



فصلنامه زمین ساخت

پاییز ۱۴۰۲، سال هفتم، شماره ۲۷

doi 10.22077/jt.2025.9668.1205

مشخصات ساختاری پهنه گسل ندوشن و شاخه‌های فرعی آن

زهرا کمالی^۱، احمد رشیدی^{۲*}، راضیه سادات حسینی^۳، شهرام شفیعی بافتی^۴

۱- کارشناس سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز خرم آباد، لرستان، ایران.

۲- دانشیار تکنیک، بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳- کارشناسی ارشد تکنیک بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۴- گروه پژوهشی زمین لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

پهنه گسله ندوشن با درازای ۸۰ کیلومتر و روند شمال باختر - جنوب خاور، به عنوان بخشی از سامانه گسل دهشیر - بافت، یکی از ساختارهای زمین ساختی قدیمی در پهنه ساختاری ایران مرکزی به شمار می رود. در این پژوهش، با هدف فراهم نمودن داده‌های پایه در تحلیل خطر زمین لرزه - گسلش، به تحلیل هندسی و جنبشی گسل ندوشن پرداخته می شود. مطالعات میدانی نشان می دهد که گسل باعث بریده شدن و جابجایی رسوبات مخروط افکنه جوان و دگرریخی عوارض ریخت زمین ساختی شده است. براساس داده‌های بدست آمده از ترانشه حفر شده بر گسل، گسل ندوشن با وجود مرحله کنونی بدون لرزه دستگاهی به دلیل گذر از پی سنگ افیولیتی قدیمی تا برش در رسوبات کواترنری، فعالیت قابل توجهی در منطقه داشته است. در بررسی‌های میدانی، چندین شاخه گسل فرعی فعال منشعب از گسل ندوشن (گسل‌های سورک، ابراهیم سوخته، علی آباد سورک، علی شفیع) بررسی شدند که شواهدی از زمین لرزه‌های گذشته با سازوکارهای متفاوت را نشان می دادند. مشاهده تراورتن زایی، شواهد از گسیختگی‌های جوان در ترانشه‌ها و وجود مجموعه افیولیت ملانژ در طول گسل ندوشن، تأییدی بر فعالیت تکتونیک گذشته و کنونی آن است.

واژگان کلیدی: پهنه گسله ندوشن، شاخه‌های فرعی گسل، گسل دهشیر - بافت، گسل فعال، ایران مرکزی.

*ایمیل: rashidi@uk.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۳۰۵۰۵۴۴۷

Structural Characteristics of the Nodoushan Fault Zone and its Branches

Zahra Kamali¹, Ahmad Rashidi^{*2,4}, Raziye Sadat Hosseini³, Shahram Shafieibafti^{2,4}

1- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Khorramabad Center, Lorestan, Iran.

2- Associate Professor of Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

3- Masters, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

4- Department of Earthquake Research, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

The NW-SE Nodoushan fault zone with a length of ~80 km, as part of the Dehshir–Baft fault system, is considered one of the significant tectonic structures within the Central Iran structural zone. This study aims to provide fundamental data for seismic hazard and faulting risk assessment through geometric and kinematic analysis of the fault. Field investigations along the Nodoushan fault reveal that it has displaced and truncated young alluvial fan deposits. Trenching across the fault indicate that, despite its current instrumental seismic quiescence, the Nodoushan fault possesses considerable seismic potential and may generate large earthquakes in the future. Field observations identified several active subsidiary branches diverging from the Nodoushan fault, (including the Soorak, Ebrahim Sookhteh, Aliabad Soorak, and Ali Shafi faults), which show evidence of past earthquakes with varying mechanisms. The presence of travertine deposition, rock alteration, and disrupted alluvial fan sediments within the trenches, along with the ophiolite–mélange complex along the fault trace, all confirm both past and ongoing tectonic activity. The travertine formation, evidence of young ruptures in trenches, and the presence of a melange ophiolite complex along the Nodoushan fault confirm its past and present tectonic activity.

Keywords: Nodoushan Fault Zone, Fault Branches, Dehshir-Baft Fault, Active Fault, Central Iran.

*Email: rashidi@uk.ac.ir

Tel: +989130505447

۱- مقدمه

صفحه زمین ساختی ایران، دارای ساختارهای زمین‌ساختی متنوعی است که حاصل برخورد صفحه عربی با صفحه اوراسیا می‌باشد (Allen et al., 2011). در این پهنه، گسل‌های راست‌الغز راست‌بر مانند نه‌بندان، نایبند، انار و دهشیر - بافت، نقش مهمی در انتقال حرکت‌های بُرشی ایفا کرده‌اند (Allen et al., 2011; Rezaeian et al., 2009). جنبش و فعالیت گسل‌ها، از جمله گسل دهشیر، در طول زمان تغییر کرده است. شواهد کواترنری فعالیت گسل دهشیر، مانند آفست‌های مورفولوژیک و فن‌های جریان آبرفته، نشان‌دهنده نرخ لغزش متوسط حدود ۱-۲ میلی‌متر بر سال است؛ این شواهد اهمیت آن را در ارزیابی خطر لرزه‌ای برجسته‌تر کرده‌اند (Meyer et al., 2006).

مطالعات زمین‌ساختی و تحلیل‌های آماری لرزه‌ای نشان می‌دهد که این سامانه پتانسیل بالقوه برای رخداد زمین‌لرزه‌های مخرب با بزرگای بالا و متوسط دارد و دوره بازگشت آن برای زلزله‌های بزرگ نسبتاً کوتاه است (Nowroozi, 1986). همچنین برآوردهای اخیر نشان می‌دهد حداکثر بزرگای قابل انتظار برای گسل‌های فعال فلات ایران در بازه $M_w \sim 6.0$ تا $M_w \sim 8.2$ قرار دارد که این داده‌ها برای تحلیل خطر لرزه‌ای پهنه مورد مطالعه اهمیت ویژه‌ای دارند (Ghafouri et al., 2022).

گسل دهشیر - بافت با طول بیش از ۵۵۰ کیلومتر براساس تغییرات هندسی راستای آن، از شمال به جنوب به شش بخش تقسیم می‌گردد (فروتن و همکاران، ۱۳۹۰). این بخش‌ها به ترتیب گسل‌های چاه زنگول (با راستای $N105^\circ$ و درازای ۹۰ کیلومتر)، نایبند (با راستای $N170^\circ$ و درازای ۹۰ کیلومتر)، ندوشن (با راستای $N150^\circ$ و درازای ۸۰ کیلومتر)، دهشیر (با راستای $N160^\circ$ و درازای ۱۳۰ کیلومتر)، مروست (با راستای $N150^\circ$ و درازای ۱۰۰ کیلومتر) و قطرویه (با راستای $N100^\circ$ و با درازای نزدیک به ۷۰ کیلومتر) نام دارند (شکل ۱).

پهنه گسله ندوشن، قطعه‌ای از گسل دهشیر - بافت به‌شمار می‌آید که حد باختری مجموعه گسل‌های فعال راست‌الغز راست‌بر شمالی - جنوبی ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد. این گسل با راستای کلی شمال‌شمال‌باختری - جنوب‌جنوب‌خاوری، پهنه‌های

