



## تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی از صفحه‌های گسلی لبه جنوبی البرز مرکزی

نوشته : دکتر محمد رضا عباسی\* و اسماعیل شهبانیان بروجنی\*

### Determination of Stress State and Direction by Inversion of Fault – Slip Data in the Southern Flank of Central Alborz

By: Dr. M.R.Abbassi \* & E.Shabanian Boroujeni \*

#### چکیده

در پژوهش کنونی گستره بین طول جغرافیایی 51 تا 52/5 درجه را بررسی می‌کند. البرز مرکزی با تحدب به سوی ایران مرکزی مجموعه کماتی شکلی از چین خوردگی و راندگی را شامل می‌شود. با اندازه گیری 181 صفحه گسلی و خش خط‌های مربوطه نحولات تنش از ائوسن (واحد‌های سنگی) تا جوان ترین واحدهای کواترن پسیین (آبرفت) در محدوده شمال شهر تهران به کمک روش برگشتی مورد بررسی قرار گرفته است.

رخنمون های موجود در شمال شهر تهران شرایط مناسبی را برای اندازه گیری در آبرفت‌ها فراهم آورده‌اند. بیشترین اندازه‌گیری‌ها در آبرفت‌های با سن پلیوپلیستوسن (سازند A) و کواترنی پیشین (سازند B) صورت گرفته‌اند. نتایج به دست آمده از باره زمانی پلیوپلیستوسن تا هولوسن سه جهت تنش بیشینه را نشان می‌دهند. این جهت های تنش به ترتیب با راستای شمال باختری، شمالی - جنوبی و شمال خاوری در جهت عقربه ساعت تغییر جهت می‌دهند. هر کدام از این جهت های تنش یا دو رژیم زمین ساختی فشاری و راستالغز ظاهر می‌شود.

به‌منظور تعیین سن رویدادهای مختلف زمین ساختی سن هر کدام از تغییر جهت‌های تنش به کمک روابط تقدم و تاخر صفحه‌های گسلی در سازند های (A) و (B) مشخص شده اند. براساس این یافته‌ها در یال جنوبی البرز مرکزی جهت تنش شمال باختری در رژیم زمین ساختی فشاری در باره زمانی ائوسن تا پلیوپلیستوسن حاکم بوده است که باعث چین خوردگی و گسلس‌ها با روند خاوری - باختری شده است متعاقب این رویداد زمین ساختی رژیم زمین ساختی راستالغز حاکم شده است که ما آن را با نهشته شدن سازند (B) همزمان می‌پنداریم.

تنسور تنش محاسبه شده بر روی گسله مشا (با سن هولوسن) با ساز و کارهای کانونی به دست آمده از این منطقه همخوان است و بیانگر جهت تنش شمال خاوری در یک رژیم زمین ساختی راستالغز است. با تفریق رویداد زمین ساختی عهد حاضر (تنش بیشینه شمال خاوری) از رویداد زمین ساختی قدیمی (تنش بیشینه شمال باختری) رویداد زمین ساختی با جهت تنش شمالی - جنوبی از نظر سنی باقی می‌ماند که ما آن را مربوط به کواترن پسیین (سازند C) می‌دانیم. چیرگی هر کدام از سه جهت تنش یاد شده در ابتدا با رژیم زمین ساختی فشاری و سپس با کارسازی رژیم زمین ساختی راستالغز همراه بوده است.

**کلید واژه‌ها:** البرز مرکزی، تهران، وضعیت تنش، روش برگشتی، رژیم زمین ساختی، چرخش جهت تنش.

#### Abstract

The present study covers the area between longitudes 51°E to 52.5°E. The Central Alborz is an arcuate fold- and thrust belt towards Central Iran. By means of inversion of 181 striated fault planes and related striations the stress evolution from Eocene (rock formation) up to young Quaternary units, (alluvium) cropping out in northern part of Tehran city was studied.

The good condition of outcrops in the northern part of Tehran city allowed us to conduct the majority of measurements in alluvium of Plio-Pleistocene (A-Formation) and early Quaternary (B-Formation). The obtained results in Plio-Pleistocene unit up to Holocene show three distinct stress directions. It changes from NW-, N-S- to NE-directed s1 in a clockwise manner. Each of this stress state is associated with two tectonic regimes namely compressive and strike-slip.





Using the cross cutting relations of individual fault planes in A and B-Formations and differentiation of events, the ages of stress changes were determined.

The south flank of Central Alborz indicates a regional NW-SW-directed compression that lasted during the Eocene to Plio-Pleistocene. The NW-SE-directed stress was responsible for forming of faults and related folds with E-W orientation. This event was followed by a strike-slip that we interpret as being coeval with sedimentation of B-Formation. The stress tensor deduced on Mosha fault ( Holocene in age) is compatible with focal mechanisms obtained in this region. It shows a NE-SW-directed stress associated with a strike-slip regime. By differentiation of the youngest event (NE-SW-directed  $s_1$ ) and oldest event (NW-SE-directed  $s_1$ ) it remains the N-S directed  $s_1$ , which could have prevailed during late Quaternary (C-Formation). Each of the three mentioned events is associated with compressive and strike-slip regime.

**Keywords:** Rotation of stress, tectonic regime, inversion method Tehran, Central Alborz, state of stress

### مقدمه

جنوب خاوری و سن ائوسن پسین، یک فعالیت دوباره با سن پلیوسن پسین را خود نشان می‌دهند. افزون بر این، دایک‌هایی با آرایش پله‌ای راست دست (right-lateral handed)، در جنوب باختری مبارک آباد و جنوب خاوری جاجرود، با سن ائوسن پسین معرفی شده است.

Tchalenko et al. (1974a) با مشاهده دایک‌های یاد شده و نیز گسل‌هایی با آرایش پله‌ای که از راستای شمال باختری-جنوب خاوری پیروی می‌کنند، به یک مؤلفه افقی راست‌گرد در امتداد گسل‌های اصلی در آنتی البرز اشاره می‌کند. وی باتوجه به جهت فشردگی براساس آنچه در بالا یاد شد، به این نتیجه می‌رسید که قرارگیری جهت تنش باتوجه به ساختارهای یاد شده می‌تواند گسل مشا، را پذیرای یک حرکت راست گرد کند. باتوجه به راستای عمومی گسل مشا (N110)، برای ایجاد یک برش راست گرد در راستای آن، باید جهت تنشی با روند شمال باختری (NW) حاکم بوده باشد. از این رو گسلها و دایک‌های موجود در آنتی البرز با راستای NW-SE و آرایش پله ای راست دست، به عنوان نشانگرهایی تفسیر شده‌اند که یک برش راست‌گرد را در این بخش از البرز نشان می‌دهند (Tchalenko et al., 1974a). یک سال بعد، وی در مقاله‌ای، گسل شمال تهران را با آرایش پله‌ای چپ دست معرفی کرد که بر اثر تنش با جهت شمال خاوری (NE) شکل گرفته است

(Tchalenko, 1974). وی با اشاره به این که جنبشی دوباره در پایان پلیوسن و آغاز پلیستوسن، سبب گسلش و چن خوردگی‌های پلیوسن، جنبش جدید در راستای گسله مشا و نیز شکل‌گیری گسل شمال تهران شده است (Tchalenko et al., 1975a)، آغاز فعالیت جهت تنش شمال خاوری (NE) را پایان پلیوسن و یا در آغاز پلیستوسن پیشین دانسته، فعالیت آن را تا امروز نیز احتمال می‌دهد (Tchalenko, 1975).

شناسایی جهت تنش شمال خاوری (NE) در البرز مرکزی برپایه سازوکارهای کانونی زمین لرزه‌هایی با بزرگای متوسط صورت گرفته است برپایه این یافته می‌توان جهت تنش شمال

لبه جنوبی البرز مرکزی پس از فراخاست رشته کوه البرز، نهشته‌های مختلفی را در پای خود جای داده، که کهن‌ترین آنها با سن پلیستوسن (Rieben, 1966; Engalence, 1968) (سازند هزاردره)، آخرین جنبش‌های کوهزایی البرز را در خود نگاشته است. پس از نهشته و دگرشکل شدن سازند هزاردره، نهشته‌های دیگری تا سن هولوسن، کوهپایه و دشت را پوشانده‌اند. این نهشته‌ها جنبش‌های پس از فراخاست رشته کوه‌های البرز را پذیرا بوده‌اند از این رو می‌توان آنها را از رویدادهای جوان زمین-ساختی پهنه ایران دانست. بررسی وضعیت و جهت تنش در این آب‌رفتها، می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد تاریخچه جنبش‌های نوزمین ساختی این بخش از البرز ارائه دهد.

شناسایی جهت تنش بخشی از تحلیل دینامیکی است که بن مایه تحلیل جنبشی (سینماتیک) را تشکیل می‌دهد. شناسایی سازوکار گسله‌ها و چگونگی جنبش آنها در البرز مرکزی به طور عمده متأثر از کارهای چینه‌شناختی است که در دهه 60 میلادی صورت گرفته است (Lorenz, 1964; Glas; 1965; Steiger, 1966; Dedual, 1967; Meyer, 1967).

رویکرد پژوهشگران نامبرده بیشتر از آنکه معطوف به چگونگی جنبش و سازوکار گسله‌ها باشد متوجه بود و نبود چینه‌ای بوده است. از این رو اطلاعات این نقشه‌ها از دیدگاه زمین ساختی قابل اطمینان نیستند. مطالعات انجام شده درباره تنش دیرینه در البرز، مربوط به شاخه باختری البرز مرکزی است که در اینجا از آن به عنوان البرز مرکزی - باختری یاد می‌شود و شامل بخشی از البرز مرکزی می‌شود که در آن ساختارها روند شمال باختری دارند. این روند را می‌توان از گرمسار تا قزوین دنبال کرد.

در میان پژوهشگران دهه 60 میلادی (Dellenbach, 1964) برای اولین بار به جنبش‌های گسلی و جهت تنش در خاور تهران اشاره می‌کند. برپایه کار وی، شماری از گسل‌های شمال خاور تهران (بلوک رودهن) با روند شمال باختری -





خاوری (NE) متفاوت است (Tchanlenko, 1975 Axen et al.) اما همگی پلیوسن را زمان این تغییر جهت تنش یا رویداد مهم زمین ساختی می‌دانند. چنانچه این تغییر زمان جهت تنش درست باشد باید ساختارهایی چون چینها و گسله‌ها در سازندهای جوانتری چون هزار دره و جوانتر در کارسازی جهت تنش شمال خاوری (NE) شکل گرفته باشند. اما کارهایی که در زیر یاد می‌شوند زمان تغییر جهت تنش یاد شده را رد می‌کنند.

