

الگوی میدان تنش در پایانه جنوبی سامانه گسلی نهپندان با استفاده از وارون سازی ساز و کار کانونی

زمین لرزه ها: گستره ریگان

مهتاب افلاکی^۱

۱- استادیار؛ دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵؛ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

* نویسنده مسئول مکاتبات: aflaki@iasbs.ac.ir

واژگان کلیدی

چکیده

انحراف محلی میدان تنش منطقه ای می تواند بر ساز و کار زمین لرزه ها در مقیاس محلی تأثیر گذار باشد. در بخش مرکزی، خاوری و جنوب خاوری ایران راستای بیشینه تنش افقی (σ_1) منطقه ای NE-SW است. در حاشیه ی جنوبی بلوک لوت، محدوده ریگان، دو زمین لرزه با بزرگای ۶/۵ و ۶/۲ به ترتیب در آذر و بهمن ماه سال ۱۳۸۹ در راستای دو گسله ی کور رخ داده اند. زمین لرزه اول با سازوکار راستالغز راستبر در طول گسله ی با راستای NE-SW خاور چاهقنبر و زمین لرزه دوم با ساز و کار راستالغز چپبر در طول گسله ی با راستای NW-SE جنوب چاهقنبر اتفاق افتاده اند. برخلاف زمین لرزه اول، ساز و کار زمین لرزه دوم با ساز و کار قابل انتظار در رژیم تنش منطقه ای گستره خاور و جنوب خاور ایران قابل توجیه نیست. برای بررسی این تفاوت، وضعیت تنش محلی در گستره ریگان و پیرامون بلوک لوت با وارون سازی ساز و کار کانونی ۷۴ زمین لرزه (۱۳۹۷-۱۳۱۲) با بزرگای $M_w \geq 4/8$ بدست آمد. نتایج نشان داد راستای محور بیشینه تنش افقی در طول پهنه گسله نهپندان از شمال به جنوب ۳۳ درجه در جهت عقربه های ساعت چرخیده و در محدوده ریگان به $N077^\circ E$ می رسد. این تغییرات با الگوی قابل انتظار برای انحراف محلی تنش در بخش های کششی پایانه گسله های راستالغز همخوان است. در صورتی که در پهنه تراستی شهداد در باختر ریگان، راستای محور بیشینه تنش افقی $N013-026^\circ E$ است. بنابراین، منطقه ریگان از نظر ساختاری بخشی از پایانه جنوبی سامانه گسلی نهپندان در نظر گرفته می شود. بنابراین مطالعه، از میان عوامل موثر در تغییر تنش محلی و در نتیجه سازوکار زمین لرزه ها در گستره ریگان، بیشترین نقش را می توان به فعالیت پهنه گسله پی سنجی نهپندان اختصاص داد.

زمین لرزه ریگان
گسله نهپندان
رژیم تنش محلی
وارون سازی سازوکار کانونی زمین لرزه ها
بلوک لوت

۱- مقدمه

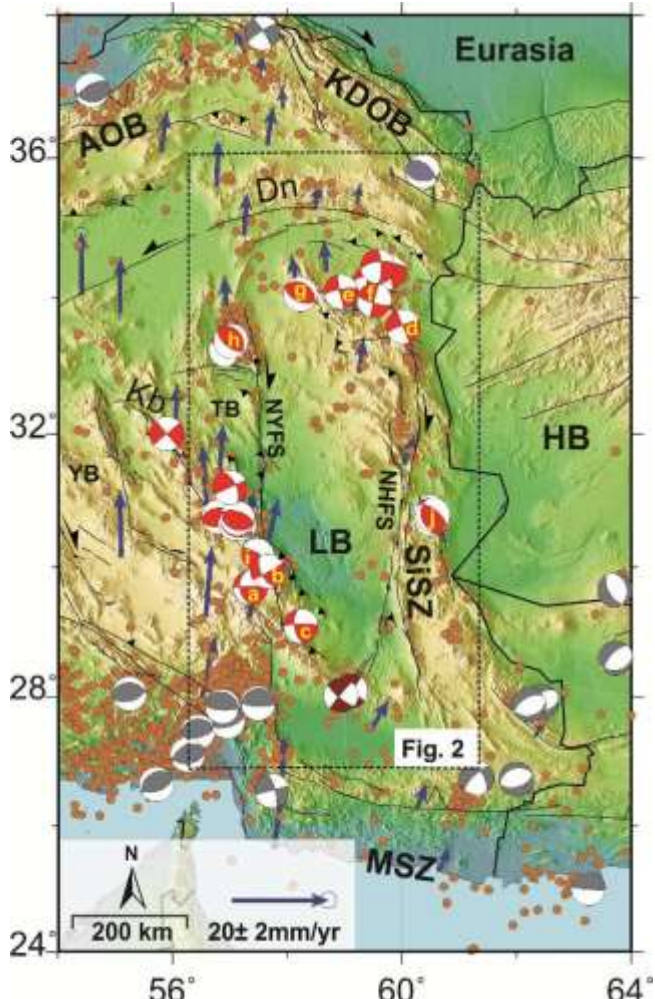
از دیدگاه مخاطرات زمین لرزه‌ها، انحراف میدان تنش که در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی و به دلیل ناپیوستگی‌های ساختاری، زمین لرزه‌های بزرگ، توپوگرافی در مناطق کوهستانی، و اختلاف رئولوژی رخ می‌دهند دارای اهمیت هستند (Zoback and Richardson, 1996; Heidbach et al., 2007; Zang and Stephansson, 2009; Hardebeck and Okada, 2018; رضا و همکاران، ۱۳۹۳). طی سال ۱۳۸۹، یک توالی از زمین لرزه‌های با بزرگای متوسط در لبه‌ی جنوبی بلوک لوت، محدوده ریگان، رخ داده است (شکل ۱). بنابر مطالعات پیشین (Walker et al., 2013; Amiri et al., 2020) رخداد اولین زمین لرزه ریگان در ۲۹ آذر ۱۳۸۹ (عرض جغرافیایی ۲۸/۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹/۱۹ درجه خاوری) با بزرگای گشتاوری ۶/۵ (Walker et al., 2013) در طول گسله شرق چاهقنبر با راستای NE-SW و زمین لرزه دوم در ۷ بهمن ۱۳۸۹ (عرض جغرافیایی ۲۸/۱۷ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹/۰۴ درجه خاوری) با بزرگای گشتاوری ۶/۲ (Walker et al., 2013) در طول گسله‌ی جنوب چاهقنبر با راستای NW-SE رخ داده‌است. با توجه به راستای NE-SW محور بیشینه تنش افقی در گستره خاور ایران (Zarifi et al., 2014) انتظار می‌رود گسله‌های با راستای NE-SW با سازوکار راستالغز راست‌بر و گسله‌های با راستای NW-SE با سازوکار غالب معکوس فعال شوند. با این وجود، سازوکار راستالغز چپ‌بر زمین لرزه دوم با آنچه از رژیم تنش منطقه‌ای قابل پیش‌بینی است متفاوت است. بنابراین، اگر چه زمین لرزه‌های ۱۳۸۹ ریگان در دسته زمین لرزه‌های بزرگ یا ویرانگر فلات ایران قرار ندارند، ولی ناهمخوانی مشاهده شده در رفتار لرزه‌ای نسبت به الگوی تنش منطقه‌ای، همراه با ماهیت زیرسطحی این گسله‌ها اهمیت مطالعه آنها را نشان می‌دهد.

در این مطالعه رژیم تنش محلی در گستره ریگان و پیرامون بلوک لوت با کمک وارون‌سازی سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها بدست آمده و تغییرات محلی آن بررسی شده‌است. برای این وارون‌سازی از نرم‌افزار FCALC (Carey-Gailhardis and Mercier, 1978) استفاده شده است. همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی (Aghanabati, 1992 and 1994; Vahdati Daneshmand, 1990;) (Nogole Sadat and Almasian, 1993) و مطالعات پیشین (Walker et al., 2013) نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده‌ی گستره ریگان، همراه با راستای گسله‌های فعال، ترسیم شده‌است. سرانجام، با توجه به کمبود داده‌های میدانی در منطقه مورد مطالعه، سازوکار امروزی گسله‌ها با توجه به رژیم تنش حاصله پیشنهاد شده است.

۲- زمین‌شناسی

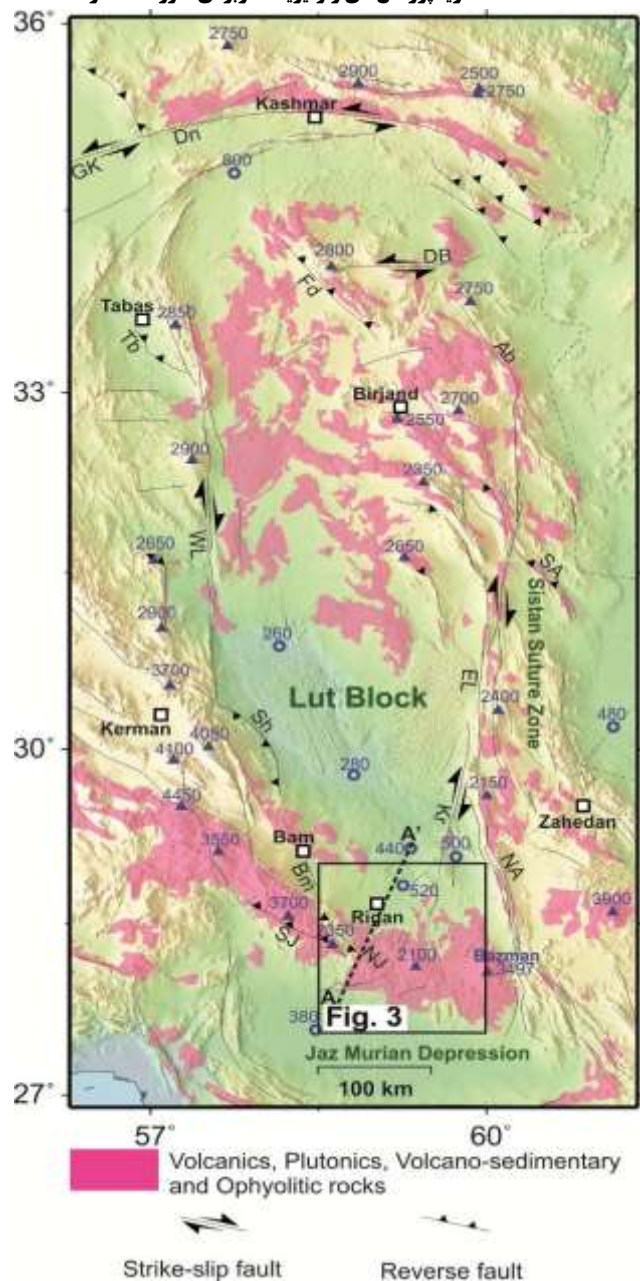
بلوک صلب لوت، توسط سیستم‌های گسلی عمیق پی‌سنگی با