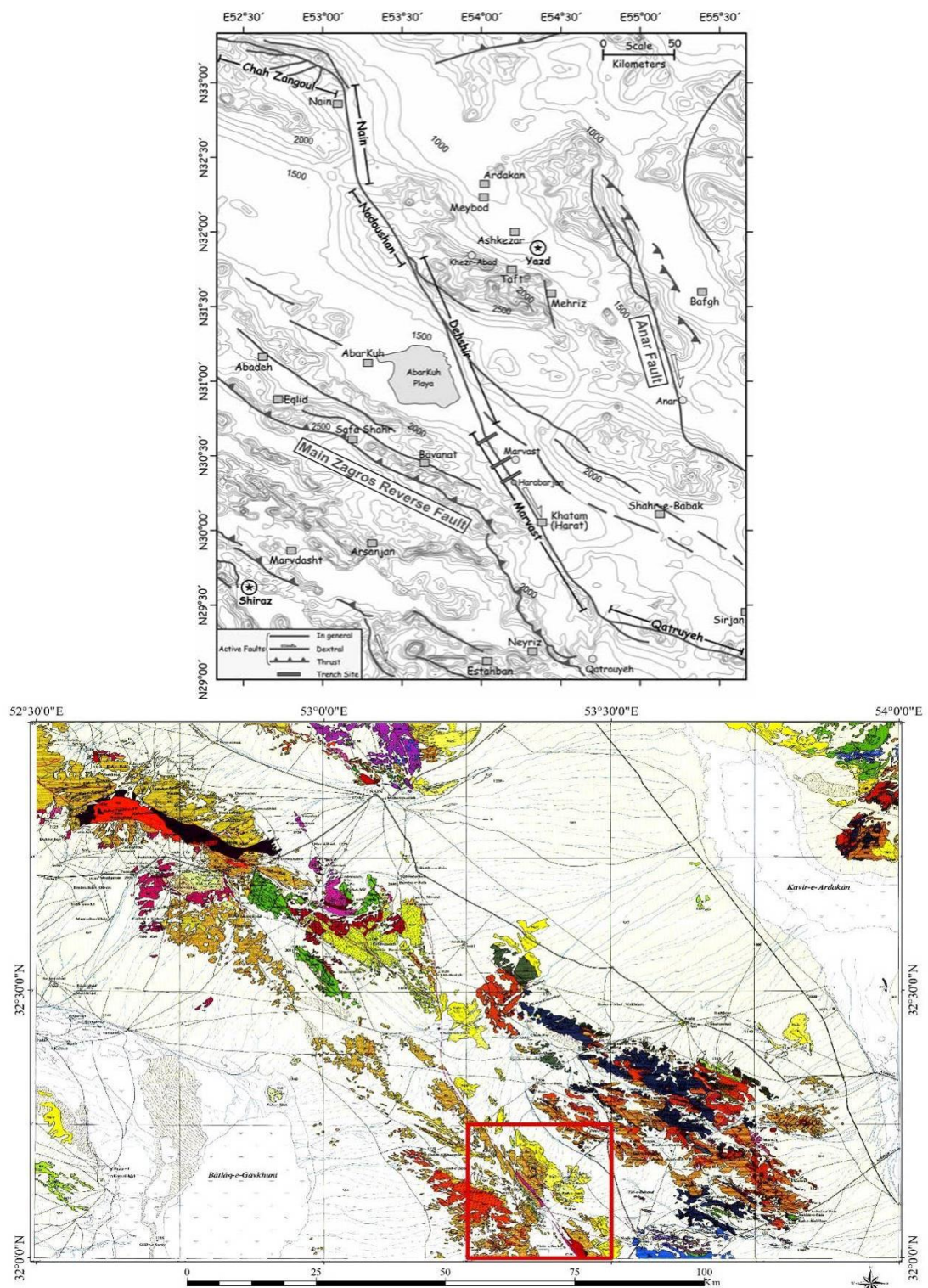
ساختاری سنندج - سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه - دختر و ایران مرکزی را قطع می‌کند (Nazari et al., 2009; Fattahi et al., 2010; Le Dortz et al., 2011). پهنه گسله ندوشن در پهنه ماگمایی ساوه - نایبند - جیرفت واقع شده است که فعالیت ماگمایی آن از پالئوسن آغاز و در دوره ترشیاری به اوج رسیده است (Alavi, 2007; Chiu et al., 2013; Fazeli et al., 2017). این رویدادهای ماگمایی از فروانش نئوتیس و در نهایت برخورد قاره‌ای صفحه عربی و اوراسیا در امتداد گسل‌های مهم و پی‌سنگی با روند شمال‌شمال‌باختری - جنوب‌جنوب‌خاوری حاصل شده است (Richards, 2015) (شکل ۱ و ۲).

با وجود مطالعات پیشین، پژوهش‌هایی که متمرکز بر تعیین هندسه و جنبش دقیق گسل ندوشن و شاخه‌های فرعی آن بوده‌اند، محدود هستند. ارتباط میان ساختارهای زمین‌شناسی مانند ملائزه‌های افیولیتی و شواهد فعالیت لرزه‌ای گذشته و کنونی نیز همچنان نیازمند بررسی دقیق‌تر است.

مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های میدانی (ترانشه‌ها و اندازه‌گیری‌ها ساختاری) و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به تعیین ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل ندوشن و شاخه‌های فرعی آن (شکل ۱) می‌پردازد و شواهد ساختاری و لرزه‌ای مرتبط با فعالیت نئوتکتونیک را تحلیل می‌کند. این پژوهش تلاش دارد با تمرکز بر هندسه و کینماتیک گسل ندوشن، و تحلیل شواهد لرزه‌ای و ساختاری آن، خلأ موجود در مطالعات پیشین را پر کرده و دیدگاه دقیق‌تری از پویایی تکتونیک این بخش از ایران مرکزی را ارائه دهد.

۲- روش انجام پژوهش

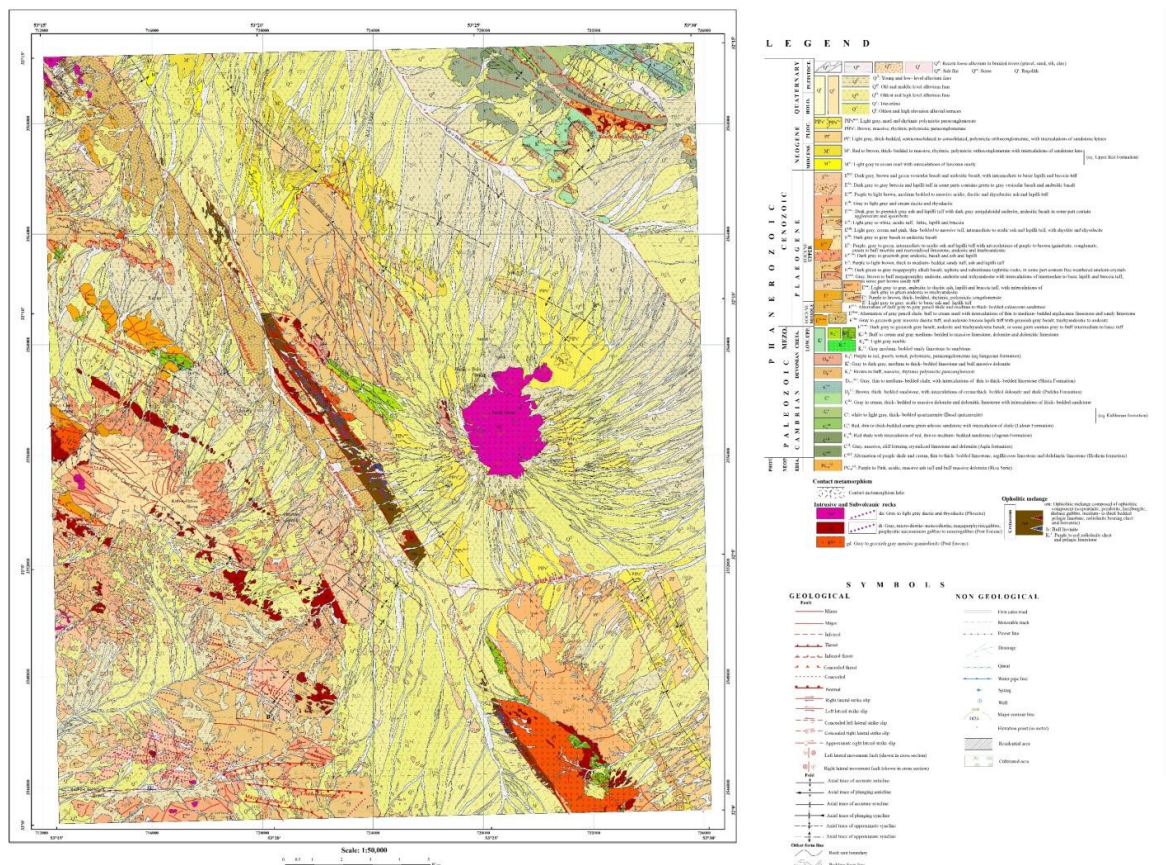
در این پژوهش به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری پهنه گسله ندوشن از طریق مطالعات میدانی، ترانشه اکتشافی حفر شد عمود بر راستای گسل و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای پرداخته می‌شود. به کمک این گونه مطالعات می‌توان علاوه بر شاخه‌های اصلی و فرعی یک پهنه گسله به سازوکار و جنبش شناختی گسل‌ها پی برد و نوع و میزان فعالیت بخش‌های گوناگون آن را مشخص نمود. با این اهداف در این پژوهش تصاویری همچون: Aster, Landsat, Etm, IRS،



شکل ۱. سامانه گسل دهشیر (گسل‌های چاه زنگول، نائین، ندوشن، دهشیر، مروست و قطرویه) بر روی نقشه توپوگرافی رقومی. مستطیل قرمز محدوده پهنه گسله ندوشن را نشان می‌دهد (برگرفته از فروتن و همکاران، ۱۳۹۰ و ب) موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ نایین (عمیدی و همکاران، ۱۳۵۷).

منطقه مورد ارزیابی قرار گرفتند. براساس داده‌های صحرائی برداشت شده با استفاده از نرم افزار Faultkin استریوگراف مربوط به گسل‌ها ترسیم شد.

Google Erath، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی مورد بررسی واقع شدند. سپس در بازدیدهای میدانی شواهدی دال بر فعالیت صفحات مختلف گسل در



شکل ۲. نقشه زمین شناسی تهیه شده از محدوده مورد مطالعه (۱/۵۰۰۰۰ سورک پایین) (کمالی، ۱۴۰۴).

