



# فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۴

doi 10.22077/JT.2024.6800.1164

## الگوی ساختاری سامانه گسلی مشا- شمال تهران دامنه جنوبی البرز مرکزی

حمید مداحی<sup>۱</sup>، عزیز رحیمی<sup>۲\*</sup>، معصومه آمیغ پی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲- دانشیار، بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۳- دکتر، اداره کل نقشه برداری زمینی و زمین سنجی، سازمان نقشه برداری کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲

### چکیده:

تاکنون مطالعات جامعی در مورد الگوی هندسی و ساختاری سامانه گسلی مشا- شمال تهران توسط پژوهشگران گوناگون صورت گرفته است. این سامانه گسلی به صورت یک لوزی ساختاری با روند عمومی غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار دارد. سامانه یاد شده از پهنه گسلی مشا در شمال شرق و پهنه گسلی شمال تهران در جنوب جنوب غرب که در گذر زمان سازوکارهای گوناگون چپ بر و یا راست بر با مؤلفه های فشارشی و یا کششی را تجربه کرده اند تشکیل شده است. گسل های پورکان- وردیج و امام زاده داوود با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق از دیگر سیماهای ساختاری مهم منطقه به شمار می روند. پهنه ساختاری مورد مطالعه، برخاستگی و فرونشست های متعددی را از مزوزوئیک تا به امروز پشت سر گذاشته است. این بدان معناست که در منطقه مطالعاتی بارها پدیده زمین ساخت وارون رخ داده است و رژیم های زمین ساختی کششی و فشارشی به تناوب به یکدیگر تبدیل شده اند. به عنوان مثال، در طول الیگو-میوسن به دلیل حرکت رو به شمال غرب حوضه خزر جنوبی نسبت به اوراسیا، زمین ساخت وارون، یک محیط تراکشی (راست بر با مؤلفه کششی) را به یک محیط ترافشارشی (چپ بر با مؤلفه فشارشی) تبدیل کرده است. هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک مدل ساختاری جدید و جامع برای سامانه گسلی مشا- شمال تهران است. بر اساس بررسی های صورت گرفته، می توان گفت منطقه مورد مطالعه به تناوب از یک نیم گل ساخت منفی و یک نیم گل ساخت مثبت تشکیل شده است.

**واژگان کلیدی:** البرز مرکزی، الگوی ساختاری، راندگی شمال تهران، گسل مشا، نیم گل ساخت.



## Structural Model of Mosha- North Tehran Fault System Southern Flank of Central Alborz

Hamid Maddahi<sup>1</sup>, Aziz Rahimi<sup>2\*</sup>, Masoomeh Amighpey<sup>3</sup>

1- PhD candidate, Department of Geology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

3- PhD, Geodesy and Land Surveying Department, Iran National Cartographic Center, Tehran, Iran

### Abstract

Until now comprehensive studies have been carried out by various researchers on the structural and geometric model of the Mosha-North Tehran fault system. As a structural lozenge with a general WNW- ESE trend, this fault system is located in the southern flank of Alborz Mountain range. The mentioned system consists of Mosha fault zone to the NNE and North Tehran fault zone to the SSW which has experienced various left-lateral or right-lateral strike slip mechanisms with contractional or extensional components during the geological time. NW-striking thrusts, the Purkan- Vardij Thrust (PVT) and Emamzadeh-Davud Fault (EDF) are also considered as other remarkable structural features of the region. The studied structural zone has gone through several uplifts and subsidences from the Mesozoic to the present day. This means that in the study area, the phenomenon of inversion tectonics has occurred many times and so, extensional and contractional regimes have interchanges alternately to each other. For example, during Oligo-Miocene, due to the northwestward movement of the South Caspian Basin with respect to the Eurasia, inversion tectonics turned a transtensional (right- lateral with extensional component) environment into a transpressional (left- lateral with small contractional component) one. The purpose of this research is presentation of a new and comprehensive structural model for the Mosha-North Tehran fault system. Based upon investigations, it can be said that the study area is formed by an interchangeable half-negative flower structure and half-positive flower structure.

**Keywords:** Central Alborz, Structural model, North Tehran thrust, Mosha fault, Half flower structure.

---

\*Email: a.rahimi@gu.ac.ir

Tel: +989111757965

در منطقه مورد پژوهش، پس از مشاهده ساختارهای زمین‌ساختی، مرور گسترده‌ای بر الگوهای هندسی و ساختاری ارائه شده از سوی پژوهشگران پیشین برای سامانه گسلی مشا- شمال تهران صورت پذیرفته است. مدل ارتفاعی رقومی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه و با مشاهدات صحرایی تلفیق شده‌اند. نشانگرهای جنبشی همچون خش لغزهای موجود بر روی صفحه برخی قطعات گسلی نیز برداشت شده است. در نهایت، بر اساس شواهد گوناگونی چون هندسه سیمای ساختاری اصلی مدل‌های مفهومی دو و سه بعدی گستره ساختاری مورد مطالعه تهیه و ارائه شده است.

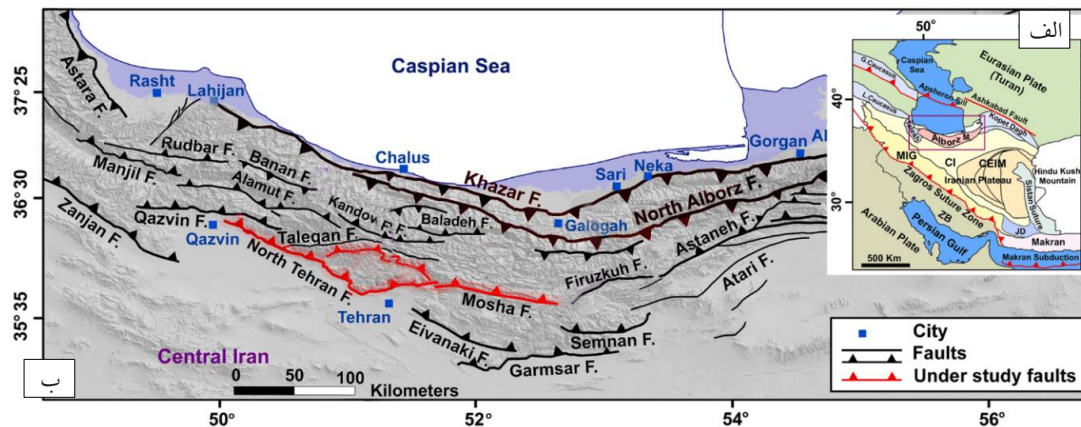
### بحث

#### جایگاه زمین‌شناختی

رشته کوه البرز با یک پوسته به شدت دگرریخت شده ناشی از بازشدن دریای پالئوتتیس در دونین (به عنوان مثال: Horton et al., 2008) و بسته شدن آن در تریاس پایانی (به عنوان مثال: Horton et al., 2008؛ Zanchi et al., 2006 و Wilmsen et al., 2009)، باز شدن حوضه خزر جنوبی در ژوراسیک میانی- پایانی (به عنوان مثال: Brunet et al., 2003 و Wilmsen et al., 2009)، یک دگرریختی فشارشی در کرتاسه پایانی تا پالئوسن آغازین (به عنوان مثال: Yassaghi؛ Guešt et al., 2006؛ Yassaghi, and Madanipour, 2008 و Naeimi, 2011) و یک فعالیت ماگمایی در پالئوسن پایانی تا ائوسن پایانی که ناشی از زمین‌ساخت کششی/ تراکشی در این زمان بوده است (به عنوان مثال: Ber-Verdel و Ballato et al., 2011؛ berian and King, 1981 et al., 2011) شناخته می‌شود.

دگرریختی فشارشی در پاسخ به مراحل آغازین برخورد قاره ای عربی- اوراسیا (برخورد نرم در ۳۶ میلیون سال پیش، Ballato et al., 2011) که با نرخ پایین در طول ائوسن پایانی- الیگوسن آغازین شروع شده و با رسوبگذاری در حوضه پیش‌بوم شناخته می‌شود شکل گرفته است (Ballato et al., 2011). نهشته‌های همزمان با کوهزایی (Guešt et al., 2007 و Ballato et al., 2008) و داده‌های سن‌سنجی حرارتی (Axen et al., 2001)؛ (Guešt et al., 2006 و Rezaeian et al., 2012) نشان می‌دهد

ایران به لحاظ زمین‌ساختی بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است و توسط بلوک‌های به نسبت صلب و غیر لرزه ای عربی در جنوب غرب، توران در شمال شرق و هلمند در شرق احاطه شده است. با در نظر گرفتن بلوک‌های توران و هلمند به عنوان بخشی از صفحه صلب اوراسیا، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که وضعیت کنونی زمین‌ساخت ایران ناشی از همگرایی صفحات عربی و اوراسیا می‌باشد (به عنوان مثال: Ver- nant et al., 2004a) (شکل ۱- الف) و این به نوبه خود منجر به دگرریختی‌هایی در قالب کمربندهای کوهزایی زاگرس، البرز و کپه داغ؛ همچنین گسل‌های راستالغز بزرگی که بلوک‌های ایران مرکزی، لوت و حوضه خزر جنوبی را در بر گرفته‌اند می‌شود (Vernant et al., 2004a). منطقه مورد مطالعه ما به لحاظ تقسیمات زمین‌شناختی در پهنه ساختاری- رسوبی البرز واقع شده است. رشته کوه البرز با درازایی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر (Moinabadi and Yassaghi, 2007) و پهنای تقریبی ۱۰۰ کیلومتر (Allen et al., 2003) در حاشیه جنوبی دریای خزر قرار دارد. بخش مرکزی این کمربند با روند عمومی شرقی- غربی تحدب مشخصی به سمت جنوب دارد و یک هندسه V شکل را نشان می‌دهد (Stocklin, 1974a) (شکل ۱- ب). البرز را به لحاظ جغرافیایی می‌توان در طول به سه قسمت شرقی، غربی و مرکزی تقسیم نمود. هر یک از این بخش‌ها الگوی زمین‌ساختی خود را دارند (آقاناتی، ۱۳۸۵). منطقه مورد مطالعه در این پژوهش یک لوزی ساختاری با روند عمومی غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق را شامل می‌شود. این پهنه ساختاری توسط یک سامانه گسلی متشکل از دو پهنه گسلی مشا در سمت شمال شمال شرق و شمال تهران در سمت جنوب جنوب غرب احاطه شده است. این دو پهنه گسلی با خمش و تغییر روندی که در طول خود دارند، یک هندسه لوزی شکل را در شمال کلان شهرهایی همچون تهران و کرج تشکیل داده‌اند. گسل‌های پورکان- وردیج و امامزاده داوود از دیگر عناصر ساختاری مهم منطقه به شمار می‌روند که در پایانه جنوب شرقی خود به گسل شمال تهران برخورد می‌کنند (Tchalenko, 1974؛ Ber-berian and Yeats, 1999 و Allen et al., 2003).