راستای N-S نهپندان و نایبند در حاشیه‌های خاوری و باختری و شاخه‌های پایانه‌ی آنها در جنوب محدود می‌شود (شکل ۱). در بخش خاوری، زمین درز سیستان بلوک لوت را از بلوک هلمند در صفحه اوراسیا



شکل ۱: نقشه تکتونیک فعال خاور ایران. دایره‌های قهوه‌ای کانون زمین لرزه‌های $M_w \leq 4.5$ از سال ۱۹۷۲ تاکنون (USGS) را نشان می‌دهند. ساز و کارهای کانونی مربوط به زمین لرزه‌های $M_w \geq 6$ است؛ که از سال ۱۹۷۶ در سراسر فلات ایران (خاکستری)، اطراف بلوک لوت (قرمز) و منطقه ریگان (قرمز تیره) رخ داده‌اند. بردارهای آبی، میدان سرعت افقی GPS نسبت به اوراسیای ثابت (Khorrami et al., 2019) است. گسله‌ها از Walperzdorf et al., 2014 است. حروف اختصاری گسله‌ها: Dn: درونه، NYFS: نایبند، NHFS: نهپندان، Kb: کوهبنان، SISZ: زمین درز سیستان. حروف اختصاری بلوک‌ها: HB: هلمند، LB: بلوک لوت، YB: یزد. حروف اختصاری کوهزادها: KDOB: کپه‌داغ، AOB: البرز، MSZ: فرورانش مکران. ساز و کار کانونی زمین لرزه‌ها (a) ۱۳۶۰ گلباف (۶/۷ M_w), (b) ۱۳۷۶ فندوقا (۶/۶ M_w), (c) ۱۳۸۲ بم (۶/۹ M_w), (d) ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات (۷/۲ M_w), (e) ۱۳۴۷ (۷/۱ M_w) و (f) ۱۳۵۸ (۷/۱ M_w) دشت بیاض (g), ۱۳۴۷ فردوس (۶/۲ M_w), (h) ۱۳۵۷ طیس (۷/۳ M_w), (i) ۱۳۶۰ سیرج (۷/۱ M_w), (j) ۱۳۷۲ سفیدابه (۵/۵ تا ۶/۲ M_w).

جدا می‌کند. در این پهنه، سامانه گسلی اصلی راستالغز راست‌بر



شکل ۲: نقشه ساختاری ساده شده خاور ایران. واحدهای سنگی از نقشه تکتونیک ایران (Nogole-Sadat, M.A.A. and Almasian, M., 1993) و گسله‌ها از مطالعه Khorrami et al. (2019) است. ارتفاع برخی از بلندترین پست‌ترین نقاط پیرامون بلوک لوت به ترتیب با علامت ضربدر و دایره آبی مشخص شده‌اند. مناطق با رنگ صورتی معرف رخنمون سنگ‌های آذرین، آذرآواری و افیولیت‌ها هستند. خط چین سیاه محل نیمرخ توپوگرافی شکل ۳ و ۴ را نشان می‌دهد. حروف اختصاری گسله‌ها: Ab: ابیز، Bm: بم، DB: دشت بیاض، Dn: درونه، Fd: فردوس، GK: بزرگ کویر، Kb: کوهبنان، Kr: کهورک، NA: نصرت‌آباد، NJ: شمال جبال‌بارز، NHFS: نه‌بندان، NYF: نابیند، Sh: شهداد، SJ: جنوب جبال‌بارز، Tb: طبس. سایر حروف اختصاری: JBM: کوه‌های جبال‌بارز.

نه‌بندان از شمال به سامانه گسلی با راستای E-W راستالغز چپ‌بر دشت-بیاض محدود شده‌است. در پایانه جنوبی، این پهنه شامل شاخه‌های با راستای N-S تا NNE-SSW و سازوکار راستالغز راست‌بر مانند گسله-های نصرت‌آباد و کهورک است (شکل ۲). گسله کهورک رو به جنوب به چند گسله راستالغز فرعی منشعب می‌شود. در باختر بلوک لوت، سامانه گسلی راستالغز راست‌بر نابیند بلوک لوت را از بلوک طبس جدا می‌کند (شکل ۱). در پایانه‌ها، این گسله به پهنه‌های تراسی با راستای NW-SE ختم می‌شود (شکل ۲)؛ که شامل پهنه طبس در شمال و پهنه‌های شهداد و جبال‌بارز در جنوب هستند (برای مثال، Walker et al., 2013; Walpersdorf et al., 2014; Rashidi et al., 2020). بلوک لوت از شمال به گسله‌ی با راستای عمومی E-W درونه محدود می‌شود؛ که ساز و کار راستالغز چپ‌بر دارد (شکل ۲).

بلوک لوت دارای توپوگرافی تقریباً مسطح، ارتفاع کم (حداقل ارتفاع حدود ۲۰۰ متر از سطح دریا) و پوشش رسوبی جوان است (شکل ۲). این بلوک غالباً توسط ملانژهای افیولیتی، سنگ‌های آذرین و فلیشی احاطه شده‌است؛ که مرتبط با توالی باز و بسته شدن حوضه‌های باریک اقیانوسی در اواخر مزوزوئیک تا سنوزوئیک میانی هستند (Berberian et al., 1982; Delaloy and Desmons, 1980; Desmons and Beccaluva, 1983; Tirrul et al., 1983; Moghadam et al., 2020). توالی دگربرختی‌ها همراه با نفوذ توده‌های آذرین، ارتفاعات باریکی را در اطراف بلوک لوت تشکیل داده‌است؛ که بیشینه ارتفاعشان در بخش‌های جنوبی و باختری به ترتیب حدود ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر و در بخش‌های خاوری و شمالی حدود ۲۰۰۰ متر از سطح آبهای آزاد است (شکل ۲).

گستره ریگان با توپوگرافی هموار و بیشینه ارتفاع حدود ۲۰۰۰ متر از سطح آبهای آزاد، شامل کوه‌های شاهسواران است؛ که از جنوب به فرونشست جازموریان و از شمال به دشت نرماسیر محدود شده‌است (شکل ۲ و ۳). کوه‌های جبال‌بارز با بیشینه ارتفاع ۳۶۰۰ متر و آتشفشان بزمان به ارتفاع ۳۴۰۰ متر این منطقه را به ترتیب از باختر و جنوب خاور محدود می‌کنند (شکل ۲ و ۳).

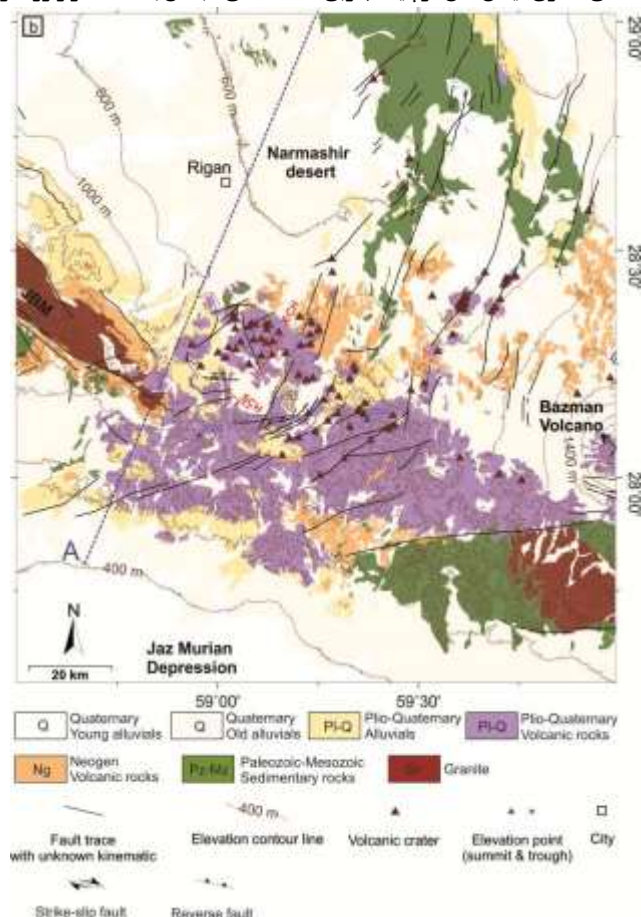
راستای گسله‌های این منطقه که نهشته‌های به سن کواترنری را متأثر ساخته‌اند، بیشتر NNE-SSW تا ENE-WSW است (Aghanabati, 1992 and 1994; Vahdati Daneshmand, 1990;) (Nogole Sadat and Almasian, 1993). بخشی از منطقه مورد مطالعه با جریان‌های آندزیتی و بازالتی به سن پلیوسن و کواترنری پوشیده شده است؛ که از میان سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری سنوزوئیک پایانی بیرون‌زده‌اند (Aghanabati, 1992 and 1994; Vahdati Daneshmand, 1990; Babakhani and Alavi Tehrani, 1992; Sahandi, 1996).

۳- زمین ساخت فعال

امروزه، با ثابت در نظر گرفتن صفحه اوراسیا، حدود ۲۲ میلی متر بر سال از همگرایی روبه NNE صفحه عربی در عرض جغرافیایی بحرین، در فلات ایران جذب می شود (Khorrami et al., 2004; Vernant et al., 2019). براساس یافته‌های به دست آمده از مطالعات زمین لرزه‌ای، ژئودتیکی و زمین شناسی ساختاری، بخش بزرگی از این همگرایی صرف کوتاه شدگی در کمربندهای کوهزایی برخوردی اطراف فلات ایران می شود (Nilforushan et al., 2003; Vernant et al., 2004; Walpersdorf et al., 2006; Shabanian et al., 2009; Mousavi et al., 2013; Khorrami et al., 2019). مابقی این همگرایی در راستای ناپیوستگی‌های عمیق پی سنگی جذب می شود (Vernant et al., 2004; Walpersdorf et al., 2014) (شکل ۱) که فلات ایران را به چندین خرد بلوک سخت تا نیمه سخت از جمله انار، یزد، طبس و لوت تقسیم کرده اند.