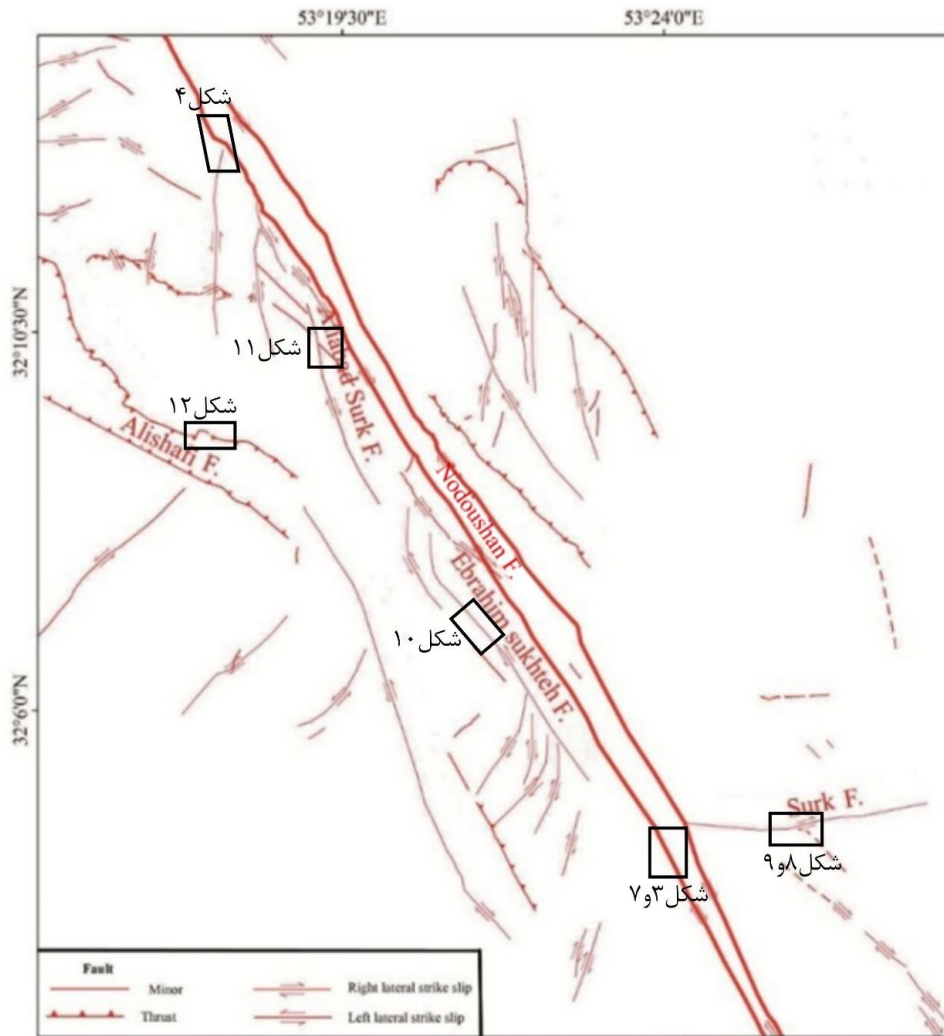
۳- مطالعات میدانی

که در رسوبات جوان بالای شاخه‌های گسل، شواهدی از بریدگی و یا جابجایی دیده نشد. این نشان می‌دهد زمین لرزه‌هایی که در دیواره ترانشه دیده شده‌اند، از نظر سنی قدیمتر از رسوبات بالایی با حداقل ۴۰ سانتی متر ضخامت باشند (شکل ۴). مشخصات صفحات گسلی برداشت شده در درون ترانشه که هر یک در اثر یک رخداد لرزه‌ای رسوبات را بریده و در زمان رویداد باعث گسیختگی سطحی شده‌اند شامل، N170,70NE و N040,50SE است. در اثر عملکرد گسل در فرادیواره و فرودیواره آلتراسیون باعث تغییر رنگ واحدهای آذرآواری شده است که در تصویر ماهواره‌ای بصورت خط نارنجی دیده می‌شود (شکل ۵).

زون ایران مرکزی توسط گسل‌های راست‌الغز راست‌بر
 طویل با روند شمالی-جنوبی و تحدب به سمت باختر
 به سه بلوک اصلی لوت، طبس و یزد تقسیم می‌شود.
 از دیدگاه برخی پژوهشگران (مانند: Berberian, 1976;
 Nowroozi, 1986) گسل‌هایی با راستای شمالی-
 جنوبی در ایران مرکزی، از اواخر پروتوزوئیک سبب
 تغییرات رخساره‌های رسوبی ایران مرکزی گردیده

پهنه گسله ندوشن از چند شاخه گسل فرعی بنام‌های سورک، ابراهیم سوخته، علی آباد سورک، علی شفیع تشکیل شده‌اند (شکل ۳) جدول (۱). حرکت بر روی این شاخه‌ها وابسته به صفحات اصلی گسل ندوشن است.

مجموعه‌ای از افیولیت ملائزها در امتداد پهنه گسل ندوشن جایگزین شده‌اند. این گسل پس از گذر از توده نفوذی گرانودیوریتی و ولکانیک‌های ائوسن از واحدهای رسوبی پیلوکواترنری و کواترنری عبور می‌کند. در بررسی‌های میدانی از گسل ندوشن، افزون بر وجود ملائز زمین‌ساختی، تراورتن‌زائی در امتداد آن بسیار مشهود می‌باشد. معمولاً شواهد سطحی این گسل به دلیل عبور از واحدهای جوان قابل ردیابی نیست. در این پژوهش ترانشه‌ای عمود بر امتداد گسل حفر شد که در آن گسل قابل رویت بود. در محل حفاری، گسل ندوشن باعث بریده شدن و جابجایی رسوبات مخروط افکنه‌ای در دیواره جنوبی ترانشه و حذف ناگهانی واحدهای درون آن شده بود. نکته قابل توجه این است



شکل ۳. نقشه ساختاری پهنه گسل ندوشن و شاخه‌های فرعی آن.

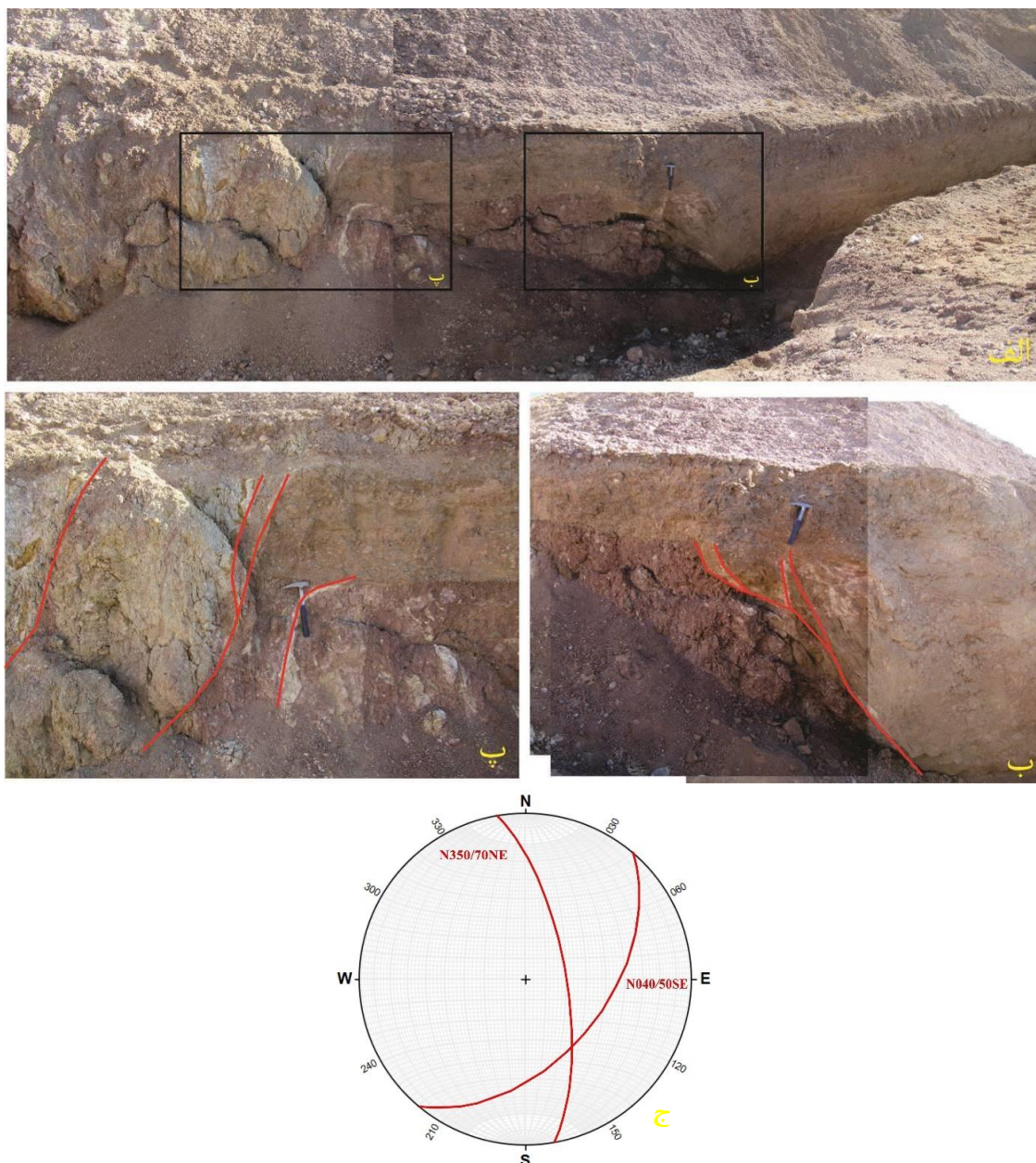
جدول ۱. مشخصات گسل‌های برداشت شده.