شکل ۱- الف) ساختار ناحیه‌ای برخورد عربی- اوراسیا و موقعیت کمربند کوهزایی البرز در شمال ایران (برگرفته از رشیدی و همکاران، ۲۰۲۱)؛ ب) نقشه گسل‌های جنبای البرز و نواحی پیرامون گسل‌ها برگرفته از Hessami et al, 2003 و Sheykholeslami, et al., 2013 هستند) (با تغییرات از Rashidi, 2021).

امروزی قابل مقایسه می‌باشند (Allen et al., 2003) و (Landgraf et al., 2009) (شکل ۲). به طور محلی، این چین‌ها که از روند شمال غرب- جنوب شرق برخوردار هستند موجب باز چین خوردگی چین‌های قدیمی‌تر با راستای شمال شرق- جنوب غرب که احتمالاً در اثر کوتاه‌شدگی شمال غربی- جنوب شرقی شکل گرفته‌اند می‌شوند. این تفسیر همسو با تحلیل جنبشی گسل و جابجایی جانبی نشانگرهای زمین شناختی است (Allen et al., 2003؛ Guest et al., 2006؛ Zanchi et al., 2006؛ Landgraf et al., 2009؛ Balla- to et al., 2011) (شکل ۲). شیبراه‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق در طول حاشیه جنوبی دوپشته به گسل شمال تهران می‌پیوندند در حالی که در طول حاشیه شمالی ساختار، اتصال گسل ناقص است. نهشته‌های الیگوسن تا میوسن آغازین حوضه پیش‌بوم به طور محلی در فرادیواره راندگی امام‌زاده داوود به جای مانده‌اند و بیانگر این هستند که برخاستگی و فرسایش ورقه راندگی دوپشته به میوسن آغازین تعلق دارد (Ballato et al., 2011) (شکل ۲). گستره ساختاری مورد مطالعه در گذر زمان زمین‌شناسی توسط یک سامانه گسلی راستالغز چپ‌بر/ راست‌بر با مؤلفه‌های کوچک فشارشی و کششی احاطه شده است. این سامانه گسلی از دو پهنه گسلی مشا در شمال شرق و شمال تهران در جنوب جنوب غرب تشکیل شده است (شکل ۱- الف). بلوک ساختاری احاطه شده بین این دو پهنه گسلی از مزوزوئیک به بعد به

دهند که دگرریختی فشارشی در کوه‌های البرز به صورت دوره‌ای رخ داده است. آخرین دوره دگرریختی در ۵±۲ میلیون سال پیش در اثر سازمان‌یافتگی دوباره زمین ساختی در پهنه برخورد شکل گرفته است (West- away et al., 1994 و Allen et al., 2004). یال جنوبی البرز، جایی که روند کمربند از شرقی- غربی به شمال غرب- جنوب شرق تغییر می‌کند محل قرارگیری دوپشته (دوپلکس) ترافشارشی / تراکششی شمال تهران (Guest et al., 2006 و Landgraf et al., 2009) است (شکل ۲). این دوپشته یک کوتاه‌شدگی مایل را در طول چند راندگی با روند شمال غرب- جنوب شرق در خود جای داده است. این راندگی‌ها را می‌توان به عنوان شیبراه‌های پیشانی دوپشته در نظر گرفت. از شمال شرق به جنوب غرب این راندگی‌ها شامل قطعه مرکزی گسل مشا، گسل امام‌زاده داوود، گسل پورکان- وردیج و قطعه شمال غربی گسل شمال تهران می‌باشد (شکل ۲). دگرریختی شامل گسل‌های راستالغز چپ‌بری با راستای شرقی- غربی (شیبراه‌های جانبی) مشتمل بر گسل‌های طالقان و احتمالاً قطعه غربی گسل مشا در طول حاشیه شمالی دوپشته نیز می‌باشد. گسل شمال تهران و قطعه شرقی گسل مشا در طول حاشیه جنوبی دوپشته (شکل ۲) به این دسته از گسل‌های شرقی- غربی تعلق دارند. محور چین خوردگی‌های مزوسکوئیک و ماکروسکوئیک با روند شمال غرب- جنوب شرق نیز با شیبراه‌های پیشانی اصلی همراه هستند و با روند شمال شمال شرقی کوتاه‌شدگی

قاره‌ای فجن به سن پالئوسن و ضخامت ۳۰۰ متر پوشانده شده است. تمامی این واحدها توسط ولکانیک‌های ائوسن و کمپلکس‌های ولکانو کلاستیک سازند کرج با ضخامتی بالغ بر ۳۰۰۰ متر دنبال شده‌اند. توالی میوسن با ضخامتی تا ۲۰۰ متر از واحدهای آواری خشکی دانه ریز به همراه رسوبات تبخیری و سنگ آهک تشکیل شده است. کنگلومراهای برخاسته و دگرریخت شده قاره‌ای به سن پلیو-کواترنر به خصوص در طول بخش‌های پیشانی کمربند کوهزایی البرز مرکزی از گسترش قابل ملاحظه‌ای برخوردار هستند (Zanchi et al., 2006). در شکل (۳). واحدهای مختلف سنگ چینه‌ای منطقه همراه با ساختارهای موجود بر روی مدل ارتفاعی رقمی که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده نشان داده شده است.

#### ساختارها

#### گسل‌ها

#### گسل مشا

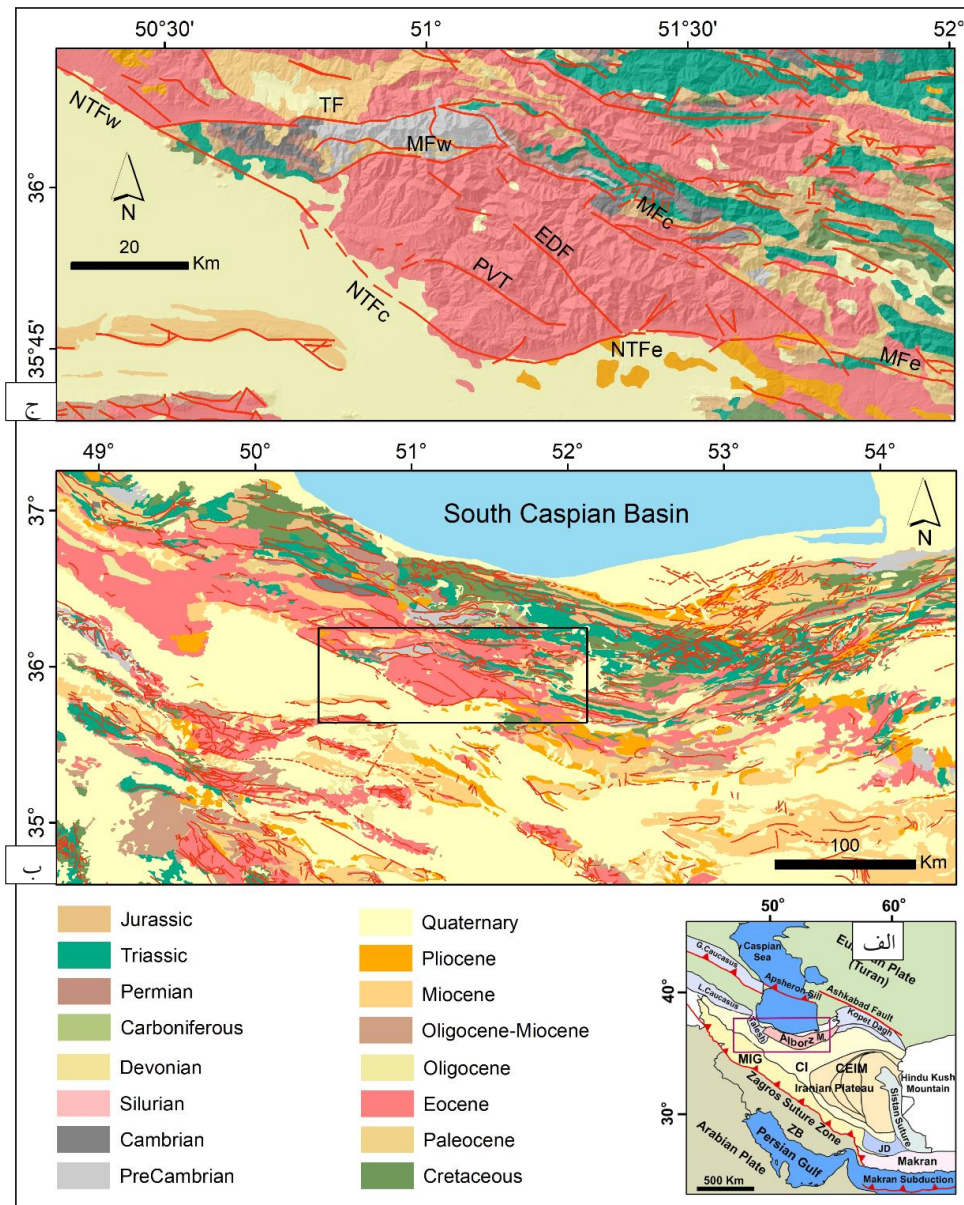
اثر سطحی سیگموئیدال گسل مشا درازایی بالغ بر ۱۷۵ کیلومتر و روندی شرقی-غربی تا غرب شمال غرب-شرق جنوب شرق با شیبی متغیر بین ۳۵ تا ۷۰ درجه به سمت شمال دارد (Allen et al., 2003 و Tchalenko, 1974). قطعه مرکزی آن با خمش دوگانه‌ای به سمت شمال غرب شناخته می‌شود و به تقریب یک سوم درازای گسل را به خود اختصاص داده است. گسل مشا از سه قطعه غربی (به تقریب در غرب طول جغرافیایی ۲۰' ۵۱° شرقی با درازای ۶۴ کیلومتر)، شرقی (در شرق طول جغرافیایی ۵۲° شرقی با درازای ۵۳ کیلومتر) و مرکزی (با درازای ۷۷ کیلومتر بین این دو) تشکیل شده است (Moinabadi and Yassaghi, 2007; Berberian and Yeats, 1999 و Tchalenko, 1974). پایانه شرقی این گسل در نزدیکی پایانه غربی گسل جنب و تراکشنی (چپ‌بر) فیروزکوه قرار دارد (Ritz et al., 2006a و Allen et al., 2003)، در حالی که پایانه غربی آن توسط نهشته‌های کواترنر پوشانده شده است. با این حال، قطعه غربی گسل مشا روندی به موازات گسل جنب و تراکشنی (چپ‌بر) طالقان دارد (Ritz et al., 2006a). آبراه‌های منحرف شده، کانال‌های جابجا شده و صفحات گسلی با خش‌لغزهای افقی در قطعه شرقی و بخش شرقی قطعه مرکزی نشان دهنده حرکت