به جز در بخش شمال باختری ایران، سازوکار عمومی زمین لرزه‌ها در سایر بخش‌ها از رژیم تنش منطقه‌ای با راستای بیشینه فشار افقی NE-SW پیروی می کند (Regard et al., 2004; Vernant et al., 2004; Navabpour et al., 2007; Shabanian et al., 2010; Javidfakhr et al., 2011; Zarifi et al., 2014; Jentzer et al., 2017; Heidbach et al., 2018; Aflaki et al., 2019; Baniadam et al., 2020). این رژیم تنش سبب می شود تا گسله‌های با راستای (۱) N-S ~ با ساز و کار راستالغز راست بر، (۲) NE-SW و E-W ~ با ساز و کار راستالغز چپ بر، و (۳) NW-SE با سازوکار غالب معکوس فعال شوند (Hessami et al., 2003; Walker and Jackson, 2004; Vernant et al., 2004; Walpersdorf et al., 2014; Baniadam et al., 2020). برای مثال می توان به این زمین لرزه‌ها اشاره کرد: (۱) رخدادهای با ساز و کار راستالغز راست بر ۱۳۶۰ گلباف (Mw ۶/۷)، ۱۳۷۶ فندوقا (Mw ۶/۶)، ۱۳۸۲ بم (Mw ۶/۹) و ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات (Mw ۷/۲) در طول گسله‌های با راستای N-S ~ نهپندان و نایبند، (۲) رخدادهای با ساز و کار راستالغز چپ بر ۱۳۴۷ و ۱۳۵۸ (Mw ۷/۱) در طول گسله E-W دشت بیاض، و (۳) رخدادهای با ساز و کار معکوس ۱۳۴۷ فردوس (Mw ۶/۲)، ۱۳۵۷ طبس (Mw ۷/۳)، ۱۳۶۰ سیرج (Mw ۷/۱) و ۱۳۷۲ سفیدابه (Mw ۵/۵ تا ۶/۲) در طول گسله‌های با راستای W-SE (Tchalenko and Ambraseys, 1970; Ambraseys, 1975; Berberian, 1976; Berberian, 1979; Berberian and Yeats, 1999; Berberian et al., 1984, 1999, 2000 and 2001; Talebian et al., 2004; Walker et al., 2003 and 2004; Jackson et al., 2006). موقعیت این زمین لرزه‌ها بر روی شکل ۱ نمایش داده شده است.

ویژگی توالی زمین لرزه ۱۳۸۹ ریگان متفاوت از رفتار عمومی آنها در فلات ایران است. این زمین لرزه‌ها در راستای گسله‌هایی ناشناخته و بدون پارگی سطحی قبلی اتفاق افتاده اند؛ که می توانند از شاخه‌های مرتبط با پایانه جنوبی هریک از گسله‌های نهپندان (سامانه گسلی کهورک) و یا نایبند (گسله‌های جبال یارز) باشند. اگر چه رخدادهای اصلی



شکل ۳: نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه ریگان. برای تفکیک واحدهای سنگی از نقشه های زمین شناسی چهار گوش های ایران شهر (Sahandi, M. R., 1996)، جهان آباد (Aghanabati, A., 1992)، جازموریان (Vahdati, 1990)، (Daneshmand, F., 1990)، خاش (Aghanabati, A., 1994) استفاده شده است. روند های اصلی گسلی به کمک تصاویر ماهواره ای Google Earths، نقشه تکتونیک ایران (Nogole-Sadat, M.A.A. and Almasian, M., 1993) و مطالعات پیشین در منطقه (Walke et al., 2013) ترسیم شده اند. راستای گسله های جوان که نهشته های پلیوسن و کواترنری را متاثر ساخته اند، بر روی نقشه مشخص شده است. همخوانی موقعیت دهانه های آتشفشانی پلیوسن و کواترنری (مثلث قرمز تیره) با راستای گسله ها بر روی نقشه قابل مشاهده است. موقعیت گسل های کور خاور (ECH) و جنوب (SCH) چاه قنبر با خط چین قرمز مشخص شده است.

این فعالیت های آتشفشانی جوان همزمان با فوران های آتشفشانی بزمان و مرتبط با فرو رانش مکران هستند (به عنوان مثال، Berberian et al., 1982). ترسیم دهانه های آتشفشانی با استفاده از تصاویر ماهواره ای گوگل ارث (Google Earth) و نقشه های زمین شناسی (Aghanabati, 1990 and 1994; Vahdati Daneshmand, 1992) نشان می دهد که بیشتر دهانه های به سن پلیوسن و کواترنری در راستای گسله های NE-SW قرار دارند (Walker et al., 2013). این مدارک شواهد بیشتری را مبنی بر فعالیت های کواترنری گسله های با راستای NE-SW در این منطقه بدست می دهند (شکل ۳).

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.

داده‌های لغزشی گسله، وضعیت اندرسونی محورهای تنش حاصله، شکل میدان تنش حاصله $(R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1))$ و زاویه ناهمخوانی میان خشلغزش محاسبه شده با خشلغزش بدست‌آمده از ساز و کار کانونی زمین‌لرزه تعیین شده‌است. شکل میدان تنش نسبت بزرگای تنش‌های اصلی σ_1 ، σ_2 و σ_3 است به گونه ای که $(\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3)$ باشد. شکل میدان تنش همراه با جهت یافتگی فضایی محورهای اصلی تنش، وضعیت خشلغزش بر روی یک سطح گسله را کنترل می‌کند. شکل میدان تنش می‌تواند بنا به نسبت بزرگای تنش‌های اصلی در یک فضای سه بعدی از کره‌ای $(\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3)$ تا کلوچه‌ای $(\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3)$ و دوکی شکل $(\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3)$ تغییر می‌کند. نتایج وارون‌سازی (جدول ۱) نشان‌دهنده وضعیت تنش فشارشی (C) و راستالغز (S) تا ترافشارشی (Tp) در پیرامون بلوک لوت است.

جدول ۱: وضعیت تنش بدست آمده از وارون‌سازی ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌های جدول پیوست ۱. روند (trend) و میل (plunge) محورهای اصلی تنش‌های اصلی بر حسب درجه است. σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب محورهای تنش اصلی بیشینه، میانه و کمینه هستند. N_t تعداد صفحه‌های کمکی و R شکل میدان تنش است. Q کیفیت تنش عالی (A) و خوب (B) است، که بر پایه وضعیت اندرسونی محورهای اصلی تنش، وضعیت لغزش بر روی سطوح گسله، مقادر زاویه ناهمخوانی خشلغزش اندازه گیری و محاسبه شده و همخوانی شکل میدان تنش با سازوکار گسله‌ها تعریف می‌شود. R_m معرف رژیم تنش ("C" فشارش، "Tp" ترافشارش و "S" راستالغز) است.

Zone	N_t	6_1		6_2		6_3		R	Q	R_m
		Trend	Plunge	Trend	Plunge	Trend	Plunge			
Rigan	7	77	5	302	83	168	5	0.27	A	S
Kahura k	3	66	4	325	68	158	22	0.78	B	Tp
Shahda d-Bam	7	13	10	168	79	282	5	0.6	A	S
	8	26	11	116	0	207	79	0.74	A	C
Nayban d -	14	193	5	294	65	100	24	0.63	B	S
Kuhban an	14	190	0	100	7	281	83	0.45	A	C
Nehban dan	15	51	6	320	8	176	80	0.76	A	C
	11	44	2	135	17	308	76	0.57	A	C
Tabas- Dessht- e-Bayaz	10	228	3	123	76	318	13	0.83	A	Tp

در پهنه‌های شهداد-بم، نایبند-کوهبنان، و طبس-دشت‌بیاض هر دو وضعیت تنش فشارشی و راستالغز/ترافشارشی، در پهنه ریگان وضعیت تنش راستالغز، در گستره کهورک تنش ترافشارشی و در بخش مرکزی گسله نه‌بندان وضعیت تنش در مرز فشارش-ترافشارش بدست‌آمده‌است. هر چند در تمامی این حالت‌های تنش، جهت عمومی محور بیشینه تنش افقی (σ_1) با راستای NE-SW را نشان می‌دهند؛ ولی همان‌طور که در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، یک انحراف محلی در راستای این محور قابل مشاهده است.

فاقد پارگی سطحی بوده‌اند؛ ولی به سبب وجود پس‌لغزش‌های^۱ جزئی، ترک‌های ان‌اشلان سطحی در ارتباط با هردو زمین‌لرزه گزارش شده‌اند (Walker et al., 2013). مطالعات پیشین (Walker et al., 2013; Amiri et al., 2020) نشان دادند که زمین‌لرزه‌ی اول ($M_w 6/5$) با $1/3$ متر جابجایی راست‌بر در طول گسله خاور چاه‌قنبر با راستای $N210^\circ E$ و زمین‌لرزه‌ی دوم ($M_w 6/2$) با $0/6$ متر جابجایی چپ‌بر در طول گسله جنوب چاه‌قنبر با راستای $N310^\circ E$ (در حدود ۲۰ کیلومتری گسله خاور چاه‌قنبر) رخ داده‌اند (شکل ۳).

۴- روش مطالعه و نتایج

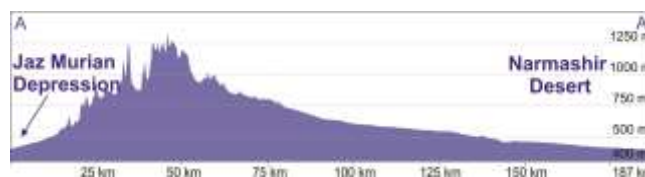
برای بررسی وضعیت تنش محلی در گستره ریگان، نسبت به رژیم تنش منطقه‌ای حاکم بر بخش خاوری ایران، از روش وارون‌سازی (Carey and Brunier, 1974; Carey, 1979; Carey-Gailhardis and Mercier, 1987; Shabanian et al., 2010; Lacombe, 2012) ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌ها استفاده شده‌است. بدین منظور از ۹۹ ساز و کار کانونی بدست‌آمده برای ۷۴ رخداد زمین‌لرزه ($M_w \geq 4/8$) از سال ۱۳۱۲ تا ۱۳۹۷ در پیرامون بلوک لوت استفاده شده است (Global CMT catalog; USGS catalog; Baker, 1993; Jackson et al., 1995; Engdahl et al., 1998; Berberian et al., 2000 and 2001, Talebian et al., 2006; Walker et al., 2011 and 2013; Weston et al., 2018). جدول پیوست ۱- اطلاعات این زمین‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد.

