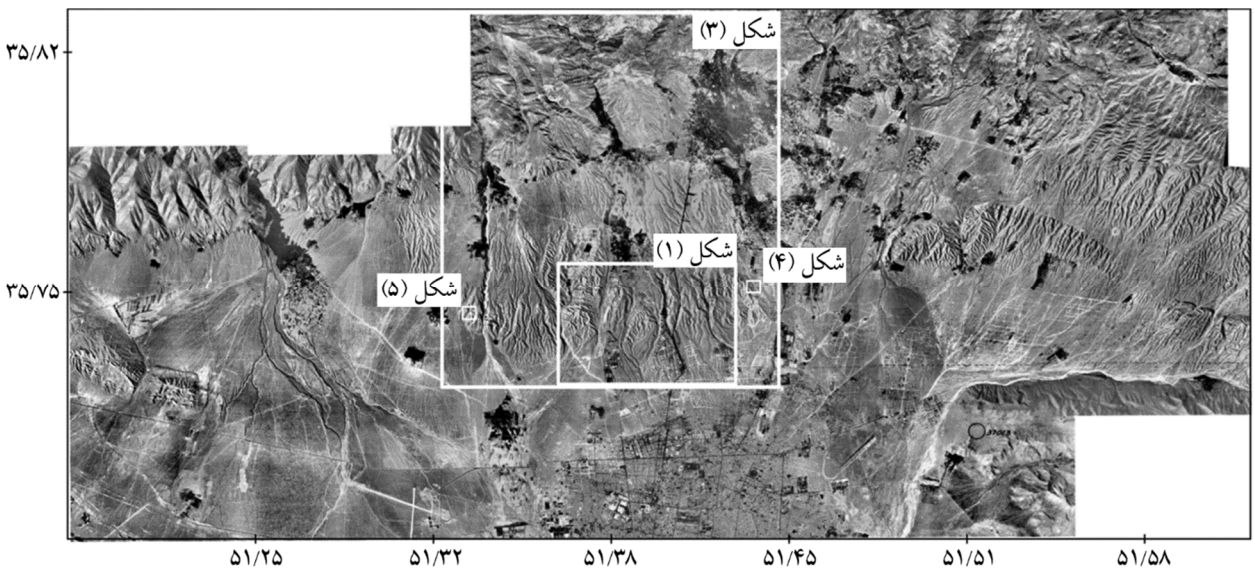
ایستگاه شماره (۱): این ایستگاه در پی‌کنی ساختمانی در جنوب ولنجک در جنوب جاده دسترسی به درکه قرار دارد. سازندی که در آن اندازه گیری‌ها صورت گرفت، سازند هزار دره است. روندهای گسلی اندازه گیری شده شمالی- جنوبی تا شمال باختری- جنوب خاوری با سازوکار راندگی تا فشاری با مؤلفه ی افقی راست‌بر هستند (شکل‌های ۲ و ۳).

ایستگاه شماره (۲): این ایستگاه در جاده دسترسی دره فرحزاد به کیگاه و امامزاده داوود بعد از عبور از یونجه زار در سنگ‌های توف (ائوسن) قابل اندازه گیری است. در این ایستگاه که از نظر مکانی بر روی گسله‌ی امامزاده داوود قرار می‌گیرد سازوکارهای اندازه‌گیری شده با شیب به سوی شمال خاوری و جنوب باختری از نوع کششی و راستالغز راست‌بر با مؤلفه‌ی کششی هستند (شکل ۳).

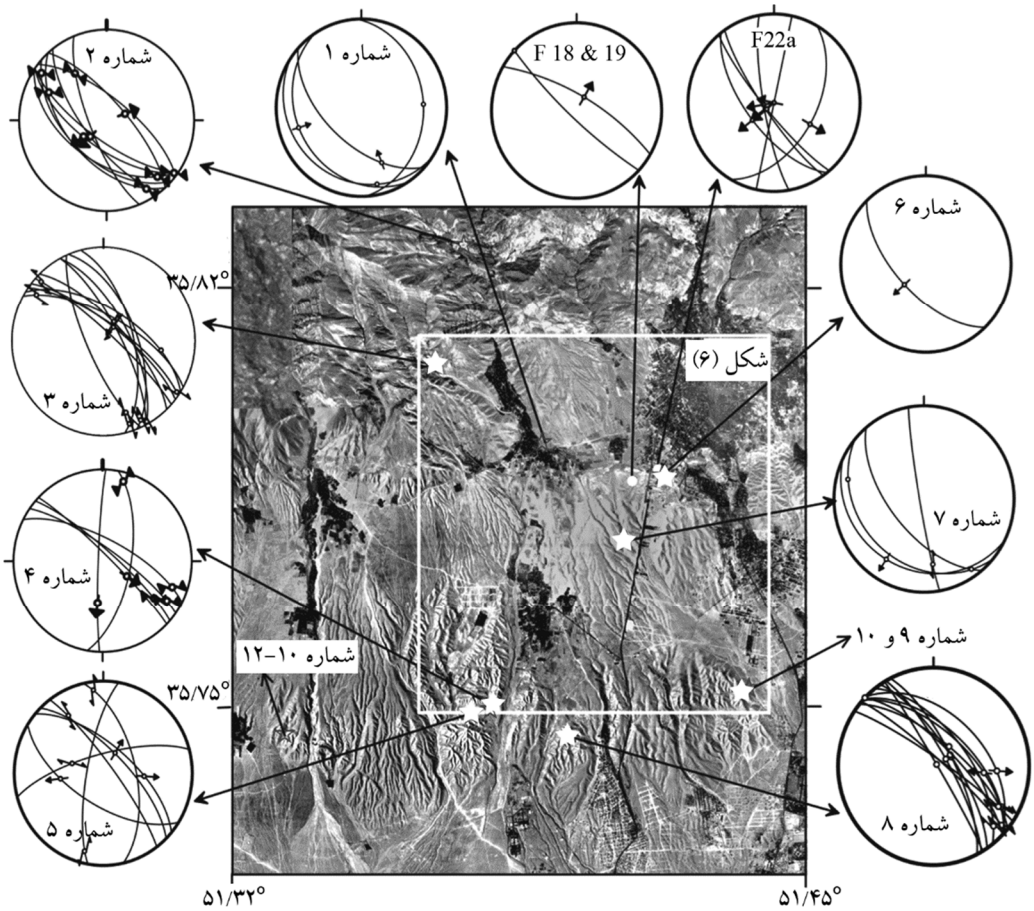
ایستگاه شماره (۳): معدن سنگ درکه از معدن‌هایی است که اکنون در شمال شهر تهران متروکه شده است. راه دسترسی به این معدن از شمال سعادت‌آباد در ضلع باختری تپه اوین در خیابان شهدای شرکت برق است. در این رخنمون که به‌صورت عمده از سنگ‌های توف (ائوسن) تشکیل شده است روندهای گسلی با راستای (N140E) با شیب‌های متوسط تا پرشیب به‌سوی شمال خاوری و جنوب باختری تشکیل شده است. سازوکار این مجموعه از صفحه‌های گسلی از کششی محض تا راستالغز راست‌بر (به‌صورت عمده) با مؤلفه‌ی کششی اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

ایستگاه شماره (۴): رخنمونی که اندازه‌گیری‌ها در آن انجام شد اکنون پس از احداث بیمارستان دانشگاه علوم پزشکی تهران از میان رفته است. مکان این رخنمون در کنار یال جنوبی بزرگراه همت، روبروی محل کتابخانه‌ی رازی که از مجموعه ساختمان‌های دانشگاه علوم پزشکی است قرار داشت. این رخنمون در گزارش دمز و مور [۱۵] توصیف شده است و در گزارش سازمان زمین‌شناسی نیز از آن یاد شده است. این رخنمون در سازند هزار دره اندازه‌گیری شد. دو روند گسلی در این رخنمون اندازه‌گیری شد. صفحه‌های پر شیب گسلی با روند اصلی در راستای شمال باختری- جنوب خاوری با سازوکار راستالغز راست‌بر و مؤلفه‌ی کششی با شیب به‌سوی شمال خاوری و روند دوم با راستای شمالی- جنوبی با سازوکار کششی و راستالغز چپ‌بر اندازه‌گیری شدند (شکل ۳).