مطالعات انجام شده در سازند هزاردره توسط بربریان و همکاران (1364) سازوکارهای گسله‌هایی را نشان می‌دهد که با یک جهت تنش سازگار نیستند. گسله شمالی- جنوبی چپ گرد که گسله‌های کوثر و نارمک را به هم متصل می‌کند با مؤلفه افقی چپ گرد با جهت تنش شمال باختری سازگار است. راندگی باغ فیض با مؤلفه افقی راست گرد با راستای شمال باختری- جنوب خاوری و راندگی تلو با راستای Nii با مؤلفه راست‌گرد با جهت تنش شمال باختری (NW) و شمالی- جنوبی سازگار هستند. راندگی نیاوران و گسله (F7) با راستای نزدیک به خاوری- باختری دارای مؤلفه افقی چپ بر هستند که با جهت تنش شمال خاوری (NE) سازگار است. در این صورت باید تغییر جهت تنش یاد شده را در بازه زمانی کوآترنر پسین تا عهد حاضر جستجو کرد (1999 Abbassi & Shabanian,). به کمک روش برگشتی (صفحه‌های گسلی و خط خش‌های مربوطه) در پهنه کوهپایه‌ای تهران نشان دادند که سه جهت تنش شمال باختری (NW)، شمالی- جنوبی و شمال خاوری (NE) بعد از چین خوردن سازند هزار دره تا عهد حاضری کارسازی کرده اند. در پژوهش حاضر با تکیه بر داده‌های بیشتر سعی شده به پرسشهای زیر پاسخ داده شود:

- 1- زمان تغییر جهت تنش از شمال باختری (NW) به شمال خاوری (NE) در چه زمانی روی داده است؟
- 2- چگونگی جنبش‌های گسلی (تحلیل سینماتیک) بعد از چین خوردن سازند هزار دره تا عهد حاضر باتوجه به جهت تنش و رژیم زمین ساختی مربوط به آن.
- 3- تعیین وضعیت تنش و تأثیر آن بر سازوکار گسله‌ها در گذر از رویدادهای زمینساختی.

پژوهش کنونی، بخشهایی از لبه جنوبی البرز مرکزی را پوشش می‌دهد (شکل 1) و طی آن تلاش شده تا با بررسی داده‌های گسلی، در بازه زمانی پلیو- پلیستوسن تا هولوسن، ویژگی میدانهای تنش (جهت سه محور اصلی تنش و رژیم زمین ساختی) حاکم در این دوره شناسایی شود. راستای گسله‌های اصلی این محدوده، به‌طور عموم شمال باختر- جنوب خاوری است که مهمترین آنها را می‌توان گسل‌های مشا و پیشوا - کوه سرخ معرفی نمود. وجود واحدهای مختلف کوآترنری و بریده شدن آنها با گسله‌های

خاوری (N040) را جهت تنش حاکم در عهد حاضر (تنش نوزمینساختی) دانست.

مطالعه بعدی در البرز مرکزی - باختری درباره تنش دیرینه، توسط Berberian (1976) در منطقه بوبین زهرا انجام گرفت. وی پس از مطالعه صفحه‌های گسلی و خش لغزش‌های آنها در سنگهای آئوسن، به جهت تنش با راستای شمال باختری (NW) دست یافت. در این صورت باید جهت تنش به دست آمده توسط بربریان را مربوط به تنش دیرینه دانست که (1964) Dellenbach و (1974) Tchalenko نیز به آن اشاره کرده‌اند.

پس در این صورت انتظار می‌رود که روندهای گسلی خاوری- باختری و روندهای اصلی البرز مرکزی- باختری در بازه زمانی که اکنون برما معلوم نیست دارای جنبش‌های افقی راست گرد بوده باشد. یافته‌های زیر موید این نظر است:

الف- 12 کیلومتر جابه جایی راست گرد توده‌های آذرین در امتداد گسل نوشا (Annels et al., 1975)  
ب- 2 تا 4 کیلومتر جابه جایی راست گرد توده اکاپل (وحدتی دانشمند 1371, Annels et al., 1977)

در اینجا این پرسش مطرح می‌شود که تغییر جهت تنش دیرینه شمال باختری NW به جهت تنش نوزمینساختی شمال خاوری (NE) چه زمانی صورت گرفته است. در سالهای گذشته پژوهشهایی برای روشن شدن این پرسش انجام شده است.

(2001) Axen et al. تغییر جهت تنش با روند شمال باختری (NW) به شمال خاوری (NE) را به  $5 \pm 2$  میلیون سال پیش نسبت داده اند که پی آن حرکت گسله‌ها از راست گرد به چپ گرد تغییر کرده است.

آنچه باعث تردید در تعیین سن تغییر جهت تنش دیرینه به تنش نوزمینساختی (Axen et al., 2001) می‌شود کارهای انجام شده در سازندهای جوانتری چون هزار دره است.

(2003) Allen et al. به کمک شواهدی چون چینها در شمال باختری تهران به دو جهت کوتاه شدگی قدیمی شمال باختری (NW) و جوانتر شمال خاوری (NE) اشاره کرد. اما همانگونه که نامبرده و همکاران از آن یاد می‌کنند شاهد چین خوردگی دوباره و انحراف عمود چینها با راستای شمال خاوری توسط نسل جوانتر با راستای شمال باختری می‌تواند یک حالت عمومی از یک تغییر جهت کوتاه شدگی باشد. در اینجا باید گفته شود که جهت کرنش (کوتاه شدگی) می‌تواند با جهت تنش بیشینه موازی نباشد. از این رو تنش و کرنش دو داده فیزیکی هستند که اولی علت و دومی معلول است و دارای اندازه‌های متفاوت هستند. بنابراین از جهت کوتاه شدگی چینها نمی‌توان به جهت تنش موثر دست یافت.

اگرچه رویکردها در مورد تغییر جهت کوتاه شدگی (Allen et al., 2003) و یا جهت تنش از شمال باختری (NW) به شمال





زاویه‌های ناهمخوانی محاسبه شده دارای توزیع گوسی باشند.

نمودار پراکندگی تعداد اندازه گیری و زاویه ناهمخوانی هر تنسور محاسبه شده در پایین نمودار استریوگرافیکی هر ایستگاه مشخص شده است (شکل 4 و 5).

بخش کوهپایه‌ای شهر تهران با داشتن بهترین رخنمون‌ها برای بررسی تحولات میدان تنش از زمان پلیستوسن تا عهد حاضر، مناسب ترین مکان به شمار می آید و بیشترین ایستگاههای اندازه گیری پژوهش کنونی را به خود اختصاص داده است. دلیل این نکته را نخست باید در آشکار شدن توالی نهشته‌های کواترنری از یک سو و از سوی دیگر در ایجاد رخنمون‌هایی باید دانست که به خاطر گسترش شهری دسترسی به مقاطع گسلی موجود در واحدهای مختلف را ممکن کرده است. در این پژوهش سن نسبی گسله‌ها با توجه به اینکه چه واحدهایی را متأثر کرده اند مشخص شد. برای این منظور واحدهای A, B, C و D براساس کار (Rieben, 1955) بر روی عکس‌های هوایی (در مقیاس 1:50000) جدا شدند. گرچه این جداسازی پیش‌تر نیز توسط Engalenc (1968) صورت گرفته بود، اما در اینجا مرز برخی از واحدها با توجه به رخنمون‌های تازه و بریده شدن آنها با گسله‌ها شناسایی شده، در نقشه کنونی بازبینی و تصحیح شده است.

#### تعیین سن نسبی رویدادهای زمین ساختی

شناسایی سن رویدادها زمین‌ساختی، برپایه اندازه‌گیری صفحه‌های گسلی و خش لغزشهای آنها دشوار است، از این رو بازخوانی رویدادهای کهن، کلیدی برای شناسایی مراحل مختلف و سیر تحول و تکامل آنها از گذشته (تنش دیرینه) تاکنون (تنش نوزمین ساختی) به شمار می‌رود. این دشواری با افزایش سن واحد فزایش پیدا می‌کند برای مثال می‌توان در یک رخنمون سنگی کهن تعداد بی‌شماری از صفحه‌های گسلی و خط خش‌های آنها را اندازه‌گیری کرد. آنچه در این اندازه‌گیری‌ها مشخص نمی‌شود این واقعیت است که کدام یک از اندازه‌گیری‌ها متعلق به یک رویداد زمین ساختی خاص است و یا اینکه این صفحه‌های گسلی طی یک رویداد و یا چندین رویداد زمین‌ساختی تشکیل شده‌اند. برای جداسازی رویدادهای مختلف زمین ساختی و تعیین سن تنسور تنش از روابط زیر بهره گرفته شد:

1. سن واحدی که گسل‌ها آن را بریده‌اند. در این صورت سن گسله‌ای که واحد مشخصی را قطع کرده جوانتر از سن آن واحد در نظر گرفته می‌شود.

اصلی یا شاخه‌های کوچک‌تر، این امکان را فراهم ساخته است که بتوان صفحه‌های گسلی با سنهای متفاوت را اندازه‌گیری کرد. این امکان همراه با دانسته‌هایی که از تنش دیرینه در دست است، به جداسازی رویدادهای زمین ساختی در گذار کواترنری کمک شایانی کرده است. توضیح این نکته بد نیست که به دلیل شمار فراوان اندازه‌گیری‌ها در محدوده شهر تهران، نتایج به‌دست آمده بر روی نقشه‌های با دو مقیاس متفاوت پیاده شده‌اند (شکل‌های 2 و 3).