تناوب برخاستگی و فرونشست‌های متعددی را پشت سر گذاشته است. بنابراین، در حدفاصل این دو پهنه گسلی یک گستره ساختاری تراکشنی و ترافشارشی تناوبی شکل گرفته است. به عبارت دیگر، پدیده زمین ساخت وارون رخ داده و رژیم‌های کششی و فشارشی به تناوب جای یکدیگر را گرفته‌اند. این گستره ساختاری از سوی برخی پژوهشگران تحت عنوان پهنه تراکشنی / ترافشارشی شمال تهران نامیده می‌شود.

#### چینه‌نگاری زمین‌ساختی

توالی چینه‌نگاری البرز مرکزی بازه زمانی گسترده‌ای که تمامی فانروزوئیک و ضخامتی بین ۱۱ تا ۱۳ کیلومتر می‌باشد را در بر می‌گیرد (Zanchi et al., 2006). آواری‌های سازند کهر متعلق به پروتروزوئیک بالایی قدیمی‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه هستند (شکل ۳) (Allen et al., 2003; Berberian, 1989 و Sheykholeslami, 2018). توالی پرکامبرین و کامبرین (با ضخامت ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر) متشکل از ماسه سنگ‌ها و دول استون‌های ساحلی همراه با نهشته‌های قاره‌ای در ابتدای کامبرین می‌باشد. اردوویسین و سیلورین به شکل ضعیفی گسترش یافته در حالی که توالی دونین-تریاس میانی به خوبی (۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) توسعه یافته است و عمدتاً شامل تناوب کربنات‌های دریای کم عمق و جریان گدازه‌ای بازالتی می‌باشد و با رسوب‌گذاری گسترده سکوی کربناته در تریاس (سازند الیکا) دنبال می‌شود. پرکامبرین پایانی تا تریاس میانی همراه با ناپیوستگی توسط سازند شمشک با ضخامتی تا حدود ۴۰۰۰ متر پوشانیده شده است. این توالی بعد از الحاق ریزصفحه ایران به حاشیه اوراسیا به جای گذاشته شده است. سازند شمشک شامل ماسه‌سنگ‌های قاره‌ای، شیل و ذغال است و به طرف بالا با نهشته‌های دریای کم عمق حاصل از کوهزایی ائوسیمین پوشانده می‌شود. ناپیوستگی ائو-سیمین در منطقه شمشک به طرزی خاص نمایان و آشکار است جایی که طبقات قائده‌ای سازند به طور مستقیم بر روی واحدهای پر-مو-کربونفر قرار گرفته‌اند. توالی کربناته دریای کم عمق به سن ژوراسیک بالایی-کرتاسه با ضخامت ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر به طرزی نامنظم حفظ و به طور موضعی دچار چین خوردگی شده‌اند (Guest et al., 2006). این توالی با ناپیوستگی توسط کنگلومرای





شکل ۲- الف) پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران (با تغییرات از رشیدی، ۲۰۲۱). کادر ازغوانی موقعیت شکل (۲-ب) را نشان می‌دهد. ب) نقشه زمین‌شناسی کوه‌های البرز. مستطیل سیاه موقعیت شکل (۲-ج) را نشان می‌دهد. ج) نقشه زمین‌شناسی پهنه ساختاری شمال تهران که بر روی مدل ارتفاعی رقومی که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده پیاده شده است. خطوط قرمز اثر سطحی گسل‌ها را نشان می‌دهد. اختصارات: MF: گسل مشا (w: قطعه غربی، c: قطعه مرکزی و e: قطعه شرقی)، TF: گسل طالقان، NTF: گسل شمال تهران، EDF: گسل امامزاده داوود و PVT: راندگی پورکان- وردیج.

راستالغز را در قطعه شرقی و میزان مشابهی از حرکت راستالغز و معکوس را در قطعه مرکزی نشان می‌دهد. با وجود این مشاهدات، چین‌هایی با روند شرقی- غربی که توسط گسل مشا بریده شده‌اند نشان‌دهنده یک رژیم تراکشنی راست‌برقدیمی‌تر هستند که با یک گسلش راستالغز چپ‌بر جایگزین شده است. این مشاهدات اهمیت گسل مشا به عنوان یک ساختار قدیمی که کوتاه شدگی ناشی از تغییر رژیم تنش طی

چپ‌بر هستند (Allen et al., 2003 و Ritz et al., 2006a). علاوه بر این، گسل‌هایی با سازوکار معکوس و راندگی نیز مشاهده می‌شوند که با عملکرد خود واحدهای سنگ-چینه‌ای کامبرین و ائوسن یا میوسن را در کنار هم قرار داده‌اند. کوتاه‌شدگی ابتدایی گسل مشا چیزی حدود ۴ کیلومتر برآورد شده است (Steiger, 1966). تحلیل خش‌لغزهای صفحه گسل توسط باکمانوف و همکاران (Bachmanov et al., 2004) سازوکار غالب

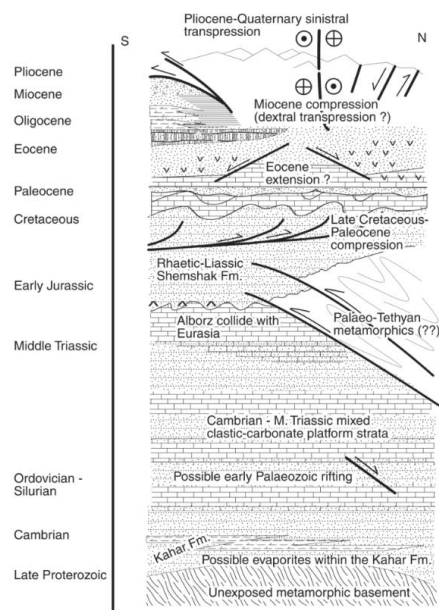
لغز را در طول قطعه غربی گسل پیشنهاد داده اند. چندین زمین‌لرزه ویرانگر در منطقه مورد مطالعه روی داده است که به لغزش قطعه‌های مختلف گسل مشا و احتمالاً جنبش گسل‌های پنهان در پیش بوم نسبت داده می‌شوند (Ambraseys and Melville, 1974؛ Ambraseys, 1974؛ De Martini et al., 1998؛ Berberian, 1983؛ ville, 1982؛ Berberian and Yeats, 1999؛ Berberian and Yeats, 1999). بزرگ‌ترین و ویرانگرترین این زمین‌لرزه‌ها در سال‌های ۱۹۵۸، ۱۶۶۵، ۱۸۳۰ و ۱۹۳۰ میلادی رخ داده‌اند.



شکل ۴- یک از صفحات گسل مشا در منطقه مورد مطالعه. در این منطقه سازند کرج بر روی واحدهای سنگ-چینه‌ای نئوژن رانده شده است (Allen et al., 2003).