ایستگاه شماره (۵): این ایستگاه در شمال برج میلاد و جنوب بزرگراه همت قرار می‌گیرد. در پی‌کنی این گود که به‌صورت عمده در سازند هزار دره قرار می‌گیرد سه روند گسلی قابل اندازه‌گیری است. بیشترین تعداد صفحه‌های گسلی در راستای شمال باختری با شیب تند به‌سوی شمال خاوری هستند. سازوکار چیره در این



شکل (۲): موزاییک عکس هوایی بخش کوهپایه‌ای تهران در مقیاس (۱:۵۰۰۰۰) تهیه‌شده در سال ۱۳۳۴



شکل (۳): ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده مربوط به این گزارش با علامت (شماره) و گسله‌های اندازه‌گیری شده در گزارش بربریان و همکاران، [۵] با علامت (F) مشخص شده‌اند. برای مشخص شدن مکان این نقشه به شکل (۲) مراجعه شود. صفحه‌های گسلی و پیکان‌های مربوطه (خش خط‌ها) جهت حرکت نسبی فرادیواره را نشان می‌دهند.

صفحه‌های گسلی از نوع کششی تا راستالغز راست‌بر و در تمام طول گودبرداری قابل‌پیگیری است. روندهای شمالی- جنوبی با شیب به‌سوی خاور و باختر از نوع راستالغز هستند و بیشتر به‌صورت محلی و طول‌های کم ظاهر می‌شوند. یک روند نزدیک به خاوری- باختری نیز با سازوکار کششی اندازه‌گیری شد. این روند گسلی نیز به‌صورت محلی و درازای کم در این گودبرداری مشاهده شد (شکل ۳).

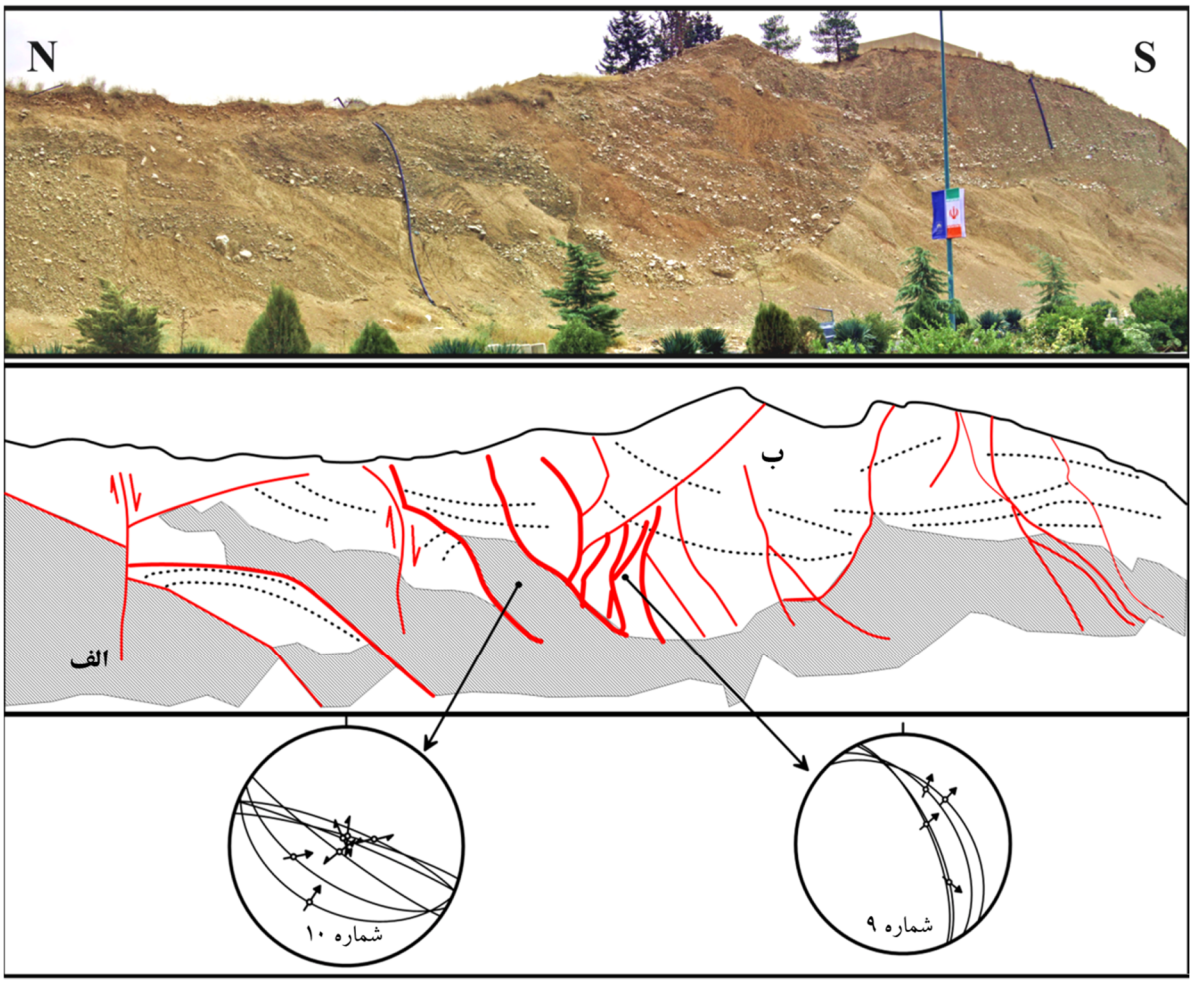
ایستگاه شماره (۶): این ایستگاه در انتهای جنوب خاوری پل روگذر چهارراه پارک وی در گودبرداری یک ساختمان صورت گرفت. صفحه‌ی گسلی اندازه‌گیری شده با شیب به‌سوی جنوب باختری و روند شمال باختری با سازوکار کششی محض اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

ایستگاه شماره (۷): این ایستگاه در تونل نیایش در محدوده‌ی پارک اندازه‌گیری شد. روندهای اصلی در راستای شمال باختری با شیب ملایم به‌سوی جنوب باختری سازند هزار دره را بریده‌اند. سازوکار این دسته از صفحه‌های گسلی تا جایی که امکان تشخیص حرکت فرادیواره موجود بود نشان‌دهنده‌ی یک سازوکار کششی محض است. برای دو صفحه‌ی گسلی دیگر امکان تعیین سازوکار وجود نداشت، از این رو در نمایش صفحه‌های گسلی بدون سازوکار بسنده شد. یک صفحه‌ی گسلی دیگر با اندازه‌گیری خط خش اما سازوکار ناشناس بر روی تصویر استریوگرافیکی ترسیم شده است (شکل ۳). یک صفحه‌ی گسلی پرشیب با سازوکار راستالغز چپ‌بر نیز در این مجموعه اندازه‌گیری شد.

ایستگاه شماره (۸): این ایستگاه در محلی به نام تپه اکبری (شمال ساختمان‌های آ اس پ) در شمال خیابان شصت و چهارم قرار دارد که اکنون با احداث دیوارهای سبز و پوشش گیاهی دسترسی به آن ممکن نیست. در این ایستگاه صفحه‌ی گسلی پرشیب به‌سوی شمال خاوری سازند هزار دره را با سازوکار راستالغز راست‌بر و یک مؤلفه‌ی کوچک کششی بریده‌اند (شکل ۳). روندهای گسلی به شکل متمرکز و یکسان در راستای شمال باختری قرار می‌گیرند.