#### روش مطالعه

برای دستیابی به جهت و وضعیت تنش در لبه جنوبی البرز مرکزی، 24 ایستگاه اندازه‌گیری برگزیده شد که در مجموع، 181 صفحه گسلی و خش لغزش‌های مربوط به آنها در سازندهای آبرفتی A, B, C و در مواردی، هم ارز D اندازه‌گیری شده است. شمار کمی از این ایستگاهها در سنگهای سازند کرج به منظور مقایسه نتایج با گسل‌های موجود در آبرفت انتخاب شده‌اند. داده‌های به‌دست آمده با برنامه رایانه‌ای Delvaux پردازش شده‌اند. در این روش فرض بر این است که خش خط‌های روی صفحه گسلی جهت حداکثر نیروی برشی را نشان می‌دهند پس در این صورت با برعکس کردن این پدیده می‌توان به جهت تنش دست یافت که مسبب صفحه گسلی و خش خط‌های آن شده است. از این رو به این روش برای بازسازی جهت تنش‌های اصلی  $(\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3)$  روش برگشتی (Inversion) گفته می‌شود. نکته مهمی که در این روش وجود دارد جهت تنش نیست بلکه وضعیت تنش است که بیانگر مقدار نسبی بزرگای سه تنش اصلی (بیشنه، میانی و کمینه) است که مقدار آن را بیضوی تنش (R) تعریف می‌کند. شکل نسبی بیضوی تنش در این برنامه به صورت زیر تعریف شده است (برای آگاهی بیشتر به عباسی و فرید، 1383 نگاه کنید):

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

برای دست‌یابی به تنسور تنش مناسب و قابل قبول نکات زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- الف- پراکندگی مناسب صفحه‌های گسلی در جهت‌های مختلف که بک تنسور مشخص را تعریف می‌کند.
- ب- زاویه ناهمخوانی بین خش خط اندازه‌گیری شده و محاسبه شده کمتر از 30 درجه باشد.
- ج- نمودار پراکندگی تعداد اندازه‌گیری صفحه‌های گسلی و





که دارای شیب رو به جنوب هستند و سازوکار به دست آمده از آنها، اریب لغز یا مؤلفه چپ گرد است (شکل 4). تنش به دست آمده از این ایستگاه یک رژیم زمین ساختی راستالغز محض با راستای تنش بیشینه شمالی - جنوبی را نشان می‌دهد.

در رخنمون باغ فیض، واقع در کوی پنجم نور در بزرگراه اشرفی اصفهانی، گسل‌هایی با روند عمومی N165 تا N120 سازندهای هزار دره و B را بریده‌اند. (نگاه کنید به نگاره 4041 گسل F2، بربریان و دیگران، 1364). سازوکار این گسل‌ها از گونه راستالغز کششی راست گرد و یا کششی با مؤلفه راستالغز راست گرد هستند. تنشور تنش به دست آمده از این گسل‌ها بیانگر یک رژیم راستالغز محض با راستای جهت تنش بیشینه شمال باختری (N131) است (شکل 4).

رخنمونی در شمال باختری مرکز پزشکی و خاور پالایشگاه خون، در جنوب بزرگراه همت قرار دارد که توسط Dames & Moore (1975) معرفی شده است. در این رخنمون که گسل‌های راستالغز، لایه‌های هزاردره را بریده‌اند، می‌توان دو دسته گسل با راستای N020 و N130E اندازه‌گیری کرد (شکل 5 ایستگاه 16). رخنمون این گسل‌ها در بخش‌های پایینی (لایه‌های ماری - سیلتی) آشکارا قابل اندازه‌گیری است. سازوکار آنها به ترتیب از گونه راستالغز چپ گرد و راست گرد با مؤلفه کششی است و تنشور تنش به دست آمده از آنها به دست می‌آید بیانگر چیرگی رژیم راستالغز با راستای جهت بیشینه تنش شمال باختری (N156) است که با ایستگاه باغ فیض هماهنگی دارد (شکل 4).

### گسل‌های مرکز تهران

گسل‌های این محدوده، بیشتر در تپه‌های عباس‌آباد (پارک طالقانی) بررسی شده‌اند چرا که بهترین رخنمون‌ها منحصر به این تپه و پیرامون آن است. با کارهای عمرانی گسترده‌ای که در این تپه صورت گرفته است، گسله‌های زیادی رخنمون یافته‌اند که باتوجه به راستا، شمار و سازوکار آنها، حتی با اندازه‌گیری در یک ایستگاه، می‌توان تنش مناسبی را تعریف کرد. این رخنمون در بزرگراه مدرس (در شمال مجموعه پلهای فجر) هنگام سامان دهی دیواره خاوری تپه بررسی شد که در این گزارش با نام عباس‌آباد معرفی شده است. صفحه‌های گسلی در گل‌سنگ‌های هزاردره با دو راستای شمالی - جنوبی و N140 اندازه‌گیری شده‌اند. سازوکار این گسله‌ها نیز به ترتیب راستالغز چپ‌گرد و راست گرد با مؤلفه‌های کششی است که یک رژیم زمین ساختی راستالغز با تنش بیشینه شمال باختری (N338) را پیشنهاد می‌کند (شکل 5). این رژیم زمین ساختی با ایستگاه‌های باغ

2- مشخص کردن گسله‌هایی که همزمان با نهشته شدن از خود جنبش نشان داده‌اند.

3- بریده شدن یک صفحه گسلی (برای مثال، واژگون) توسط گسله ای دیگر (برای مثال امتداد لغز).

4- توالی سنی خط‌خس‌ها و بریده شدن خط‌خس‌های روی یک صفحه گسلی توسط جنبش بعدی و ایجاد خط‌خس جدید.

از ساختارهایی که در بالا به عنوان تعیین سن نسبی رویدادهای زمینساختی به کار گرفته می‌شود تنها در مورد دوم که جنبش‌های گسلی همزمان با نهشته شدن است می‌توان با قطعیت در مورد سن گسله و در نتیجه خش خط‌های آنها اظهار نظر کرد.

افزون بر شاخص‌های بالا در این پژوهش از روش تفریقی نیز بهره گرفته شده است. چنانچه تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری در واحدهای مختلف به اندازه کافی باشد مشاهده می‌شود که با جوان‌تر شدن سن واحد، تعداد رویدادهای زمین ساختی ثبت شده کاهش می‌یابد. در این صورت با حذف کردن رویدادهای جوانتر در واحد جوان از رویدادهای موجود در واحد متأخر می‌توان به توالی سنی رویدادها دست یافت. برای نمونه کمبود داده‌های گسلی در سازندهای جوان چون C را نیز با دانستن وضعیت تنش در واحدهای کهن و جوان تر به کمک روش تفریقی جبران کرده‌ایم.

### گسل‌های باختر تهران

گسل‌های باختر تهران شامل ایستگاه‌های کاظم‌آباد، شهرک المهدی، باغ فیض و پالایشگاه خون می‌شوند (شکل 2). اندازه‌گیری‌های انجام شده در همه این ایستگاه‌ها به جز شهرک المهدی، در سازند هزار دره بوده است. گسل‌ها در شهرک المهدی که در شمال باختری تهران، میان فرحزاد و کن قرار دارد، افزون بر سازند هزاردره، سازند B را نیز بریده‌اند.

در راستای گسل فرعی کاظم‌آباد، که لایه‌های آبرفتی هزار دره (A) بر روی لایه‌های آبرفتی سرخ رنگ رانده شده‌اند (فرشی و ارژنگ روش، 1358) چندین صفحه گسلی اندازه‌گیری شده است. گسل‌ها با راستای عمومی N100E دارای سازوکار فشاری با مؤلفه چپ گرد هستند و تنشور تنش به دست آمده یک رژیم زمین ساختی فشاری را با راستای جهت تنش بیشینه شمال خاوری (N235) پیشنهاد می‌کند (شکل‌های 4 و 5).

در ایستگاه شهرک المهدی، گسل‌هایی با راستای میانگین NO45 به‌طور مشخص سازند آبرفتی B را بریده‌اند. سازوکار این گسل‌ها راستالغز چپ‌گرد با مؤلفه فشاری است. گسل‌های خاوری - باختری نیز در این رخنمون دیده می‌شوند





درحالی که در ایستگاه لويزان-3 بیشینه تنش در جهت شمال خاوری (N271) قرار می‌گیرد و بیانگر یک رژیم زمین ساختی راستالغز کششی است (شکل 5).

پال شمالی تاقديس لويزان در سازند هزار دره، در ورودی شهرک امید، به گسل کوثر (بربریان و دیگران 1364) محدود می‌شود. در این ایستگاه دو نسل صفحه گسلی سازگار با دوجبهت تنش بیشینه شمال خاوری (NE) و شمال باختری (NW)، رخنمون دارند که در اینجا، تنها به ایستگاه امید با جهت تنش بیشینه شمال باختری (N311) بسنده شده است. رژیم زمین ساختی این ایستگاه بیانگر وضعیت فشاری محض است (شکل 5).

ایستگاه استخر، در خروجی از بزرگراه بابایی به خیابان استخر اندازه‌گیری شده است. بیشتر صفحه‌های گسلی با راستای نزدیک به شمالی - جنوبی از گونه شیب لغز واژگون با مؤلفه چپ گرد هستند که بیانگر یک رژیم زمین ساختی فشاری محض با راستای بیشینه تنش شمال خاوری (N241). صفحه‌های گسلی در این رخنمون بیشتر میان لایه‌ای هستند، که بعضی از آنها نیز لایه بندی هزاردره را بریده اند.

در پارک جنگلی غزال (روبروی محل تخلیه زباله‌های ساختمانی شهر تهران) ایستگاه اندازه‌گیری پارک غزال انتخاب شده است. در اینجا دو روند گسلی نزدیک به خاوری - باختری و شمالی - جنوبی چیرگی دارد. صفحه‌های گسلی با راستای خاوری- باختری از گونه واژگون با مؤلفه راست‌گرد هستند. باتوجه به ویژگی وضعیت تنش محاسبه شده از روی صفحه‌های گسلی، رژیم زمین ساختی چیره بر این بخش را می‌توان فشردگی محض و راستای تنش بیشینه را شمال باختری (N121) در نظر گرفت (شکل 5).

ایستگاه جاجرود در رخنمونهای کنار جاده در ورودی جاده دسترسی سد لثیان از جاده جاجرود و نیز در بخش جنوبی جاده اصلی در سازند هزار دره بررسی شده است. صفحه‌های گسلی با روند خاوری - باختری دارای سازوکار راندگی با مؤلفه کوچک راست‌گرد هستند و تنسور تنش به دست آمده از آنها گویای تاثیر تنش بیشینه در جهت شمال باختری (N165) و وجود یک رژیم زمین ساختی فشاری محض است.

در 2 کیلومتری خاور جاجرود، در بخش شمالی جاده، رخنمون‌های تازه ای در تپه سیف ایجاد شده است. در این رخنمون گسل‌های اصلی با راستای شمالی- جنوبی سازند هزار دره را متأثر کرده‌اند که دارای سازوکار راستالغز راست بر با مؤلفه کششی هستند. تنسور تنشی که از صفحه‌های گسلی با راستای خاوری- باختری و سازوکار چپ گرد کششی به دست می‌آید، یک رژیم زمین ساختی راستالغز با راستای بیشینه تنش شمال خاوری (062) را نشان می‌

فیض و پالایشگاه خون هماهنگی دارد (شکل‌های 4، 5).