### گسل شمال تهران

از گسل شمال تهران به عنوان یک گسل مرزی که از شمال غرب قزوین در غرب تا نیکنم ده در شرق گسترش دارد و واحدهای سنگ-چینه‌ای اتوسن البرز (سازند کرج) را بر روی نهشته‌های نئوژن و کواترنری فروبار تهران رانده است یاد می‌شود (Tchalenko, 1974؛ Berberian, 1983 و Allen et al., 2003) (شکل ۵). این گسل بیش از ۱۶۰ کیلومتر درازا دارد، از روندی شرقی-غربی تا شرق شمال شرق-غرب جنوب غرب در بخش شرقی و شمال شرقی و شمال غرب-جنوب شرق در بخش شمال غربی برخوردار است. گسل شمال تهران گسلی است با سازوکار کج لغز (معکوس یا رانده با مؤلفه چپ‌بر) (Alavi, 1996). در شمال شهر تهران چین‌ها و گسل‌هایی با روند شمال غرب-جنوب شرق ساختارهای قدیمی‌تر با روند شرقی-غربی و شمال شمال شرق-جنوب جنوب غرب را منحرف و جابجا کرده‌اند و گمان می‌رود که این رویداد، حاصل یک حرکت راست‌بر قدیمی در طول گسل شمال تهران باشد (Allen et al., 2003). پهنه گسلی شمال تهران



شکل ۳- ستون چینه‌نگاری زمین‌ساختی البرز (Guest et al., 2006)

همگرایی صفحات عربی و اوراسیا را در خود جای داده است نشان می‌دهند. آلن و همکاران (Allen et al., 2003)، یک جابجایی چپ‌بر حداکثر ۳۵ کیلومتری را بر اساس چینه‌های پالئوزوئیک پایینی در قطعه شرقی و بخش شرقی قطعه مرکزی محاسبه کرده‌اند با فرض اینکه شروع حرکت چپ‌بر ۵ میلیون سال پیش بوده است. این مدت زمان حاکی از نرخ لغزشی تا ۷ میلی‌متر در سال است. اما، ریتز و همکاران (Ritz et al., 2006a)، نرخ لغزش چپ‌بر  $2 \pm 0.1$  میلی‌متر در سال با یک مؤلفه نرمال ناچیز را محاسبه کرده‌اند. این سازوکار تراکشنی با ریزلرزه‌های رخ داده در طول قطعه شرقی گسل مشا همخوانی دارد و نشان می‌دهد که گسلش راست‌لغز چپ‌بر با یک مؤلفه نرمال همراه بوده است (Ritz et al., 2006a). در مورد قطعه غربی گسل مشا داده‌های کمی در اختیار است، اما نشانگرهای جنبشی از یک گسلش شیب لغز معکوس تا کج لغز (معکوس با مؤلفه چپ‌بر) در نزدیکی پایانه غربی و حرکتی مشابه در نزدیکی مرز قطعه شرقی حکایت دارند (Guest et al., 2006). علاوه بر این، گسست و همکاران (Guest et al., 2006)، یک سری گسل‌های فرعی همسوار با سازوکار کج لغز (معکوس و راست‌بر) در فرادیواره گسل مشا پیدا کرده‌اند. اما بر اساس چین‌های همزمان با جنبش، بر گوارگی‌ها و فابریک‌های S-C، Moinabadi and Yassaghi (2007) گسلش غالب شیب



سمت شرق دارد شناخته می‌شود. این قطعه به نوبه خود به چند گسل با آرایش پلکانی تقسیم می‌شود (Tchalenko, 1974). اما بخش شرقی قطعه مرکزی (بین طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ} 28'$  و  $51^{\circ} 34'$  شرقی) با پهنه گسترده‌ای از راندگی‌ها شناخته می‌شود (Tchalenko, 1974). احتمالاً در شرق لشکرک پایانه شرقی گسل مشا می‌پیوندند (Allen et al., 2003)؛ Bach- manov et al, 2004 و Tchalenko, 1974). این منطقه به شدت چین خورده است هر چند در مقایسه با نواحی پیرامون از توپوگرافی ملایم تری است. در این قسمت از منطقه مطالعاتی، گسل شمال تهران با روند شرقی-غربی موازی دیگر راندگی‌ها و چین خوردگی‌هایی است که به گسل مشا می‌پیوندند یا توسط آن بریده می‌شوند. گسل‌ها و چین خوردگی‌های کوهپایه‌ای در جنوب گسل شمال تهران از انتقال دگرریختی به سمت پیش‌بوم حکایت دارند. دگرریختی ناحیه کوهپایه شامل چهار تاقدیس به نسبت موازی با روند شرقی-غربی است که در برگیرنده سازند A بوده و با ناپیوستگی توسط نهشته‌های به تقریب افقی سازند B پوشانده شده است (Engalenc, 1968).

شامل چندین قطعه گسلی به تقریب موازی با آرایش پلکانی راست پله است. پژوهشگرانی چون چالانکو (Tchalenko, 1974)، بربریان و بیتس (Berberi- 1999) (Allen et al., 2003) و آلن و همکاران (an and Yeats) راندگی‌های پورکان-وردیج و امامزاده داوود با روند شمال غرب-جنوب شرق که در پایانه جنوب شرقی خود به گسل شمال تهران می‌پیوندند را نیز بخشی از این پهنه گسلی در نظر گرفته‌اند. قطعه غربی (غرب طول جغرافیایی  $51^{\circ} 15'$  شرقی) از یک هندسه تخت-شیرازه تشکیل شده است و یال‌های یک تاقدیس فرودیواره‌ای را در کناره رودخانه کن دنبال می‌کند. در فاصله دو کیلومتری این موقعیت، اثر سطحی گسل ناپیوسته می‌شود و به طور محلی با راندگی‌هایی با روند شمال شرق-جنوب غرب یا شرقی-غربی همراه می‌شود (Tchalenko, 1974). به طور محلی، نهشته‌های پرشیب و به تقریب قائم پلیو-پلیوستوسن در مرز گسل در کنار توف‌های افقی تا کم شیب ائوسن قرار می‌گیرند. بخش غربی قطعه مرکزی (بین طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ} 15'$  و  $51^{\circ} 28'$  شرقی) با راندگی و گسلش معکوسی که شیب فزاینده‌ای به



شکل ۵- الف) اثر سطحی گسل شمال تهران بر روی عکس هوایی متعلق به سال ۱۹۵۵. پیکان‌های توخالی روند عمومی گسل را نشان می‌دهند. ب) ساخت و ساز ساختمان‌ها بر روی پهنه گسلی شمال تهران در پایه جنوبی کوه‌های البرز (فروبار تهران).



شکل ۶- رخنمونی از گسل پورکان-وردیج که موجب راندگی واحدهای آذرآواری قدیمی تر سازند کرج بر روی واحدهای جوان تر آن شده است.

### گسل پورکان-وردیج

مطالعات گذشته بیانگر این هستند که گسل پورکان-وردیج یک گسل با سازوکار راندگی است. اما پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند این سیمای ساختاری، یک گسل راندگی قدیمی است که تا حدی مؤلفه راست‌الغز راست‌بر دارد و بر روی نهشته‌های کواترنری دشت تهران تأثیری نگذاشته است (شکل ۶). شایان ذکر است که مطالعه این گسل تاکنون به شکلی

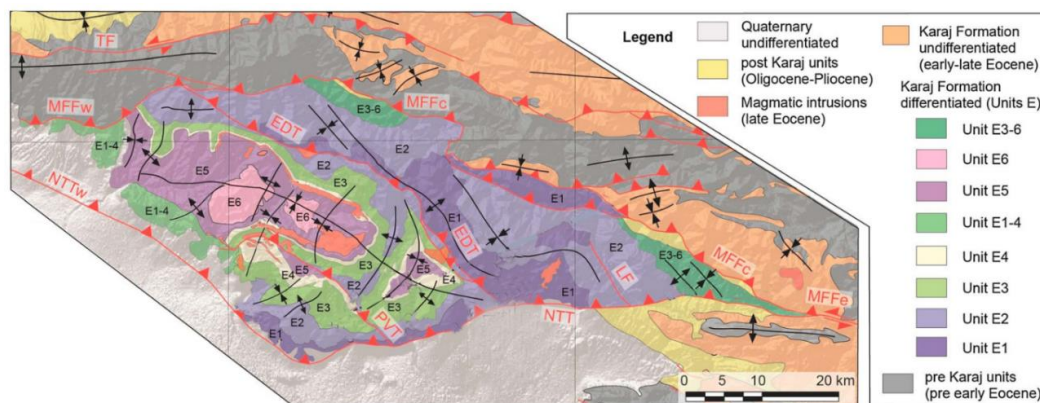


واقع شده است (Landgraf et al., 2009) (شکل ۷). این گسل واحد  $E_1^{tsv}$  سازند کرج (واحد قدیمی‌تر) را در کنار واحد  $E_2^t$  این سازند (واحد جوان‌تر) قرار داده است و در پایانه جنوب شرقی خود در حوالی منطقه ولنجک به گسل شمال تهران می‌پیوندد (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ مرزن‌آباد).

جدی صورت نگرفته است، از این رو سازوکار گسل و تاریخچه لرزه‌ای آن اساساً مشخص نیست. (مجتبایی و همکاران، ۱۳۹۱).