ایستگاه شماره (۹): محل این ایستگاه در ضلع خاوری کتابخانه ملی که در تپه‌های عباس‌آباد احداث شده است هم اکنون به‌عنوان رخنمون پوشیده نشده است. این رخنمون در خاوری‌ترین بخش تپه عباس‌آباد در کنار بزرگراه جهان کودک قرار دارد. در برشی که به‌صورت تقریبی با راستای شمالی- جنوبی ایجاد شده است سازند گسلیده هزار دره با شیب لایه‌بندی به‌سوی جنوب دیده می‌شود و بر روی سطح گسلیده و فرسایش یافته‌ی آن سازند نهشته یخچالی (ب) با لایه‌بندی‌های متفاوت رخنمون دارد. در بخش‌هایی که مرز این دو سازند آبرفتی گسلیده هستند بر روی شکل (۴) با خط پررنگ‌تر به نمایش درآمده است.

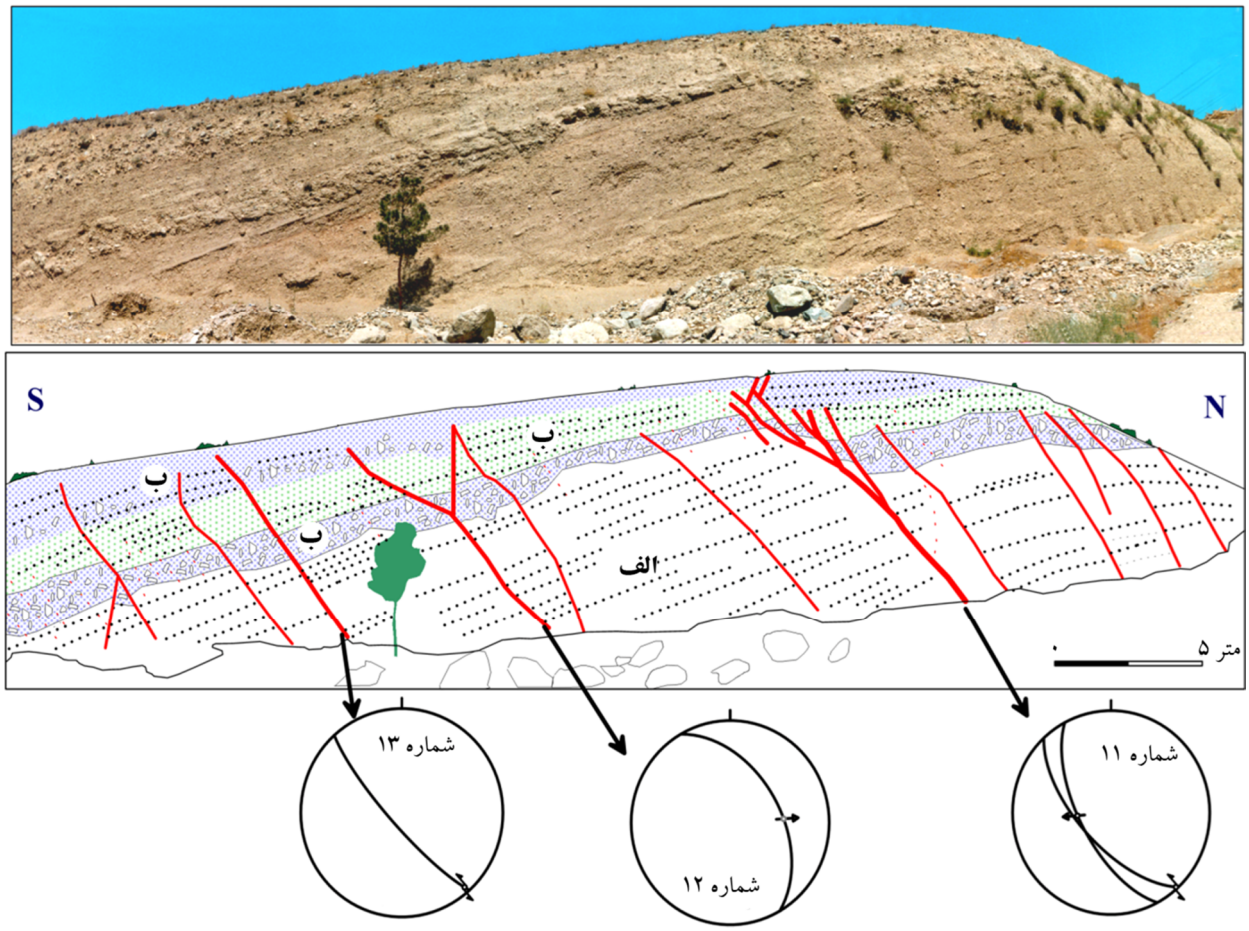
گسله‌هایی که در این ایستگاه اندازه‌گیری شد با دو روند مختلف سازند هزار دره و سازند یخچالی را می‌برند. روندهای گسلی شمال باختری با شیب‌های تند تا متوسط به‌سوی شمال خاوری در سازند یخچالی اندازه‌گیری شدند. سازوکار این گسله‌ها از نوع کششی با مؤلفه‌های افقی چپ‌بر هستند. این روندهای گسلی با گسله‌هایی با روند نزدیک به خاوری- باختری بریده شده‌اند.



شکل (۴): برشی از گسله‌ی جهان کودک مقابل کتابخانه ملی در بخش خاوری تپه‌ی عباس‌آباد (نگاه به‌سوی خاور). سازند هزار دره با حرف (الف) و سازند یخچالی با حرف (ب) به نمایش در آمده است. در شکل پایین ایستگاه‌های اندازه‌گیری شماره ۹ و ۱۰ همراه با تصویر استریوگرافیکی آنها آورده شده‌اند.

سازوکار این دسته از گسله ها از نوع فشاری تا فشاری با مؤلفه ی چپ‌بر با شیب به‌سوی جنوب است. دسته‌ی دیگری از همین گسله‌ها با شیب تند به‌سوی شمال گسله‌های فشاری با مؤلفه‌ی افقی کوچکی چپ‌بر را تشکیل می‌دهند.