نام گسل	امتداد گسل	شیب گسل	جهت شیب گسل	زاویه ریک	جهت زاویه ریک	مختصات محل برداشت
گسل ندوشن	40	50	SE	-	-	729490E, 3544887N
گسل ندوشن	350	70	NE	-	-	729490E, 3544887N
گسل سورک	090	70	S	55	SE	729219E, 3551271N
گسل علی آباد سورک	340	67	SW	40	SE	718595E, 3563111N

بر گسل‌های راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیب‌لغز معکوس و راستای شمالی-جنوبی تا شمال‌باختر-جنوب‌خاور (مانند گسل‌های نایبند، انار، دهشیر-بافت) قرار دارد (شکل ۶).

در مطالعه فروتن (فروتین، ۱۳۸۷) بر روی گسل دهشیر-بافت، ۴ ترانشه در محل مروسست، ۱ ترانشه در محل

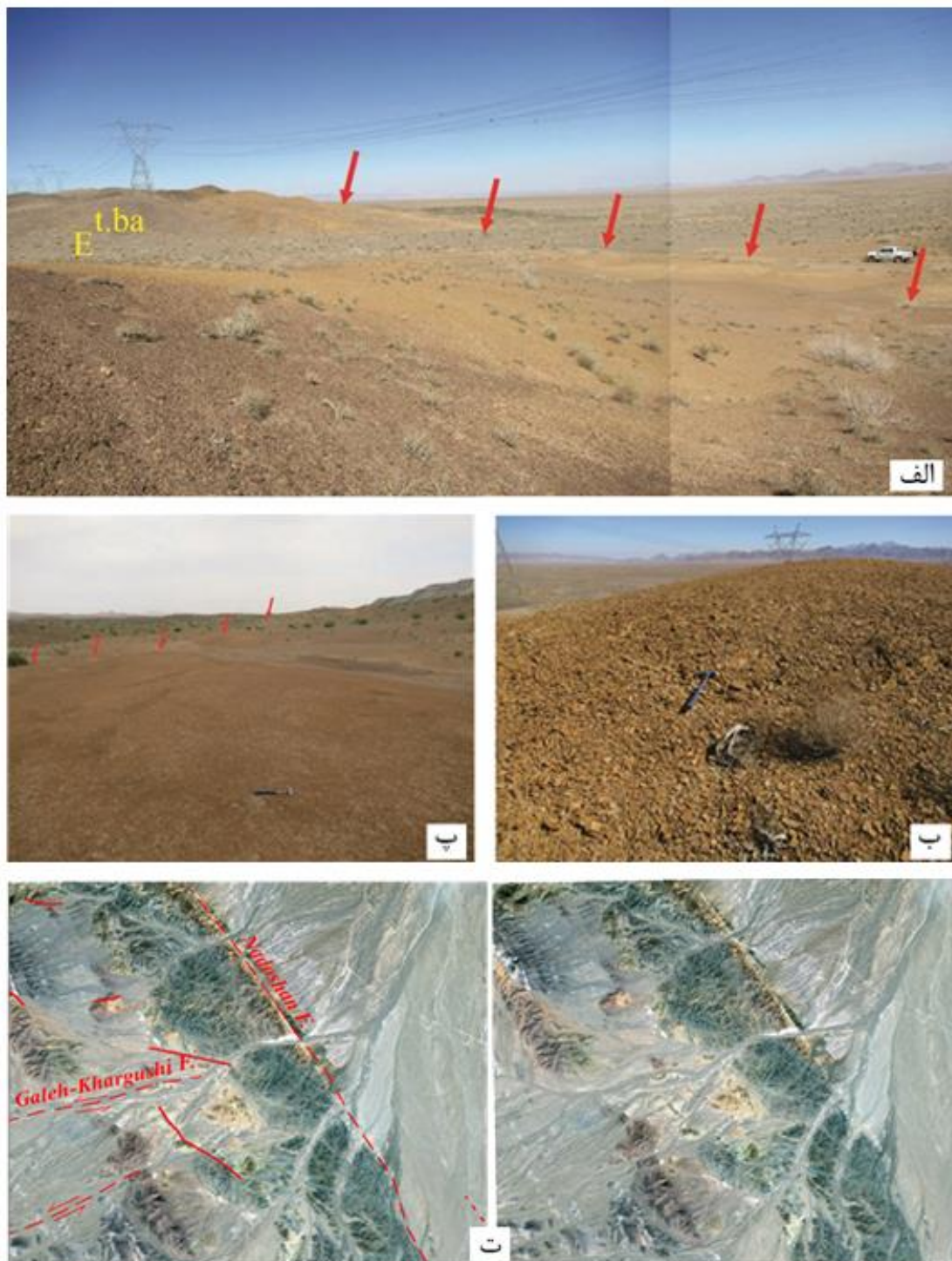
و فعالیت مجدد آنها حتی تا عهد حاضر با رویداد زمین‌لرزه‌های متعدد با بزرگای زیاد ادامه داشته است. بررسی داده‌های لرزه‌ای ایران مرکزی نشان می‌دهد، رومرکز کانون بیشتر زمین‌لرزه‌ها در بخش شمالی ایران مرکزی، بر گسل‌های راستالغز چپ‌بر با راستای خاوری-باختری (مانند گسل درونه) و در بخش جنوبی



شکل ۴. الف) ترانشه حفر شده بر گسل ندوشن با روند تقریباً خاوری-باختری (مستطیل‌های مشکی موقعیت بخش‌های ب و پ بر روی تصویر را نشان می‌دهند). سوی نگاه جنوب‌خاور است. ب) صفحه گسل با مشخصات N40/50SE. پ) صفحات گسل با مشخصات N350/70NE (39S, 729490E, 3544887N) و ج) استریوگراف صفحات گسلی برداشت شده.

دهشیر-بافت در ترانشه شمال مروست، دست کم هفت رخداد زمین‌لرزه پارینه بر روی قطعه مروست در بازه زمانی ۴۴ هزار سال گذشته ثبت شد. از دیگر یافته‌های پژوهش فروتن (فروتن، ۱۳۸۷)، بزرگای زمین‌لرزه‌های پارینه شناسایی شده بر روی گسل دهشیر-بافت بود که در ترانشه گرداب میان ۶/۳-۷/۸ در مقیاس Mw برآورد شد و همچنین تخمین زدند که جوان‌ترین زمین‌لرزه بر روی گسل دهشیر-بافت حدود ۲۲۰۰ سال گذشته رخ داده است. این موضوع بیانگر این است که از

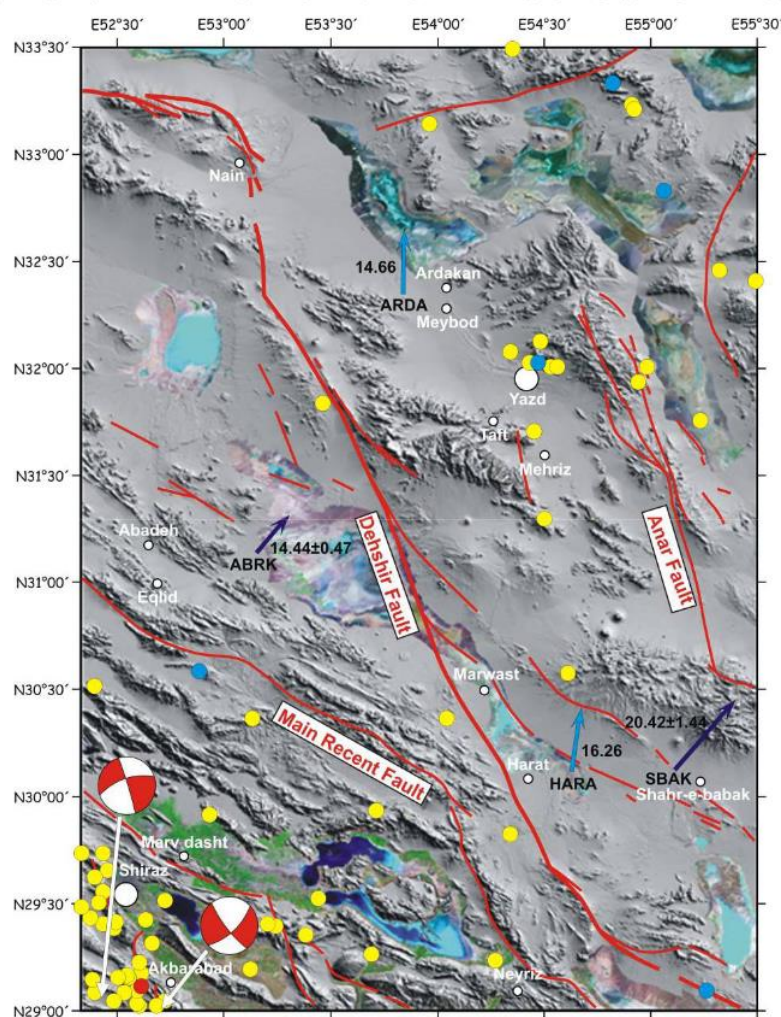
هرابرجان و ۱ ترانشه در محل گرداب حفاری گردید. نتایج حاکی از شناسایی ۴ رخداد کهن در ترانشه شمال مروست بود. بر اساس این مطالعات، دوره بازگشت گسل دهشیر-بافت حدود ۳۵۰۰ سال و میزان نرخ لغزش بر روی گسل دهشیر-بافت در بازه زمانی پلیستوسن پایانی و هولوسن را برابر با ۰/۳ ± میلی‌متر در سال و نرخ لغزش مؤلفه قائم گسل را در حدود ۰/۱ میلی‌متر در سال برآورد شد. همچنین بر پایه انطباق زمان-چینه‌ای واحدها و شناسایی شواهد جنبش گسل