برای وارون‌سازی داده‌ها، ابتدا با توجه به موقعیت رومرکز زمین‌لرزه‌ها در پیرامون بلوک لوت آنها را به شش خوشه‌ی مجزا تفکیک کردیم (جدول پ-۱) که عبارتند از خوشه‌های (۱) ریگان، (۲) کهورک، (۳) شهداد-بم، (۴) نایبند-کوهبنان، (۵) نه‌بندان و (۶) طبس-دشت بیاض. بر پایه اصول وارون‌سازی (Carey-Gailhardis and Mercier, 1987) برای هر رخداد تنها از صفحه‌ی کمکی (nodal plane) همخوان با گسله‌ی مسبب زمین‌لرزه استفاده می‌شود. برای رخداد‌های ۱۳۸۹ ریگان بنابر نتایج مطالعات پیشین (Walker et al., 2013; Amiri et al., 2020) به ترتیب از صفحات کمکی NE-SW و SE NW استفاده شد. برای رخداد‌های بزرگ که پارگی سطحی داشته‌اند، نیز از صفحه‌ی کمکی موازی با راستای پارگی سطحی استفاده شد (این داده‌ها با رنگ پس‌زمینه خاکستری در جدول پیوست ۱ مشخص شده‌اند). در جدول پیوست ۱- آن دسته از ساز و کارهای کانونی که در طی پردازش داده‌ها به دلیل ناهمخوانی، حذف شده‌اند با رنگ قرمز و سایر ساز و کارهای کار کانونی، صفحه کمکی مورد استفاده در پردازش نهایی با قلم ضخیم مشخص شده‌است. در جدول ۱، کیفیت وضعیت تنش به دست آمده به ترتیب با علامت‌های "A" و "B"، به ترتیب برای تانسورهای خیلی خوب و خوب، مشخص شده‌است. این کیفیت‌ها مستقیماً بر اساس کمیت

ارائه شده در شکل ۴ از نقطه با بیشترین ارتفاع (۲۰۰۰ متر) در کوه‌های شهسواران تا نقاط با ارتفاع ۴۰۰ متر در فرونشست جازموریان و دشت نرماشیر ترسیم شده‌است. میانگین شیب توپوگرافی در دو دامنه شمالی و جنوبی ارتفاعات منطقه مورد مطالعه در راستای این نیمرخ به ترتیب حدود ۲ و ۳ درجه است. این مقدار شیب، نسبت به آنچه از تاثیر توپوگرافی در برخی مطالعات پیشین مشاهده می‌شود ناچیز است. برای مثال شیب سطح زمین که منجر به تغییر تنش در بخش‌های خم گسله سن‌آندریاس شده‌است؛ حدود پنج درجه (Fialko et al., 2005) و در کوه‌های دیویس باختر تگزاس حدود ۱۵ درجه (Savage and Morin, 2002) است. از سوی دیگر، اختلاف توپوگرافی ذکر شده در محدوده ریگان، در سایر مناطق پیرامون بلوک لوت نیز مشاهده می‌شود. بنابراین شواهد، اختلاف توپوگرافی موجود در گستره ریگان نمی‌تواند نقش ویژه‌ای در تغییر تنش محلی داشته‌باشد.

اختلاف رئولوژی ناشی از ناهمگنی پوسته در مقیاس زمین‌ساختی و یا وجود واحدهای سنگی با اختلاف مقاومت شاخص (مانند وجود دیابیرهای نمکی، توده‌های آذرین، و یا افق‌های جدایشی در یک منطقه) می‌توانند سبب تغییر محلی در رژیم تنش منطقه‌ای شوند (Spada et al., 1992; Heidbach et al., 2007 and 2010; Zang and Stephansson, 2009; Mazabraud et al., 2013) که وسعت آن می‌تواند تا سه برابر شعاع ناهنجاری باشد (Zang and Stephansson, 2009). در محدوده ریگان، توالی از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی، افیولیت، توف و فلیش رخنمون دارند که تنها به گستره مورد مطالعه محدود نمی‌شوند؛ بلکه در پیرامون بلوک لوت قابل مشاهده هستند (شکل ۲). بنابراین، نمی‌توان نقش قابل ملاحظه‌ای برای این عامل در تغییر استرس محلی منطقه ریگان در نظر گرفت.

رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در یک منطقه می‌توانند منجر به انحراف محلی تنش شوند؛ همانند زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۱ توهو-کو-اکی^۱ (Mw ۹)، ۱۹۹۸ قطب جنوب (Mw ۸/۱)، ۲۰۰۸ ونچوان^۲ (Mw ۸)، ۲۰۰۴ سوماترا-آندامان^۳ (Mw ۹/۲)، و ۲۰۱۰ منتاوای^۴ (Antonioli et al., 2002; Luo and Liu, 2010; Enescu et al., 2012; Fujita et al., 2013; Lee et al., 2017; Qiu and Chan, 2019; Feng et al., 2020). چنین زمین‌لرزه‌هایی سبب افزایش لرزه‌خیزی پوسته، توزیع مجدد تنش همالرز^۵، و آشفستگی میدان تنش منطقه‌ای می‌شود؛ که می‌تواند تا چند سال باقی‌بماند. در محدوده ریگان گزارشی از رخداد چنین زمین‌لرزه‌هایی وجود ندارد. بنابراین می‌توان آن را از میان عوامل کنترل کننده‌های انحراف تنش محلی در منطقه مورد مطالعه حذف نمود. فعالیت گسله‌های بزرگ نیز می‌تواند منجر به انحراف میدان تنش محلی (Batron and Zoback, 1994; Burgmann and pollard, 1994; Homberg et al., 1997 and 2004; Angelier et al., 2004;



شکل ۴: نیمرخ توپوگرافی از کوه‌های شهسواران در راستای خط A-A'. موقعیت نیمره بر روی شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌است.

در طول سامانه گسلی نهبدان از شمال به جنوب یک چرخش تدریجی ساعتگرد در راستای محور (σ_1) مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که راستای آن در پهنه طبس-دشت بیاض $5^\circ \pm N044^\circ E$ ، در بخش میانی گسله نهبدان $5^\circ \pm N051^\circ E$ ، در پهنه گسله کهورک برابر با $5^\circ \pm N066^\circ E$ و در نهایت در گستره ریگان به $5^\circ \pm N077^\circ E$ تغییر یافته است. در حاشیه باختری بلوک لوت، راستای محور (σ_1) در پهنه طبس-دشت بیاض $5^\circ \pm N044^\circ E$ ، در پهنه نایبند-کوهبنان $5^\circ \pm N010^\circ E$ و در پهنه شهداد-بم $5^\circ \pm N013-026^\circ E$ بدست آمده‌است. تفاوت الگوی تغییر تنش در طول دو گسله نهبدان و نایبند را می‌توان ناشی از (۱) تفاوت پهنای سامانه‌های گسلی، (۲) وجود هندسه متفاوت در پایانه‌های آنها، و (۳) تفاوت الگوی انتقال تنش در باختر بلوک لوت (در طول سامانه گسلی گوک-سبزوآران) نسبت به خاور این بلوک دانست.

۵- بحث

بسته به مقیاس و هدف مطالعه (به عنوان مثال، استخراج معادن زیرزمینی، مخاطرات لرزه‌ای، ژئودینامیک، و غیره)، ناهمسانگردی‌ها و ناهمگنی‌های مختلفی می‌تواند با تغییر جهت و وضعیت میدان تنش منطقه‌ای، ویژگی میدان تنش محلی را تحت تاثیر قرار دهند (Heidbach et al., 2007; Heidbach et al., 2008 and 2010; Zang and Stephansson, 2009; Griffith et al., 2014; Gao et al., 2017; Lei and Gao, 2018; Rajabi et al., 2017). از دیدگاه زلزله‌شناسی ویژگی‌هایی همانند اختلاف توپوگرافی، اختلاف رئولوژی، رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ قبلی و وجود ناپیوستگی‌های عمیق پی‌سنگی می‌توانند مهم‌ترین نقش را در انحراف محلی سیستم تنش منطقه‌ای داشته باشند. در ادامه به نقش هر یک از این عوامل در تغییر رژیم تنش گستره ریگان پرداخته شده‌است.

انحراف تنش ناشی از اختلاف توپوگرافی در مقیاس‌های زمین‌ساختی (Zang and Stephansson, 2009; Heidbach et al., 2008 and 2018) تا محلی (Savage and Morin, 2002; Cowgill et al., 2004; Fialko et al., 2005) رخ می‌دهد و منجر به ایجاد حالت‌های مختلف تنش می‌شود. در محدوده ریگان، ارتفاعات شهسواران اختلاف توپوگرافی حدود ۱۶۰۰ متر نسبت به دشت‌های شمالی و جنوبی خود (در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری) دارند (شکل ۴). نیمرخ توپوگرافی

1 Tohoku-Oki
2. Wenchuan
3. Sumatra-Andaman
4. Mentawai
5. Coseismic stress



شکل ۵: الگوی تنش محلی پیرامون بلوک لوت. مسیر^۱ محورهای تنش (σ_1) با خطوط سفید رنگ مشخص شده است. ساز و کارهای کانونی آبی، بنفش، صورتی، سبز، زرد و قرمز به ترتیب مربوط معرف پهنه‌های طبس-دشت بیاض، نه‌بندان، نایبند - کوه‌بنان، شهداد - بم، کهورک و ریگان هستند. محورهای تنش برای هر منطقه با رنگ مشابه نمایش داده شده است. علامت‌های اختصاری همانند زیرنویس شکل‌های ۱، ۲ و ۳ است. اعداد، شماره ساز و کارهای کانونی در جدول پیوست ۱ را نشان می‌دهد.