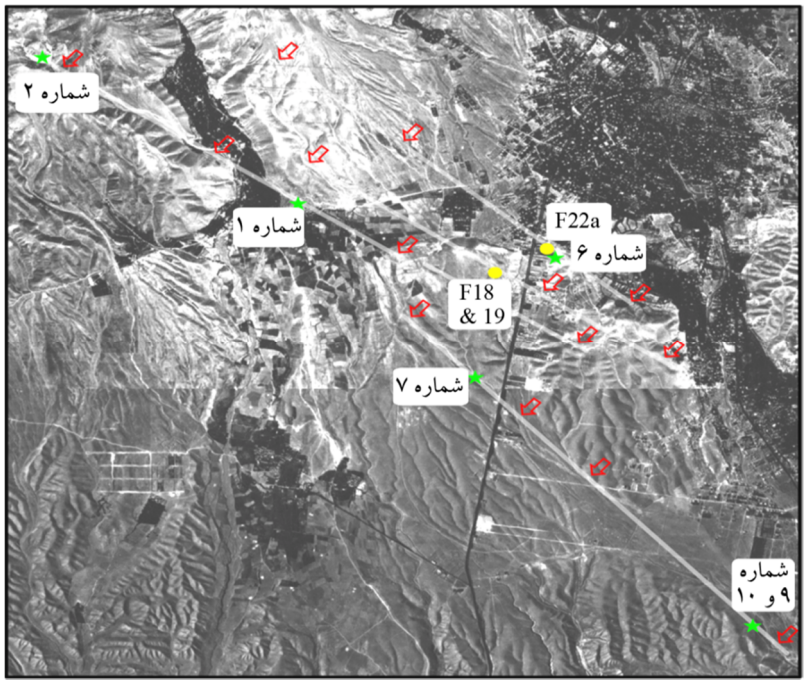
ایستگاه شماره (۱۱ تا ۱۳): این ایستگاه در منطقه ی باغ فیض در شمال بزرگراه حکیم و خاور بزرگراه اشرفی اصفهانی قرار دارد و در گزارش بربریان و همکاران [۵] با نام گسله‌ی کششی (F_2) (نگاره ۴۰۴۱) آورده شده است. با ساخت‌وسازهای گسترده‌ای که در شهر تهران صورت گرفته می‌توان نشانی این رخنمون را اگر اکنون قابل دسترسی باشد در میان خیابان حیدری و آذری که هر دو از اشرفی اصفهانی منشعب می‌شوند بازیابی کرد. در شمال این رخنمون یک مسجد نیز احداث شده است. در این رخنمون هسته‌ی یک تاقدیس متشکل از هزار دره دیده می‌شود که بر روی سطح ناهموار آن به صورت دگر شیب سازند یخچالی (ب) نهشته شده است. روندهای گسلی شمال باختری با شیب متوسط تا پرشیب به‌سوی جنوب باختری و شمال خاوری هردو سازند یاد شده را می‌برند. در محلی که گسله ی کششی (F_2) گزارش شده بود دو اندازه‌گیری با دو سازوکار متفاوت کششی محض و راستالغز چپ‌بر اندازه‌گیری شد که می‌تواند متعلق به دو نسل از دگر شکلی در راستای یک صفحه‌ی گسلی باشد.اندازه‌ی جابه‌جایی در راستای این گسله به دو متر و نیم می‌رسد و با حرکت به‌سوی جنوب از اندازه‌ی جابجایی به‌صورت کششی کاسته می‌شود. در دو صفحه‌ی گسلی دیگر دو سازوکار کششی محض و راستالغز چپ‌بر اندازه‌گیری شد (شکل ۵).



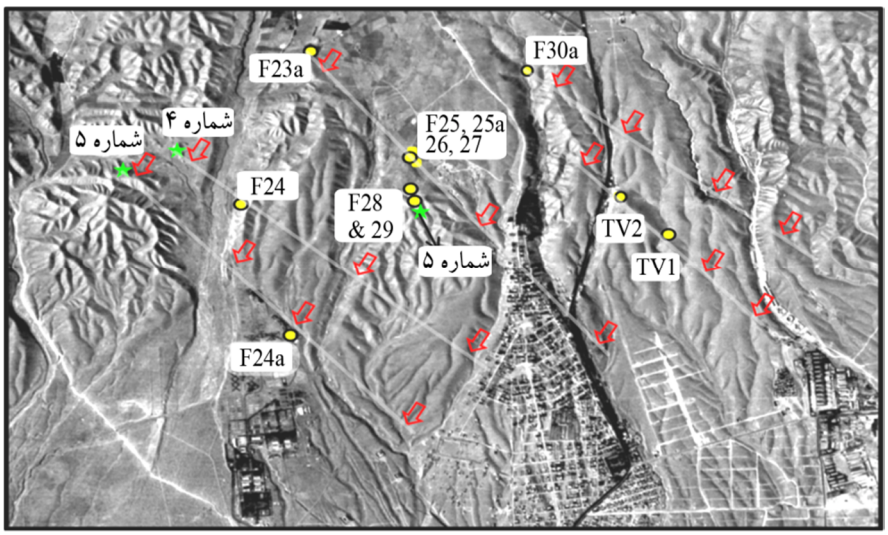
شکل (۵): برشی از گسله‌ی باغ فیض که سازند آبرفتی (الف) هزار دره و سازند یخچالی (ب) را بریده‌اند (نگاه به‌سوی باختر). ایستگاه‌های اندازه‌گیری شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳ همراه با تصویرهای استریوگرافیکی صفحه‌های گسلی ترسیم شده‌اند. ایستگاه شماره ۱۱ گسله (F2) در گزارش بربریان و همکاران [۵] است.

۴- گسله‌های شناسایی‌شده و عوارض آنها

در این بخش گسله هایی با روندهای شمال باختری معرفی می‌شوند که با دو شاخص یعنی ۱- عوارض و ۲- اندازه‌گیری در برش ها و یا گودها شناخته شده‌اند. برای هر گسلی که در این کار معرفی می‌شود عوارض و اندازه‌گیری‌ها بر روی شکل‌ها با شماره‌ی ایستگاه اندازه‌گیری مشخص شده‌اند. پیکان‌های توخالی پایان و شروع هر گسله و یا عوارض را نشان می‌دهند (شکل‌های ۴ تا ۷).



شکل (۶): گسله‌هایی که در این گزارش معرفی شدند (با خط سفید کم‌رنگ) همراه با ایستگاه اندازه‌گیری آنها بر روی شکل مشخص شده‌اند. با علامت شماره‌ی مربوط به این گزارش و حرف (F) مربوط به گزارش بربریان و همکاران [۵]. پیکان‌های توخالی شروع، پایان و عوارض به‌جای مانده از گسله را به نمایش درآورده‌اند. برای بازیابی مکان این شکل به شکل (۳) مراجعه شود. گسله‌های شناسایی‌شده از جنوب به‌سوی شمال به ترتیب گسله‌ی جهان کودک، امانیه، استقلال و کوروش هستند.



شکل (۷): گسله‌هایی که در این گزارش معرفی شدند (با خط سفید کم‌رنگ) همراه با ایستگاه اندازه‌گیری آنها بر روی شکل مشخص شده‌اند. با علامت شماره‌ی مربوط به این گزارش و حرف (F) مربوط به گزارش بربریان و همکاران [۵]. گسله‌های شناسایی شده از جنوب به‌سوی شمال به ترتیب گسله‌ی کارگر شمالی، ژئوفیزیک و برزیل هستند. برای بازیابی مکان این عکس هوایی به شکل (۳) مراجعه شود.

۵-۱-گسله‌ی جهان کودک

بخش کوتاهی از این گسله در کار شبانیان و همکاران [۱۳] شناسایی و معرفی شده بود. در این کار با اتکا بر عوارض و وجود سه ایستگاه اندازه‌گیری در ایستگاه‌های شماره ۹ و ۱۰ (شکل ۴) و ایستگاه شماره ۷ (شکل ۳) بیشترین اثر مورفولوژیکی این گسله در خاور تپه‌ی عباس‌آباد دیده می‌شود. در این بخش تپه‌ی عباس‌آباد به‌صورت اریب بریده شده و ایستگاه‌هایی که در آنها روندهای شمال باختری با سازوکار کششی سازند یخچالی را متأثر کرده‌اند، سازوکارهای متناقض دیده می‌شود (ایستگاه شماره (۹) در شکل ۴). گسله‌های یاد شده با همین روند با سازوکار فشاری بریده شده‌اند (ایستگاه شماره (۱۰) در شکل ۴). سازوکارهای اندازه-گیری شده در این دو ایستگاه از نوع فشاری و یا کششی محض هستند و مؤلفه‌های افقی کمتر نمود دارند.

با حرکت به‌سوی شمال باختری اثر این گسله در آبرفت‌های جوان قابل‌پیگیری نیست؛ اما لبه‌ی جنوبی مخروطه افکنه تپه‌های امانیه را برده و با وارد شدن به نهشته‌های یخچالی اثر مورفولوژیکی آن به‌صورت خط‌واره دیده می‌شود (مقایسه پیکان‌های توخالی در شکل ۶). ایستگاه بعدی در گودبرداری‌های تونل نیایش در کنار پارک ملت با شماره ایستگاه (۷) اندازه‌گیری شد. درازای این گسله ۵ کیلومتر با روند (N138E) تعیین شد (جدول ۲).