### گسل‌های شمال تهران

اندازه‌گیری ایستگاه‌های شمال تهران در سازند کرج، صورت گرفته است که شامل ایستگاه‌های فرحزاد 1، 2، 3 و 4 می‌شود (شکل 5). ایستگاه‌های فرحزاد 1 و 2 در شمال گسل شمال تهران قرار دارند. گسل‌های اندازه‌گیری شده در دره رودخانه فرحزاد و موازی گسل شمالی - جنوبی پونک قرار می‌گیرند (شکل 2). این مجموعه گسلی در، آبرفتهای هزاردره و سازندهای جوان‌تر دیده می‌شوند. گسل‌های اندازه‌گیری شده در این ایستگاه راستای نزدیک به شمالی - جنوبی و سازوکار واژگون با مؤلفه کوچک چپ‌گرد دارند. صفحه‌های بزرگ گسلی (بزرگتر از یک متر)، شیب رو به خاور دارند و گسل‌های هم یوغ آنها به صورت صفحه‌های کوچکتری، با شیب رو به باختر تشکیل شده اند. جهت تنش بیشینه در ایستگاه فرحزاد 1،  $210^{\circ}N$  و در فرحزاد 2،  $250^{\circ}N$  به دست آمده است، که هر دو، جهت شمال خاور- جنوب باختری را نشان می‌دهد با این تفاوت که در ایستگاه فرحزاد 2 این جهت با 40 درجه اختلاف، به خاوری- باختری نزدیک می‌شود. رژیم تعیین شده در هر دو ایستگاه یک رژیم فشاری است (شکل 4).

در ایستگاه فرحزاد 3، گسل‌های فشاری با راستای خاوری- باختری تا جنوب خاور- شمال باختری دیده می‌شوند. پردازش داده‌ها در ایستگاه فرحزاد 3، یک رژیم زمین ساختی راستالغز با راستای تنش بیشینه شمال خاوری ( $20^{\circ}N$ ) و در ایستگاه فرحزاد 4 رژیم زمین ساختی فشاری محض با راستای بیشینه تنش شمال خاوری ( $10^{\circ}N$ ) را تعریف می‌کند (شکل 4).

### گسل‌های خاور تهران

بخش خاوری تهران شامل تپه‌های لويزان، شهرک امید، استخر، جاجرود پارک جنگلی غزال، تپه سیف و کلاهدک می‌شود (شکل‌های 2 و 3). در این ایستگاه‌ها همه اندازه‌گیری‌ها در سازند هزار دره انجام گرفته است. صفحه‌های گسلی اندازه‌گیری شده دو راستای اصلی خاوری - باختری و نزدیک به شمالی- جنوبی را نشان می‌دهند. در تپه‌های لويزان ایستگاه‌های لويزان-1، لويزان-3 و لويزان-4، در کناره‌های بزرگراه جدیدی که شمالی - جنوبی حاشیه باختری تپه های لويزان را بریده، بررسی شده است. تنسور تنشی به دست می آمده از این ایستگاه‌ها حاکی از رژیم زمین ساختی راستالغز است. در ایستگاه‌های لويزان-4 و لويزان-1 راستای بیشینه تنش شمالی - جنوبی و رژیم زمین ساختی راستالغز فشاری است.





دهد (شکل 4).

ایستگاه‌های ابردژ، ورامین و ورامین 1 صورت گرفته است (شکل 3). در این اندازه‌گیریها، صفحه‌های گسلی موجود در واحدهای پلیوسن و پلیو- پلیستوسن بررسی شده اند، از آنجا که نتایج به دست آمده از جهت تنش بررسی شده در نهشته‌های کواترنری معادل C و پلیو- پلیستوسن گسل پیشوا همانند بوده است (شبانیان، 1377)، محورهای تنش محاسبه شده در ایستگاه‌های نامبرده قابل تعمیم به پلیستوسن پسین خواهند بود.

همان‌گونه که در شکل‌های (4 و 5) آشکار است، گسل‌های اندازه‌گیری شده در هر سه ایستگاه ورامین، ورامین 1 و ابردژ، به طور عموم راستای شمال باختری- جنوب خاوری داشته، سازوکار چیره آنها، از گونه فشاری است. محورهای تنش پیشینه به دست آمده در هر سه ایستگاه نیز شمال خاوری- جنوب باختری است که در ایستگاه ورامین 1 تمایل آن به خاوری- باختری بیشتر می‌شود. رژیم زمین ساختی در هر سه مورد فشاری محض است. با توجه به سن واحدهای دگر شکل شده در این میدان تنش، باید آن را هم ارز محور تنش شمال خاوری به دست آمده در کوهپایه تهران دانست.

نام همه ایستگاه‌های اندازه‌گیری نامبرده در این بحث و ویژگی‌های میدان تنش محاسبه شده در آنها، در جدول (1) آورده شده است. شماره ایستگاهها در این جدول، دستیابی به مکان هر ایستگاه بر روی تصاویر را هموار می‌سازد.

#### جداسازی رویدادهای زمین ساختی کواترنری تهران

بنابراینچه در بحث پیش گفته شد، و نیز دانسته‌های زمین ساختی در پهنه ایران، انتظار می‌رفت که ساختارهای موجود در نهشته‌های آبرفتی دشت تهران بویژه سازند هزار دره در میدان تنش نوزمین ساختی شمال خاوری (NE) و در گذر یک فاز زمین ساختی شکل گرفته باشد. درحالی که بررسی‌های انجام گرفته در سازند آبرفتی هزار دره، نشانگر چین خوردن آن با کارسازی تنش شمال باختری (NW) است (شبانیان و دیگران، 1380). برپایه کار (Abbassi & Shabanian, 1999) گسل‌هایی که سازند هزار دره را متأثر کرده‌اند نیز در دو میدان تنش متفاوت شمال باختری (NW) و شمال خاوری (NE) شکل گرفته‌اند. برای نمونه، گسل تلو با روند نزدیک به خاوری- باختری، که به طور مشخص سازند هزار دره را بریده است، دارای یک مؤلفه افقی راست گرد است (بربریان و دیگران، 1364) که با جهت تنش شمال باختری (NW) تا شمالی- جنوبی همخوان است. انتهای خاوری گسله تلو سازندهای سنگی ژوراسیک را راست گرد جابه‌جا کرده اند (Dellenbach, 1964).

کلاهدک بعد از پمپ بنزین و نرسیده به روستای کلاهدک در بخش جنوبی جاده دماوند قرار دارد. در این رخنمون سازند هزار دره بر روی سازند کرج با یک گسل با روند (N110) و شیب به سمت شمال رانده شده است. صفحه‌های گسلی دارای سازوکار راندگی با مؤلفه کوچک افقی چپ گرد هستند. بر روی صفحه‌های اصلی گسله، دو نسل خش خط دیده می‌شود. تنسوری تنش که از این رخنمون به دست می‌آید، بیانگر یک رژیم زمین ساختی فشاری با راستای پیشینه تنش شمال خاوری (019) است (شکل 4).

یکی دیگر از نقاط بررسی شده در خاور تهران، پیرامون روستای میار است. در اینجا اندازه‌گیریها در قالب دو ایستگاه برداشت، صورت گرفته است. در ایستگاه میار 1 صفحه‌های گسلی راستالغز با راستای عمومی خاوری- باختری اندازه‌گیری شده است. میدان تنش محاسبه شده در این نقطه گویای کارسازی رژیم راستالغز محض با جهت تنش پیشینه شمال باختر- جنوب خاوری (N129) است.

گسل‌های بررسی شده در ایستگاه میار3، دسته‌ای از گسل‌های شمال باختر- جنوب خاوری هستند که سازوکار راستالغز بروز داده‌اند. میدان تنش بدست آمده از آنها، راستالغز محض با جهت تنش پیشینه شمال خاوری- جنوب باختری (N132) است. در ایستگاه بهشتی (شکل 6)، اثر هر دو نسل کهن و جوان معرف دو رویداد زمین ساختی بر گستره در این، محل نیز بچشم می‌خورد. این گسل با مشخصات (F17) در گزارش بربریان و همکاران (1364) معرفی شده است.

خاوری‌ترین ایستگاه، پیرامون دریاچه تار، درون نهشته‌های واحد هولوسن در ترانشه‌ای بر روی گسل مشا برگزیده شده است. دو دسته گسل هم یوغ در اینجا اندازه‌گیری شده که یکی نزدیک به شمالی- جنوبی با تمایل شمال خاوری و دسته دیگر، خاوری- باختری با تمایل شمال خاوری است. سازوکار آنها به‌طور کلی راستالغز بوده، جهت تنش محاسبه شده از روی آنها، شمال خاوری- جنوب باختری (212/08) و از گونه راستالغز کششی است. از آنجا که این ایستگاه در واحد هولوسن قرار دارد، تنسور تنش تعیین شده در آن را می‌توان به‌عنوان جوان‌ترین رویداد زمین ساختی گستره در نظر گرفت و با حل سازوکارهای کانونی ارائه شده در این بخش از گسل مشا همخوانی کامل دارد (Ashtari et al., 2005).

#### گسل‌های جنوب خاور تهران

اندازه‌گیریهای انجام شده، بر روی گسل پیشوا و با نام





ساختمانهای ASP قرار دارد، گسل‌های راستالغز راست‌گرد با مؤلفه کششی رخنمون دارند. از آنجا که روند مجموعه گسل‌های ونک پارک هم‌سو با جهت تنش دیرینه شمال باختری (NW) است، بنابراین می‌توان انتظار داشت که این گسل با ویژگی‌های یاد شده، در همین جهت تنش جنبایی یافته و سازوکار راستالغز راست‌گرد با مؤلفه کششی تا کششی محض را از خود بروز داده باشد. مویید این یافته تنسورهای تنش است که در ایستگاه‌های 15 و 16 (شکل 5 و 2) محاسبه شدند. در رخنمون تپه‌های عباس آباد نیز دو گسل با روند کم و بیش خاوری- باختری با دو نسل خط خش در سازند اندازه‌گیری شده است. نسل کهن تر دارای سازوکار واژگون با مؤلفه افقی راست‌گرد است که با جهت تنش شمال باختری (NW) همخوان بوده و نسل جوان‌تر سازوکار راندگی با مؤلفه چپ‌گرد نشان می‌دهد که با جهت تنش نوزمین‌ساختی شمال خاوری (NE) همخوانی دارد. گسل دیگری در همین رخنمون نیز با راستاک کم و بیش شمالی - جنوبی دو نسل خط خش نشان می‌دهد. نسل کهن‌تر خش، نشان دهنده یک گسله راستالغز چپ‌گرد است که با جهت تنش دیرینه (NW) همخوان است و نسل جوان خشها نماینده سازوکار واژگون محض است که با جهت تنش نوزمین‌ساختی (NE) همخوان است (شکل 6-ب).