همچنین برای راستاهای فرعی تر NW-SE همانند گسله جنوب چاه قنبر، ساز و کار راستالغز چپ‌بر انتظار می‌رود. همچنین از آنجا که داده‌های این مطالعه گستره ارتفاعات جبال بارز را پوشش نداده؛ به سمت شرق منطقه مورد مطالعه ساز و کار پیشنهادی برای گسله‌ها ارائه نشده است، هر چند مطالعات پیشین (Rashidi et al., 2020) ساز و کار غالب معکوس را برای گسله‌های با راستای NW-NE در این محدوده نشان داده‌اند.

۶- نتایج

برای بررسی تفاوت میان ساز و کار توالی زمین‌لرزه‌های ۱۳۸۹ ریگان در لبه جنوبی بلوک لوت با وضعیت رژیم تنش منطقه‌ای خاور و

پیرامون آن تا فواصلی کمتر از نصف طول گسله شود (Duna and Oglesby, 2006; Okubo and Schultz, 2006; Homberg et al., 2004). بزرگای اختلاف تنش، راستای گسله نسبت به میدان تنش منطقه‌ای، ضریب اصطکاک سطح گسله (Du and Aydin, 1995; Chester and Chester, 1997)، ناهم‌واری سطح گسله (Homberg, 1997)، هندسه سطح گسله (از جمله هندسه پله‌ها، رمپ‌ها، خم‌ها)، الگوی پایانه گسله‌ها (Duna and Bertoluzza and Perotti, 1997; Oglesby, 2006)، و مدول الاستیک (Chester and Chester, 2000) از جمله شاخص‌های کنترل‌کننده در الگوی انحراف میدان تنش محلی در پیرامون گسله‌ها هستند. در مورد گسله‌های راستالغز، میزان انحراف راستای محور بیشینه تنش افقی (σ_1) به سمت پایانه‌های گسله‌ها بیشتر می‌شود (Mount and Suppe, 1992; Du and Aydin, 1995; Bertoluzza and Perotti, 1997; Homberg et al., 1997 and Bertoluzza and Perotti, 1997; Oglesby, 2006). مدلسازی‌های عددی (Angelier et al., 2004) و حل ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌ها (Angelier et al., 2004) نشان می‌دهند که راستای محور (σ_1) در بخش کششی پایانه‌ها به صورت ساعتگرد و در بخش فشارشی پایانه‌ها به صورت پادساعتگرد دچار چرخش می‌شود. زمین‌لرزه‌های با ساز و کار راستالغز ۱۳۸۹ ریگان در لبه جنوبی بلوک لوت رخ داده‌اند، درجایی که شاخه‌های پایانه جنوبی سامانه‌های گسلی نایبند و نه‌بندان توسعه یافته‌اند. الگوی تدریجی چرخش محور تنش (σ_1) در طول سامانه گسلی نه‌بندان و به سمت پایانه جنوبی آن (از $N051^\circ E$ در بخش میانی تا $N077^\circ E$ در گستره ریگان) با الگوی قابل پیش‌بینی در پایانه‌های کششی گسله‌های راستالغز همخوان است. از سوی دیگر، گستره ریگان در بخش پایانه فشارشی گسله‌ی راستالغز راست‌بر نایبند قرار دارد؛ درجایی که انتظار می‌رود محور تنش (σ_1) نسبت به بخش میانی پهنه‌ی گسله ($N010^\circ E$) چرخش پادساعتگرد داشته باشد. در صورتی که محور تنش (σ_1) در منطقه ریگان نسبت به بخش میانی پهنه‌ی گسلی نایبند چرخش قابل توجه ساعتگرد دارد. این داده‌ها نشان می‌دهند که می‌توان گستره ریگان را از نظر ساختاری بخشی از قلمرو سامانه گسلی نه‌بندان در نظر گرفت. همچنین این داده‌ها نقش موثر سامانه گسله پی‌سنگی نه‌بندان را در کنترل وضعیت تنش محلی و رفتار لرزه‌خیزی بخش جنوبی بلوک لوت مشخص می‌کنند (شکل ۵).

شکل ۶ راستای غالب گسله‌های فعال در گستره ریگان و ساز و کار پیش‌بینی شده‌ی آنها بنابر رژیم تنش راستالغز و راستای $N077^\circ E$ برای بیشینه فشارش افقی محلی را نشان می‌دهد. مسیر بیشینه فشارش افقی محلی با خط چین آبی بر روی شکل نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، راستاهای غالب گسله‌ها در این بخش N-S، NE-SW و E-W است. بنابر تنش محلی به‌دست آمده، انتظار می‌رود راستاهای فوق به ترتیب با ساز و کارهای معکوس با مولفه راستالغزی راست‌بر، راستالغز راست‌بر/ راست‌بر با مولفه معکوس و راستالغز چپ‌بر با مولفه نرمال فعال

رقومی (SRTM 90mDEM; <http://srtm.csi.cgiar.org>) استفاده شده است.

۸- منابع

رضا، م.، عباسی، م.، جوان دولویی، غ.، سدیدخوی، ا.، ۱۳۹۳. شناسایی گسل مسبب زمین لرزه ۲۹ آذر ۱۳۸۹ محمدآباد ریگان (کرمان) و سازوکار کانونی آن براساس تحلیل پسلرزه ها. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۸، شماره ۱، صفحه ۵۹-۷۰.

Aflaki, M., Mousavi, Z., Ghods, A., Shabanian, E., Vajedian, S. and Akbarzadeh, M., 2019. The 2017 M w 6 Sefid Sang earthquake and its implication for the geodynamics of NE Iran. *Geophysical Journal International*, 218(2), pp.1227-1245. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz172>

Aghanabati, A., 1992. Geological Quadrangle Map of Jahanabad, scale 1: 250,000, Geological Survey of Iran, K12.

Aghanabati, A., 1994. Geological quadrangle map of Khash, scale 1: 250,000, Geological Survey of Iran, L12.

Amiri, M., Mousavi, Z., Atzori, S., Khorrami, F., Aflaki, M., Tolomei, C., Motaghi, K. and Salvi, S., 2020. Studying postseismic deformation of the 2010-2011 Rigan earthquake sequence in SW Iran using geodetic data. *Tectonophysics*, p.228630. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228630>

Angelier, J., Slunga, R., Bergerat, F., Stefansson, R. and Homberg, C., 2004. Perturbation of stress and oceanic rift extension across transform faults shown by earthquake focal mechanisms in Iceland. *Earth and Planetary Science Letters*, 219(3-4), pp.271-284. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00704-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00704-0)

Antonioli, A., Cocco, M., Das, S. and Henry, C., 2002. Dynamic stress triggering during the great 25 March 1998 Antarctic Plate earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(3), pp.896-903. <https://doi.org/10.1785/0120010164>

Babakhani, A. R., and Alavi Tehrani, N., 1992. Geological quadrangle map of Sabzevaran, scale 1:250,000, Geological Survey of Iran, J12.

Baniadam, F., Shabanian, E. and Bellier, O., 2020. The kinematics of the Dasht-e Bayaz earthquake fault during Pliocene-Quaternary: implications for the geodynamics of eastern Central Iran. *Tectonophysics*. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228218>

Barton, C.A. and Zoback, M.D., 1994. Stress perturbations associated with active faults penetrated by boreholes: Possible evidence for near- complete stress drop and a new technique for stress magnitude measurement. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B5), pp.9373-9390. <https://doi.org/10.1029/93JB03359>

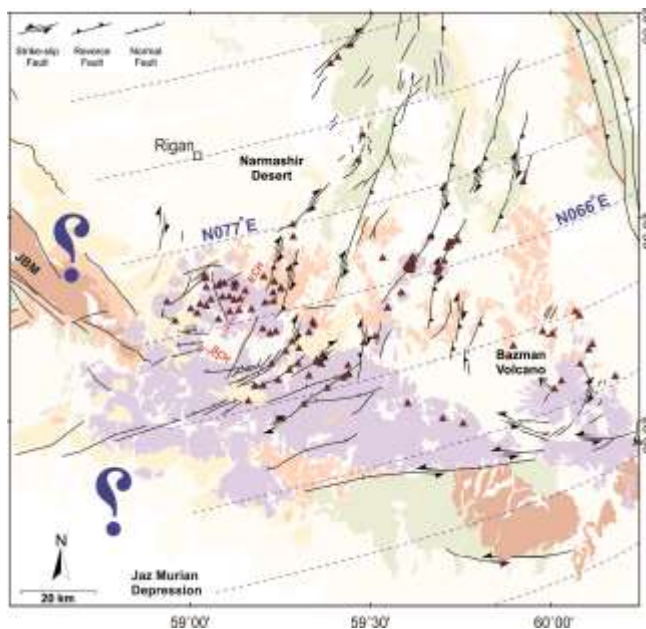
Berberian, M., 1976. Documented earthquake faults in Iran. *Geol. Surv. Iran*, 39, pp.143-186.

Berberian, M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16, 1978. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 69(6), pp.1861-1887.

Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society*, 139(5), pp.605-614. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>

Berberian, M., Jackson, J.A., Ghorashi, M. and Kadjar, M.H., 1984. Field and teleseismic observations of the 1981 Golbaf-Sirch earthquakes in SE Iran. *Geophysical Journal*

جنوب خاور ایران، وضعیت تنش‌های محلی در طول سامانه‌های گسلی پیرامون بلوک لوت با وارونسازی تعداد ۹۹ ساز و کار کانونی مرتبط با ۷۴ رخداد زمین لرزه‌ای ($M_w \geq 4/8$) که طی سال‌های ۱۳۱۲ تا ۱۳۹۷ رخ داده‌اند؛ به دست آمد. نتایج حاکی از غلبه رژیم‌های تنش فشارشی/ترافشارشی و راستالغز در این منطقه است.



شکل ۶: ساز و کارهای مورد انتظار برای روندهای گسلی اصلی منطقه با توجه به رژیم تنش محلی در گستره ریگان بر روی نقشه نشان داده شده است. مسیر بیشینه تنش افقی محلی (σ_1) با خط چین آبی مشخص شده است. نمادهای زمین‌شناسی استفاده شده برای تمامی عوارض موجود در این نقشه مشابه نقشه زمین‌شناسی شکل ۳ است.