شکل ۵. الف) نمایی از آلتراسیون در امتداد پهنه گسل ندوشن (پیکان‌های قرمز مسیر گسل را نشان می‌دهند). سوی نگاه شمال - شمال‌باختر است. ب و پ) نمای نزدیک از توف برش آلتزه شده، سوی نگاه به ترتیب شمال‌خاور و شمال‌باختر است. ت) آلتراسیون پهنه گسلی بر روی تصویر ماهواره ای کویک‌برد (نوار کرم تا قهوه‌ای رنگ).

قبل، در حدود ۱۰۰۰ سال خواهد بود. با در نظر گرفتن آخرین رخداد لرزه‌ای که حدود ۲۲۰۰ سال پیش رخ داده است و همچنین، در نظر گرفتن قطعه‌بندی گسل‌ها و این که گسل‌های فعال در راستای خود به‌طور یکسان عمل نمی‌کنند، نشان می‌دهد که

آخرین رویداد لرزه‌ای بزرگ در قطعه مروست حدود ۲۲۰۰ سال سپری شده است. با در نظر گرفتن این الگو تا چرخه زمین‌لرزه بعدی، بر روی این بخش از گسل دهشیر-بافت با در نظر گرفتن دوره بازگشت ۳۵۰۰ سال و لحاظ آخرین رخداد لرزه‌ای در حدود ۲۲۰۰ سال



شکل ۶. گسلش فعال و لرزه خیزی گسترده در برگرنده گسل دهشیر - بافت، پیکان‌های آبی (Vernant et al., 2004) و بنفش (برگرفته از سازمان نقشه برداری کشور (NCC, 2005-2006)) بیانگر نرخ همگرایی کنونی صفحات عربی - اوراسیا بر حسب میلی‌متر در سال است (فروتن، ۱۳۸۷).

بصورت مناطق پست در مجاورت ارتفاعات قرار گرفته‌اند.

سنگ‌های افیولیتی در امتداد گسل‌های ایران مرکزی به شکل کمربندی رخنمون دارند که از آن جمله می‌توان به کمربند افیولیتی شمال نائین، سورک، دهشیر، جندق و انارک اشاره نمود. افیولیت‌های بخش جنوب‌باختری بلوک ایران مرکزی که در امتداد گسل دهشیر-بافت قرار دارند، به عنوان نوار افیولیتی نائین-بافت شناخته شده‌اند (Berberian and King, 1981). این افیولیت‌ها، شامل مجموعه افیولیتی نائین، سورک، دهشیر، شهر بابک و بافت هستند که عمدتاً از سنگ‌های پریدوتیت گوشته، گابرو، دایک‌های دیابازی، آندزیت و ریولیت تشکیل شده‌اند و فاقد دایک‌های صفحه‌ای و توالی کومولاهای لایه‌ای هستند و ویژگی‌های ملانژهای

ممکن است فعالیت لرزه‌ای به قطعات دیگر مهاجرت کرده باشد. در نتیجه، نبود فعالیت لرزه‌ای بر روی گسل دهشیر-بافت در حال حاضر نمی‌تواند دلیلی بر عدم فعالیت لرزه‌ای آن باشد. این احتمال وجود دارد که گسل در مرحله دوره بدون لرزه و تجمع انرژی قرار داشته باشد.

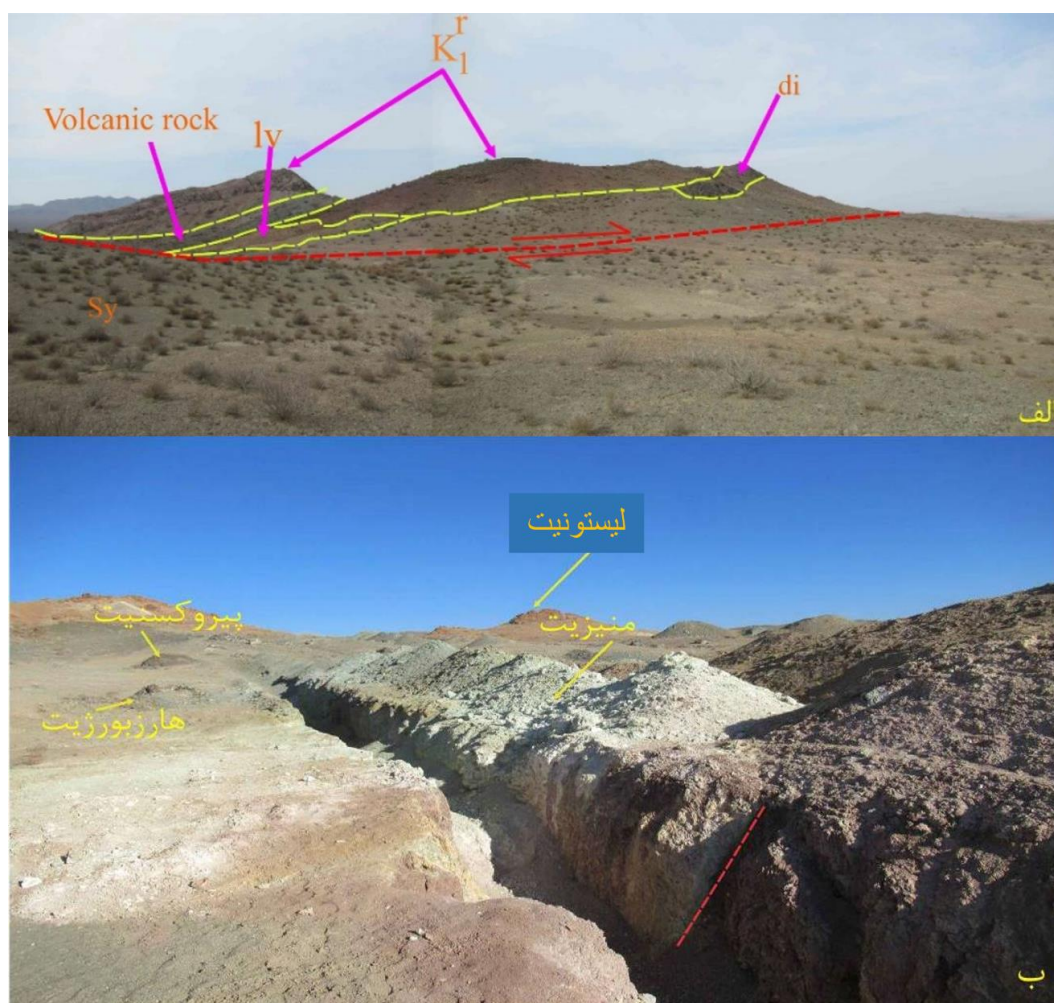
وجود نوارهای افیولیتی و سیماهای خطی آتشفشانی گواهی بر عمق زیاد فرآیندهای گسلش در ایران مرکزی می‌باشد. وقوع گسلش‌های متوالی بصورت فرازمین-فروزمین در این منطقه باعث قرارگیری سیماهای مورفوتکتونیک متفاوت در کنار هم شده است. بسیاری از دشت‌ها و کویرهای موجود در این منطقه در حقیقت آثاری از فروافتادگی‌ها و گسلش‌های قدیمی با مکانیزم فروزمین بوده که در حال حاضر



تکتونیکی را دارند (Shafaii Moghadam et al., 2008, 2009).