در شهرک المهدی روندهای گسلی شمال باختری- جنوب خاوری سازند B را بریده اند. بر روی یک صفحه گسلی (شکل 6-ج) دو نسل خط خش لغزش اندازه‌گیری شده است. نسل کهن تر با سازوکار واژگون و همخوان با جهت تنش شمال باختری- جنوب خاوری و نسل جدیدتر با سازوکار راستالغز چپ‌گرد با جهت تنش شمالی- جنوبی تا شمال خاوری- جنوب باختری همخوان است. بر این پایه می‌توان گفت که پس از نهشته شدن سازند B نیز، دست کم تغییر دیگری در جهت تنش روی داده است.

### تحول میدان تنش از زمان چین خوردن سازند هزار دره تا امروز

به منظور دستیابی به یک الگوی مشخص درباره جهت یابی محورهای تنش در سراسر پهنه مورد بررسی، همه محورهای تنش بیشینه محاسبه شده در جای جای آن، از نظر فراوانی، بر روی نمودارهای هم‌تراز دسته بندی شده است (شکل 7). بر روی این نمودارها، جهت‌های تنش از همه ایستگاه‌ها، با توجه به رژیم زمین ساختی به دست آمده، به دو گروه جدا شدند. گروه نخست رژیم زمین ساختی فشاری را در بر می‌گیرد. در این گروه، سه تمرکز قابل تشخیص است که در نمودار با ستاره نشان داده شده است. همان‌گونه که در بحث مربوط به جداسازی رویدادها آمد، کهن‌ترین جهت تنش حاکم

یکی از بهترین برش‌هایی که آشکارا دو نسل خش لغزش را در آن می‌توان دید، در شمال خاوری دانشگاه شهید بهشتی رخنمون دارد (شکل 6-الف). در این برش، صفحه‌های گسلی متفاوت با راستای شمال خاوری- جنوب باختری و درازایی بیش از 8 و پهنای 3 متر رخنمون دارد. نخستین نسل خش لغزش‌ها یک راندگی محض را نشان می‌دهد و نسل جوان‌تر، نشانگر سازوکار راستالغز راست گرد است که بر روی همان صفحه گسلی نقش بسته است. باتوجه به شکل (6) می‌بینیم که هر دو نسل خش لغزش‌ها، با جهت تنش دیرینه شمال باختری (NW) همخوان است.

در پژوهش کنونی نشان داده خواهد شد که دو نسل خش لغزش به‌طور آشکار فرآورده دو جهت و دو وضعیت تنش مختلف است. ساده‌ترین استدلال در این مورد، بهره‌گیری از مدل (Anderson (1986) است. برپایه این نظر دو محور اصلی تنش  $\sigma_1, \sigma_2$  در سازوکار فشاری و راندگی افقی هستند و  $\sigma_3$  در راستای شاقولی بر سطح زمین قرار می‌گیرد. در سازوکار راستالغز، دو محور اصلی تنش  $\sigma_1, \sigma_3$  افقی هستند و  $\sigma_2$  در حالت شاقولی بر سطح زمین قرار می‌گیرد. همان‌گونه که مشخص است، محورهای  $\sigma_1$  در دو سازوکار مختلف فشاری و راستالغز، افقی هستند و بدون در نظر گرفتن بیضوی تنش یک جهت را نشان می‌دهند. در صورتی که این هم‌سویی محورهای بیشینه تنش، دلیلی بر همانند بودن میدان‌های تنش مربوط به آنها نیست و حتی در این حالت نیز یک همانندی مجازی است.

برای ایستگاه دانشگاه شهید بهشتی (شکل 6 الف) می‌توان به روشنی این نکته را بیان کرد که در نخستین برهه دگرشکلی، رژیم زمین ساختی فشاری چیره بوده و سپس یک رژیم راستالغز با حفظ همان جهت تنش پیشین بر محیط حاکم شده است. به عنوان گواهی بر تغییر رژیم از فشاری به راستالغز با حفظ جهت بیشینه تنش شمال باختری- جنوب خاوری، به مجموعه گسلی ونک پارک نیز می‌توان اشاره کرد. در فروافتادگی ونک پارک که در زمان نوشتن این گزارش هنوز قابل بازدید است، رخنمون گسل کششی ونک پارک دیده می‌شود، نکته جالب در این رخنمون این است که ضخامت سازند B با دور شدن از فرادیواره کم می‌شود. این امر نشان می‌دهد که گسل کششی ونک پارک هنگام نهشته شدن سازند B فعال بوده است. از این رو می‌توان با قطعیت برای خش خط‌هایی که بر روی این گسله‌ها اندازه‌گیری می‌شوند و تنشور تنش است که به کمک آنها محاسبه می‌شود سن قطعی قائل شد. مجموعه گسلی ونک پارک از گسل‌های کششی و راستالغز راست‌گرد با مؤلفه کششی تشکیل شده است. در تپه‌های اکبری نیز که در جنوب خاوری این گودال و روبه روی







زمین ساختیفشاری با جهت بیشینه تنش شمال خاوری- جنوب باختری محاسبه شده است. اگر نتایج تنسورهای تنش محاسبه شده از درزه‌های همیوگ (Conjugate) نوزمین ساختی دشت ورامین نیز منظور شود (شبانیان، 1377)، مرز سنی تنسور شمال خاوری- جنوب باختری فشاری در این منطقه، تا هولوسن بالایی نیز می‌توان گسترش داد.

در صورتی که ایستگاه بررسی شده (بر روی گسل مشا، ایستگاه شماره 6، شکل 4) که در نهشته‌های هولوسن قرار دارد، رژیم راستالغز با همان جهت تنش را نشان می‌دهد. از این رو به نظر می‌رسد رژیم‌های راستالغز و فشاری گرچه ممکن است به‌طور دقیق با یکدیگر همزمان نباشند. اما کارسازی آنها در هولوسن بستگی تنگاتنگ با جایگاه زمین ساختی و ویژگی‌های توپوگرافی آن دارد. به‌گونه‌ای که با ساده سازی، می‌توان این آرایش را برای آنها در نظر گرفت که پایین دست تراز 1500 متر، رژیم فشاری درکار است و در ترازهای بالاتر، به راستالغز تبدیل می‌شود. البته اثبات کامل آن نیاز به داده‌های بیشتر، از سراسر گستره دارد.

با تکیه بر داده‌های کنونی و در نظر گرفتن بازه زمانی هر یک از سه رویداد زمین ساختی نامبرده، می‌توان گفت که نخستین رویداد که سبب چین خوردن سازند هزاردره شده، رژیم زمین ساختی فشاری با جهت تنش بیشینه شمال باختری بوده است. پس از این مرحله و در هنگام نهشته شدن سازند (B) رژیم زمین ساختی از فشاری به راستالغز، با حفظ همان جهت تنش، تغییر کرده است. جهت تنش کنونی نیز با توجه به یافته‌های این پژوهش در ایستگاه تار، و استناد به سازوکارهای کانونی ارائه شده برای منطقه شمال خاوری تهران (Ashtari et al., 2003)، با جهت تنش بیشینه شمال خاوری (N040) همخوانی دارد. سازوکارهای کانونی به دست آمده (Ashtari et al., 2005) مؤید یافته‌هایی است که در نهشته‌های هولوسن در ایستگاه تار ایستگاه شماره 6، (شکل 4) و ایستگاه 17 (شکل 5) اندازه‌گیری شد. با تکیه بر روابط موجود در شکل (8) و با توجه به آرایش محورهای تنش در این شکل، می‌توان پیشنهاد کرد که بعد از هر رژیم فشاری، رژیم راستالغز حاکم شده است که اثبات کامل آن نیازمند اندازه‌گیری‌های بیشتر و بررسی‌های کامل‌تر در منطقه دارد.

اشاره به این نکته ضروری است که شناسایی نسل‌های یکسان خش لغزش‌ها، بر روی همه صفحه‌های گسلی اندازه‌گیری شده، امکان پذیر نیست. به این معنی که بر روی یک صفحه گسلی، گاه یک نسل و بر روی صفحه دیگر دو و یا سه نسل خش لغزش همراه با هم قابل تشخیص هستند و این احتمال وجود دارد که تنها با استناد به همانندی جهت‌های تنش به‌دست آمده از آنها و بدون در نظر گرفتن

مربوط به رویداد زمین‌ساختی می‌شود که در طی آن سازند هزاردره چین خورده است. در این رویداد جهت تنش دارای جهت شمال باختری بوده است. تاقدیس‌های هزار دره تهران در یک رژیم زمین ساختی فشاری شکل گرفته‌اند و در مواردی پال‌های آنها پذیرای چرخش راست‌گرد شده است که با جهت تنش شمال باختری همخوان است (شبانیان و دیگران، 1380). با این شرح میانگین جهت تنش دیرینه، همان تمرکز شمال باختری (N310) بوده است. پس از این رویداد، سازند B در یک رژیم زمین ساختی راستالغز با مولفه کششی نهشته شده است که به‌عنوان شاهد در این نوشتار، به دو نمونه گودال ونک پارک و دانشگاه شهید بهشتی، اشاره شد. (همچنین مقایسه کنید ایستگاه‌های 15 و 16 در شکل 5). جهت تنش حاکم در این رژیم زمین ساختی، همچنان شمال باختری است و تنها نسبت محورهای تنش و پیرو آن، رژیم زمین ساختی تغییر می‌کند. این پدیده با آنچه از فازهای کوهزایی شناخته شده است، دور از ذهن نیست. به این ترتیب، پس از یک رویداد زمین ساختی فشاری در ابتدا وضعیت تنش فشاری حاکم بوده یک رژیم زمین ساختی راستالغز و سپس رژیم زمین ساختی راستالغزی جایگزین شده است، یک فاز راستالغز چیره شده است. پس از این رویداد زمین ساختی، جنبش دیگری باعث جنبایی دوباره این گسل‌های کششی شده است که شاهد آن را کشیدگی واژگون ظاهری در فرادایواره برخی گسل‌های کششی می‌توان یاد کرد (مقایسه کنید، نگاره، 4066 گسل F26، بربریان و دیگران 1364). این پدیده نشانه تغییر رژیم زمین ساختی است.

در شکل 7 الف و ب نیز یک تمرکز جهت تنش با راستای شمالی - جنوبی (N009) و با دو رژیم زمین ساختی فشاری و راستالغز دیده می‌شود. بر پایه ترتیب و توالی به‌دست آمده، فاز دگرشکلی با جهت تنش شمالی- جنوبی میان دو جهت تنش شمال باختری (دیرینه) و تنش شمال خاوری (تنش نوزمین‌ساختی) فعال شده است و یک مرحله گذار میان این دو جهت را می‌سازد. پس از این مرحله، در میدان تنش نوزمین ساختی شمال خاوری قرار می‌گیریم که در هر دو نمودار نمایان است (شکل 7 الف و ب). با جهت تنش شمال خاوری نیز دو رژیم زمین ساختی فشاری و راستالغز گره خورده‌اند.