۵-۲- گسله‌ی امانیه

این گسله طولانی‌ترین گسله‌ای است که در این کار با درازای ۶/۵ کیلومتر و روند (N123E) تعیین شد (جدول ۲). در راستای این گسله ایستگاه‌های اندازه‌گیری (۱ و ۲) قرار می‌گیرند (شکل ۶). آثار مورفولوژیکی این گسله به‌صورت ضعیف در سازند یخچالی در بخش میانی تپه‌ی امانیه بر روی عکس هوایی دیده می‌شود و با حرکت به‌سوی شمال باختری در ابتدای ورودی دره درکه به دشت بخش جنوب باختری تپه ولنجک بریده می‌شود. این گسله پس از عبور از دره‌ی درکه به‌صورت اریب بخش خاوری تپه اوین را از سازندهای سنگی جدا می کند. اثر مورفولوژیکی این گسله اکنون به‌صورت دره‌ای در عکس هوایی نمایان است (محله کوهسار، خیابان کوهسار).

۵-۳- گسله‌ی استقلال

این گسله با درازای ۳/۸ کیلومتر و راستای (N125E) تعیین شد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده بر روی این گسله اندازه‌گیری دو گسله‌ی (F18 و F19) هستند که در پارکینگ هتل استقلال در گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین‌شناسی [۵] اندازه‌گیری شدند. بخش شمالی این گسله از جنوب تپه ولنجک شروع می‌شود و با تأثیرگذاری در سازند یخچالی در تپه‌ی امانیه به شکل عوارض، قابل‌پیگیری است (شکل ۶).

۵-۴- گسله‌ی کوروش

نام این گسله از ایستگاه اندازه گیری گسله (F22a) با نام گسله‌های کششی پارکینگ فروشگاه قدس (کوروش پیشین) اتخاذ

جدول (۲): گسله‌هایی که در این گزارش معرفی شدند به همراه نام، روند، درازا، ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده و شکل‌های مربوطه

	نام گسله	روند	سازند آبرفتی	درازا (کیلومتر)	ایستگاه اندازه‌گیری	شماره شکل
۱	جهان کودک	N138E	A &B	۵	#7- #10 -#9	۷
۲	امانیه	N123E	A	۶،۵	#2 & #1	۷
۳	استقلال	N125E	A	۳،۸	F 18&19	۷
۴	کوروش	N131E	A	۴،۳	#6 & F22a	۷
۵	کارگر شمالی	N132E	A	۲،۸	#5 & F24a	۸
۶	ژئوفیزیک	N131E	A	۲،۶	#4 & F24	۸
۷	برزیل	N132E	B	۲،۷	F30a	۸

شده است [۵]. این رخنمون هم اکنون از بین رفته است اما به خاطر نشانی دقیق امکان بازیابی آن آسان بود. ایستگاه اندازه‌گیری بعدی بر روی این روند گسلی در پی‌کنی ساختمانی که در جنوب خاوری این اندازه‌گیری قرار گرفته بود انجام شد (ایستگاه شماره ۶ در شکل ۶). بیشترین عوارض این گسله در تپه‌ی ولنجک در مرز جدایش سازند هزار دره و سازند یخچالی با سازند آبرفتی (C) و جوان‌تر دیده می‌شود. این گسله با راستای (N131E) و درازای ۴/۳ کیلومتر تعیین شد (جدول ۲).

۵-۵- گسله‌ی کارگر شمالی

در راستای این گسله دو ایستگاه اندازه‌گیری (F24a و شماره ۵) وجود دارد. در گزارش بربریان و همکاران [۵] صفحه گسلی با علامت (F24a) و نام گسله‌ی فشاری راکتور اتمی گزارش شده است. ایستگاه شماره (۵) در ضلع جنوبی بزرگراه همت در یک گودبرداری اندازه‌گیری شد. عوارض این گسله در خاور مسیل درکه (در کنار بزرگراه چمران) به‌طور واضح جدا کننده‌ی سازند یخچالی از سازند جوان‌تر (C) است. افزون بر این در مرز این دو سازند آبرفتی آبراهه‌ها هم جابه‌جا شده‌اند و هم با راستای گسل هم‌سو شده‌اند (شکل ۷). درازای این گسله با روند (N132E) ۲/۸ کیلومتر تعیین شد (جدول ۲).

۵-۶- گسله‌ی ژئوفیزیک

اندازه‌گیری در راستای این گسله شامل دو ایستگاه (ایستگاه شماره (۴) و F24) می‌شود. گسله‌ی (F24) در گزارش بربریان و همکاران [۵] با نام گسله‌ی کششی شمال مرکز ژئوفیزیک گزارش شده است. این گسله قبل از کاشت و پوشش سبز توسط شهرداری تهران در خاور دیواره‌های ایجاد شده بزرگراه چمران قابل دید بود.

ایستگاه شماره (۴) در برشی اندازه‌گیری شد که در گزارش دمز و مور [۱۵] با اندازه‌گیری مقدار جابه‌جایی و توپوگرافی آن در گزارش بربریان و همکاران [۵] (پیکر ۴۰۲۶) آورده شده است. بر روی شکل یاد شده مقدار ۳/۵ متر جابه‌جایی شاقولی با سازوکار کششی دیده می‌شود. این رخنمون در راستای عملیات ساختمانی مرکز علوم پزشکی در ضلع جنوبی بزرگراه همت پدیدار شد و پس از پایان عملیات ساختمانی به‌طورکلی از میان رفت. درازای این گسله با روند (N131E) ۲/۶ کیلومتر تعیین شد (جدول ۲).

۵-۷- گسله‌ی برزیل

اندازه‌گیری بر روی این گسله تنها در یک ایستگاه انجام شده است. رخنمون این گسله در بریدگی دیواره‌ی شمالی خیابان برزیل (جنوب باختری میدان ونک) در سازند یخچالی (Bn) دیده شده که با نام (F30a) ذکر شده است [۵]. با منطبق کردن این ایستگاه با عکس هوایی تصحیح‌شده معلوم شد که آثار مورفولوژیکی این گسله به‌وضوح در نهشته یخچالی قابل‌پیگیری است (شکل ۷). ادامه‌ی شمالی این گسله را به‌سختی می‌توان بر روی عکس هوایی تعیین کرد.

۵-۸- گسله‌ی ونک پارک

از میان گسله‌هایی که تاکنون به آنها پرداخته شد باید گفت که گسله‌ی ونک پارک با بیشترین جابه‌جایی شاقولی (با سازوکار کششی و شیب به‌سوی شمال خاوری) اثرگذارترین آنها می‌باشد. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده بر روی این گسله شامل F25، F25a، F26 و F27 در محدوده‌ی گودال ونک پارک و یک گسله با سازوکار کششی با علامت (F23a) در پایانه‌ی شمالی این گسله که منطبق بر توپوگرافی گسله است می‌شوند [۵]. اندازه‌گیری‌های دیگری با علامت (F28 و F29) از گزارش یاد شده و ایستگاه شماره (۸) در این کار منطبق با توپوگرافی این گسله نیستند و با فاصله از آن قرار می‌گیرند. این اندازه‌گیری در تپه اکبری (جایی که امروز روبروی ساختمان‌های (آ اس پ) قرار دارند) اندازه‌گیری شدند (شکل ۷). جایی که هنوز گودال ونک پارک اکنون قرار دارد مرکز گسله‌ی ونک پارک است و بیشترین اندازه‌گیری‌ها نیز در این محدوده قرار دارند. منطبق نشدن برخی از اندازه‌گیری‌ها بر توپوگرافی گسله نشانه‌ی پهنه‌ای است که در اثر آن فرا دیواره‌ی گسله‌ی ونک پارک خرد شده است. با انطباق ایستگاه‌های اندازه‌گیری بر روی نقشه‌های

توپوگرافی (۱:۲۰۰۰) و به علت دسترسی فراوان به برش‌های متفاوت در فرا دیواره و فرودیواره این گسله می‌توان پهنه‌ی خرد شده گسلی برابر با ۳۵۰متر را مشخص کرد.