هر چند جهت عمومی محور بیشینه تنش افقی (σ_1) در منطقه NE-W است؛ ولی روند آن از $N 010^\circ E \pm 5^\circ$ در باختر بلوک لوت تا $N 077^\circ E \pm 5^\circ$ در گستره ریگان تغییر می‌کند. الگوی تغییرات تنش در طول گسله‌های نایبند و نهبدان و مقایسه آن با وضعیت تنش به دست آمده در گستره ریگان مورد مطالعه، منطقه ریگان را از نظر ساختاری جزئی از قلمرو پایانه جنوبی سامانه گسلی نهبدان نشان می‌دهد. هر دو گسله‌های شرق و جنوب چاه قنبر می‌توانند از شاخه‌های فرعی پهنه گسلی کهورک باشند. به گونه‌ای که گسله شرق چاه قنبر با زاویه کم و ساز و کار همسو، و گسله جنوب چاه قنبر با زاویه زیاد و ساز و کار ناهمسو نسبت به راستای پهنه گسلی کهورک قرار گرفته‌اند. بنابراین، رژیم تنش محلی و ساز و کار زمین‌لرزه‌های منطقه را می‌توان متأثر از عملکرد این پهنه گسلی دانست.

۷- سپاس‌گزاری

در این مطالعه برای ترسیم خطوط تراز توپوگرافی از مدل ارتفاعی

- Geology, 39(1-2), pp.39-63. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(83\)90071-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(83)90071-2)
- Du, Y. and Aydin, A., 1995. Shear fracture patterns and connectivity at geometric complexities along strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B9), pp.18093-18102. <https://doi.org/10.1029/95JB01574>
- Duan, B. and Oglesby, D.D., 2005. Multicycle dynamics of nonplanar strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B3). <https://doi.org/10.1029/2004JB003298>
- Enescu, B., Aoi, S., Toda, S., Suzuki, W., Obara, K., Shiomi, K. and Takeda, T., 2012. Stress perturbations and seismic response associated with the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake in and around the Tokai seismic gap, central Japan. *Geophysical research letters*, 39(13). <https://doi.org/10.1029/2012GL051839>
- Engdahl, E.R., van der Hilst, R. and Buland, R., 1998. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(3), pp.722-743.
- Fialko, Y., Rivera, L. and Kanamori, H., 2005. Estimate of differential stress in the upper crust from variations in topography and strike along the San Andreas Fault. *Geophysical Journal International*, 160(2), pp.527-532. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02511.x>
- Feng, C., Yang, Y., Ma, X., Qi, B., Zhang, P., Meng, J., Tan, C. and Chen, Q., 2020. Local stress perturbations associated with the 2008 Wenchuan M 8.0 earthquake near the Longmenshan fault zone in the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*, p.104429. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104429>
- Fujita, E., Kozono, T., Ueda, H., Kohno, Y., Yoshioka, S., Toda, N., Kikuchi, A. and Ida, Y., 2013. Stress field change around the Mount Fuji volcano magma system caused by the Tohoku megathrust earthquake, Japan. *Bulletin of volcanology*, 75(1), p.679. <https://doi.org/10.1007/s00445-012-0679-9>
- Gao, K., Harrison, J.P., Lei, Q. and Latham, J.P., 2017. Investigating the relationship between far-field stress and local values of the stress tensor. *Procedia engineering*, 191, pp.536-542. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.215>
- Griffith, W.A., Becker, J., Cione, K., Miller, T. and Pan, E., 2014. 3D topographic stress perturbations and implications for ground control in underground coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 70, pp.59-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.013>
- Hardebeck, J.L. and Okada, T., 2018. Temporal stress changes caused by earthquakes: a review. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(2), pp.1350-1365. <https://doi.org/10.1002/2017JB014617>
- Heidbach, O., Reinecker, J., Tingay, M., Müller, B., Sperner, B., Fuchs, K. and Wenzel, F., 2007. Plate boundary forces are not enough: Second- and third- order stress patterns highlighted in the World Stress Map database. *Tectonics*, 26(6). <https://doi.org/10.1029/2007TC002133>
- Heidbach, O., Iaffaldano, G. and Bunge, H.P., 2008. Topography growth drives stress rotations in the central Andes: observations and models. *Geophysical Research Letters*, 35(8). <https://doi.org/10.1029/2007GL032782>
- Heidbach, O., Tingay, M., Barth, A., Reinecker, J., Kurfelß, D. and Müller, B., 2010. Global crustal stress pattern based on the World Stress Map database release 2008. *Tectonophysics*, 482(1-4), pp.3-15. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.07.023>
- International, 77(3), pp.809-838. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb02223.x>
- Berberian, M. and Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological society of America*, 89(1), pp.120-139.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafuri-Ashtiani, M., 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'enat) earthquake (M w 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 136(3), pp.671-694. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.1999.00762.x>
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. and Priestley, K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. *Geophysical Journal International*, 142(2), pp.283-299. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00158.x>
- Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J. and Baker, C., 2001. The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophysical Journal International*, 146(2), pp.371-398. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2001.01459.x>
- Bertoluzza, L. and Perotti, C.R., 1997. A finite-element model of the stress field in strike-slip basins: implications for the Permian tectonics of the Southern Alps (Italy). *Tectonophysics*, 280(1-2), pp.185-197. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00140-6)
- Bürgmann, R. and Pollard, D.D., 1994. Strain accommodation about strike-slip fault discontinuities in granitic rock under brittle-to-ductile conditions. *Journal of Structural Geology*, 16(12), pp.1655-1674.
- Carey, E., 1979. Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. *RevGéogrPhysGéol Dyn*, 21(1).
- Carey, E., and Brunier, B., 1974. Analyse theorique et rumerique d'un modele mecanique elementaire applique a l'etude d'une population de failles. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, SerieD: Sciences Naturelles*, 279(11), pp.891-894.
- Carey-Gailhardis, E. and Mercier, J.L., 1987. A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations: application to Tibetan teleseisms and microseismicity of Southern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 82(1-2), pp.165-179. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(87\)90117-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(87)90117-8)
- Chester, F.M. and Chester, J.S., 2000. Stress and deformation along wavy frictional faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B10), pp.23421-23430. <https://doi.org/10.1029/2000JB900241>
- Cowgill, E., Yin, A., Arrowsmith, J.R., Feng, W.X. and Shuanhong, Z., 2004. The AkatoTagh bend along the AltynTagh fault, northwest Tibet 1: Smoothing by vertical-axis rotation and the effect of topographic stresses on bend-flanking faults. *GSA Bulletin*, 116(11-12), pp.1423-1442. <https://doi.org/10.1130/B25359.1>
- Delaloye, M. and Desmons, J., 1980. Ophiolites and mélange terranes in Iran: a geochronological study and its paleotectonic implications. *Tectonophysics*, 68(1-2), pp.83-111. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(80\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(80)90009-8)
- Desmons, J. and Beccaluva, L., 1983. Mid-ocean ridge and island-arc affinities in ophiolites from Iran: palaeographic implications: complementary reference. *Chemical*

- Mazabraud, Y., Béthoux, N. and Delouis, B., 2013. Is earthquake activity along the French Atlantic margin favoured by local rheological contrasts?. *Comptes Rendus Geoscience*, 345(9-10), pp.373-382. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2013.07.004>
- Moghadam, H.S., Li, Q.L., Griffin, W.L., Stern, R.J., Chiaradia, M., Karsli, O., Ghorbani, G., O'Reilly, S.Y. and Pourmohsen, M., 2020. Zircon U-Pb, geochemical and isotopic constraints on the age and origin of A-and I-type granites and gabbro-diorites from NW Iran. *Lithos*, 374, p.105688. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105688>
- Mount, V.S. and Suppe, J., 1992. Present- day stress orientations adjacent to active strike-slip faults: California and Sumatra. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B8), pp.11995-12013. <https://doi.org/10.1029/92JB00130>
- Mousavi, Z., Walpersdorf, A., Walker, R.T., Tavakoli, F., Pathier, E., Nankali, H.R.E.A., Nilfouroushan, F. and Djamour, Y., 2013. Global Positioning System constraints on the active tectonics of NE Iran and the South Caspian region. *Earth and Planetary Science Letters*, 377, pp.287-298. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.07.007>
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2007. Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics*, 432(1-4), pp.101-131. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.12.007>
- Nilfouroushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F. and Ashtiani, A., 2003. GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, 77(7-8), pp.411-422. <https://doi.org/10.1007/s00190-003-0326-5>
- Nogole-Sadat, M.A.A. and Almasian, M., 1993. Tectonic Map of Iran, Scale 1:1000000. Geological Survey of Iran
- Okubo, C.H. and Schultz, R.A., 2006. Near-tip stress rotation and the development of deformation band stepover geometries in mode II. *Geological Society of America Bulletin*, 118(3-4), pp.343-348. <https://doi.org/10.1130/B25820.1>
- Qiu, Q. and Chan, C.H., 2019. Coulomb stress perturbation after great earthquakes in the Sumatran subduction zone: Potential impacts in the surrounding region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 180, p.103869. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.103869>
- Rajabi, M., Tingay, M., Heidbach, O., Hillis, R. and Reynolds, S., 2017. The present-day stress field of Australia. *Earth-Science Reviews*, 168, pp.165-189. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.003>
- Rashidi, A., Abbasi, M.R., Nilfouroushan, F., Shafiei, S., Derakhshani, R. and Nemati, M., 2020. Morphotectonic and earthquake data analysis of interactional faults in Sabzevaran Area, SE Iran. *Journal of Structural Geology*, p.104147. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104147>
- Regard, V., Bellier, O., Thomas, J.C., Abbassi, M.R., Mercier, J., Shabanian, E., Feghhi, K.H. and Soleymani, S., 2004. Accommodation of Arabia- Eurasia convergence in the Zagros- Makran transfer zone, SE Iran: A transition between collision and subduction through a young deforming system. *Tectonics*, 23(4). <https://doi.org/10.1029/2003TC001599>
- Sahandi, M. R., 1996. Geological quadrangle map of Iranshahr, Scale 1:250000, Geological Survey of Iran, L13.
- Savage, W.Z. and Morin, R.H., 2002. Topographic stress perturbations in southern Davis Mountains, west Texas 1. Polarity reversal of principal stresses. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B12), pp.ETG-5. <https://doi.org/10.1029/2001JB000484>
- Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F. and Ziegler, M.O., 2018. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744, pp.484-498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
- Hessami, K., Jamali, F. and Tabassi, H., 2003. Major active faults of Iran. *IIEES*, Tehran.
- Homberg, C., Hu, J.C., Angelier, J., Bergerat, F. and Lacombe, O., 1997. Characterization of stress perturbations near major fault zones: insights from 2-D distinct-element numerical modelling and field studies (Jura Mountains). *Journal of structural geology*, 19(5), pp.703-718.
- Homberg, C., Angelier, J., Bergerat, F. and Lacombe, O., 2004. Using stress deflections to identify slip events in fault systems. *Earth and Planetary Science Letters*, 217(3-4), pp.409-424. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00586-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00586-7)
- Horton, S.P., Kim, W.Y. and Withers, M., 2005. The 6 June 2003 Bardwell, Kentucky, earthquake sequence: Evidence for a locally perturbed stress field in the Mississippi embayment. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2), pp.431-445. <https://doi.org/10.1785/0120040052>
- Jackson, J., Bouchon, M., Fielding, E., Funning, G., Ghorashi, M., Hatzfeld, D., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Talebian, M. and Tatar, M., 2006. Seismotectonic, rupture process, and earthquake-hazard aspects of the 2003 December 26 Bam, Iran, earthquake. *Geophysical Journal International*, 166(3), pp.1270-1292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03056.x>
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Ahmadian, S. and Saidi, A., 2011. Plio-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dagh mountain ranges (NE Iran). *Tectonophysics*, 506(1-4), pp.86-108. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.04.013>
- Jentzer, M., Fournier, M., Agard, P., Omrani, J., Khatib, M.M. and Whitechurch, H., 2017. Neogene to Present paleostress field in Eastern Iran (Sistan belt) and implications for regional geodynamics. *Tectonics*, 36(2), pp.321-339. <https://doi.org/10.1002/2016TC004275>
- Kattenhorn, S.A., Aydin, A. and Pollard, D.D., 2000. Joints at high angles to normal fault strike: an explanation using 3-D numerical models of fault-perturbed stress fields. *Journal of structural Geology*, 22(1), pp.1-23. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00130-3](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00130-3)
- Khorrami, F., Vernant, P., Masson, F., Nilfouroushan, F., Mousavi, Z., Nankali, H., Saadat, S.A., Walpersdorf, A., Hosseini, S., Tavakoli, P. and Aghamohammadi, A., 2019. An up-to-date crustal deformation map of Iran using integrated campaign-mode and permanent GPS velocities. *Geophysical Journal International*, 217(2), pp.832-843. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz045>
- Lee, J., Hong, T.K. and Chang, C., 2017. Crustal stress field perturbations in the continental margin around the Korean Peninsula and Japanese islands. *Tectonophysics*, 718, pp.140-149. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.08.003>
- Lei, Q. and Gao, K., 2018, August. Effects of far-field stress state on local stress perturbation in heterogeneous fractured rocks. In 52nd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. American Rock Mechanics Association.
- Luo, G. and Liu, M., 2010. Stress evolution and fault interactions before and after the 2008 Great Wenchuan earthquake. *Tectonophysics*, 491(1-4), pp.127-140. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.12.019>