### گسل امامزاده داوود

گسل معکوس امامزاده داوود با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق و شیب ۷۰ درجه‌ای به سمت شمال شرق در مرکز لوزی ساختاری شمال تهران



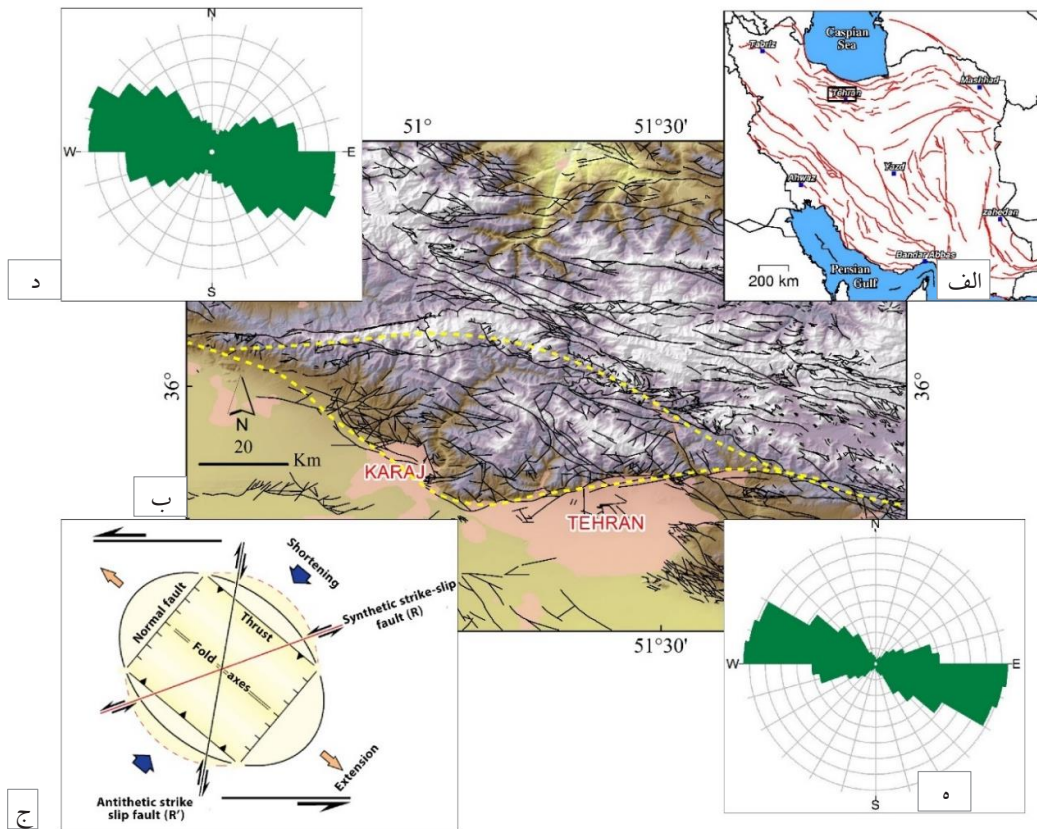
شکل ۷- نمایش عناصر ساختاری اصلی بر روی نقشه زمین‌شناسی پهنه ساختاری شمال تهران (سامانه گسلی مشا- شمال تهران) که بر روی مدل ارتفاعی رقومی که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده پیاده شده است. اختصارات: MF: گسل مشا (w: قطعه غربی، c: قطعه مرکزی و e: قطعه شرقی)، TF: گسل طالقان، NTT: راندگی شمال تهران (w: قطعه غربی)، EDT: راندگی امام زاده داوود، PVT: راندگی پورکان- وردیج و LF: گسل لشکرک (با تغییرات از Landgraf et al., 2009).

غرب سد امیرکبیر که یکی دیگر از چین‌های بزرگ منطقه است، کوه کهر، کوه سورمه و همچنین ناودیس‌های ارانگه، توچال، سیاه‌چال، و تشار و کند پایین از دیگر چین‌های مهم منطقه قلمداد می‌شوند. (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰). تمامی این ساختارها از روند شمال غرب- جنوب شرق برخوردار هستند. نقشه چین‌های منطقه در شکل (۹-ب) ارائه شده است. بیشتر این چین‌ها روند غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق دارند (شکل ۹-د). بزرگ‌ترین چین‌ها نیز در همین راستا شکل گرفته‌اند (شکل ۹-ه). چین‌هایی با آرایش پلکانی که همراه با سامانه گسلی بُرشی هستند عموماً غیراستوانه‌ای، دو بر مایل، به نسبت کوتاه، با صفحه محوری پرشیب می‌باشند (شکل ۹-ج). بر اساس الگوی هندسی ساختارهای موجود در یک پهنه بُرشی چپ‌بر، انتظار می‌رود که بیشتر چین‌های منطقه همچون راندگی‌ها در راستای غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق تا شمال غرب- جنوب شرق تشکیل شده باشند. شکل (۹) تأییدکننده این موضوع است.

نقشه گسل‌های منطقه در شکل (۸-ب) نمایش داده شده است. اغلب این گسل‌ها در راستای غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق آرایش یافته‌اند (شکل ۸-د). درازترین گسل‌ها نیز در همین راستا شکل گرفته‌اند (شکل ۸-ه). نمودار شماتیک (شکل ۸-ج) نشان‌دهنده یک پهنه بُرشی چپ‌بر و هندسه ساختارهای شکل گرفته در آن است. بر این اساس، انتظار می‌رود که بیشتر گسل‌های معکوس و محور چین‌خوردگی‌ها در راستای غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق تا شمال غرب- جنوب شرق شکل بگیرند.

### چین‌ها

چنانچه در شکل (۹-ب، د و ه) مشاهده می‌شود روند غالب چین‌های منطقه شمال غرب- جنوب شرق است. بزرگ‌ترین و مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: تاقدیس واریش- سنگان با خمش طولی ۷ شکل و تحدب به سمت شرق یکی از بزرگ‌ترین چین‌های موجود در منطقه مطالعاتی است. تاقدیس‌های خورتوتک با مایل به سمت جنوب شرق، کوه مورود، امیرکبیر در

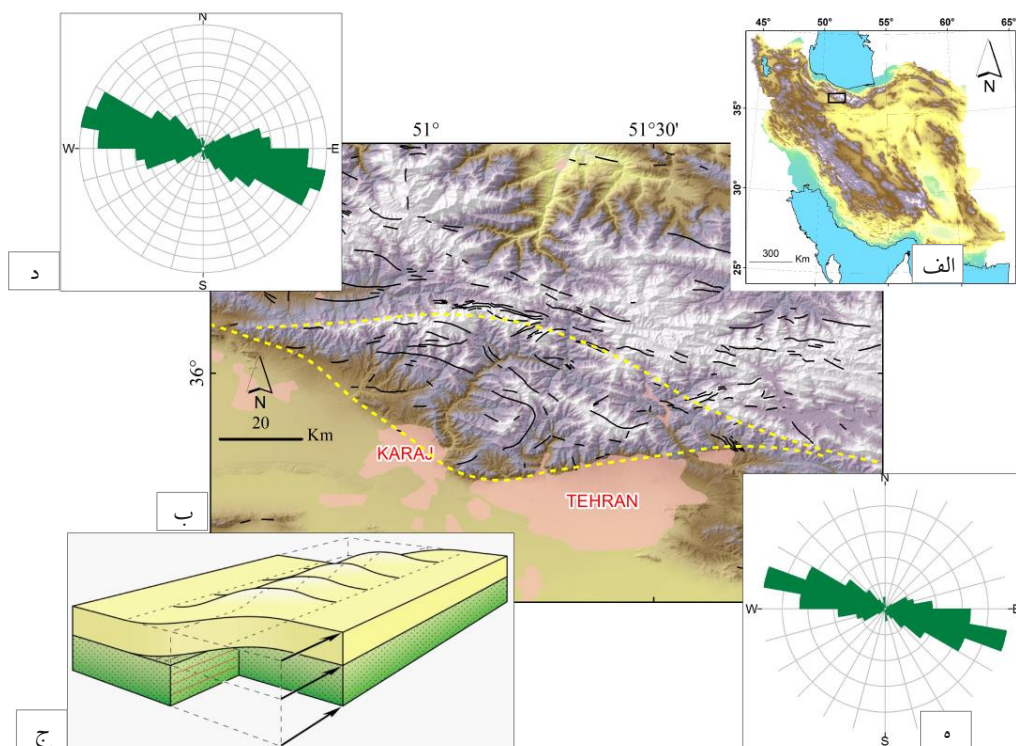


شکل ۸- الف) گسل های جنوبی ایران. ب) گسل های احاطه کننده پهنه ساختاری لوزی شکل شمال تهران (خط چین زرد) به همراه دیگر گسل ها (خطوط سیاه نازک) بر روی مدل ارتفاعی رقومی که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده به نمایش در آمده است. چند ضلعی های صورتی مراکز جمعیتی بزرگی همچون شهرهای تهران و کرج را نشان می دهند. گسل های مشا و شمال تهران به ترتیب مرزهای شمالی و جنوبی گستره ساختاری مورد مطالعه را تشکیل می دهند. گسل ها از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ استخراج شده اند. ج) نموداری شماتیک که پهنه برشی چپ بر و هندسه ساختارهای حاصل از آن را نشان می دهد. د و ه) نمودارهای گل سرخی مربوط به گسل های منطقه که به ترتیب بر اساس فراوانی و درازا ترسیم شده اند (تعداد داده ها: ۲۲۰۹). بیشتر گسل ها روندی شمال غرب- جنوب شرق و موازی با گسل های معکوس اصلی دارند و سازوکار راستانز چپ بر را برای سامانه گسلی مشا- شمال تهران نشان می دهند.

گسل مشا- قطعه شرقی گسل شمال تهران به عنوان گسل اصلی ۲) موقعیت پیوستگاه سه گانه ۳) دوپشته ترافشارشی. بالاتو و همکاران (Ballato et al., 2013) هم به بررسی دگرریختی در مقیاس البرز پرداخته و آن را یک دوپشته ترافشارشی در نظر گرفته اند. حسامی (Hessami, 2021) که البرز را در طول، به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم کرده است نیز بر این باور است که بررسی و ارزیابی کینماتیک گسل ها در کوه های البرز غربی، به دلیل وجود گسل های چپ بری که به موازات رشته کوه هستند، همچنین به دلیل وجود یک سری پهنه های طولی از راندگی ها، بسیار پیچیده است. با این حال، وی معتقد است یک زمین ساخت وارون چندگانه در البرز غربی- مرکزی رخ داده است.