۵-۹- گسله‌ی تلویزیون

این گسله از نخستین گسله‌هایی به شمار می‌رود که در کار چالنکو [۶] در آبرفت‌های تهران معرفی شده است. دو اندازه‌گیری در این کار با علامت‌های (TV1 و TV2) با توجه به نشانی داده شده در کار بربریان و همکاران [۵] بر روی نقشه‌های جدید بازیابی شدند (شکل ۷). در کار آنگالن [۳] برشی از این گسله معرفی شده است (مقایسه بربریان و همکاران [۵] (پیکر ۴۰۱۳)). اثر مورفولوژیکی این گسله با جابه‌جایی راست‌بر روی عکس‌های هوایی به‌وضوح دیده می‌شوند که سازند یخچالی را متأثر کرده‌اند (شکل ۷).

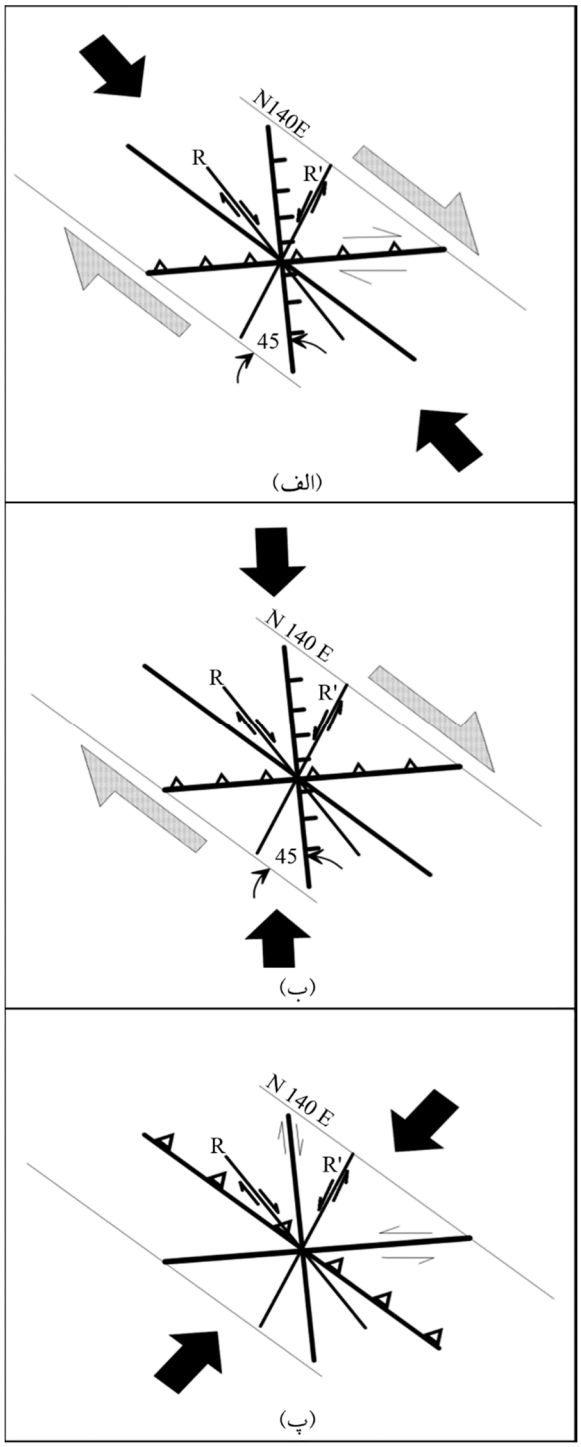
۶- تحلیل دینامیکی

روندهای شمال باختری در کار عباسی و فربد [۷] به‌عنوان گسله‌های کششی قدیمی معرفی شدند (مقایسه شکل ۲ب). آنچه از توپوگرافی این روندها بر روی عکس‌های هوایی استنباط می‌شود بیانگر سازوکارهای کششی با شیب صفحه گسلی به‌سوی شمال باختری است؛ اما یک استثنا در این زمینه وجود دارد که گسله باغ فیض را شامل می‌شود. چنانچه گسله‌ی خمیده باغ فیض را که بیشتر به روندهای خاوری- باختری نزدیک است در دسته‌بندی روندهای شمال باختری قرار گیرد، مشاهده می‌شود که سازوکار فشاری در آن چیرگی دارد.

سازوکارهای کششی در راستای روندهای شمال باختری به‌صورت عمومی با جهت تنش بیشینه دیرینه حاکم در البرز مرکزی (شمال باختری- جنوب خاوری) همخوان است [۱۴، ۱۶]. مؤلفه‌ی افقی راست‌بر در راستای این گسله‌ها می‌تواند هم با جهت تنش دیرینه شمال باختری- جنوب خاوری و هم تنش شمالی- جنوبی قابل‌توجیه باشد. جهت‌های تنش دیرینه شمال باختری- جنوب خاوری و مرحله‌ای که به نام تنش‌گذار یعنی جهت تنش شمالی- جنوبی تعیین شده‌اند در البرز خاوری و کپه‌داغ نیز تعیین شده‌اند [۱۳]. با حاکم شدن جهت تنش امروزی که در راستای شمال خاوری قرار دارد گسله‌های کششی با روند شمال باختری تبدیل به گسله‌هایی با سازوکار فشاری شده‌اند [۱۴]. مؤید این نظر سه شاهد زیر هستند: ۱- گسله‌ی باغ فیض و اثر مورفولوژیکی آن‌که یک گسله‌ی فشاری را تعریف می‌کند. ۲- گسله‌ی تلویزیون که توسط آنگالن [۳] ارائه شده است (مقایسه شود با و گزارش بربریان و همکاران [۵] (پیکر ۴۰۱۳)). در برش اول لایه‌های هزار دره با لایه‌بندی شاقولی حکایت از یک سازوکار فشاری دارد تا یک سازوکار کششی و در برش دوم برگشتن و خمیدگی لایه‌بندی‌ها در راستای یک گسله با شیب ۹۰ درجه نشان‌دهنده‌ی یک گسله‌ی کششی است. ۳- گسله‌ی کششی ونک پارک (F26) نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی لایه‌های کلیدی است (مقایسه شود نگاره ۴۰۶۶ و بربریان و همکاران [۵]). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، لایه‌های کلیدی بر روی فرادیواره خمیده شده‌اند. این بدان معنی است که فرادیواره به‌سوی بالا حرکت کرده که نشانه‌ای از بازکاری این گسله‌ی کششی به‌صورت فشاری در یک فاز دگر شکلی دیگر بوده است. ۴- در شکل (۴) برش روبروی کتابخانه‌ی ملی واقع در تپه‌های عباس‌آباد گسله‌های کششی با گسله‌های فشاری بریده شده‌اند که به‌خوبی تقدم و تأخر سنی گسله‌ها را نشان می‌دهد.

در مورد هندسه‌ی این روندها می‌توان گفت همان‌طور که در برش‌ها و اندازه‌گیری‌ها دیده شد شیب صفحه‌های گسلی هم به‌سوی جنوب باختر و هم به‌سوی شمال خاور است. با مشاهده‌ی روابط نقشه‌ای و مورفولوژی این گسله‌ها می‌توان شیب عمومی صفحه اصلی گسله‌ها را به‌سوی شمال خاوری دانست. بر اساس چنین داده‌هایی می‌توان گفت که ساختار موجود در راستای این گسله‌ها از یک ساختار گل مانند منفی[۴] تبعیت می‌کند (شکل ۸).

با توجه به وسیع بودن پهنه‌ی خردشده‌ی گسلی در فرادیواره‌ی گسله‌های یاد شده، تفسیر برخی از گسله‌های ترسیم شده ممکن است با داشتن اطلاعات بیشتر میدانی احتیاج به بازنگری داشته باشد زیرا نمی‌توان به‌وضوح مشخص کرد که آیا ایستگاه‌های



شکل (۸): الگوی دگرشکلی در تنش الف) دیرینه، ب) مرحله‌ی میانی و پ) تنش حاضر، در سامانه‌ی گسلی شمال باختری و تغییر سازوکار آنها بر اساس تغییر جهت تنش

اندازه‌گیری متعلق به دو گسله هستند و یا یک پهنه‌ی خرد شده‌ی گسلی وجود دارد. در کار حاضر محتاطانه به‌جای ترسیم یک گسله با پهنه‌ی خردشده‌ی گسترده، دو گسله ترسیم شد. این گفته در مورد تفسیر گسله‌هایی چون گسله‌ی استقلال و گسله‌ی امانیه صدق می‌کند (شکل ۶).

آنچه در وهله‌ی اول در مورد این روندهای گسلی عجیب می‌نماید نسبت پهنه‌های گسترده‌ی خرد شده به طول آنهاست. به‌طور معمولی این روندها را نمی‌توان بیش از ۷ کیلومتر پیگیری کرد. این گفته به‌ویژه در مورد گسله‌ی ونک پارک صدق می‌کند. برای حل این معما باید قرارگیری این روندها را نسبت به جهت‌های سه‌گانه‌ی تنش که در بخش تحلیل دینامیکی گفته شد در نظر گرفت. این بدان معنی است که این روندها به‌گونه‌ای قرار داشته‌اند که در هر یک از رویدادهای زمین‌ساختی (جهت‌های سه‌گانه‌ی تنش) متحمل دگر شکلی شده‌اند.

کوتاه بودن این روندهای گسلی را می‌توان متأثر از دو عامل دانست: ۱- طبیعت این گسله‌ها می‌تواند از نوع گسله‌ها با آرایش پله‌ای باشد؛ ۲- می‌توانند با روندهای دیگر چون روندهای خاوری- باختری بریده شده باشند. برای روشن شدن این مطلب باید یا از مطالعات لرزه‌ای بهره گرفت و یا به اطلاعات بیشتر میدانی تکیه کرد.

پیگیری این روندهای گسلی در جنوب خیابان انقلاب به‌آسانی ممکن نیست زیرا در اینجا هسته‌ی قدیمی تهران به نام حصار ناصری در پست‌ترین نقطه از نظر مورفولوژیکی قرار دارد و بیشتر به‌سوی جنوب نیز کار آسان‌تر نمی‌شود زیرا دست‌کاری‌های انسانی چون باغ‌ها و ساخت‌وسازهای عمرانی همه‌ی آثار مورفولوژیکی را از میان برده‌اند. این در حالی است که در سازندهای سنگی پیگیری این روندها آسان‌تر به نظر می‌رسد و بیشترین درازا متعلق به گسله‌ی امامزاده داوود (۴۵ کیلومتر) در شمال تهران به‌عنوان گسله‌ی فشاری [۱۷] و قصرفیروزه در آنتی البرز با درازای نزدیک به ۱۵ کیلومتر [۵] معرفی شده‌اند. قرارگیری این دو گسله بر روی نقشه دارای آرایش پله‌ای راست‌دست است که به‌سختی می‌توان آنها را پیوسته دانست.

اندازه‌گیری‌ها در مقطع گسله‌ی باغ فیض نشان می‌دهند که روندهای میانگین شمال باختری (N140E) چیرگی دارند و این در حالی است که روند عمومی گسله‌ی باغ فیض بر روی عکس

هوایی بیشتر خمیده و نزدیک به روند (N120E) است. این خمیدگی می‌تواند از ترکیب دو روند گسلی حاصل شده باشد که در فرآیند فازهای مختلف دگر شکلی به شکل امروزی ظاهر شده است.

نکته بعدی نبود و یا ضعیف بودن اثر مورفولوژیکی این روندها در سازند آبرفتی تهران (C) است. دلیل این امر را می‌توان مربوط به سازوکار امروزی این روندهای گسلی دانست که با سازوکار فشاری با کمترین مؤلفه‌ی افقی است. البته با توجه به این واقعیت که اگر جابه‌جایی‌های شاقولی روی‌داده در راستای آنها کم بوده باشند به‌سختی می‌توان آثار آن را در عکس‌های هوایی پیگیری کرد.

در مورد لرزه‌خیز بودن این روندها و یا فعال شدن آنها در یک زمین‌لرزه‌ی احتمالی نمی‌توان با داده‌های فعلی نظر قطعی اعلام کرد. آنچه به‌یقین می‌توان بر پایه‌ی داده‌های زمین‌شناختی بیان کرد این است که این گسله‌ها در دسته‌بندی گسله‌های بالقوه فعال قرار می‌گیرند. با توجه به این واقعیت که در رخنمون‌ها، به‌صورت فشاری عمل کرده‌اند (مقایسه شود بربریان و همکاران [۵]؛ گسله (F24a)).

۷- نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری در ۱۳ ایستگاه در این کار و اندازه‌گیری‌های گزارش‌شده پیشین در سازندهای هزار دره و یخچالی (ب) مشخص کرد که روندهای گسلی شمال باختری با درازاهای کمتر از ۷ کیلومتر در پهنه شمالی شهر تهران بیشتر از آنچه تاکنون گزارش شده بود وجود دارد و ویژگی‌های روندهای شمال باختری را می‌توان در نکات زیر خلاصه کرد:

۱. این روندهای گسلی با سازوکار کششی و مؤلفه‌های کوچک افقی در زمان چیرگی تنش دیرینه (شمال باختری- جنوب خاوری) اثرگذار بوده‌اند.

۲. با حاکم شدن جهت تنش دیرینه (شمالی- جنوبی) که تنش-گذار نیز نامیده می‌شود سازوکار روندهای شمال باختری بیشتر به‌سوی سازوکارهای راستالغز میل کرده‌اند (با سازوکار راستالغز راست‌بر).

۳. با تغییر جهت تنش به شمال خاوری که تنش عهد حاضر می‌باشد این روندهای گسلی تغییر سازوکار می‌دهند و از کششی و راستالغز به گسله‌های فشاری تبدیل شده‌اند.

۴. کارسازی سازوکارهای فشاری در راستای این روندها بعد از نهشته شدن سازند آبرفتی تهران (C) روی داده است و به همین دلیل می‌توان آنها را در رده گسله‌های بالقوه فعال به حساب آورد.

۵. این گسله‌ها به شکل ناپیوسته با آرایش پله‌ای هستند و درازای آنها در آبرفت‌ها تا ۷ کیلومتر قابل‌پیگیری است.

۶. جهت قرارگیری این گسله‌ها مناسب‌ترین جهت برای رویدادهای زمین‌ساختی بوده به‌گونه‌ای که گسترده‌ترین پهنه خرد شده را از خود نشان می‌دهند.

۷. پهنه‌ی خرد شده‌ی گسلی، در مرکز این گسله‌ها در فرادیواره تا ۳۵۰ متر می‌رسد.

۸. در صورت یک زمین‌لرزه در سطح شهر تهران انتظار می‌رود در راستای این گسله‌ها جابه‌جایی شاقولی (با سازوکار فشاری) دیده شود.