- International, 152(3), pp.749-765.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2003.01886.x>
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2004. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 157(1), pp.265-282.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.02179.x>
- Walker, R.T., Bergman, E.A., Szeliga, W. and Fielding, E.J., 2011. Insights into the 1968-1997 Dasht-e-Bayaz and Zirkuh earthquake sequences, eastern Iran, from calibrated relocations, InSAR and high-resolution satellite imagery. *Geophysical Journal International*, 187(3), pp.1577-1603.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05213.x>
- Walker, R.T., Bergman, E.A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oveisi, B. and Talebian, M., 2013. The 2010-2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. *Geophysical Journal International*, 193(1), pp.349-374.
<https://doi.org/10.1093/gji/ggs109>
- Walpersdorf, A., Hatzfeld, D., Nankali, H., Tavakoli, F., Nilforoushan, F., Tatar, M., Vernant, P., Chéry, J. and Masson, F., 2006. Difference in the GPS deformation pattern of North and Central Zagros (Iran). *Geophysical Journal International*, 167(3), pp.1077-1088.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03147.x>
- Walpersdorf, A., Manighetti, I., Mousavi, Z., Tavakoli, F., Vergnolle, M., Jadidi, A., Hatzfeld, D., Aghamohammadi, A., Bigot, A., Djamour, Y. and Nankali, H., 2014. Present-day kinematics and fault slip rates in eastern Iran, derived from 11 years of GPS data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(2), pp.1359-1383.
<https://doi.org/10.1002/2013JB010620>
- Weston, J., Engdahl, E.R., Harris, J., Di Giacomo, D. and Storchak, D.A., 2018. ISC-EHB: reconstruction of a robust earthquake data set. *Geophysical Journal International*, 214(1), pp.474-484.
<https://doi.org/10.1093/gji/ggy155>
- Yin, Z.M. and Rogers, G.C., 1995. Rotation of the principal stress directions due to earthquake faulting and its seismological implications. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5), pp.1513-1517.
- Zang, A. and Stephansson, O., 2009. *Stress field of the Earth's crust*. Springer Science & Business Media.
- Zarifi, Z., Nilfouroushan, F. and Raeesi, M., 2014. Crustal stress map of Iran: insight from seismic and geodetic computations. *Pure and Applied Geophysics*, 171(7), pp.1219-1236. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0711-9>
- Zoback, M.L. and Richardson, R.M., 1996. Stress perturbation associated with the Amazonas and other ancient continental rifts. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B3), pp.5459-5475. <https://doi.org/10.1029/95JB03256>
- Shabanian, E., Siame, L., Bellier, O., Benedetti, L. and Abbassi, M.R., 2009. Quaternary slip rates along the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision zone (Koppeh Dag Mountains, Northeast Iran). *Geophysical Journal International*, 178(2), pp.1055-1077.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04183.x>
- Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L. and Farbod, Y., 2010. Plio-quaternary stress states in NE Iran: Koppeh Dag and Allah Dag-Binalud mountain ranges. *Tectonophysics*, 480(1-4), pp.280-304.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.10.022>
- Spada, G., Sabadini, R., Yuen, D.A. and Ricard, Y., 1992. Effects on post-glacial rebound from the hard rheology in the transition zone. *Geophysical Journal International*, 109(3), pp.683-700.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1992.tb00125.x>
- Talebian, M., Fielding, E.J., Funning, G.J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Rosen, P.A., Walker, R. and Wright, T.J., 2004. The 2003 Bam (Iran) earthquake: Rupture of a blind strike-slip fault. *Geophysical Research Letters*, 31(11).
<https://doi.org/10.1029/2004GL020058>
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B. and Parsons, B., 2006. The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: reactivation of an intramountain reverse fault. *Geophysical Journal International*, 164(1), pp.137-148.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02839.x>
- Tchalenko, J.S. and Ambraseys, N.N., 1970. Structural analysis of the Dasht-e Bayaz (Iran) earthquake fractures. *Geological Society of America Bulletin*, 81(1), pp.41-60.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[41:SAOTDB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[41:SAOTDB]2.0.CO;2)
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1), pp.134-150.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<134:TSSZOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<134:TSSZOE>2.0.CO;2)
- Vahdati Daneshmand, F., 1990. Geological quadrangle map of Jaz Murian, Scale 1:250000, Geological Survey of Iran, K13.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R. and Tavakoli, F., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*, 157(1), pp.381-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>
- Walker, R. and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, 23(5).
<https://doi.org/10.1029/2003TC001529>
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2003. Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences. *Geophysical Journal International*

۹- پیوست

جدول پیوست-۱: پارامترهای مربوط به زمین‌لرزه‌های مورد استفاده در وارون‌سازی که از Jackson et al., 1995, 2001 and 2000, Berberian et al., 1993, Baker, 2006, Talebian et al., 2011 و Walker et al., گرفته شده است. ساز و کارهای کانونی که به دلیل ناهمخوانی با سایر داده‌ها در طی مراحل پردازش حذف شده‌اند، با رنگ قرمز و سایر ساز و کارهای کانونی با رنگ سیاه مشخص شده‌اند. در هر ساز و کار کانونی، صفحات گره‌ای استفاده شده در وارون‌سازی نهایی با قلم ضخیم مشخص شده‌اند. سطوح گسله شناسایی شده به عنوان مسبب زمین‌لرزه با

افلاکی، الکوی میدان تنش در پایانه جنوبی سامانه گسلی نهبدان با استفاده از وارونسازی سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها: گستره ریگان، صفحات ۶۱–۷۶.

رنگ خاکستری در پس‌زمینه مشخص شده‌اند. منابع مورد استفاده برای گسله مسبب زمین لرزه‌ها عبارتند از (Walker et al., 2013)، (Talebian et al., 2004)، (Berberian et al., 2001)، (Jackson et al., 1995)، (Baker, 1993)، (Berberian et al., 2000)، و (Walker et al., 2011).