پرسشی که باید در تهران به آن پاسخ گفت این است که اکنون کدام رژیم زمین ساختی بر گستره مورد بررسی چیرگی دارد؟ با توجه به تنسور تنش به‌دست آمده در سه ایستگاه ورامین، ورامین 1 و ابردژ در جنوب خاوری و ایستگاه کاظم آباد در باختر تهران، که از روی داده‌های گسلی در نهشته‌های آبرفتی هم ارز سازند C تعیین شده است. رژیم





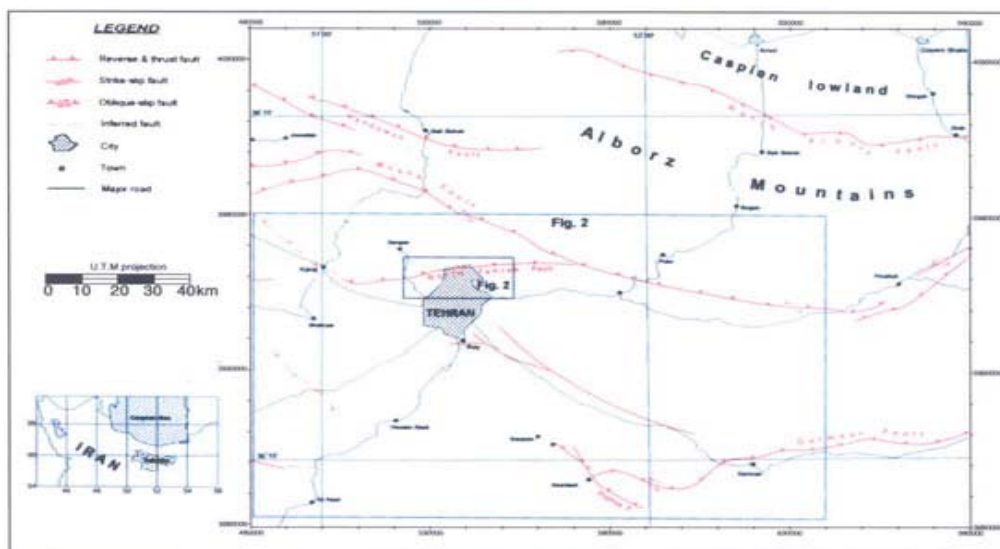
3. در زمان نهشته شدن سازند آبرفتی B تحولی در رژیم زمین ساختی رخ داده است. در این رویداد رژیم زمین ساختی، با جهت تنش شمال باختری از فشاری به راستالغز تغییر یافته است.
4. از آنجا که جهت تنش شمال باختری با رژیم زمین ساختی راستالغز، در هنگام نهشته شدن سازند B اثر گذار بوده است و جهت تنش کنونی شمال خاوری است، به نظر می رسد که کارسازی جهت تنش شمالی - جنوبی در گذر تشکیل سازند C رخ داده باشد.
5. میدان تنش نوزمین ساختی (تا کنون) در لبه جنوبی البرز مرکزی، دارای جهت میانگین N040 است که با یک رژیم زمین ساختی راستالغز در بخش کوهستانی آن سازگاری دارد. با دور شدن از پیشانی البرز و نزدیک شدن به لبه شمالی ایران مرکزی (در پیشوا)، رژیم زمین ساختی فشاری با حفظ جهت تنش شمال خاوری جایگزین می شود.
6. پیش از حاکم شدن جهت تنش کنونی (شمال خاوری) روندهای گسلی چیره در البرز مرکزی - باختری (گسل های با راستای شمال باختری - جنوب خاوری و خاوری - باختری) از خود جنبش راست گرد بروز می دادند که با تغییر جهت تنش به شمال خاوری، دوباره جنبش چپ گرد از خود نشان می دهند.

تغییرات محلی میدان تنش، جایگاه واقعی هر نسل درست تعریف نگردد. برای برطرف کردن این ابهام، فراوانی و پراکندگی جهت های تنش مختلف در گستره، پس از محاسبه آنها به طور آماری بررسی شده است. شکل 7 نمودار همتراز فراوانی محورهای تنش بیشینه به دست آمده در سازندهای آبرفتی تهران را، با منظور کردن رژیم های زمین ساختی نشان می دهد. پراکندگی یک دست محورهای سه گانه در این نمودارها، گویای محلی نبودن تغییر جهت های میدان تنش بوده و نشان می دهد که تغییرات محلی هر نسل، از پراکندگی ایجاد شده در پیرامون قطب مربوط به آن (بر روی نمودار) بیشتر نخواهد بود.

### نتیجه گیری

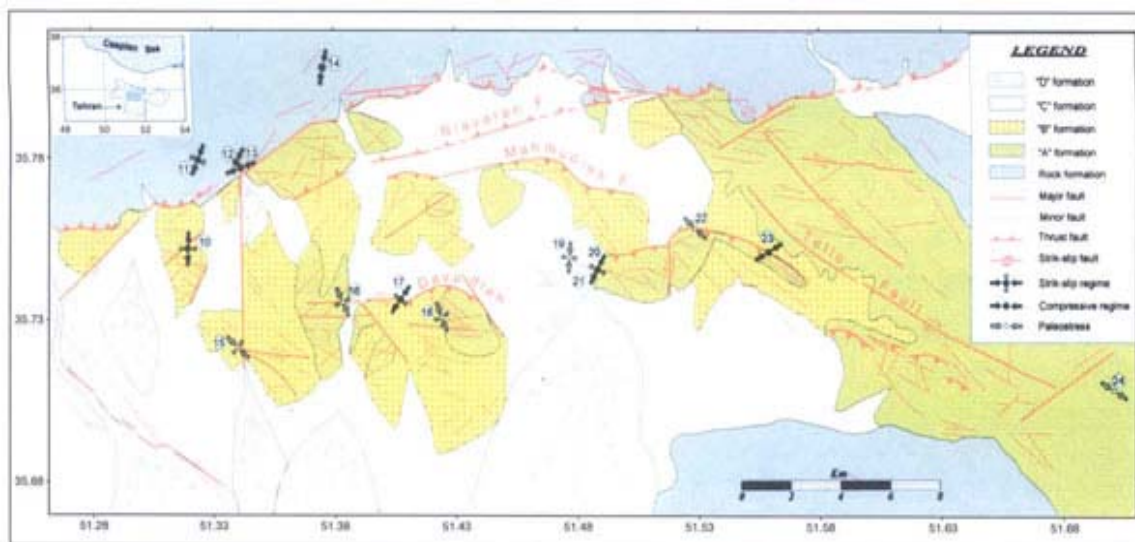
باتوجه به آنچه یاد شده، دستاوردهای این پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

1. سازند آبرفتی هزار دره رژیم فشاری با جهت تنش شمال باختری (NW) شکل گرفته اند.
2. از هنگام چین خوردن سازند هزاردره تا کنون، سه رویداد زمین ساختی در بخش باختری البرز مرکزی از هم جدا کرد. در گذر این سه رویداد زمین ساختی، روند محور تنش بیشینه از شمال باختری به شمالی - جنوبی و سپس شمال خاوری، به طور ساعتگرد تغییر جهت داده است تا به جهت تنش شمال خاوری امروزی رسیده است.

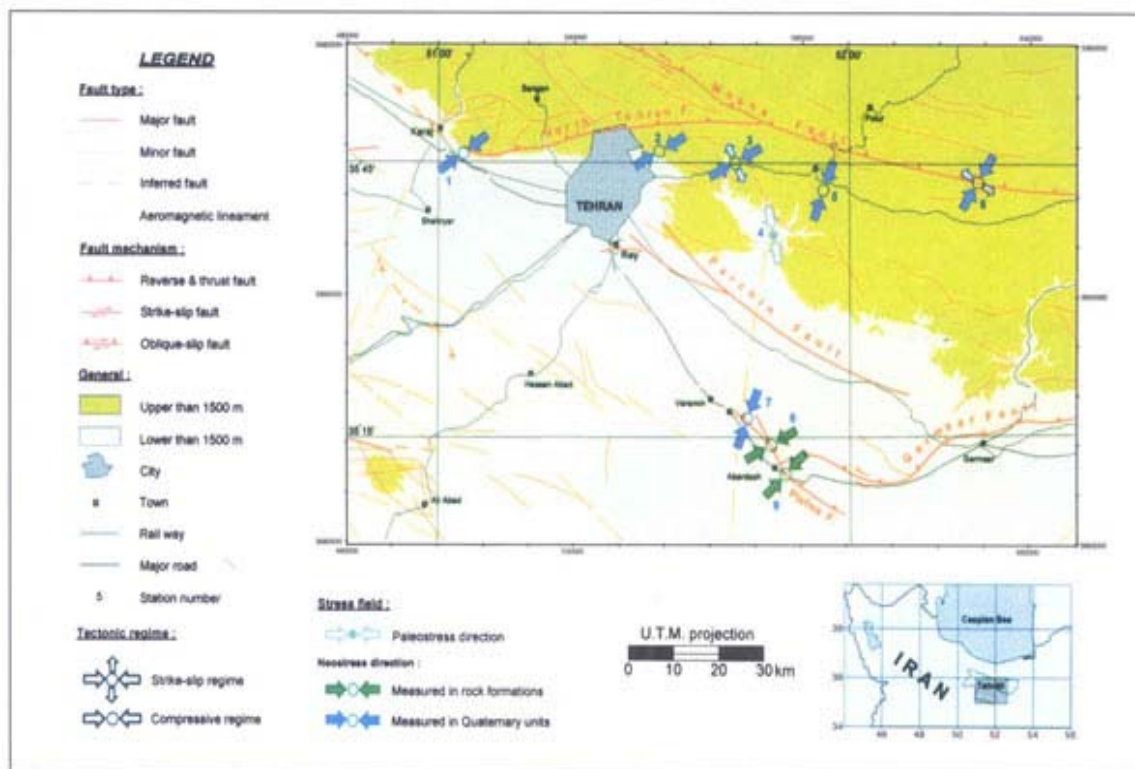


شکل 1- جایگاه زمین شناسی منطقه و ساختارهای اصلی آن در این شکل به تصویر کشیده شده است. همان گونه که در شکل پیداست، این پژوهش در دو بخش ناحیه ای و محلی به انجام رسیده که جزئیات هر کدام در شکل های (2 و 3) نشان داده شده است.