## الگوی دگرریختی

بسیاری از زمین شناسان و دانشمندان علوم زمین تمامی پهنای البرز اعم از دامنه های شمالی و جنوبی آن مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده اند و برای آن مدل تکوینی و الگوی ساختاری ارائه داده اند. به عنوان مثال مدل ارائه شده توسط آلن و همکاران (Allen et al., 2003) تمامی پهنای البرز یا حداقل قسمت میانی آن را یک گل ساخت مثبت در نظر گرفته اند. پژوهشگران گوناگونی نیز به این مدل استناد کرده و از وجود گل ساخت مذکور در پهنای البرز صحبت کرده اند. در این بین لندگراف و همکاران (Landgraf et al., 2009) به بررسی پهنه لوزی شکل یاد شده در پژوهش حاضر پرداخته و برای آن سه سناریوی گوناگون در نظر گرفته اند: ۱) قطعه شرقی



شکل ۹- نقشه توپوگرافی ایران که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده است. (ب) گسل‌های احاطه‌کننده پهنه ساختاری لوزی شکل شمال تهران (خط چین زرد) به همراه محور چین خوردگی‌ها (خطوط سیاه نازک) بر روی مدل ارتفاعی رقمی که بر پایه تصاویر SRTM تهیه شده به نمایش درآمده است. چند ضلعی‌های صورتی مراکز جمعیتی بزرگی همچون شهرهای تهران و کرج را نشان می‌دهند. گسل‌های مشا و شمال تهران به ترتیب مرزهای شمالی و جنوبی گستره ساختاری مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. محور چین‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ استخراج شده‌اند. (ج) چین‌های پلکانی که همراه با سامانه گسلی برشی هستند غالباً غیر استوانه‌ای، دو بر مایل، به نسبت کوتاه بوده و صفحه محوری پرشیبی دارند. (د و ه) نمودارهای گل‌سرخ مربوط به محور چین‌های منطقه که به ترتیب بر اساس فراوانی و درازا ترسیم شده‌اند (تعداد داده‌ها: ۲۵۴). بیشتر چین‌ها روندی شمال غرب- جنوب شرق و موازی با گسل‌های معکوس اصلی دارند و سازوکار راستالغز چپ بر آن‌ها برای سامانه گسلی مشا- شمال تهران نشان می‌دهند.

لوزی شکل شمال تهران و نواحی پیرامون آن پرداخته، تا حد امکان ابهامات موجود را برطرف کرده و به یک نظریه واحد دست یابیم. چنانچه پیش از این مطرح شد در مدل ارائه شده توسط بالاتو و همکاران (Ballato et al., 2013) همچنین یکی از سناریوهای مطرح شده توسط لندگراف و همکاران (Landgraf et al., 2009) نیز این منطقه ساختاری، به عنوان یک دوپشته در نظر گرفته شده است. ایشان قطعه مرکزی گسل مشا، گسل امامزاده داوود، راندگی پورکان- وردیج و قسمت مرکزی گسل شمال تهران که همگی دارای روندی شمال غرب- جنوب شرق هستند را به عنوان شیپراه‌های پیشانی و قطعه شرقی گسل شمال تهران و قطعه غربی گسل مشا که هر دو از روندی تقریباً شرقی- غربی برخوردار هستند را به عنوان شیپراه‌های جانبی در نظر گرفته‌اند. نامبردگان سامانه گسلی مشا-

بر اساس این مدل پیشنهادی که یک گل‌ساخت است، گستره یاد شده در گذر زمان زمین‌شناسی رژیم‌های زمین‌ساختی گوناگونی را تجربه کرده و این تغییر در جهت‌گیری میدان تنش به نوبه خود منجر به شکل‌گیری ساختارهایی جدید با هندسه و سازوکاری متفاوت شده است. تغییر رژیم زمین‌ساختی خود متأثر از پیکربندی دوباره حرکات زمین‌ساختی (Allen et al., 2003) و حرکت به سمت شمال غرب حوضه خزر جنوبی نسبت به اوراسیا (به طور مثال Jackson et al., 2002, Ritz et al., 2006, Djamour et al., 2010) می‌باشد. در نتیجه در یک بازه زمانی پهنه‌ای که تحت رژیم فشارشی/ ترافشارشی بوده است در زمانی دیگر متأثر از رژیمی کششی/ تراکششی شده و هندسه و سازوکاری متفاوت را به خود دیده است. این نظریه‌ها و مدل‌های متنوع، ما را بر آن داشت تا به مطالعه پهنه



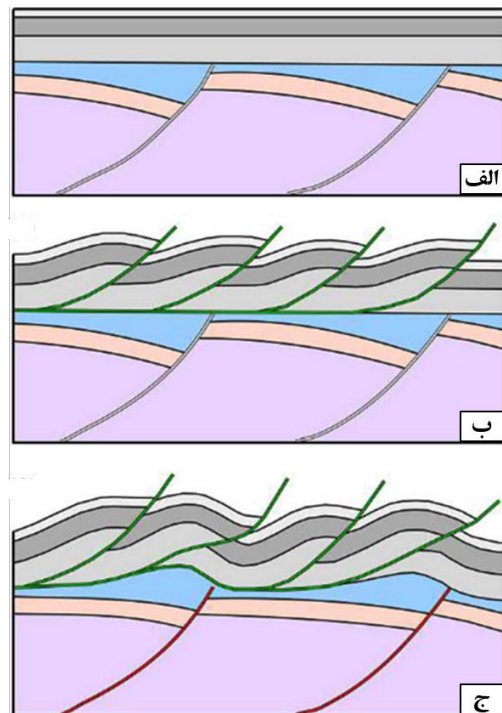
موجب دگرریختی ساختارهای نازک پوست موجود در پوشش رسوبی بالایی خود نیز شده اند. در شکل های (۱۱) و (۱۲) نمونه هایی از ساختارهای متأثر از عملکرد رژیم زمین ساختی حاکم بر منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

لازم به ذکر است، چنانچه گسل های احاطه کننده دوپشته / ساختار پولکی شیب همگرا (شیب به سمت هم) می داشتند (یعنی آن چیزی که در هندسه گل ساخت ها معمول است) باعث شکل گیری گل ساخت مثبت می شدند. اما از آنجا که گسل مشا نیز همچون گسل های امام زاده داود، پورکان- وردیج و شمال تهران دارای شیب به سمت شمال شرق می باشد ساختار حاصله، هندسه یک نیم گل ساخت مثبت را نشان خواهد داد (شکل های ۱۳ و ۱۴). این اولین بار است که در یک متن علمی از چنین اصطلاحی استفاده می شود. خاطر نشان می شود در این مدل، گسل های پورکان- وردیج و امام زاده داود به عنوان شکستگی های از پیش موجود که در یک پهنه بُرشی شکل گرفته اند روندی تقریباً غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق داشته اند که در اثر حرکت به سمت شمال غرب حوضه خزر جنوبی در سنوزوئیک (Djamour et al., 2010) دچار چرخش بلوکی ساعتگرد شده و روند کنونی یعنی شمال غرب- جنوب شرق را به خود گرفته اند (Hessami, 2021).

### نتیجه گیری

در مطالعات گوناگونی که توسط دانشمندان علوم زمین بر روی سامانه گسلی مشا- شمال تهران صورت گرفته است، برای این گستره ساختاری الگوهای هندسی و تکوینی مختلفی در نظر گرفته شده است. پهنه پولکی، پهنه ترفشارشی / تراکششی و گل ساخت مثبت / منفی از جمله الگوهایی است که برای گستره ساختاری شمال تهران ارائه شده است. شاید بتوان گفت در بین الگوهای ارائه شده، یکی از نزدیک ترین مدل ها به الگوی در نظر گرفته شده در این پژوهش، الگویی باشد که توسط حسامی (Hessami, 2021) مطرح شده و در آن لوزی های ساختاری موجود در البرز غربی- مرکزی به عنوان گل ساخت های متناوبی از ترفشارش و تراکشش در طول زمان زمین شناسی در نظر گرفته شده است. اما این گل ساخت ها زمانی قابل ارائه هستند که شیب قطعه مرکزی گسل مشا به سمت جنوب غرب و شیب قطعه

شمال تهران را یک دوپشته ترفشارشی دانسته اند که در آن بلوک های احاطه شده توسط گسل های پیشانی به صورت اسب به روی هم رانده شده و راندگی سقف در این الگوی ساختاری در اثر فرسایش از بین رفته و دوپشته ترفشارشی مزبور به صورت پهنه فلسی / پولکی / شوپن نمود یافته است. الگوی دگرریختی منطقه مورد مطالعه را می توان مشابه به آن چیزی دانست که در شکل (۱۰) به نمایش در آمده است. به عبارتی در ابتدا شاهد شکل گیری نیم گرابن های کششی در بلوک های پی سنگی بوده ایم که خود ناشی از حرکت گسل های بنیادین کنترل کننده حوضه می باشد. پس از آن در اثر ادامه همگرایی صفحات زمین ساختی و اعمال فشارش، شاهد راندگی های نازک پوست در پوشش رسوبی بالایی هستیم. در ادامه و در اثر تداوم فاز فشارشی گسل های پی سنگی نیز دچار وارونگی گشته و علاوه بر جابجایی راندگی،