مجموعه افیولیت ملانژ گسل ندوشن از لحاظ جغرافیایی در باختر روستای سورک پایین و معدن آهن سورک قرار دارد که به صورت نواری باریک و کم ارتفاع، با عرض چند صد متر، در امتداد گسل و نوار افیولیتی نائین-بافت، با روند شمال-باختر-جنوب‌خاور، رخنمون یافته است. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهند که پایین واحدهای سنگی این افیولیت ملانژ، پریدوتیت‌های گویشته هستند که معمولا به همراه سرپانتینیت و لیستونیت دیده می‌شوند. سپس سنگ‌های گابرویی، به رنگ سبز تیره، دیده می‌شوند که بیشتر به همراه رودینگیت‌های سفید رنگ قرار دارند. در نهایت، سنگ‌های رسوبی چرت و سنگ آهک‌های کرتاسه

بالایی، بالاترین واحدهای سنگی این مجموعه را تشکیل می‌دهند. در این مجموعه، دایک‌های صفحه‌ای و توالی‌های کومولا وجود ندارد (عمیدی و همکاران، ۱۳۵۷). افیولیت ملانژ در این نقشه شامل هارزبورژیت، میکرو گابرو، پیروکسنیت، منیزیت، گابروی دگرسان شده رودنگیتی، دیاباز، شیل سیلیسی رادیولردار و آهک‌های پلاژیک می‌باشد. آخرین نمود دگرسانی منطقه که در مناطق برشی دیده می‌شود، کربنات زایی و لیستونیت‌زایی است و در این میان سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای از نوع اسلیت و مرمر نیز رخنمون داشته است (شکل ۷). وجود توالی افیولیتی شاخص در امتداد گسل ندوشن نشان از پی‌سنگی بودن قطعه گسل ندوشن است که در صورت فعالیت لرزه‌ای، می‌تواند زمین‌لرزه قابل توجهی ایجاد نماید.



شکل ۷. الف و ب) نمای کلی از مجموعه افیولیت ملانژ سورک. K_1^r : مجموعه آهک پلاژیک (کرم رنگ) و شیل رادیولردار (ارغوانی تا قرمز)، ly : لیستونیت، di : میکروگابرو و Sy : سینیت در امتداد گسل ندوشن.

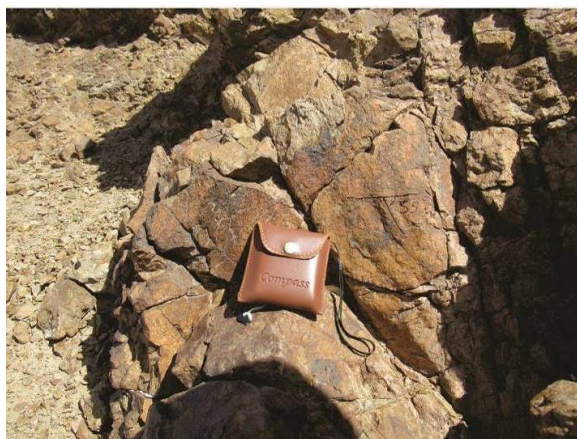
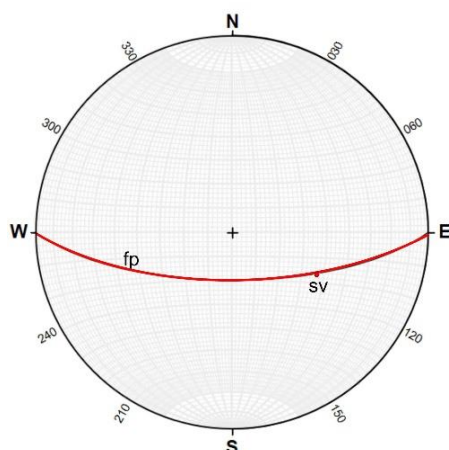
توف‌های آندزیتی را بریده و باعث آلتراسیون آنها شده است. شواهد ریخت‌شناسی حاصل از فعالیت این گسل خط‌خس‌های روی آینه گسلی، برش گسلی و خردشدگی تکتونیکی است. مشخصات صفحه گسلی N090,70S می‌باشد. خط‌خس روی آینه گسل ریک ۵۵ درجه در جهت جنوب‌خاور دارد (شکل ۸). سازوکار گسل شیب لغز نرمال با مولفه راستالغز چپ‌بر بدست آمد. در اثر عملکرد آن چشمه تراورتنی و تراورتن‌زائی در مسیر گسل تشکیل شده است (شکل ۹).

۳-۱- شاخه‌های فرعی گسل ندوشن

شاخه‌های فرعی مهم گسل ندوشن که عبارتند از سورک، ابراهیم سوخته، علی‌آباد سورک، علی‌شفیع (موقعیت گسل‌ها را در شکل ۲ آورده شده است) در بازدیدهای میدانی بررسی شدند. در ادامه ویژگی‌های ساختاری این گسل‌ها ارائه شده است.

۳-۱-۱- گسل سورک

این گسل با امتداد خاوری-باختری، درازای حدود ۶ کیلومتر دارد (شکل ۲). با عبور از واحد کنگلومرایی،



شکل ۸. تصویر میدانی از صفحه گسل سورک و خط‌خس روی صفحه آن. سوی نگاه شمال است (39S, 729219E,) و استریوگراف صفحه گسل (fp) و موقعیت خط‌خس (sv). (3551271N)



شکل ۹. الف) نمای دور از گسل سورک. سوی نگاه خاور است (39S, 730611E, 3551411N). ب) چشمه تراورتن زائی در مسیر گسل (پیکان‌های قرمز مسیر گسل را نشان می‌دهد) (سوی نگاه شمال) (39S, (39S, 722940E, 3550451N).

۳-۱-۲- گسل ابراهیم سوخته

درازای آن به حدود ۱۰ کیلومتر می‌رسد. گسل علی شفیع باعث رانده شدن و جابجایی واحدهای قدیم‌تر بر روی واحدهای جوانتر شده است. بطوریکه واحد آتشفشانی $E^{ba.an}$ با سن ائوسن زیرین در کنار E^{aba} به سن ائوسن بالایی قرار گرفته است (شکل ۱۲ الف). رانندگی پشتی (Back thrust) آن (شکل ۲) براحتی قابل ردیابی است. آن باعث رانده شدن کنگلومرای سنگستان K_2^c و سنگ آهک و دولومیت (معادل تفت) $K_2^{l.d}$ بر روی واحدهای ائوسن $E^{ba.an}$ شده است.

با درازای حدود ۱۱ کیلومتر و راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور تقریباً همراستا با گسل ندوشن است (شکل ۳). این گسل از نوع گسل‌های پنهان می‌باشد. این گسل از نوع گسل‌های پنهان بوده، از ولکانیک‌های ائوسن عبور کرده، اما صفحه گسل قابل اندازه‌گیری نبوده، ولی شواهد عملکرد این گسل تراورتن زائی به صورت خطی در مسیر گسل قابل مشاهده و ردیابی می‌باشد، بطوریکه درز و شکاف‌های سنگ‌های منطقه را تراورتن پر کرده است. احتمالاً سازوکار راستالغز راست‌بر دارد (شکل ۱۰).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با تمرکز بر شناخت ویژگی‌های زمین ساختی گسل طویل (۵۵۰ کیلومتری) دهشیر- بافت با تمرکز بر پهنه گسله ندوشن (بعنوان یکی از قطعات شش گانه آن) انجام شد. ساختار هندسی قطعات گسل دهشیر- بافت دارای ویژگی‌های ساختاری منحصر به فردی هستند. تغییر در راستا و درازای آنها در رفتار و فعالیت لرزه‌ای منطقه تاثیر گذار است. ساختارهای زمین‌شناسی منطقه تحت تاثیر کشش و فشارش از طرف بلوک ایران مرکزی بوده، از اینرو تنش‌های تکتونیکی حاکم بر منطقه شمال‌باختر- جنوب‌خاور بوده، حاصل این تنش‌ها در تکوین تکتونیکی و ساختاری نقش مهمی داشته‌اند