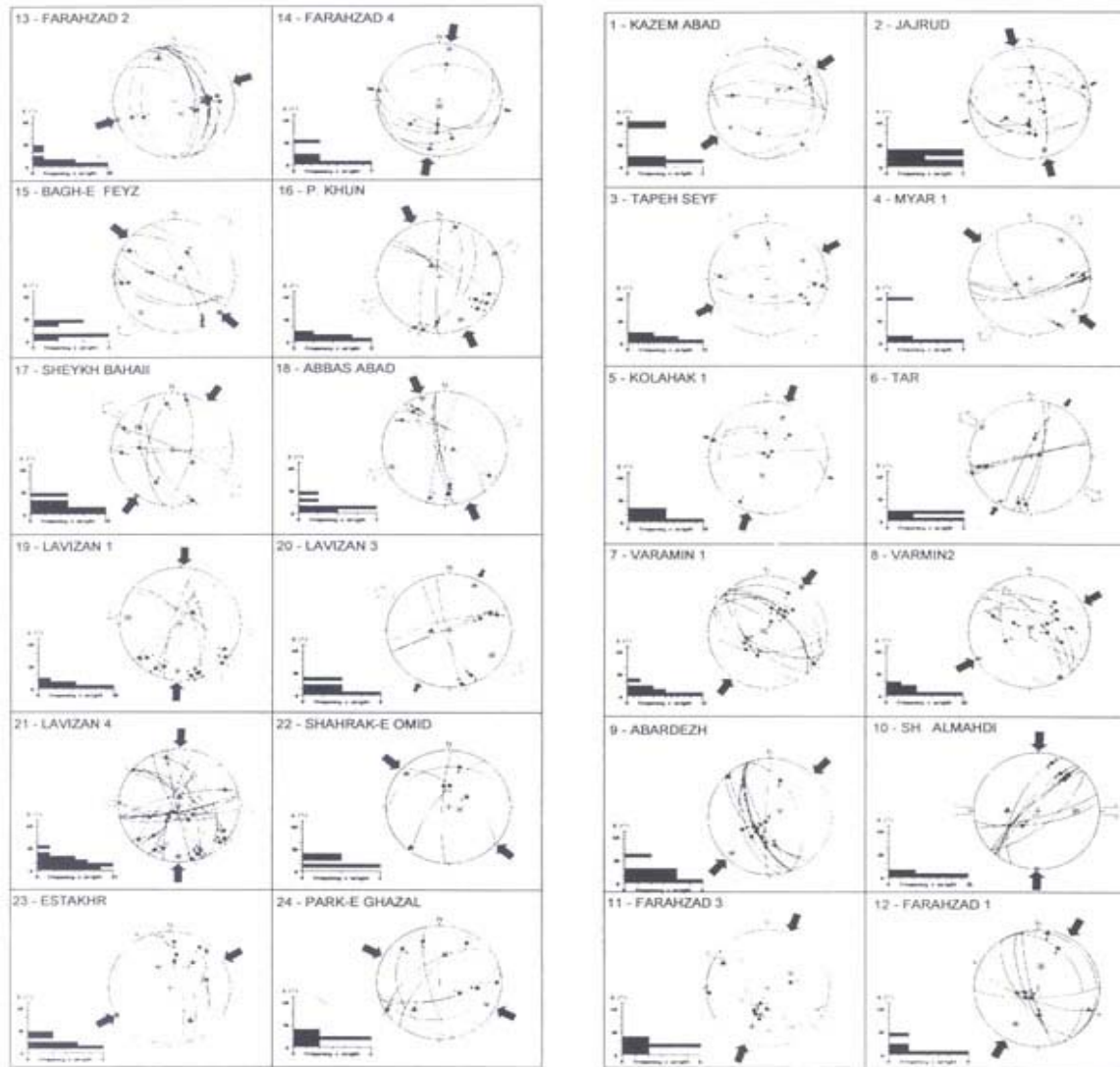




شکل 2- ایستگاههای اندازه‌گیری در محدوده شمالی شهر تهران. مرز عمومی سازندهای کواترنری A-D و گسل‌های شناسایی شده در آنها بر روی شکل نشان داده شده است. اطلاعات زمین شناسی از Abbasi & Shabanian (1999) برداشت شده است.



شکل 3- ایستگاههای اندازه‌گیری در لبه جنوبی البرز مرکزی از روی داده‌های گسلی اندازه‌گیری شده در سازندهای کواترنری تهران و پیرامون (برگرفته از عباسی و دیگران، 1382).



شکل 5- ایستگاههای اندازه گیری شده در شهر تهران و پیرامون. صفحه‌های گسلی و سازو کار آنها به کمک شبکه اشمیت به نمایش در آمده‌اند. زاویه ناهمخوانی (محور عمودی و تعداد اندازه گیری صفحه های گسلی (محور افقی) در سمت چپ هر ایستگاه مشخص شده اند.

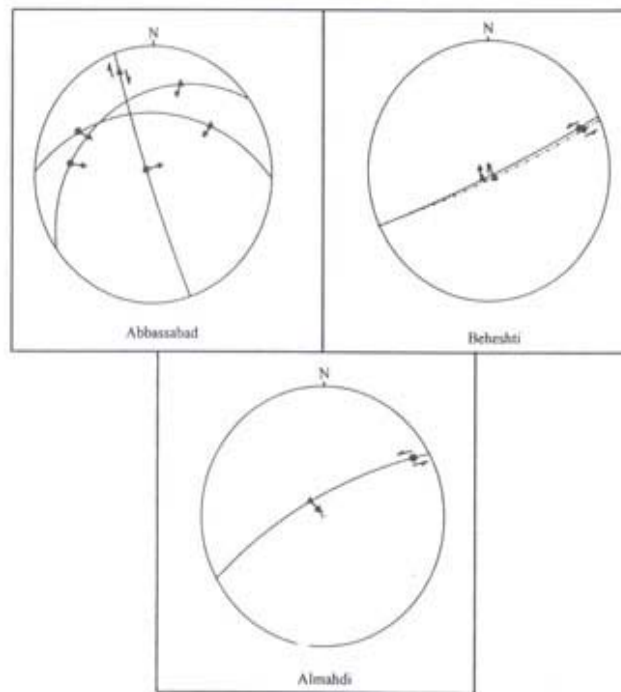
شکل 4- ایستگاههای اندازه گیری شده در شهر تهران و پیرامون. صفحه‌های گسلی و ساز و کار آنها به کمک شبکه اشمیت به نمایش در آمده‌اند. زاویه ناهمخوانی (محور عمودی) و تعداد اندازه گیری صفحه‌های گسلی (محور افقی) در سمت چپ هر ایستگاه مشخص شده‌اند.



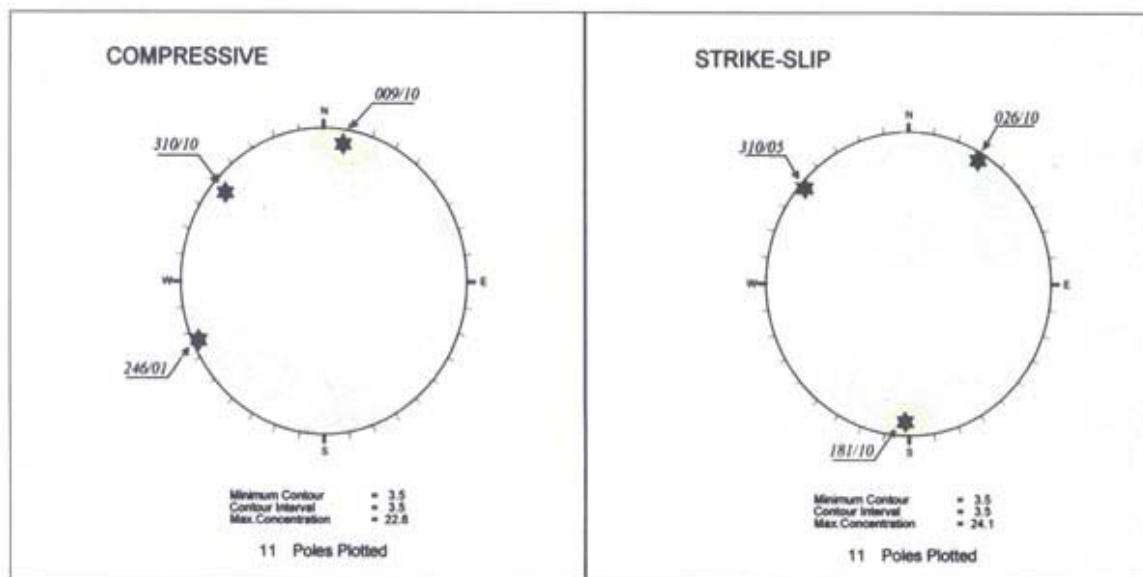
جدول(1): نام ایستگاههای اندازه گیری و ویژگی های میدان تنش بررسی شده در آنها. مشخصات محورهای اصلی تنش با زاویه میل (plg) و آزیموت (Az) آنها مشخص شده اند.