مراجع

1. Rieben, E.H. (1955) The geology of Tehran plain. *American Journal of Science*, **253**, 617-639.
2. Rieben, E.H. (1966) *Geological Observations on Alluvial Deposits in Northern Iran*. Geological Survey of Iran. 39p.
3. Engalence, M. (1968*) Contribution a la Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie du la region du Tehran (Iran).* C.E.R.H., Montpellier, France, 365p.
4. Pedrami, M. (1987) The timing, rate and nature of the late quaternary tectonism in Iran. *Bull. INQAN*.C.12.
5. Berberian, M., Ghorashi, M., Arjangravesh, B., and Mohajer Ashjai, A. (1985) *Seismotectonic and Earthquake-Fault Hazard Investigation in the Tehran Region*. Report No. 56. Geological Survey of Iran.

for Imperial Medical Center of Iran. 22p. Tehran Office.

16. Abbassi, M.R., Shabanian, E., Farbod, Y., Feghhi, K., and Tabassi, H. (2003) *The State of Contemporary Stress in the Southern Flank of Central Alborz*, Report 81-2003-7, Register No. 5004, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (in Persian with English Abstract).

17. Sheikholeslami, M.R., Javadi, H.R., Assadi Sarshar, M., Agha Hosseini, A., Kouhpeima, M., and Vahdati Daneshmand, B. (2013) *Iran Faults Encyclopedia*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (in Persian).

اصطلاحات فنی

۱- بازکاری گسله‌ها	Reactivation of Inherited Fault
۲- چشمه‌ی لرزه‌ای	Seismic Source
۳- تنش دیرینه	Paleostress
۴- ساختار گل مانند منفی	Negative Flower Structure

6. Tchalenko, J.S. (1975) Seimotectonic framework of the North Tehran fault. *Tectonophysics*, **29**, 411-420.

7. Abbassi, M.R. and Farbod, Y. (2009) Faulting and folding in Quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, **34**(4), 522-531

8. Gansser, A. and Huber, H. (1962) Geological observations in the Central Elburz, Iran. *Schweizerische Mineralogische Petrologische Mitteilung*, **42**(2), 593-630.

9. Riviere, A. (1934) Contribution a l'etude geologique de l'Elburz (Perse). *Revue de Geographie, Physique et Geologie Dynamique*, **7**, 1-90.

10. Dellenbach, J. (1964) *Contribution a L'etude Geologique de la Region Situee a L'est de Teheran (Iran)*. Fac. Sci., University Strassbourg, France, 117p.

11. Dresch, J. (1964) Le piedmont de Tehran. In observations de geographie physique en Iran septentorial. *Centre Docum. Cart. Geogr., Mem. Et Docum*, **8**, 85-101.

12. Hosseini, H. (1997) *An Investigation of Folding Related to Faults in Hezardarreh Formation: from Jajrud to Karaj*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (abstract in English).

13. Shabanian, E., Abbassi, M.R., and Farbod, Y. (2001) The Effects of Faults on the Formation of Hezar-Darreh in Abbasabad Alluvial Deposits. *IIEES Research Bulletin*, **4**(2-3), International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (in Persian with English abstract).

14. Abbassi, M.R. and Shabanian-B, E. (1999) Evolution of the stress field in Tehran region during the Quaternary. *Proceeding of the Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, **I**, 67-77.

15. Dames and Moore, International, S.R.L. (1975) *Report Seismic Study, Investigation of Surface Faulting Proposed Medical Center*. Tehran, Iran

Investigation of Morphological Features and Faulting Mechanisms of NW-Striking Faults Affecting Alluvial Deposits in Tehran's Piedmont

Mohammad Reza Abbassi[1*] and Hossein Mokhtari[2]

1. Associate Professor, Seismological Research Center, IIEES,
*Corresponding Author, e-mail: abbassi@iiees.ac.ir
2. M.Sc. Graduate, Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO)

Tehran lies on the southern flank of the Central Alborz, an active mountain belt characterized by many historical earthquakes, some of which have affected Tehran itself. It is an arcuate fold and thrust belt, consisting of two major distinct structural trends: a NW-SE trend characterizing the west-central Alborz, and a NE-SW trend marking the east-central Alborz. The steep slopes of the Alborz on its southern flank adjoin the piedmont, which is covered by various units of post-orogenic alluvium. The border between the Alborz Mountain and the Tehran's piedmont (northern part of Tehran city) is marked by the North Tehran Fault (NTF) [1], dividing the Eocene rock formation from the alluvial units of different ages (Early Pleistocene to the recent alluvium). The oldest alluvial formation, named Hezardarreh is a folded and faulted conglomerate forming hills parallel to the mountain front. The age of this formation is difficult to determine accurately, due to the lack of datable features such as pollen, fossils or lithic industry [2]; however, it is mostly assumed to be Plio-Quaternary (the bottom of formation) to Early Quaternary (the upper part of formation). The formation overlying the eroded Hezardarreh Formation is very heterogeneous in composition, in particular to the north of Tehran and has been considered to be Mid-Pleistocene. The next following formation is widespread deposits named the “Tehran alluvium” have been assigned to Late Pleistocene [3]. The youngest mapped unit in Tehran City overlaying the Late Pleistocene alluvium is Holocene deposit, which is divided in younger part (4000 to 5000 years BP) and an older unit in age of 12000 years (BP) [4].

The assessment of seismic hazard depends upon the understanding of activity, mechanism and trends of faults affecting an area. The rapid urbanization of Tehran with remarkable concentration of people needs to be studied by new studies considering all possible active fault trends. The E-W-trending active faulting in Tehran is delineated by their morphological features recognized on aerial photos of 1955. This study examines the NW-trending faults as a possible seismic source. The measurement of 56 fault planes in 13 outcrops have shown that the morphological features associated with NW-directed faults are preserved in middle and late Pleistocene deposit of Tehran's piedmont. The length of these faults varies between 2.6 to 6.5 Km arranged in an en-echelon manner. The compressive faulting mechanisms of these trends are in accordance with the NE-directed present day stress direction. Morphological features of the NW-directed faults are controversial, because they appear as normal and compressive on aerial photos and in the outcrops. It means that the faulting mechanism in Tehran's piedmont cannot be explained by a single stress direction. In fact, two different stress directions have affected the alluvial plain, namely an older NW-directed prior to the NE-directed one, which explains the normal faulting mechanism along the NW-striking faults and was mapped as old normal fault, e.g. [5]. Thus the NW-trending faults are inherited fault affecting the Early and Mid-Pleistocene deposit as normal faults. According to the present day stress prevailing in the South Central Alborz obtained by P-axis of focal mechanisms and fault slip data in relative young alluvial deposits [6-7] a NE-directed stress explains the faulting mechanisms of active faults in this area. Although there is

now field evidences proving the fault activity of NW-striking faults but the present day stress (NE-directed), it is reasonable to assume seismic activity along these faults.

Keywords: Reactivation of Faults; Seismic Source; Active Faulting; Paleostress

Reference

1. Tchalenko, J.S. (1975) Seimotectonic framework of the North Tehran fault. *Tectonophysics*, **29**, 411-420.
2. Rieben, E.H. (1955) The geology of Tehran plain. *American Journal of Science*, **253**, 617-639.
3. Rieben, E.H. (1966) *Geological Observations on Alluvial Deposits in Northern Iran*. Geological Survey of Iran. 39p.
4. Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L., and Farbod, Y. (2010) Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges. *Tectonophysics*, **480**, 208-304.
5. Abbassi, M.R. and Farbod, Y. (2009) Faulting and folding in Quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, **34**(4), 522-531.
6. Abbassi, M.R. and Shabanian, E. (1999) Evolution of the Stress Field in Tehran Region during the Quaternary. *Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran.
7. Abbassi, M.R., Shabanian, E., Farbod, Y., Feghhi, K., and Tabassi, H. (2003) *The State of Contemporary Stress in the Southern Flank of Central Alborz*. Report 81-2003-7, Register No. 5004, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (in Persian with English Abstract).