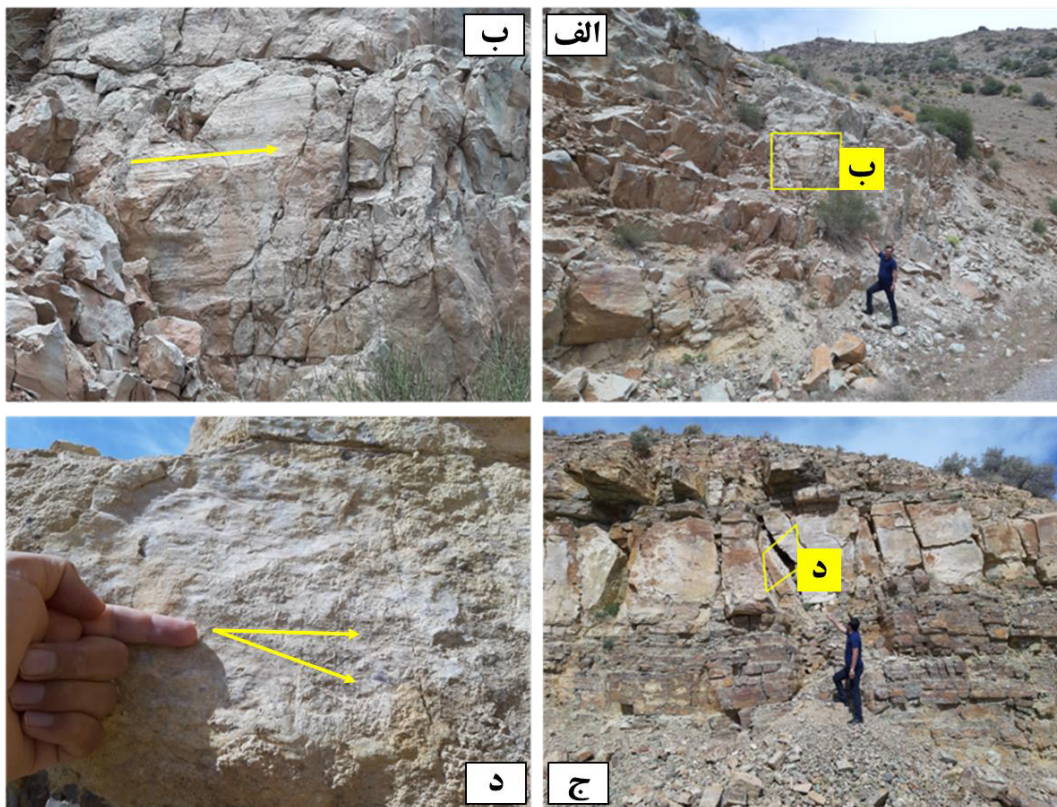


شکل ۱۰- مدل هندسی دگرریختی نازک پوست در یک کمربند چین خورده- رانده که شامل نیم گرابن هایی کششی در زیر سطح جدایش نازک پوست است و دچار وارونگی می شوند. الف) هندسه پیش از فشارش ب) راندگی نازک پوست که بالای سطح جدایش شکل گرفته است ج) وارونگی ستبر پوست نیم گرابن های شکل گرفته در زیر سطح جدایش که ساختارهای نازک پوست را نیز دگرریخت کرده است (Scarselli et al., 2020).



شمال شرق قطعه‌های مرکزی گسل مشا، امام‌زاده داود، پورکان-وردیج و قطعه مرکزی گسل شمال تهران، امکان ارائه مدل گل ساخت کامل برای گستره ساختاری مشا-شمال تهران منتفی به نظر می‌رسد.

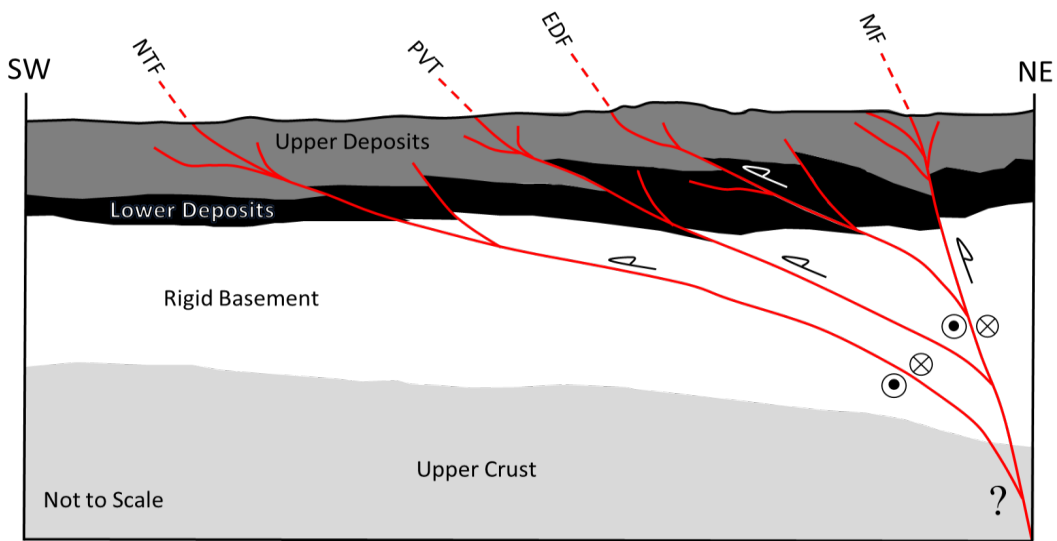
مرکزی گسل شمال تهران به سمت شمال شرق باشد. اما همانطور که می‌دانیم شیب گسل مشا همواره به سمت شمال شرق است (Ritz و Tatar et al., 2012 and Nazari, 2006). بنابراین با توجه به شیب به سمت



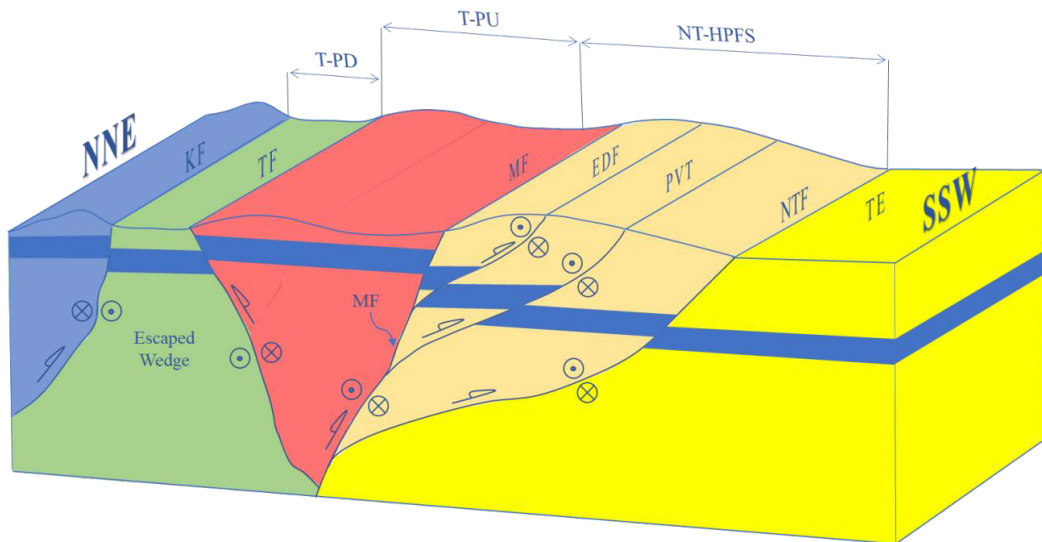
شکل ۱۱- الف) نمونه‌ای از سازوکار راستالغز برای گسل‌های مشاهده شده در منطقه مطالعاتی. ب) نمای نزدیک از خش لغزهای صفحه گسل نشان داده شده در شکل (۱۱-الف). ج) نمونه‌ای از بازفعالیت یک گسل با سازوکاری جدید و متفاوت. حرکت اول معکوس / فشارشی است و د) حرکت بعدی گسل به صورت راستالغز است و خش لغزهای حاصل از آن بر روی خش لغزهای نسل اول سوار شده‌اند.



شکل ۱۲- شکل‌گیری سیمای ساختاری فشارشی که ناشی از اعمال رژیم ترا فشارشی در منطقه است. الف و ب) تشکیل چین‌های شاخص در واحدهای سنگی ائوسن. ج) روراندگی بین واحدهای گوناگون پالئوژن و د) یک چین مرتبط با گسل که در توف‌های سازند کرج تشکیل شده است.



شکل ۱۳- مدل ساختاری دو بعدی پهنه لوزی شکل شمال تهران که هندسه یک نیم گل ساخت مثبت را نشان می دهد. اختصارات: NTF: گسل شمال تهران، PVT: راندگی پورکان- وردیج، EDF: گسل امامزاده داود، MF: گسل مشا.



شکل ۱۴- مدل سه بعدی نیم گل ساخت مثبت شمال تهران. اختصارات: KF: گسل کندوان، TF: گسل طالقان، MF: گسل مشا، EDF: گسل امامزاده داود، PVT: راندگی پورکان- وردیج، NTF: گسل شمال تهران، TE: فروبار تهران، T-PD: فروجستگی طالقان، T-PU: فراجستگی طالقان، NT-HPFS: نیم گل ساخت مثبت شمال تهران.