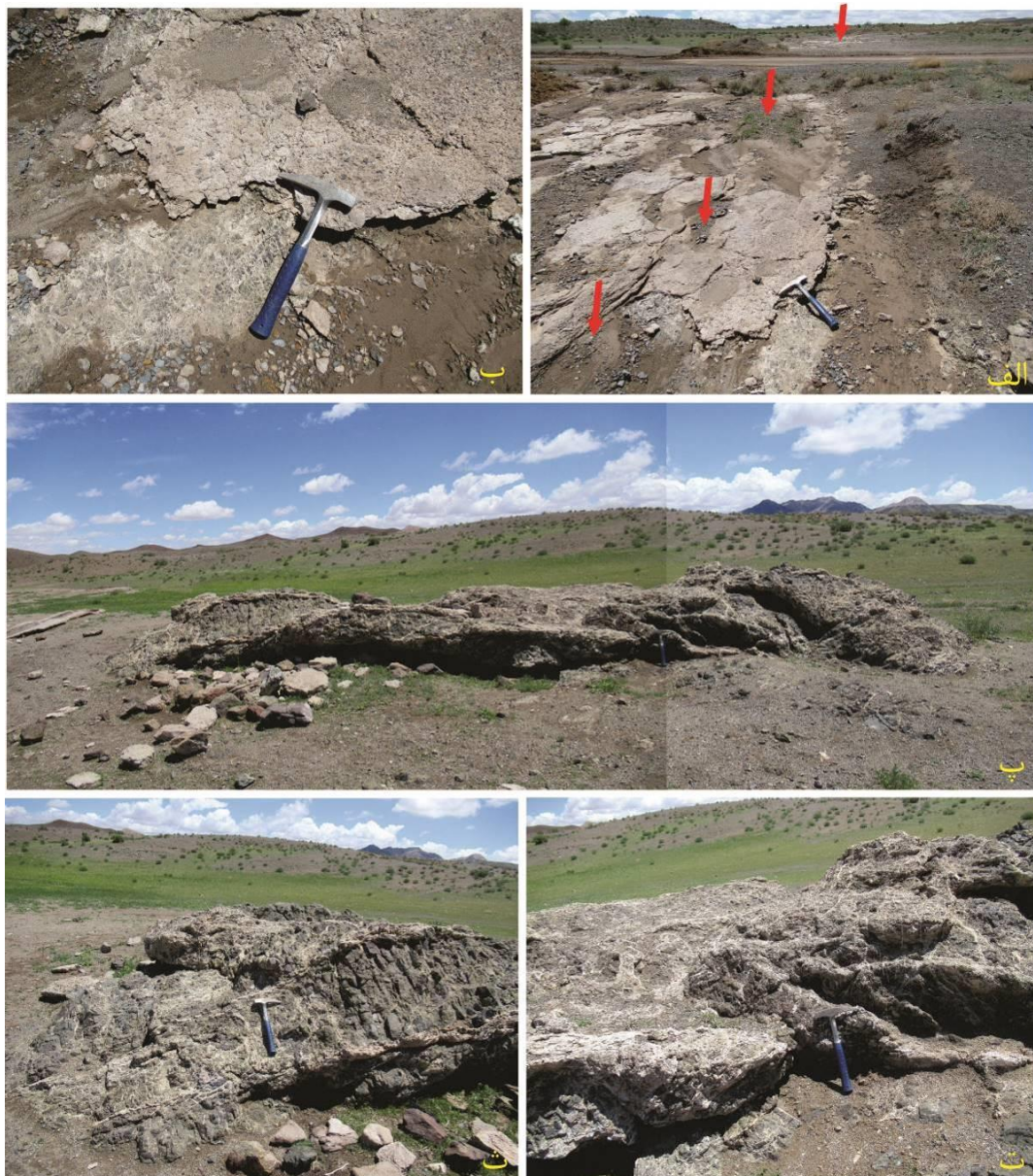
بررسی آماری داده‌های لرزه‌ای ایران مرکزی نشان می‌دهد، رومرکز کانون بیشتر زمین‌لرزه‌ها در بخش

۳-۱-۳- گسل علی آباد سورک

با راستای شمال شمال‌باختر- جنوب‌خاور تقریباً همراستا با ساختارهای اصلی منطقه می‌باشد (شکل ۳). این گسل ولکانیک‌ها ائوسن واحد $Et.ba$ را بریده، بطوریکه در اثر عملکرد گسل دگرسانی آرژیلیک و کلریتی شدید صورت گرفته است. این گسل با سازوکار شیب‌لغز نرمال با مولفه راستالغزی چپ‌بر بوده، مشخصات صفحه گسل N340/67SW و زاویه خط‌خش روی آینه گسلی زاویه ۴۰ درجه در جهت جنوب‌خاور با سطح افق می‌سازد (شکل ۱۱).

۳-۱-۴- گسل علی شفیع

این گسل راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور دارد و

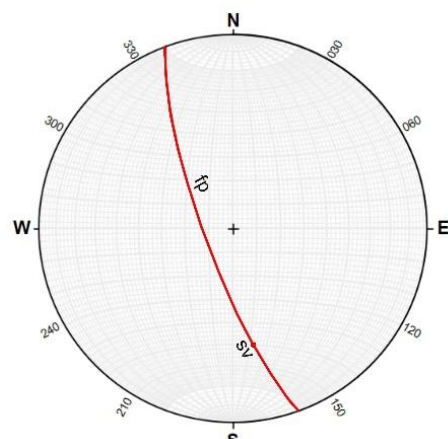


شکل ۱۰. الف، ب و پ) مسیر گسل ابراهیم سوخته و تراورتن‌زائی در مسیر گسل، سوی نگاه خاور است. ت، ث) نمای نزدیک از تراورتن نفوذ کرده در درز و شکاف‌های واحدهای سنگی ائوسن، سوی نگاه خاور است (39S, 721023E, 3557203N).

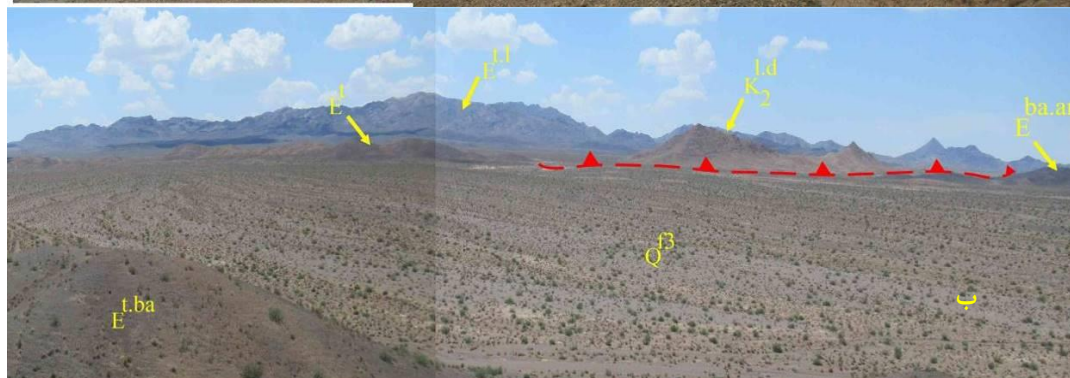
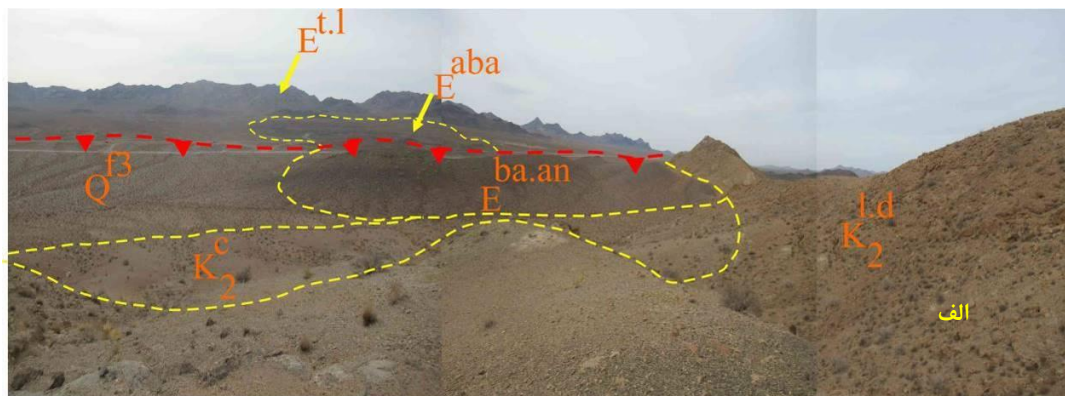
ندوشن، با راستای شمال شمال‌باختری - جنوب جنوب‌خاوری تأثیر مستقیمی بر جایگیری مجموعه افیولیت ملانژ و تغییرات زمین‌ساختی منطقه داشته است. وجود شواهدی همچون ملانژ زمین‌ساختی، تراورتن‌زایی گسترده و جابه‌جایی رسوبات مخروط‌افکنه در ترانشه‌های اکتشافی حفر شده نشان‌دهنده فعالیت لرزه‌ای در گذشته است. وجود افیولیت ملانژها و دگرسانی‌های مرتبط با فعالیت‌های گسلی، نشانه‌ای از پی‌سنگی بودن گسل و رخدادهای زمین‌ساختی دیرینه است.

شمالی صفحه ایران مرکزی، بر روی گسل‌های راست‌الغز چپ‌بر با راستای خاوری - باختری و در بخش جنوبی بر گسل‌های راست‌الغز راست‌بر با مؤلفه شیب‌الغز معکوس و راستای شمالی - جنوبی تا شمال باختر - جنوب خاور قرار دارد. ترکیب جنبش این گسل‌ها علاوه بر حرکت مستقیم، نشانگر چرخش واحدهای سنگی بلوک‌های صفحه ایران مرکزی در بین بلوک‌های پیرامون خود است.