Site No.	Date (yyyy.mm.dd)	Time (hh:mm)	Lat. (°N)	Long. (°E)	Reference of dates and epicenters	Mw/Mb	Plane 1			Plane 2			Depth (km)	Reference of focal solutions	Reference For selected nodal plane
							Azimuth	Dip	Rake	Azimuth	Dip	Rake			
Rigan zone															
1	2010.12.20	18:42	28.33	59.19	Walker et al., 2013	6.5	213	85	173	304	83	-1	5	Walker et al., 2013	1
							126	90	3	36	87	180	15	CMT	
2	2011.01.27	7:02	28.17	58.99	Walker et al., 2013	4.9	122	64	-29	226	64	-151	20	Walker et al., 2013	1
3	2011.01.27	8:39	28.17	59.04	Walker et al., 2013	6.2	221	87	176	311	86	2	9	Walker et al., 2013	1
						6.2	221	85	-167	129	77	-5	14	CMT	1
4	2011.01.28	4:21	28.20	59.02	Walker et al., 2013	5.2	133	74	-14	227	77	-163	12	CMT	1
5	2018.09.07	6:23	28.02	59.40	CMT	5.6	114	65	-10	208	81	-154	17.5	CMT	
Kahurak zone															
6	1990.09.26	15:32	29.04	60.89	ISC-EHB	5.6	189	90	-180	99	90	0	15	CMT	
7	2003.08.04	3:28	29.03	59.73	ISC-EHB	5.6	168	28	117	318	65	60	33	CMT	
8	2003.08.21	4:02	29.00	59.75	ISC-EHB	5.9	183	76	-172	91	82	-2	15	CMT	
Shahdad – Bam zone															
9	2003.12.26	1:56	28.92	58.28	ISC-EHB	6.6	172	59	167	269	79	31	14	CMT	2
10a	1981.06.11	7:24	29.86	57.69	ISC-EHB	6.6	172	37	171	269	85	53	20	CMT	
							182	88	-172	91	82	-1	-	Jackson et al., 1995	
							169	22	142	295	77	36	8	USGS	3
10b	7:26						169	52	156	274	71	15	20	Berberian et al., 2001	3
							182	88	-162	91	72	-1	12	Berberian et al., 2001	3
11	1981.07.28	17:22	29.97	57.77	ISC-EHB	7.3	150	13	119	300	79	84	15	CMT	4
							185	42	140	307	65	32	-	Jackson et al., 1995	4
							293	67	115	63	34	40	22	USGS	
							177	69	-176	86	86	-1	18	Berberian et al., 2001	3
12	1989.11.20	4:19	29.9.1	57.72	ISC-EHB	5.9	240	75	9	148	81	165	15	CMT	
							145	69	-172	52	83	177	10	Berberian et al., 2001	
13	1998.03.14	19:40	30.14	57.59	ISC-EHB	6.6	154	57	-174	61	85	-33	15	CMT	3
							156	54	-165	63	86	-3	5	Berberian et al., 2001	3
							146	58	-179	55	89	-1	8	USGS	3
14	1998.11.18	7:39	30.32	57.60	ISC-EHB	5.3	174	55	173	268	85	35	15	CMT	
15	2011.06.26	19:46	30.08	57.59	ISC-EHB	5.1	114	36	71	317	56	103	22	CMT	
16	2015.07.25	16:10	30.07	57.67	ISC-EHB	4.8	73	65	11	338	80	154	22	CMT	
17	2015.07.31	10:06	30.04	57.64	ISC-EHB	5.4	156	82	180	246	90	8	24	CMT	
Nayband – Kuhbanan zone															
18	1911.04.18	-	31.20	57.00	CMT	6.2	335	60	180	65	90	1	15	Jackson et al., 1995	

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.

19	1933.11.28	-	32.00	55.90	CMT	6.2	140	90	180	230	90	1	15	Jackson et al., 1995	
20	1977.12.19	23:34	30.91	56.41	ISC-EHB	5.9	231	69	4	140	86	159	24	CMT	5
							58	82	36	322	55	174		Baker, 1993	
21	1978.05.22	6:18	31.81	56.12	ISC-EHB	5.1	144	65	155	246	67	28	15	CMT	
22	1984.08.06	11:14	30.80	57.18	ISC-EHB	5.4	72	39	66	282	55	109	19	CMT	
							279	35	86	104	55	49		Baker, 1993	
23	2002.04.05	18:40	32.08	55.97	ISC-EHB	5.2	65	72	4	334	86	162	33	CMT	
24	2005.02.22	2:25	30.74	56.78	ISC-EHB	6.4	71	44	79	266	47	100	12	CMT	
							270	60	104	63	33	63		Talebian et al., 2006	
25	2005.05.01	18:58	30.72	56.93	ISC-EHB	5.1	214	63	3	122	87	153	20	CMT	
26	2005.05.14	18:04	30.69	30.69	ISC-EHB	5.2	69	53	46	307	55	133	12	CMT	
27	2006.05.07	6:20	30.78	56.60	ISC-EHB	5	324	72	-162	228	73	-19	12	CMT	
28	2007.07.04	6:11	32.13	55.85	ISC-EHB	5	330	63	176	62	87	27	12	CMT	
29	2012.02.27	18:48	31.42	56.79	ISC-EHB	5.2	89	40	59	307	57	113	12	CMT	
30	2012.12.03	12:53	30.52	57.24	ISC-EHB	4.8	305	38	135	73	64	61	22	CMT	
31	2013.01.21	19:49	30.35	57.50	ISC-EHB	5.3	235	70	13	141	78	160	12	CMT	
32	2016.10.20	15:10	30.72	56.46	CMT	4.8	229	40	10	131	84	129	15	CMT	
33	2017.07.23	17:32	30.01	57.45	CMT	5.2	333	76	180	63	90	14	18	CMT	
34	2017.12.01	2:32	30.61	57.27	CMT	5.4	83	43	23	336	75	130	12	CMT	
35	2017.12.02	10:47	30.66	57.19	CMT	5.1	85	41	38	325	66	125	12	CMT	
36	2017.12.12	8:43	30.66	57.10	CMT	6.6	123	26	85	309	64	92	12	CMT	
37	2017.12.12	21:41	30.74	57.13	CMT	6	112	31	94	287	59	87	12	CMT	
38	2017.12.21	17:04	31.29	56.22	CMT	5.2	336	59	-175	244	86	-31	15	CMT	
39	2017.12.27	18:01	30.63	57.17	CMT	4.9	104	43	42	341	63	125	20	CMT	
40	2018.07.22	20:39	30.22	57.44	CMT	5.6	146	72	-179	56	89	-18	15	CMT	
41	2018.01.11	3:18	30.64	57.41	CMT	4.9	267	46	107	63	46	73	18	CMT	
42	2018.01.11	13:35	30.59	57.17	CMT	5	100	44	40	339	64	126	12	CMT	
Nehbandan zone															
43	1987.11.24	11:23	32.65	59.11	ISC-EHB	5.3	144	39	106	303	53	77	15	CMT	
44	1990.03.15	0:12	31.67	60.16	ISC-EHB	5.1	100	82	-1	190	89	-172	15	CMT	
45	1992.09.11	18:24	30.01	60.74	ISC-EHB	5.9	91	25	51	313	71	106	33	CMT	
46	1994.02.23	8:02	30.79	60.54	ISC-EHB	6.1	145	33	96	318	57	86	15	CMT	6
							143	29	96	316	61	83	7	Berberian et al., 2000	6
47	1994.02.23	11:54	30.81	60.54	ISC-EHB	5.5	108	31	62	320	63	106	15	CMT	6
48	1994.02.24	0:11	30.79	60.51	ISC-EHB	6.3	158	43	105	318	49	76	15	CMT	6
							155	45	110	308	48	63	10	Berberian et al., 2000	6
49	1994.02.26	2:31	30.79	60.54	ISC-EHB	6	168	32	125	309	64	71	15	CMT	6
							146	36	107	305	56	69	5	Berberian et al., 2000	
50	1994.02.28	11:13	30.90	60.63	ISC-EHB	5.5	136	30	92	314	60	89	15	CMT	6
							122	33	78	317	58	104	6	Berberian et al., 2000	6

افلاکی، الکوی میدان تنش در پایانه جنوبی سامانه گسلی نهبدان با استفاده از وارونسازی سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها: گستره ریگان، صفحات ۶۱-۷۶.

51	1997.06.20	12:57	32.31	59.98	ISC-EHB	5.5	189	87	-179	99	89	-3	15	CMT	
52	1998.04.10	15:00	32.45	60.06	ISC-EHB	5.7	263	77	9	171	81	167	33	CMT	
53	2000.10.23	6:54	31.55	59.80	ISC-EHB	5.2	92	40	24	343	75	128	33	CMT	
54	2011.11.21	1:56	32.20	59.96	ISC-EHB	5	101	43	43	336	62	124	12.6	CMT	
Tabas – Daht-e-Bayaz zone															
55	1936.06.30	-	33.70	60.10	Jackson et al., 1995	-/6	195	89	-166	105	76	-1	-	Jackson et al., 1995	
56	1947.09.23	-	33.70	58.70	Jackson et al., 1995	-/6.8	175	90	180	265	90	-1	-	Jackson et al., 1995	
57	1968.09.01	-	34.05	58.23	Jackson et al., 1995	6.3	115	54	85	304	36	99	-	Jackson et al., 1995	
58	1976.11.07	4:01	33.82	59.18	ISC-EHB	6	260	78	6	169	84	168	15	CMT	
							84	79	12	352	78	178		Walker et al., 2011	
59	1978.09.16	15:35	33.24	57.38	ISC-EHB	7.4	328	33	107	128	59	80	11	CMT	
60	1979.01.16	-	33.90	59.47	Jackson et al., 1995	6.5	162	66	115	293	34	41	-	Jackson et al., 1995	
61	1979.02.13	1:51	33.30	57.40	ISC-EHB	5.5	331	39	114	121	55	71	15	CMT	
62	1979.11.14	2:21	33.95	59.73	ISC-EHB	6.6	256	53	-1	347	89	-143	12.4	CMT	7
							160	89	-177	70	87	-1		Walker et al., 2011	
63	1979.11.27	17:10	34.05	59.76	ISC-EHB	7.1	261	67	-19	358	73	-156	201.5	CMT	
							261	82	8	170	82	179		Walker et al., 2011	
64	1979.12.07	9:23	34.08	59.85	ISC-EHB	6.1	105	76	-1	195	89	-166	15	CMT	
							113	84	21	21	69	177		Walker et al., 2011	
65	1980.01.12	15:31	33.55	57.23	ISC-EHB	6	356	23	145	118	77	71	15	CMT	
66	1990.10.15	19:06	33.71	56.86	ISC-EHB	5.1	114	45	58	335	53	118	15	CMT	
67	1997.05.10	7:57	33.84	59.81	ISC-EHB	7.2	248	83	0	338	90	-173	15	CMT	7
							156	89	-160	66	70	-1		Walker et al., 2011	
68	1997.06.16	3:00	33.24	60.19	ISC-EHB	5	151	36	131	284	64	64	15	CMT	
69	1997.06.25	19:38	33.92	59.43	ISC-EHB	5.9	180	71	169	273	79	19	15	CMT	
							181	87	170	272	80	1		Walker et al., 2011	
70	2005.06.19	4:46	33.17	58.07	ISC-EHB	4.9	112	52	33	1	65	137	13.1	CMT	
71	2008.03.09	3:51	33.26	59.26	ISC-EHB	5	338	75	172	70	82	15	12	CMT	
72	2012.07.01	22:01	34.51	59.92	ISC-EHB	5.2	168	30	114	321	62	77	16.8	CMT	
73	2012.09.02	0:50	33.43	60.01	ISC-EHB	5	108	39	59	325	58	112	21.1	CMT	
74	2013.08.27	22:00	32.78	56.48	ISC-EHB	4.9	354	54	154	99	70	39	26	CMT	