به سمت دیگر آن از شیب و مؤلفه راستالغز گسلها کاسته شده و مؤلفه راندگی آنها قوت می گیرد. در نیم گل ساخت شمال تهران نیز از شمال شرق به سمت جنوب غرب، به تدریج از شیب شیبراهه های پیشانی کاسته می شود. اثبات روند کاهش مؤلفه راستالغز و افزایش پیشرونده مؤلفه فشارشی این گسلها در جهت یاد شده، علاوه بر شواهد هندسی نیاز به داده های حرکتی و جنبشی بیشتری دارد که می بایست در

در مطالعه حاضر، با در نظر گرفتن هندسه واقعی قطعه مرکزی گسل مشا، هندسه متناوب نیم گل ساخت مثبت و منفی برای پهنه لوزی شکل شمال تهران که یکی از لوزی های موجود در قسمت های مرکزی و غربی البرز می باشد در نظر گرفته شده است. این اولین بار است که از چنین اصطلاحی استفاده می شود. در مدل نیم گل ساخت، تمامی گسلها دارای شیب به یک سمت (شیب همسو) بوده و به تدریج از یک سمت ساختار

oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *J. Struct. Geol.* 25, 659–672.

Ambraseys, N.N., 1974. Historical seismicity of north-central Iran, Material for the Study of Seismotectonics of Iran: North-central Iran, Geological Survey of Iran, Report 29, 47–96.

Ambraseys, N.N., and Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes: Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Axen, G. J., Lam, P. J., Grove, M., Stockli, D. F. and Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the west-central Alborz mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics, *Geology* 29, 559–562.

Bachmanov, et al., D.M., 2004. Active faults in the Zagros and central Iran, *Tectonophysics* 380, 221–241.

Ballato, P., Uba, C.E., Landgraf, A. Strecker, M.R. Sudo, M. Stockli, D.F., Friedrich, A. and Tabatabaei, S.H., 2011. Arabia-Eurasia continental collision: insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz mountains, northern Iran, *Geol. Soc. Am. Bull.* 123, 106–131.

Ballato, P., Nowaczyk, N.R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Friedrich, A. and Tabatabaei S.H., 2008. Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran, *Tectonics* 27, 1–20.

Ballato, P., Stockli, D.F., Ghassemi, M.R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Hassanzadeh, J., Friedrich, A., and Tabatabaei, S.H., 2013. Accommodation of transpressional strain in the Arabia-Eurasia collision zone: New constraints from (U-Th)/He thermochronology in the Alborz Mountains, north Iran: *Tectonics* 32, 1–18.

Berberian, M., 1983. Continental deformation in the

مطالعات تکمیلی مد نظر قرار گیرد.

### سپاسگزاری

پژوهش فوق بخشی از رساله دکتری نویسنده اول می باشد. در اینجا نویسندگان بر خود لازم می دانند زحمات سردبیر محترم و همکارانش در فصلنامه و همچنین از داوران محترم که با حسن دقت و نظر به مطالعه و ارزیابی نسخه پیش نویس این مقاله پرداخته و کاستی ها و ایرادات موجود را متذکر شده اند صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

### منابع

- آقائباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۲ صفحه.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ بلده.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تهران.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۵۶. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاکران.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۶. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شرق تهران.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ مرزن آباد.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۴. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ هشتگرد.
- مجتبایی، ش.، الماسیان، م. و عباسی، م. ر.، ۱۳۹۱. تحلیل ساختاری سامانه گسل پورکان - وردیج در منطقه البرز مرکزی، نشریه زمین، دوره ۷، شماره ۲۳، صفحات ۱۵۵ تا ۱۶۹.

### References

- Alavi, M. 1996. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountains system in northern Iran: *Journal of Geodynamics* 21, 1, 1–33.
- Allen, M., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic



- Alborz mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, *Geosphere* 2, 35–52.
- Hessami, K., 2021. Polyphase inversion tectonics in western Alborz mountains, Northern Iran, *Iranian Journal of Geophysics*, 79– 88.
- Hessami, K., Mobayyen, F., Tabassi, H., 2003. The map of active faults of Iran, International institute of earthquake engineering and seismology Tehran.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G. J., Gillis, R. J., Gueřt, B., Amini, A., Fakhari, M. D., Zamanzadeh, S. M. and Grove, M., 2008. Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: implications for chronostratigraphy and collision tectonics, *Tectonophysics* 451, 97–122.
- Jackson, J., Priestly, K., Allen, M. B. and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophys J Int.* 190, 1311–1324.
- Landgraf, A., Ballato, P., Strecker, M. R., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H. and Shahpasandzadeh, M., 2009. Fault-kinematic and geomorphic observations along the North Tehran Thrust and Mosha Fasham Fault, Alborz mountains, Iran: implications for fault-system evolution and interaction in a changing tectonic regime, *Geophys J Int.* 177, 676–690.
- Moinabadi, M.E. and Yassaghi, A., 2007. Geometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting: *Journal of Asian Earth Sciences* 29, 928–938.
- Rashidi, A., 2021. Geometric and kinematic characteristics of the Khazar and North Alborz Faults: Links to the structural evolution of the North Alborz-South Caspian boundary, Northern Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 213, 104755.
- Rezaeian, M., Carter, A., Hovius, N. and Allen, Iranian Plateau, Contribution of Seismotectonics of Iran, Geological Survey of Iran, Report 52.
- Berberian, M., 1989. Tectonic evolution of Iranian mountain belts, in *Proceedings, 28th International Geological Congress Abstracts: Washington, D.C., International Geological Congress, 9–19 July*, 129–130.
- Berberian, M., 1991. Is the theory of earthquake Greek or Iranian? *Iran shenasi (Bethesda, Maryland)*, v. II, 4, 834–845 [in Persian].
- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 2, 210–265.
- Berberian, M., and Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical rupture in the Iranian Plateau: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 120–139.
- Brunet, M. F., Korotaev, M. V., Ershov, A. V. and Nikishin, A. M., 2003. The South Caspian Basin: A review of its evolution from subsidence modeling, *Sediment. Geol.*, 156, 119–148.
- De Martini, P.M., Hessami, K., Pantosi, D., Addezio, G.D., Alinaghi, H. & Ghafory-Ashtiani, M., 1998. A geologic contribution to the evaluation of the seismic potential of the Kahrizak fault (Tehran, Iran), *Tectonophysics* 287, 187–199.
- Djamour, Y., et al., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz Mountain range, Iran, *Geophys. J. Int.* 183, 1287–1301.
- Engalenc, M., 1968. Contribution a la Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie de la region de Tehran (Iran), C.E.R.H., Montpellier, France.
- Gueřt, B., Gueřt, A. and Axen, G., 2007. Late Tertiary tectonic evolution of northern Iran: A case for simple crustal folding, *Global Planet Change* 58, 435–453.
- Gueřt, B., G. J. Axen, P. S. Lam, and J. Hassanzadeh, 2006. Late Cenozoic shortening in the west-central





- Gueřt, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran, *Tectonics*, 30, TC3008.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J.-F., Sedighi, M., and Tavakoli, F., 2004a. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: *Earth and Planetary Science Letters*, 223, 177–185.
- Weřtaway, R., 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, 99, 12,071–12,090.
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R. and Taheri, J., 2009. The Cimmerian Orogeny, in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland, *Terranova* 21, 211–218.
- Yassaghi, A. and Naeimi, A., 2011. Structural analysis of the Gachsar subzone in central Alborz range; constrain for inversion tectonics followed by the range transverse faulting, *Int J Earth Sci* 100 (6), 1237–1249.
- Yassaghi, A. and Madanipour, S., 2008. Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: Case study of the Mosha fault, central Alborz range, Iran: *Journal of Structural Geology* 30, 1507–1519.
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M. and Sabouri, J., 2006. Inversion tectonics in central Alborz, Iran, *J. Struct. Geol.* 28, 2023–2037.
- Zanchi, A., Zanchetta, S., Berra, F., Mattei, M., Garzanti, E., Molyneux, S., Nawab, A. and Sabouri, J., 2009. The Eo-Cimmerian (Late? Triassic) orogeny in north Iran, in M.-F. Brunet, M. Wilmsen and J.W. Granath (Eds.), *South Caspian to Central Iran Basins*, *Geol Soc London Spec Publ.* 312, 31–55.
- M. B., 2012. Cenozoic exhumation history of the Alborz Mountains, Iran: New constraints from lowtemperature chronometry, *Tectonics* 31, TC2004.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. and Vernant, P., 2006. Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran – southern Caspian geodynamics, *Geology* 34, 477–480.
- Scarselli, N., adam, J., chiarella, D., Roberts, D. and bally, A., 2020. *Regional geology and tectonics, Vol.1: Principles of Geologic Analysis*, second edition, 878.
- Sheykholeslami, M.R., Javadi, H.R., Asadi, M., 2013. *Iran Fault Map on Provincial Subdivisions*. Geological Survey of Iran.
- Sheikhholeslami, M.R., 2018. Tectonosedimentary evolution of the basins in Central Alborz, Iran, *Geosciences*, 106, 29-38.
- Steiger, R., 1966. *Die Geologie der west-Firuzkuh-Area (Zentralelburz, Iran)*, *Mitteilungen aus dem geologischen Institut der Eidgenossischen - Technischen Hochschule und der Universität Z - urich, Neue Serie*, 1–145.
- Stocklin, J., 1974a. Northern Iran: Alborz Mountains, in Spencer, A.M., ed., *Mesozoic-Cenozoic orogenic belts; data for orogenic studies; Alpine-Himalayan orogens: Geological Society [London] Special Publication* 4, 213–234.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Abbassi, M., and Yamini Fard, A.-F., 2012. Microseismicity and seismotectonics around the Mosha fault (central Alborz, Iran): *Tectonophysics*, 544–545, 50–59.
- Tchalenko, J.S., 1974. Tectonic framework of the Tehran region, in *Material for the Study of Seismotectonics of Iran: North-central Iran*, Geological Survey of Iran, Report 29, 7–46.
- Verdel, C. S., Wernicke, B. P., Hassanzadeh, J. and