بررسی‌های میدانی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که گسل دهشیر - بافت و بطور ویژه قطعه



شکل ۱۱. الف) صفحه گسل علی آباد سورک. سوی نگاه خاور است، ب) استریوگراف صفحه گسل (fp) و موقعیت خط خش (sv) و پ) خط خش‌های موجود بر صفحه گسل (39S, 718595E, 3563111N).



شکل ۱۲. الف) گسل علی شفیق و دگرشکلی واحدهای پیرامون آن. سوی نگاه جنوب‌باختر است (39S, 716963E). ب) راندگی خلفی گسل علی شفیق. سوی نگاه جنوب‌باختر است (3559254N, 39S, 719013E, 3560477N).

کرمان، شماره ۸۷، ص ۱۸۰-۱۷۱.

سامانی، ب و چرچی، ع. ۱۳۹۴، تحلیل الگوی مکانی گسلش و رومرکز رخدادهای لرزه‌ای با استفاده از روش فرای (مطالعه موردی در استان یزد، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، زمستان ۹۴، شماره ۱۸، ص ۵۴-۵۹.

شرافت، ش. ۱۳۸۷، زمین‌شناسی، پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه افیولیتی سورک-زرو-اردان، غرب استان یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ایران.

عمیدی، م.، علوی تهرانی، ن. و داودزاده، م. ۱۳۵۷، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ناین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فروتن، م. ۱۳۸۷، پارینه لرزه‌شناسی و ریخت زمین‌ساخت گسل دهشیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، ۱۹۲ ص.

فروتن، م.، نظری، ح.، سبریر، م.، فتاحی، م.، لودورتز، ک.، قرشی، م.، حسامی، خ.، قاسمی، م.ر. و طالبیان، م. ۱۳۹۰، آهنگ لغزش راست بر گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی-هولوسن، فلات ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، زمستان ۹۰، سال بیست و یکم، شماره ۸۲، ص ۱۹۵-۲۱۰.

کمالی، ز. ۱۴۰۴، نقشه زمین‌شناسی کاربردی ۱/۵۰۰۰۰ سورک پایین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros foldthrust belt in Iran. American Journal of Science, 307(9): 1064-1095. <https://doi.org/10.2475/09.2007.02>

Allen, M.B., Kheirkhah, M., Emami, M.H. and Jones, S.J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. Geophysical Journal International, 184(2): 555-574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>

Berberian, M., 1976a. Seismotectonic map of Iran, Geology. Surv. Iran, 39, 1976.

Berberian, M., 1976b. An explanatory note on

داده‌های حاصل از حفر ترانشه در محل گسل ندوشن نشان‌دهنده رخداد چندین زمین‌لرزه قدیمی است که بر روی رسوبات مخروط افکنه‌ای اثر گذاشته‌اند، اما در رسوبات جوان‌تر بالایی (حدود ۴۰ سانتیمتر)، اثری از شکستگی دیده نمی‌شود. این موضوع حاکی از نبود فعالیت لرزه‌ای در این بخش و در دوره‌های اخیر است. اما شواهد ساختاری مشاهده شده در بازدید میدانی، از جمله بریدگی و جابه‌جایی رسوبات مخروط افکنه‌ای جوان، موجود ترانشه و رخنمون ملاترهای افیولیتی، همگی بیانگر پویایی زمین‌ساختی منطقه است. نبود شواهد گسیختگی در رسوبات جوان بالایی، نشان می‌دهد مرحله کنونی بدون لرزه نمی‌تواند به‌عنوان نشانه‌ای از غیرفعال بودن گسل باشد، بلکه احتمالاً گسل در مرحله تجمع تنش قرار دارد که پتانسیل لرزه‌زایی آن را افزایش می‌دهد و می‌تواند در آینده زمینه‌ساز زمین‌لرزه‌های مهمی در منطقه باشد.

گسل‌های فرعی مهم منشعب از گسل ندوشن شامل سورک، ابراهیم سوخته، علی‌آباد سورک و علی شفیع دارای ویژگی‌های ساختاری مجزایی هستند که اغلب از نوع راستالغز راست‌بر با مؤلفه نرمال بوده و با شواهدی مانند آینه گسلی، خط خش، تراورتن‌زایی و آلتراسیون همراه‌اند.

با در نظر گرفتن شواهد ریخت‌شناسی، زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی مشاهده شده، پهنه گسله ندوشن، به‌عنوان یک ساختار فعال و مهم در ایران مرکزی که زمین‌لرزه‌های مخرب آن دوره بازگشت طولانی دارند، نیازمند پایش دقیق و مداوم است. از این‌رو، انجام مطالعات تکمیلی در زمینه تکنیک فعال، پایش تغییرات سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین ارزیابی خطر لرزه‌ای با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی و پردازش‌های هوش مصنوعی، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت ریسک زمین‌لرزه و کاهش خسارات احتمالی در آینده داشته باشد.

۶- منابع

بصیری، م.، نظری، ح.، فروتن، م.، سلیمانی آزاد، ش.، شکری، م.ع.، طالبیان، م.، قرشی اویسی، ب.، بلورچی، م.ج. و رشیدی، ع. ۱۳۹۲، شناسایی الگوی خوشه‌ای رخداد زمین‌لرزه‌های پارینه روی گسل گلباف، جنوب خاوری



- Iran. Ph.D. thesis, Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, 197 p.
- Foroutan, M., Sébrier, M., Nazari, H., Meyer, B., Fattahi, M., Rashidi, A., Le Dortz, K., Bateman, M.D. and Siame, L., 2012. New evidence for large earthquakes on the Central Iran plateau: Palaeoseismology of the Anar fault. *Geophysical Journal International*, 189, 6–18.
- Hessami, Kh., Jamali, F. and Tabassi, H., 2003. Major active faults of Iran, International Institute of earthquake Engineering and Seismology.
- Kargaranbafghi, F., Neubauer, F. and Genser, J., 2011. Cenozoic kinematic evolution of southwestern Central Iran: Strain partitioning and accommodation of Arabia–Eurasia convergence. *Tectonophysics*, 502, 221–243.
- Le Dortz, K., Meyer, B., Sébrier, M., Braucher, R., Nazari, H., Benedetti, L., Fattahi, M., Bourlès, D., Foroutan, M., Siame, L., Rashidi, A. and Bateman, M. D., 2011. Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods, *Geophysical Journal International*, 185, 1147–1174, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05010.x>.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. and Agard, P., 2006. Evidence of Quaternary activity along the Deshir Fault: Implications for the Tertiary tectonics of Central Iran. *Geophysical Journal International*, 164(1), 192–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02794.x>
- Meyer, B. and Le Dortz, K., 2007. Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip rates averaged over the Holocene. *Tectonics*, 26, TC5009. <https://doi.org/10.1029/2006TC002073>
- the first seismotectonic map of IRAN, A Seismotectonic review of the country, *Geol. Iran*, 39, 7-142, 1976.
- Berberian, M. and King, G., 1981. “Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply.” *Canadian Journal of Earth Sciences* 18(11): 1764-1766.
- Chiu, H.-Y., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M. and Iizuka, Y., 2013. Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos*, 162–63: 70–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006>.
- Fattahi, M., Meyer, B., Sébrier, M., Nazari, H., Foroutan, M., Le Dortz, K., Bateman, M.D. and Rashidi, A., 2010. Refining the OSL age of the last earthquake on the Dehshir fault, Central Iran. *Quaternary Geochronology*, 5, 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2009.04.005>
- Fazeli, B., Khalili, M., Toksoy Köksal, F., Mansouri Esfahani, M. and Beavers, R., 2017. Petrological constraints on the origin of the plutonic massif of the Ghaleh Yaghmesh area, Urumieh–Dokhtar magmatic arc, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 129: 233–247.
- Foroutan, M., Meyer, B., Sébrier, M., Nazari, H., Murray, A.S., Le Dortz, K., Shokri, M.A., Arnold, M., Bourlès, D., Aumaître, G., Keddadouche, K., Solaymani Azad, S. and Fattahi, M.J., 2014. Late Pleistocene–Holocene right-lateral slip rate and paleoseismology of the Nayband fault, western margin of the Lut block, Iran. *Journal of Geophysical Research*, 119, 3517–3560.
- Foroutan, M., 2013. Active tectonics and paleoseismology of strike-slip faults of Central

- Nazari, H., Fattahi, M., Meyer, N., Sébrier, M., Talebian, M., Foroutan, M., Le Dortz, K., Bateman, M. D. and Ghorashi, M., 2009. First evidence for large earthquakes on the Deshir fault, Central Iran Plateau, Terra Nova, 21, 417–426.
- Nicolas, A., 1989. Structure of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht–Boston.
- Nowroozi, A.A., 1976. Seismotectonic provinces of Iran. Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 1246–1276.
- Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. Ore Geology Reviews, 70: 323–345. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009>.
- Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. Mineralium Deposita 44(3): <https://doi.org/10.1007/s00126-008-0216-0>
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004. Contemporary crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman. Geophysical Journal International, 157, 381–398.