| شماره ایستگاه | نام ایستگاه   | $\sigma_1[Az/P1g]$ | $\sigma_2(Az/P1g)$ | $\sigma_3(Az/P1g)$ | بیطوی تنش | رژیم زمین ساختی | سن واحد        |
|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------------|----------------|
| 1             | کاظم آباد     | 235/24             | 142/07             | 006/59             | 0/57      | فشاری           | پلیستوسن       |
| 2             | جاجرود        | 165/14             | 072/08             | 313/74             | 0/67      | فشاری           | پلیو- پلیستوسن |
| 3             | سیف تپه       | 062/32             | 221/57             | 326/09             | 0/5       | راستالغز        | پلیستوسن       |
| 4             | میار 1        | 129/02             | 245/69             | 036/18             | 0/48      | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 5             | میار 3        | 232/3              | 341/55             | 133/32             | 0/57      | راستالغز        | اوسن           |
| 6             | کلاهدک 1      | 019/26             | 289/02             | 195/64             | 0/66      | فشاری           | پلیو- پلیستوسن |
| 7             | نار           | 212/08             | 078/79             | 303/07             | 1         | راستالغز کششی   | هولوسن         |
| 8             | ورامین        | 036/02             | 126/04             | 179/85             | 0/42      | فشاری           | پلیستوسن       |
| 9             | ورامین 1      | 240/06             | 149/06             | 019/82             | 0/53      | فشاری           | پلیستوسن       |
| 10            | ایردژ         | 226/15             | 315/04             | 063/76             | 0/49      | فشاری           | پلیستوسن       |
| 11            | شهرک المهدی   | 181/00             | 271/51             | 090/39             | 0/51      | راستالغز        | پلیستوسن       |
| 12            | فرحزاد 3      | 201/31             | 301/17             | 056/54             | 0/17      | راستالغز        | اوسن           |
| 14            | فرحزاد 1      | 251/01             | 342/20             | 158/70             | 0/42      | فشاری           | اوسن           |
| 15            | فرحزاد 2      | 210/29             | 114/11             | 006/59             | 0/57      | فشاری           | اوسن           |
| 16            | فرحزاد 4      | 010/10             | 280/02             | 179/80             | 0/67      | فشاری           | اوسن           |
| 17            | باغ فیض       | 131/01             | 034/76             | 221/14             | 0/5       | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 18            | پالایشگاه خون | 156/18             | 325/71             | 066/03             | 0/5       | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 19            | عباس آباد     | 338/07             | 101/77             | 247/10             | 0/35      | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 20            | لویران 1      | 183/18             | 045/67             | 277/14             | 0/05      | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 21            | لویران 2      | 027/12             | 269/66             | 122/21             | 1         | راستالغز کششی   | پلیو- پلیستوسن |
| 22            | لویران 3      | 181/11             | 000/78             | 272/00             | 0/25      | راستالغز        | پلیو- پلیستوسن |
| 23            | شهرک امید     | 311/12             | 220/06             | 103/76             | 0/5       | فشاری           | پلیو- پلیستوسن |
| 24            | استخر         | 241/02             | 150/24             | 334/56             | 0/57      | فشاری           | پلیو- پلیستوسن |
| 25            | پارک غزال     | 121/10             | 218/34             | 016/54             | 0         | فشاری           | پلیو- پلیستوسن |



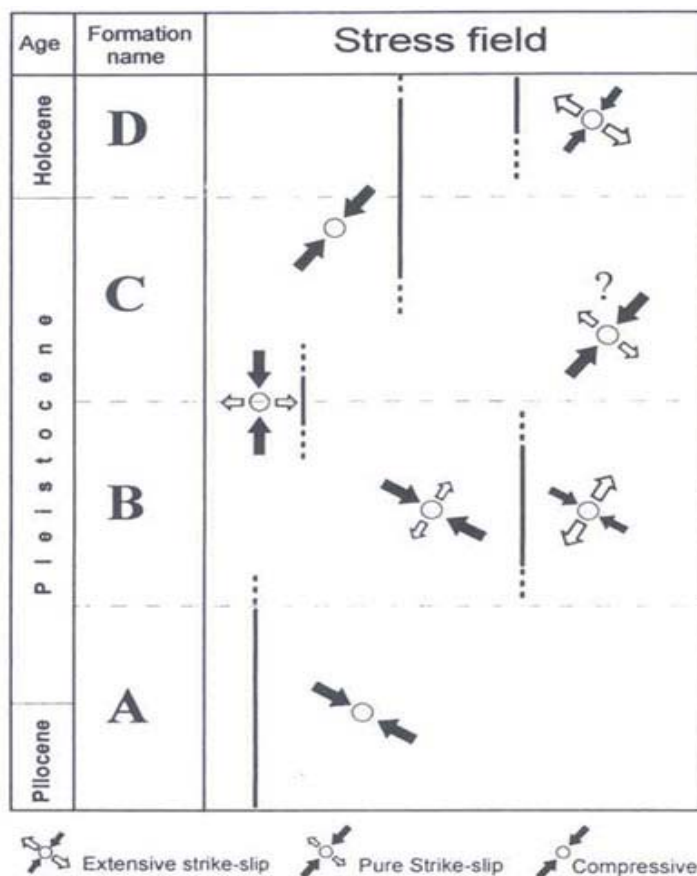


شکل 6- نمونه‌ای از صفحه‌های گسلی اندازه گیری شده با دو نسل خوش لغزش در سازندهای کواترنری تهران ایستگاههای بهشتی و عباس آباد در سازند هزار دره و ایستگاههای المهدی در سازند B بررسی شده است. نسل کهن خوش لغزشها به سه گوش و نسل جوان تر ، با دایره مشخص شده است.



شکل 7- نمودار همتراز محورهای تنش بیشینه در سازند های آبرفتی تهران با جدا سازی رژیم های زمین ساختی، الف) راستالغز؛ ب) فشاری. میانگین جهت تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) با ستاره نشان داده شده است.





شکل 8- تعیین سن پیشنهادی رویدادهای زمین ساختی تهران و پیرامون، با توجه به توالی سنی سازندهای کواترنری بریده شده با گسل‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش

### کتابنگاری

- الیاسی، م.، 1379- تحلیل هندسی و دینامیکی دگرریختی بخش جنوبی البرز مرکزی در شرایط شکننده با تاکید بر تنش‌های دیرین، پایان نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس. 170 صفحه
- بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، 1364- پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران زمین: بخش پنجم)، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره 56، 316 صفحه.
- شبانیان بروجنی، ا.، 1377- بررسی الگوی دگرریختی ساختارهای گستره کوه سرخ ورامین (جنوب خاوری تهران) با نگرشی بر لرزه خیزی گستره مورد نظر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. 175 صفحه
- شبانیان بروجنی، ا.، عباسی، م. ر.، فرید، ی.، 1380- تأثیر گسله‌ها در شکل گیری تاقدیسهای هزار دره در تپه‌های عباس آباد تهران. پژوهشنامه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره مسلسل 12 و 13، صفحه 38-45
- شجاعی، ح.، 1381- تحلیل ساختاری واحدهای سخت شمال تهران با نگرش بر تأثیر ساختارها در هدایت آبهای سطحی و زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی. 1600 صفحه
- قرشی، م. و ارژنگ روش، ب.، 1358- معرفی و بررسی گسله‌های کواترنری ناحیه تهران. سازمان زمین شناسی کشور، 32 رویه.
- عباسی، م. ر.، شبانیان بروجنی، ا.، فرید، ی.، فقهی، خ. و طبسی، ه.، 1381- وضعیت جهت تنش نوزمین ساختی در لبه جنوبی البرز مرکزی. برنامه ملی تحقیقات شماره 5004. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. 111 صفحه
- عباسی، م. ر. و فرید، ی.، 1383- مقدمه‌ای بر روی تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی صفحه‌های گسلی و خط خش‌های مربوطه. فصلنامه علوم زمین شماره 54



وحدتی دانشمند، ف.، 1371- نقشه زمین شناسی چهارگوش آمل. مقیاس 250000 : 1 سازمان زمین شناسی کشور

## Reference

- Abbassi, M. R. & Shabanian-B., E., 1999-Evolution of the stress field in Tehran region during the Quaternary. Proceeding of the 3<sup>rd</sup> international conference on Seismology and Earthquake Engineering (Tehran-Iran), pp.
- Anderson, E. M., 1951-The dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain. Oliver & Boyd, Edinburgh, 206p.
- Anells, R. N., Arthurton, R.S., Bazley, R.a., Davies, R.G. Hamedi, M.A.R., and Rahim Zadeh, F., 1977- Geological map of Iran, Shakran sheet 6162: Geological Survey of Iran, Scale 1:100000.
- Anells, R.N., Arthurton, R.S., Bazley, R. A., and Davies, R.G., 1975- Explanatory text of the Qazvin and Rasht quadrangles map: Tehran, geological survey of Iran, 94 p.
- Ashtari, M., D. Hatzfeld and M. Kamalian, 2005. Micro seismicity in the region of Tehran Tectonophysics, 395, pp.193-208.
- Axen, G. J., Lam, P.S., Grove M., Stocklin, D.F., and Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the West-Central Alborz Mountains, Iran, Caspian Subsidence, and Collision-related tectonics: Geophys., V. 29, 559-562.
- Berberian, M., 1976- An explanatory note on the first seismotectonic map of Iran; A seismo-tectonic review of the Contry. In Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II). Geological Survey of Iran, 518 p.
- Besse, J., Torcq, F., Gallet, Y., Ricou, L. E., Krystyn, L. and Saidi, A. 1998 - Late Permian to Late Triassic paleomagnetic data from Iran: Constraints on the migration of the Iranian block through the Tehyan Ocean and initial destruction of Pangea. Geophys. Int. 135, pp.77-92.
- Dames and Moore International, S. R. L., 1975- Report seismic studies investigation of surface faulting proposed Medical Center, Tehran, Iran for Imperial Medical Center of Iran. Tehran Office. 22p.
- Dedual, E., 1967- Zur Geologie des mittleren Karaj-Tales. Zentral Elburz (Iran). Diss. ETH Zurich.
- Dellenbach, J., 1964 - Contribution a l'étude géologique de la région située à l'est de Teheran (Iran): Fac. Sci., Univ. Strassbourg (France), 117P.
- Delvaux, D., 1994 - Tensor interactive Ms-Dos Quick Basic program developed for paleostress determinations on geological fractures and earthquake focal mechanisms. Royal Museum for central Africa. Tervuren, Belgium Version 2.3.
- Engalence, M., 1968- Contribution a la Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie de la région de Tehran (Iran). C. E. R. H., Montpellier, France, 365 P.
- Gillard, D. and Wyss, M., 1995- Comparison of strain and stress tensor Orientation: Application to Iran and Southern California. J. Geophys. Res., 100, No B11, 22197-22213.
- Glaus, M., 1965- Die Geologie des Gebietes noerdlich des Kandeavan-Passes (Zentral-Elburz), Iran. Diss. ETH Zurich.
- Lorenz, Ch., 1964 - Die Geologie des Oberen Karaj-Tales (Zentral -Elburz), Iran. Diss. Univ. Zuerich
- Meyer, S., 1967- Die Geologie des Gebietes Velian-Kechire (Zentral-Elburz), Iran. Diss. Univ. Zuerich.
- Rieben, E. H., 1955- The geology of the Tehran plain. Am. J. Sci. 253, pp.617-639.
- Steiger, R., 1966- Die Geologie der West-Firuzkuh-Area ( Zentral Elburz/Iran). Diss. ETH Zuerich.
- Tchalenko, J. S., Ambraseys, N. N., Berberian, M., 1974 - Material for the study of the seismotectonics of North-Central Iran. Geological Survey of Iran. Report No. 29.
- Tchalenko, J. S., Berberian, M., Iransmanesh, H., Bailly, M. and Arsofsky, M., 1974a - Tectonic framework of the Tehran region. In: Materials for the study of seismotectonics of Iran, North-Central Iran. Geol. Surv. Iran, Rep., 29, pp.7-46.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismotectonics frame work of the North Tehran fault. Tectonophysics 29, pp. 411-420.

\* International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

\* پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله