

تحلیل فعالیت‌های لرزه زمین ساختی در گستره شهر طبس

راضیه عباس‌پور^(۱)، سید مرتضی موسوی^(۲)، محمودرضا هیهات^(۳)

۱. کارشناس ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۱

چکیده

در این پژوهش برآوردهای مستقلی از طریق روش‌های قطعی (Deterministic) و احتمالی (Probabilistic) برای تحلیل خطر در گستره شهر طبس انجام گرفته است. با استفاده از داده‌های لرزه‌ای منطقه رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای شهر طبس برحسب امواج سطحی ($\text{Log } N = 2.3 - 0.50 \text{ Ms}$) بدست آمد. بیشترین شتاب افقی بر شهر طبس 0.7 g شتاب ثقل زمین، از راندگی شتری با توان لرزه‌زایی $7/4$ ریشتر است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که گسل کلمرد به طول 170 کیلومتر به فاصله 50 کیلومتری از شهر طبس بیشترین تأثیر را بعد از راندگی شتری خواهد داشت. به طوری که بیشترین زمین لرزه قابل انتظار ($8/93$ ریشتر)، بیشینه شدت نسبی در کانون ($8/32$)، حداکثر جابجایی افقی در کانون ($29/82$ سانتی‌متر)، حداکثر جابجایی قائم ($66/70$ سانتی‌متر) در نتیجه‌ی عملکرد این گسل بر شهر طبس وارد می‌شود. با استفاده از ابزار تحلیلی زمین‌آمار (کریجینگ معمولی) در GIS مدل مناسب برای نقشه پیش‌گویی مقادیر بیشینه شتاب گرانشی معرفی شد. با کمک این نقشه گستره‌های با خطر لرزه‌ای بالا و خیلی بالا، دو سرچشمه لرزه‌ای خطی با روندهای شمال خاور- جنوب باختر در باختر طبس، مربوط به گسل‌های کلمرد و لادر و روند شمال باختر- جنوب خاور در خاور طبس و مربوط به گسل‌های شتری، اسفندیار و ناپیند شناسایی شدند.

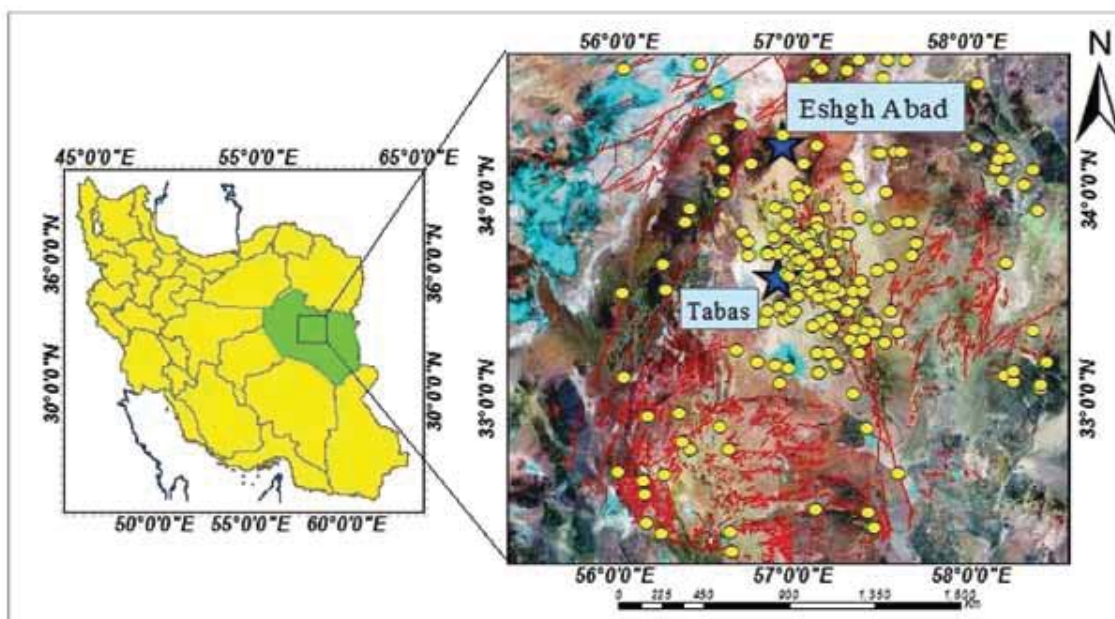
واژه‌های کلیدی: بیشینه شتاب گرانشی زمین، تحلیل خطر زمین لرزه، پارامترهای جنبش زمین، فرامین شتری، منحنی خطر لرزه‌ای، طبس.

مقدمه

(شکل ۱). با توجه به سابقه‌ی لرزه‌خیزی منطقه (زمین لرزه‌ی شهریورماه ۱۳۵۷ شهر طبس) و وجود گسل‌های مهم پیرامون آن، پتانسیل لازم برای وقوع زمین لرزه‌های مخرب در آن وجود دارد. در این پژوهش مشخصات گسل‌های فعال موجود، وضعیت استقرار، فعالیت‌های لرزه‌ای و توان لرزه‌زایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت بخش‌های پرخطر و کم خطر لرزه‌ای، معرفی شده است.

چگونگی ارتباط میان زمین لرزه‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی همیشه مورد بحث بوده و توجه محققان زیادی را به خود معطوف کرده است. در این راستا گسل‌ها از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند که ارتباط آن با وقوع زمین لرزه انکار ناپذیر است. گستره‌ی مورد مطالعه در شمال خاور بلوک طبس و در محدوده $55^{\circ} 34' - 32^{\circ} 15'$ عرض شمالی و $55^{\circ} 56' - 30' 58'$ طول خاوری واقع شده است

* نویسنده مرتب: Razie.abbaspour69@gmail.com



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای گستره‌ی مورد مطالعه (گسل‌ها و کانون سطحی زمین‌لرزه‌های منطقه)

عبور گسل از آنها داده می‌شد، مورد پیمایش قرار گرفتند. سپس مشخصات مربوط به گسل‌ها با استفاده از نرم افزار Faultkin مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سازوکار هر گسل بدست آمد (شکل ۱۱).

گسل راندگی شتری F_1

موقعیت هندسی صفحه گسل در محل برداشت $34^{\circ}0'N$ / $85^{\circ} NE$ ، $33^{\circ} 25' 42'' E$ و $57^{\circ} 13' 38'' N$ می‌باشد و خش لغزهای روی آن دارای ریک ۶۰ درجه به سمت شمال است. سازوکار گسل با توجه به استریوگرام رسم شده، معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز راستگرد است (شکل ۲).

گسل F_2

موقعیت هندسی این صفحه گسل در نقطه‌ی $22^{\circ}5'N/87^{\circ} NW$ ، $33^{\circ} 26' 34'' E$ و $57^{\circ} 15' 17'' N$ و با توجه به خش لغزهای موجود روی آیینه گسل، مقدار ریک اندازه‌گیری شده حدود ۲۰ درجه به سمت شمال است. گسل مزبور در مسیر تنگل ماودر و در سازند شتری برداشت شده است. سازوکار گسل با توجه به استریوگرام بدست آمده معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز راستگرد است (شکل ۳).

روش تحقیق

به‌طور کلی مراحل انجام این پژوهش به شرح ذیل است که:

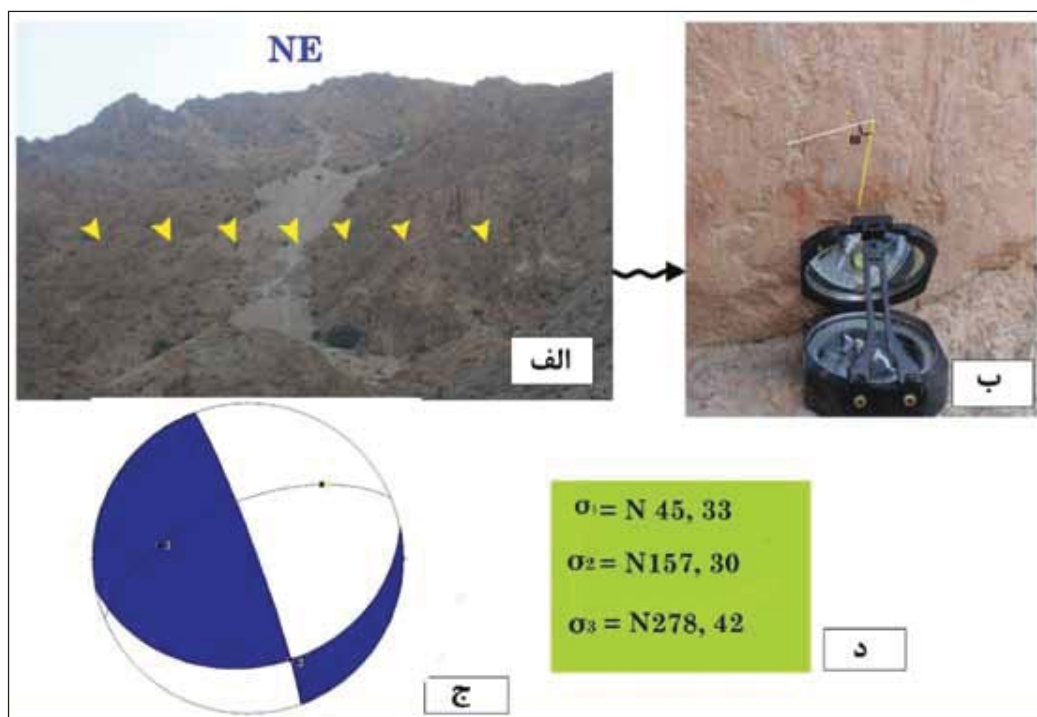
شامل جمع‌آوری اطلاعات پایه‌ای مشتمل بر مطالعات و بررسی گزارشات و نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی آنها، جمع‌آوری زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگامی در گستره‌ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از ساختگاه، بدست آوردن بزرگای بیشینه در گستره مورد مطالعه و محاسبه پارامترهای لرزه خیزی منطقه می‌باشد.

بحث اصلی

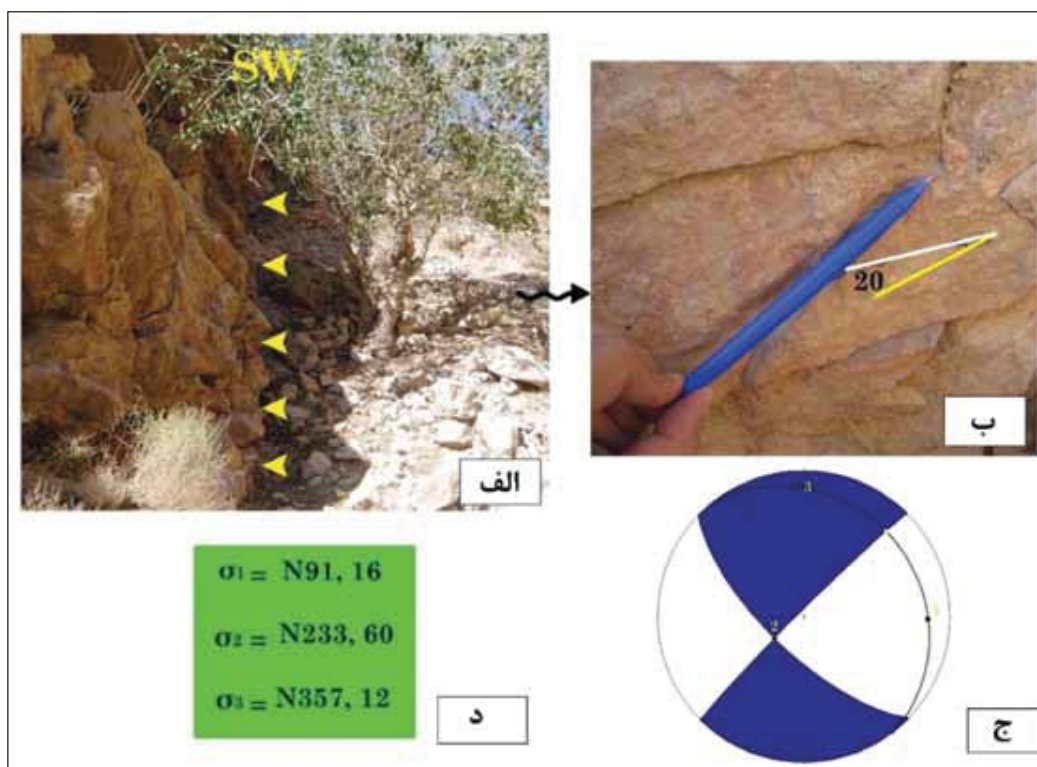
۱. معرفی گسل‌های برداشت شده در گستره‌ی مورد مطالعه

گسل‌ها از ساختارهای مهم در گستره‌ی مورد مطالعه هستند که به‌منظور شناسایی آنها زمان زیادی صرف پیمایش‌های صحرایی شده است. از آنجایی که راه‌های دسترسی به بسیاری از مناطق داخل کوهستان اندک و عبور از ارتفاعات دشوار بود، برداشت‌ها تنها به برخی مناطق از قبیل دره‌ها و برش حاشیه‌ی جاده محدود شده و جاهایی که امکان دسترسی به ارتفاعات وجود داشت، مورد بررسی قرار گرفت. به همین دلیل تمامی دره‌ها و مسیرهایی که احتمال

راضیه عباس‌پور و همکاران

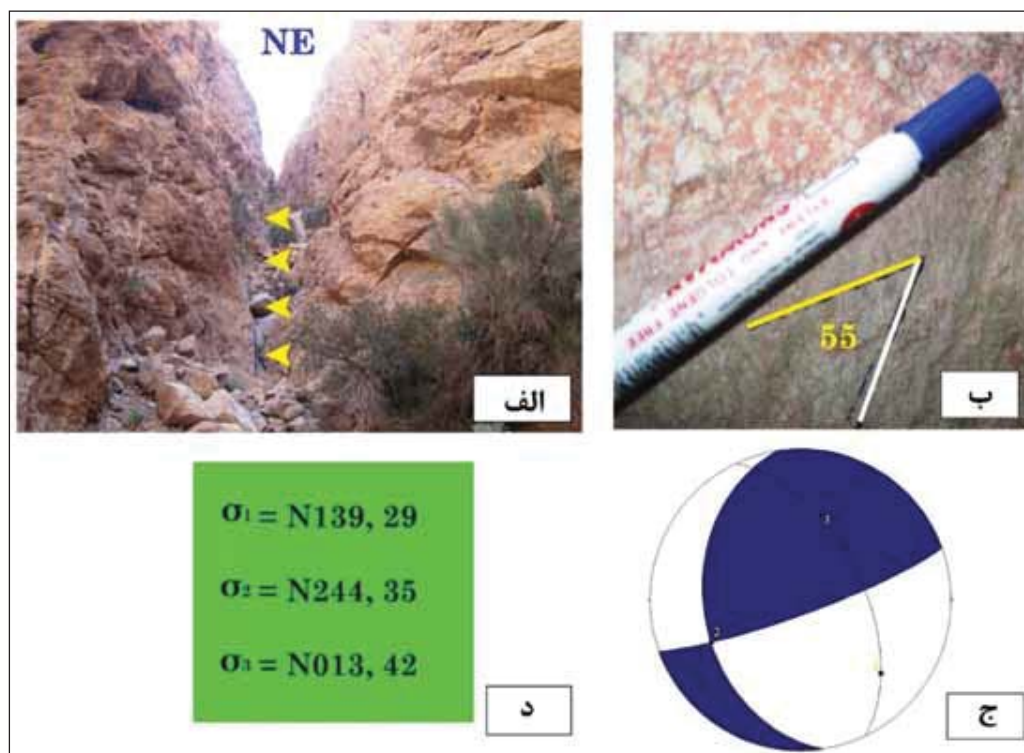


شکل ۲. رخنمون گسل F_1 . الف) موقعیت گسل در نزدیکی روستای زرک که خط اثر گسل توسط پیکان‌های زرد مشخص شده است (دید: به سمت شمال خاور)، ب) نمایی از خش لغزها روی صفحه گسل، ج) استریوگرام مربوط به گسل، د) موقعیت محورهای تنش. خط زرد رنگ جهت لغزش و خط سفید جهت امتداد گسل را نشان می‌دهد



شکل ۳. الف) رخنمون گسل F_2 ، ب) نمایی از خش لغزهای روی صفحه گسل ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه

گسل F₃
 آن مقدار ریک ۵۵ درجه به سمت شمال را نشان می‌دهد. سازوکار گسل با توجه به استریوگرام بدست آمده معکوس با مؤلفه‌ی امتدادلغز راستگرد است (شکل ۴).
 مشخصات صفحه‌ی گسلی در نقطه‌ی N ۱۸' ۱۵" ۵۷° و E ۳۴' ۲۶" ۳۳° SE، ۸۲/۸۲ می‌باشد و خش لغزهای روی



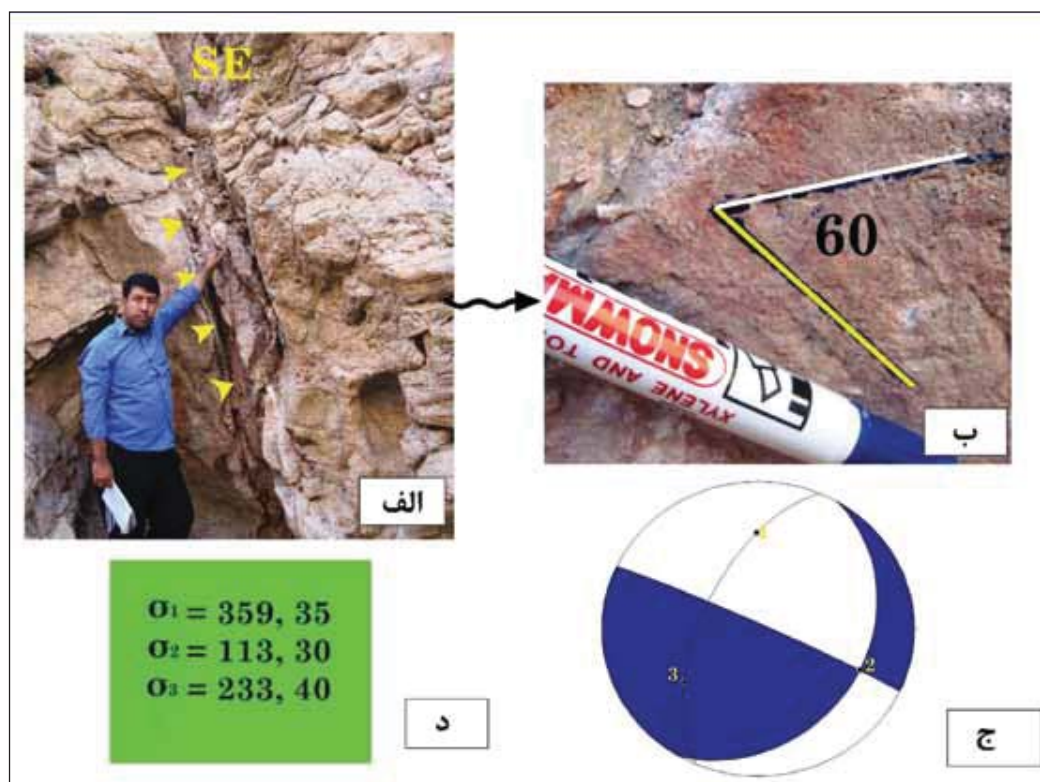
شکل ۴. الف) رخنمون گسل F₃، ب) نمایی از خش لغزهای روی صفحه گسل ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه. خط زرد رنگ جهت امتداد صفحه‌ی گسلی و خط سفید رنگ جهت خش لغز روی صفحه‌ی گسل.

گسل F₄
 این گسل سرشاخه‌ای از گسل راندگی شتری است. موقعیت هندسی صفحه گسل در نقطه N ۱۴' ۵۷" ۵۷° و E ۳۰' ۲۶" ۳۳° NE، ۱۱۵/۸۷ و خش لغزهای روی آن مقدار ریک ۶۰ درجه به سمت شمال را نشان می‌دهند. استریوگرام حاصله سازوکار معکوس با مؤلفه امتداد لغز راستگرد را نشان می‌دهد (شکل ۵).

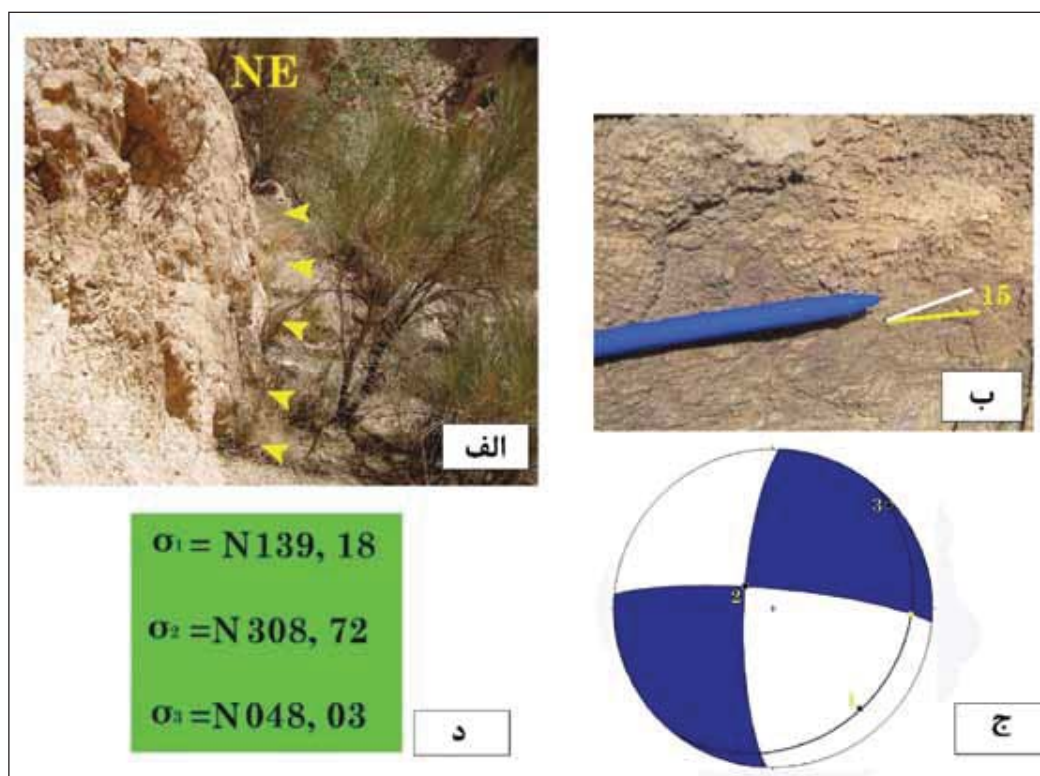
گسل F₆
 این گسل شاخه‌ای از گسل‌های راندگی شتری است. مشخصات صفحه‌ی گسل در نقطه‌ی N ۵' ۱۶" ۵۷° و E ۵۶' ۲۶" ۳۳° NE، ۱۷۰/۴۰ است و خش لغزهای روی صفحه گسل مقدار ریک ۲۰ درجه به سمت شمال را نشان می‌دهند. استریوگرام رسم شده، سازوکار گسل را معکوس با مؤلفه‌ی امتداد لغز راستگرد نشان می‌دهد (شکل ۷).

گسل F₅
 این گسل در نقطه‌ی N ۱۵' ۵۹" ۱۵° و E ۴۷' ۲۶" ۳۳° NE، ۸۰ / ۹۵ قرار گرفته و خش لغزهای روی صفحه‌ی گسل مقدار

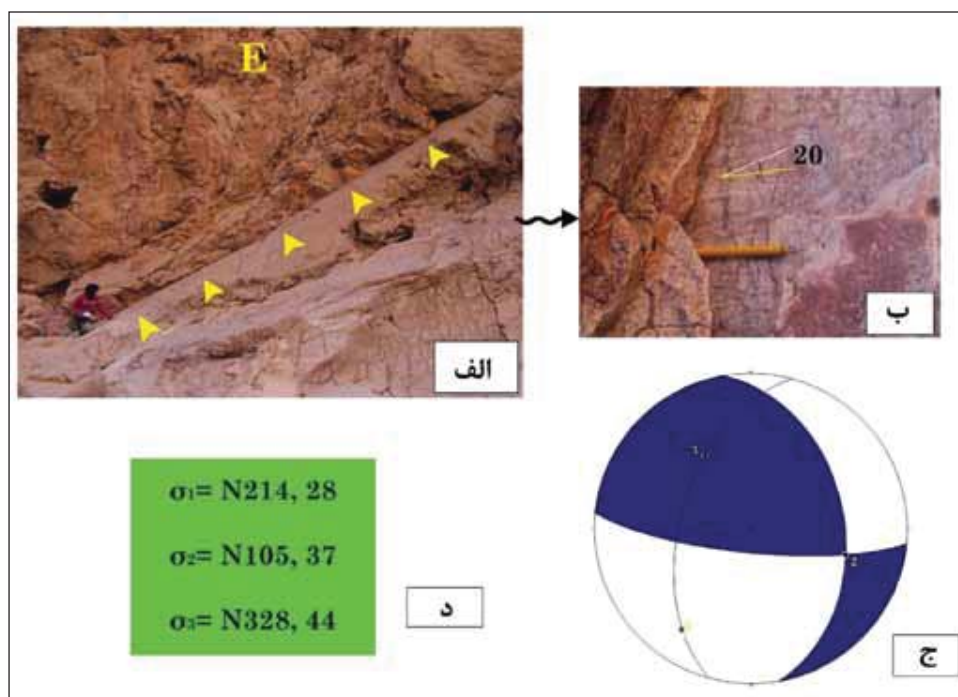
راضیه عباس‌پور و همکاران



شکل ۵. الف) رخنمون گسل F_4 (دید: به سمت جنوب خاور)، ب) نمایی از خش لغزهای روی صفحه گسل، ج و د) استریوگرام و موقعیت محورهای تنش مربوط به صفحه گسل

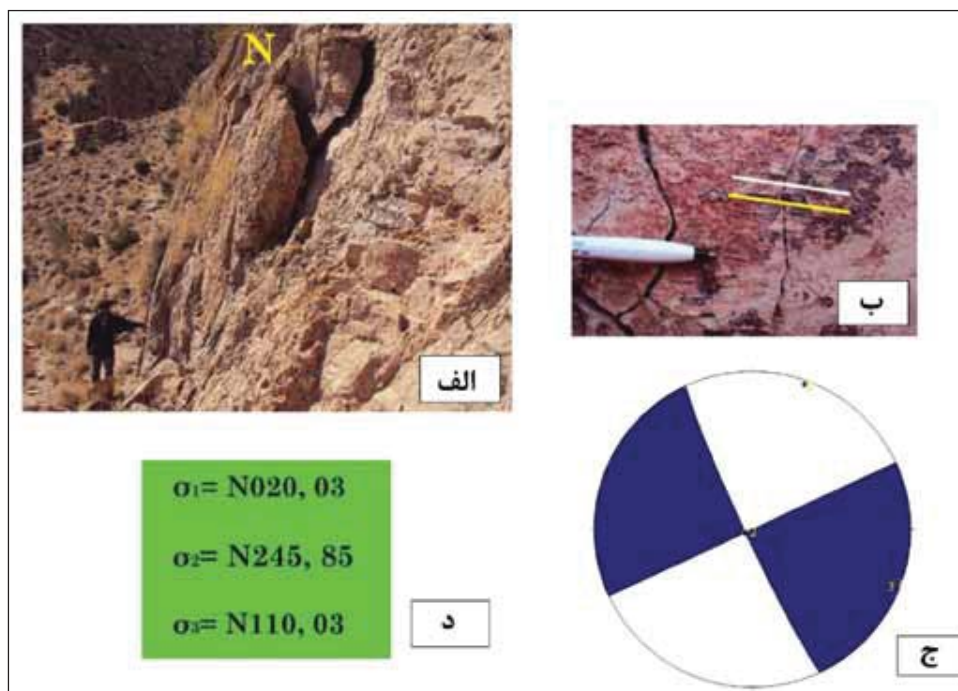


شکل ۶. الف) رخنمون گسل F_3 ، ب) خش لغزهای روی صفحه گسل از نمای نزدیک ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه



شکل ۷. الف) رخنمون گسل F_6 ، ب) خش لغزهای روی صفحه گسل از نمای نزدیک ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه

گسل F_7
 موقعیت هندسی صفحه گسل در نقطه‌ی $57^\circ 19' 19'' N$ و $33^\circ 27' 15'' E$ و $335N/85 SW$ است و خش لغزهای روی صفحه گسل، ریک صفر درجه را نشان می‌دهند. می‌باشد (شکل ۸).

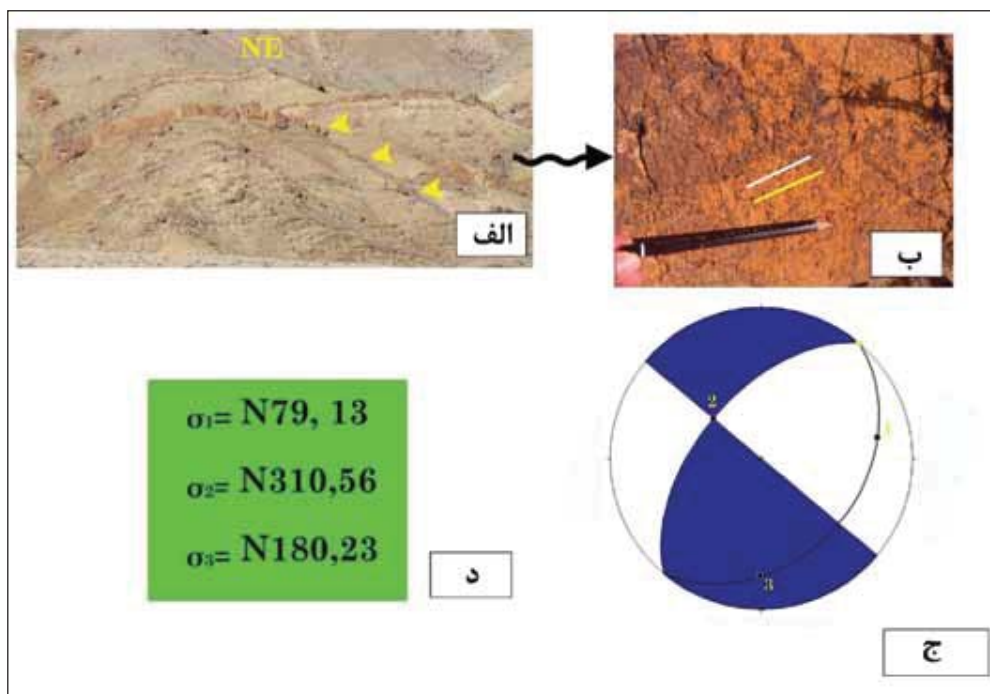


شکل ۸. الف) رخنمون گسل F_7 ، ب) نمایی از خش لغزهای روی صفحه گسل ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه

راضیه عباسپور و همکاران

و خش لغزهای روی صفحه گسل، ریک صفر درجه را نشان می‌دهند. سازوکار این گسل مطابق استریوگرام رسم شده، امتداد لغز راستگرد تشخیص داده شده است (شکل ۹).

گسل F₈
موقعیت هندسی صفحه‌ی گسل در نقطه‌ی N ۴۰/۵۶ NW ، ۳۳°۳۱' ۵۹" E و ۵۷°۱۶' ۰۰" N می‌باشد



شکل ۹. الف) رخنمون گسل F₈، ب) خش لغزهای روی صفحه گسل از نمای نزدیک ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه

اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی است، اولین و اصلی‌ترین گام در بررسی‌های لرزه‌ای می‌باشد.

زمین‌لرزه‌های تاریخی

جهت تعیین خطر لرزه‌خیزی یک منطقه، بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی از اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی تاریخچه زمین‌لرزه‌های رخ داده (باستانی و تاریخی) در یک منطقه، یکی از داده‌های اساسی جهت ارزیابی خطر زمین‌لرزه و آشنایی با پیشینه لرزه‌خیزی و سیمای لرزه زمین‌ساختی هر منطقه است. بدیهی است که برای دستیابی به ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی باید تاریخچه زمین‌لرزه‌ها در فاصله زیادی گردآوری و بررسی شود (بربریان، ۱۳۷۱).

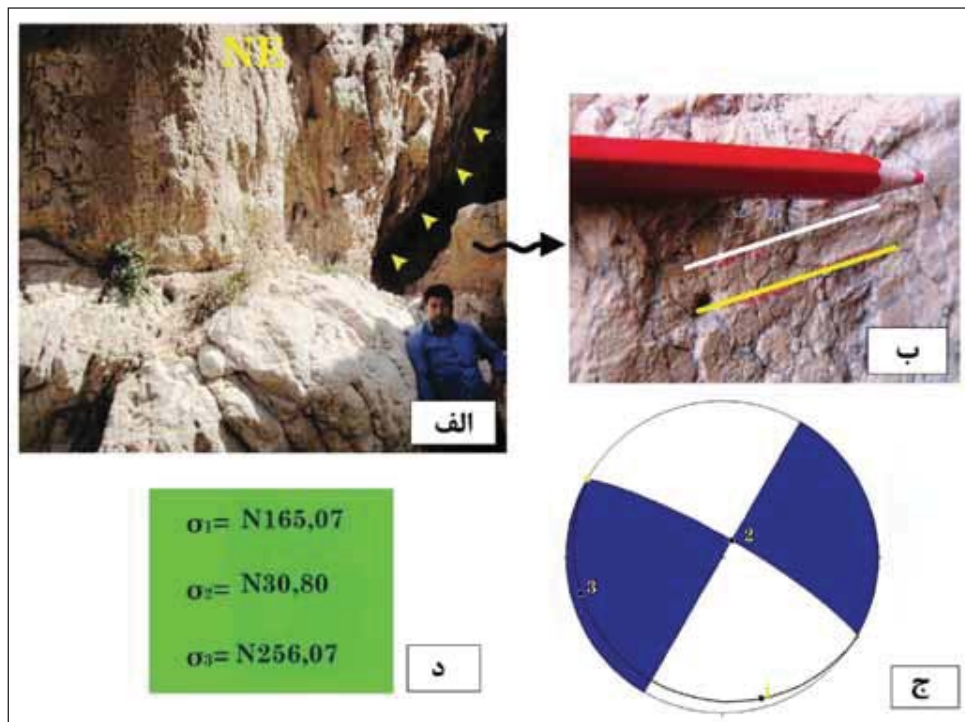
شناخت زمین‌لرزه‌های تاریخی بر مبنای کتاب‌های تاریخی است و به دلیل نبود دستگاه‌های پیشرفته از محل دقیق کانون زمین‌لرزه‌های ثبت شده در این کتب اطلاعات دقیقی وجود ندارد. از جمله زمین‌لرزه‌های تاریخی ثبت

گسل سرند F₉:

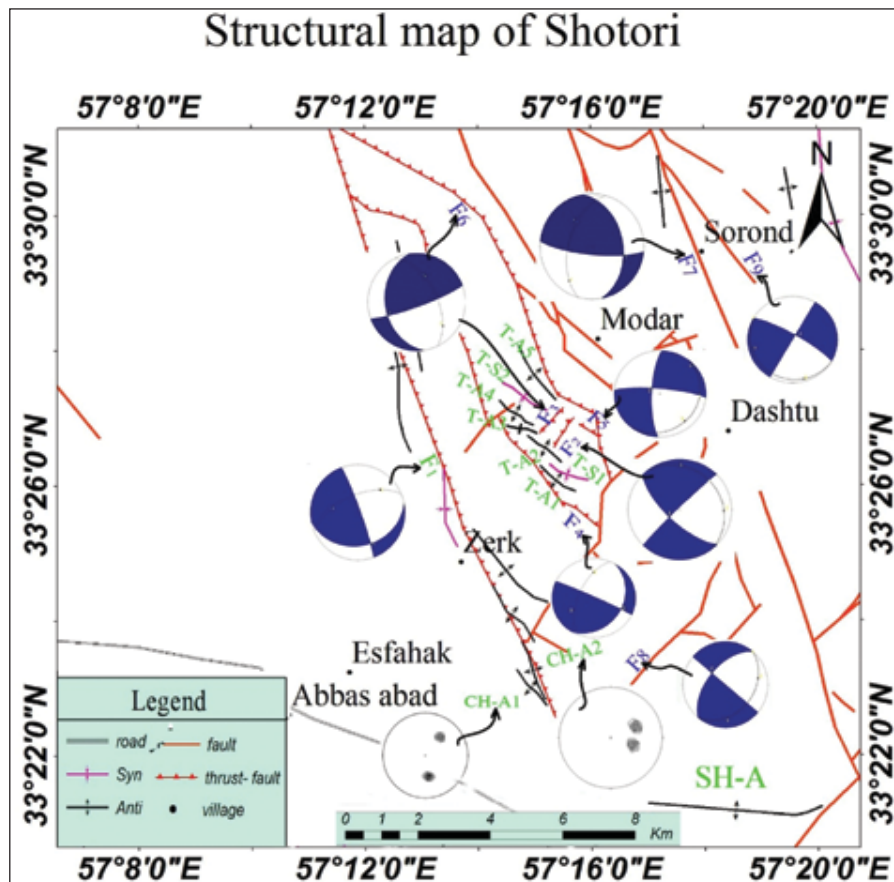
این گسل در نقطه‌ی N ۳۰۰/۸۰ SE قرار گرفته و خش لغزهایی با ریک صفر درجه دارد. این گسل در نزدیکی روستای سرند واقع شده و سازند در برگیرنده‌ی آن آهک‌ریفی اسفندپار می‌باشد. افراز گسله‌ی حاصل از آن بیش از ۲۲ متر ارتفاع دارد. خش لغزهای روی صفحه گسل بیانگر حرکتی راستگرد برای گسل است. استریوگرام گسل مربوطه همان‌طور که در شکل نشان داده شده، گسل را امتداد لغز راستگرد معرفی می‌کند. چشمه‌ی سرند که یکی از چشمه‌های اصلی در محدوده‌ی روستا است، در پای همین گسل ظهور پیدا کرده است (شکل ۱۰).

تحلیل خطر زمین‌لرزه در شهر طبس

ارزیابی خطر زمین‌لرزه در هر منطقه به رویدادهای ثبت شده بعنوان داده‌های پایه‌ای در منطقه مورد نظر بستگی دارد. بدیهی است که تهیه کاتالوگ زمین‌لرزه‌ای که شامل



شکل ۱۰. الف) رخنمون گسل F_8 ، ب) نمایی از خش لغزهای روی صفحه گسل ج و د) استریوگرام و محورهای تنش گسل مربوطه



شکل ۱۱. موقعیت گسل‌های برداشت شده بر روی نقشه‌ی ساختاری (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی بشرویه برکه ۱:۱۰۰۰۰۰)

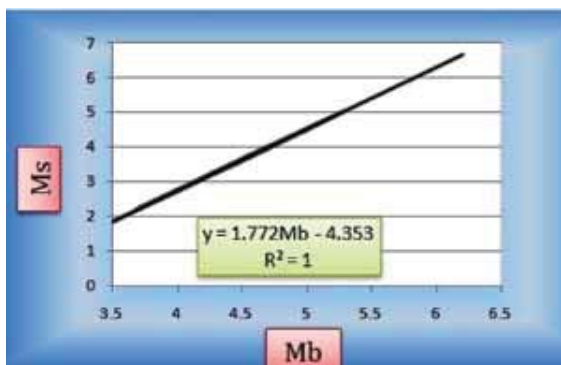
راضیه عباس‌پور و همکاران

شده در محدوده‌ی مطالعاتی، می‌توان به زمین‌لرزه ۱۹۶۸ م (سپتامبر)، فردوس و زمین‌لرزه ۱۹۷۸ م (۱۶ سپتامبر)، طبس اشاره کرد (Ambraseys and Melville, 1982).

زمین‌لرزه‌های دستگاهی
زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در شعاع ۱۵۰ کیلومتری به مرکزیت شهر طبس در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۰۰ و با بزرگی‌های بیش از $M_s=3$ در مقیاس محلی از بانک داده‌ای زمین‌لرزه‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری و پژوهشگاه بین‌المللی لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله جمع‌آوری شد. بررسی‌ها نشان داد که اغلب زمین‌لرزه‌ها در امتداد گسل‌های فعال منطقه رخ داده است. لذا بررسی و مطالعه گسل‌های فعال، به شناسایی محل احتمال وقوع زلزله در آینده کمک می‌کند. به‌منظور محاسبه‌ی فرمول لرزه‌خیزی در این گستره، زمین‌لرزه‌های دستگاهی با بزرگی بالای سه ریشتر در روش گوتنبرگ - ریشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با رسم منحنی نیمه لگاریتمی، فرمول لرزه‌خیزی منطقه حاصل می‌شود (شکل ۱۲).

$$M_s = 1.772M_b - 4.353$$

با استفاده از این رابطه مقادیر M_b و M_s برای کلیه داده‌ها تکمیل شده و مبنای حد تساوی دو مقیاس بزرگا برای محدوده مورد مطالعه و هم‌ارزی آن دو در این حد با M_w و بر مبنای حدود بیشترین اعتبار مقیاس‌های مختلف، بزرگا (در ستون Magnitude) جهت استفاده در مراحل بعد انتخاب شده است (شکل ۱۳).



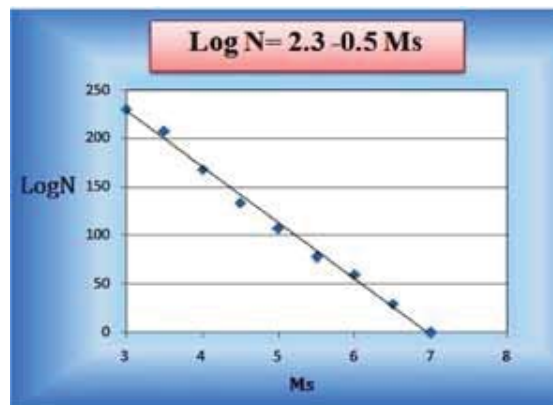
شکل ۱۳. برازش خطی رابطه M_b - M_s برای داده‌های محدوده ۱۵۰ کیلومتری به مرکزیت شهر طبس

رابطه بین بزرگی زمین‌لرزه‌ها و فراوانی تجمعی

اگر چشمه‌های خاص لرزه‌زا در مناطق بزرگ مورد مطالعه لرزه‌خیزی قرار گیرد، رابطه تجمعی بزرگا- فراوانی غیرخطی خواهد بود (Schwartz and Coppersmith, 1984; Wesnouske, 1986). همچنین Gutenberg and Richard, 1954 یک رابطه غیرخطی منفی را بین فراوانی و بزرگی زمین‌لرزه‌ها در نظر گرفتند، بنابراین از هیستوگرامی که براساس فراوانی به بزرگی زمین‌لرزه‌های گستره مورد مطالعه به دست آمده، مشخص می‌شود که تعداد زمین‌لرزه‌ها با بزرگی آنها رابطه معکوس دارد و هرچه بزرگی زمین‌لرزه کمتر باشد، فراوانی آن در منطقه بیشتر است (شکل ۱۴).

رابطه
 $\text{Log } N = 2.3 - 0.50M$

شکل ۱۲. محاسبه فرمول لرزه‌خیزی به روش گوتنبرگ- ریشتر برحسب امواج سطحی



شکل ۱۲. محاسبه فرمول لرزه‌خیزی به روش گوتنبرگ- ریشتر برحسب امواج سطحی

بررسی پارامترهای لرزه خیزی

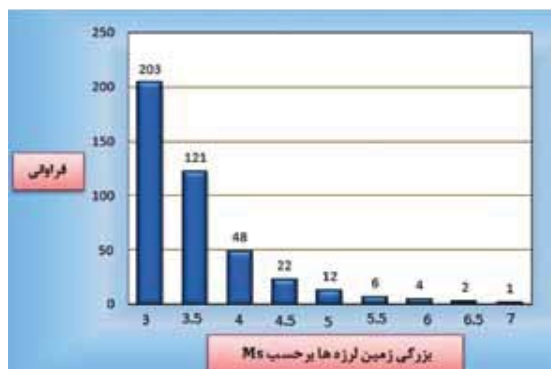
پارامترهای لرزه‌خیزی شامل بیشینه بزرگی زمین‌لرزه در منطقه، آهنگ فعالیت سالیانه و فراوانی بزرگی رخدادها است، که الگوی رخدادهای لرزه‌ای یک پهله را نشان می‌دهند (Kijko, 1992).

رابطه بین M_b و M_s

بررسی داده‌های زمین‌لرزه‌های سده‌ی اخیر نشان می‌دهد

جدول ۱. برآورد دوره بازگشت زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه

Ms	N	T(سال)
۳	۶۳۰	۰/۱۵۸
۴	۱۹۹	۰/۵۰۱
۵	۰/۵۶	۱/۵۸
۵/۵	۰/۳۱	۲/۸۱
۶	۰/۱۷	۵/۰۱
۶/۵	۰/۱۰	۸/۹۱
۷	۰/۰۶۳	۱۵/۸۴
۷/۵	۰/۰۳۵	۲۸/۱۸



شکل ۱۴. بزرگی زمین لرزه‌ها (Ms) در برابر فراوانی آنها در گستره مورد مطالعه

برآورد MCE و DBE

میزان شتاب حرکت افقی زمین معمولاً در دو مرز با احتمال خطر ۱۰ و ۶۴ درصد انتخاب می‌شوند، که مرز نخست (۱۰ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده با فرض دوره بازگشت ۵۰ ساله) را بیشینه زمین لرزه ممکنه یا پذیرفتنی (MCE) و مرز دوم (۶۴ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده، برابر با فرض دوره بازگشت ۵۰ ساله که معمولاً برای منظورهای طراحی عمومی توصیه می‌شود) را زمین لرزه پایه طرح^۱ می‌نامند.

بیشینه زمین لرزه پذیرفتنی^۲، زمین لرزه‌ای است که باعث ایجاد شدیدترین جنبش زمین در ساختمان می‌شود. در اثر رخداد این زمین لرزه ممکن است، سازه به طوری جدی آسیب ببیند ولی نباید فروریخته و جان انسان‌ها رابه خطر اندازد. در واقع نشان دهنده این است که سازه، در برابر ماکزیمم زلزله که رخ می‌دهد، ۱۰ درصد احتمال ویرانی دارد. زمین لرزه پایه طرح (DBE)، زمین لرزه‌ای است که در زمان عمر مفید سازه، احتمال رویداد آن قابل انتظار است. این زمین لرزه بیشترین نیروها را بر سازه وارد می‌نماید و باید سازه به گونه‌ای طراحی شود که نیروهای ناشی از رویداد این زمین لرزه‌ها را تحمل کرده، پایداری خود را نگه داشته و آسیبی نبیند. در واقع نشان دهنده این است که سازه، در برابر ماکزیمم زلزله‌ای که رخ دهد، ۶۴ درصد احتمال ویرانی دارد.

تعیین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها

یکی از پارامترهای مهم لرزه‌خیزی که در تحلیل لرزه‌خیزی محاسبه می‌گردد دوره بازگشت زمین لرزه‌ها در گستره‌ی مورد مطالعه می‌باشد و در واقع یک نوع پیش‌بینی درازمدت زلزله است. فراوانی وقوع زمین لرزه‌ها با تغییر یک درجه بزرگی، هشت تا ده برابر تغییر می‌نماید (Gutenberg and Richard, 1954). بنابراین میانگین دوره بازگشت زلزله‌های کوچک نسبت به زمین لرزه‌های بزرگتر، کمتر است و برای تخمین دوره بازگشت زلزله‌های کوچک، لازم به داشتن فهرست طولانی از زلزله‌ها نیست. میانگین دوره بازگشت برای زلزله‌های کوچک برابر با طول زمان فهرست شده تقسیم بر تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته است و برای زلزله‌های بزرگ، طول زمان فهرست شده کافی نیست و احتمال وقوع زلزله با دوره بازگشت (T) در یک سال برابر با $1/N$ است.

میانگین دوره بازگشت (T)، یعنی زمان مورد انتظار برای وقوع یک زمین لرزه با بزرگی بزرگتر یا مساوی با M از رابطه مقابل محاسبه می‌شود:

$$T = 1/N$$

بدین ترتیب می‌توان برای منطقه مورد مطالعه دوره بازگشت زمین لرزه‌های با بزرگی‌های مختلف را بدست آورد (جدول ۱).

1. Design basin Earthquake (DBE)
2. Maximum Credible Earthquake (MCE)

راضیه عباس‌پور و همکاران

شرح ذیل می‌باشد:

$$0.64 = 1 - \exp^{-T_{*10} (2.3-0.5M)}$$

فرمول ریسک پذیری برای MCE به شکل زیر است:

$$0.1 = 1 - \exp^{-T_{*10} (2.3-0.5M)}$$

در گستره مورد مطالعه MCE و DBE را برای سازه‌های با عمر مفید ۵ تا ۱۰۰ سال محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. برآورد MCE و DBE برای عمر مفید ۵ تا ۱۰۰ ساله

عمر مفید سازه (سال)	MCE	DBE	عمر مفید سازه (سال)	MCE	DBE
۵	۵/۶۵۲۶	۳/۶۷۹	۵۵	۷/۷۳۵	۵/۷۶۲
۱۰	۶/۲۵۴	۴/۲۸۱	۶۰	۷/۸۱۰	۵/۸۳۷
۱۵	۶/۶۰۶	۴/۶۳۳	۶۵	۷/۸۸۰	۵/۹۰۷
۲۰	۶/۸۵۶	۴/۸۸۳	۷۰	۷/۹۴۴	۵/۹۷۱
۲۵	۷/۰۵۰	۵/۰۷۷	۷۵	۸/۰۰۴	۶/۰۳۱
۳۰	۷/۲۰۸	۵/۲۳۵	۸۰	۸/۰۶۰	۶/۰۸۵
۳۵	۷/۳۴۲	۵/۳۶۹	۸۵	۸/۱۱۳	۶/۱۴۰
۴۰	۷/۴۵۸	۵/۴۸۵	۹۰	۸/۱۶۳	۶/۱۸۹
۴۵	۷/۵۶۱	۵/۵۸۷	۹۵	۸/۲۱۰	۶/۲۳۶
۵۰	۷/۶۵۲	۵/۶۷۹	۱۰۰	۸/۲۵۴	۶/۲۸۱

برای محاسبه پارامترهای MCE و DBE از فرمول ریسک خطرپذیری استفاده می‌شود. رابطه زیر، نسبت به این که محاسبه کدامیک از پارامترها مدنظر باشد تغییر پیدا می‌کند.

$$Rp = 1 - \exp^{-T_{*10} (a-bM)}$$

در این رابطه $a - bM$ پارامتر لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه می‌باشد که با استفاده از رابطه گوتنبرگ-ریشتر مشخص شده است. فرمول ریسک پذیری برای DBE به

LR درازای گسل فعال برحسب کیلومتر و M بزرگی

زمین‌لرزه

(Press, 1967) و (Housner, 1969)، به ترتیب

فرمول‌های تجربی زیر را در ارتباط با گسیختگی و بزرگی زلزله ارائه دادند.

$$M = 1/60 \log L + 5/72$$

$$M = 1/5 \log LR + 5/34$$

رابطه تجربی (Selmons, 1982)

$$M = 1/11 \log LR + 5/15$$

در دستور تجربی Mohajer-Ashjai and Nowroozi

(۱۹۸۵)، ۵۰ درصد درازای گسله در نظر گرفته می‌شود:

$$Ms = \log L/2 + 5/4$$

که در آن L درازای گسل به کیلومتر است.

در این مبحث از فرمول‌های تجربی بالا جهت برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها استفاده شده و در نهایت برای هر گسل نتایج میانگین‌گیری شد (جدول ۳).

تخمین بیشینه زمین‌لرزه در ارتباط با چشمه‌های لرزه‌ای

از آنجا که توان لرزه‌زایی گسل‌ها با طول بخش شکسته شده و جابجا شده آن در ارتباط است. رابطه مستقیمی میان توان لرزه‌زایی و درازای بخش مستقیم گسل‌های کوتاه‌تر وجود دارد. پس از بررسی دقیق لرزه زمین ساختی هر گسل فعال، باید حداکثر شتاب افقی زمین محاسبه گردد، تا بتوان با توجه به فاصله میان ساختگاه و گسل فعال موجود، حداکثر شتاب افقی زمین به‌وجود آمده از جنبش گسل به ساختگاه، پیش‌بینی شد. ارزیابی و تخمین میزان درازای گسلش در زمین لرزه‌های آینده، باید برپایه ویژگی‌های لرزه زمین ساختی و ریخت زمین ساختی هر گسل صورت پذیرد. در این میان می‌توان درصدی از بخش مستقیم گسل را انتخاب کرد.

روابط تجربی بین توان لرزه‌زایی و طول گسل

اولین بار (Tocher 1985)، فرمول زیر را بر پایه زمین لرزه‌های کالیفرنیا-نوادا، برای محاسبه توان لرزه‌زایی گسل‌ها معرفی کرد:

$$\log LR = 1/02 Ms - 5/77$$

جدول ۳. برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های معروف با استفاده از فرمول‌های تجربی مختلف در شهر طبس. در این جدول M و N و Av و S (Selmmons, 1982)؛ H (Housner, 1969.)؛ P (Press, 1967)؛ (Mohajer-Ashjai and Nowroozi, 1985)؛ میانگین روابط فوق

نام گسل طول گسل (کیلومتر)	توان لرزه‌زایی گسل‌ها (Ms)					
	M and N	P	H	S	Av	
کال درونه	۳۸/۲۷	۶/۶۸	۷/۳۹	۷/۳۹	۶/۹۰	۷/۰۹
گل خار	۵۸/۳۰	۶/۸۶	۷/۵۹	۷/۹۸	۷/۱۰	۷/۳۸
لادر	۷۵/۴۲	۶/۹۷	۷/۷۱	۸/۱۵	۷/۲۳	۷/۵۱
نار	۴۱/۵۷	۶/۷۱	۷/۴۳	۷/۷۸	۶/۹۴	۷/۲۱
کلشانه	۵۷/۵۴	۶/۸۵	۷/۵۸	۷/۹۸	۷/۱۰	۷/۳۸
کلمرد	۱۷۱/۹۳	۷/۳۳	۸/۰۸	۸/۶۹	۷/۶۳	۷/۹۳
نائین	۵۳/۲۶	۶/۸۲	۷/۵۵	۷/۹۲	۷/۰۶	۷/۳۴
تراست شتری	۶۰/۱۰	۶/۸۷	۷/۶۰	۸	۷/۱۲	۷/۴۰
نابیند	۸۱/۴۳	۷/۰۱	۷/۷۴	۸/۲۰	۷/۲۱	۷/۵۵
سرنده	۱۱/۲۶	۶/۱۵	۶/۸۳	۶/۹۱	۶/۳۱	۶/۵۵
اسفندیار	۲۷/۶۱	۶/۵۴	۷/۲۴	۷/۵۰	۶/۷۴	۷

انتخاب روابط کاهندگی مناسب برای پارامترهای جنبشی زمین

$I_0 =$ شدت زمین لرزه در محل کانون زمین لرزه در مقیاس

مرکالی

$R =$ فاصله کانونی برحسب کیلومتر

مقادیر شدت نسبی در کانون (I_0) و کاهش شدت زمین لرزه (IR)، برای گسل‌های فعال گستره مورد مطالعه به صورت جدول (۴) می‌باشد.

برآورد بیشینه سرعت و جابجایی، افقی و قائم در کانون

برآورد سرعت افقی و قائم بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه در کانون بر طبق فرمول (Trifunac and Brady 1975) استفاده می‌شود.

$$\text{Log } V_h = 0/63 + 0/25 I_0$$

$$\text{Log } V_v = -1/1 + 0/28 I_0$$

حداکثر جابجا شدگی افقی و قائم برحسب سانتی‌متر در کانون نیز بر اساس فرمول‌های (Trifunac and Brady 1975) قابل محاسبه است.

$$\text{Log } D_h = -0/53 + 0/19 I_0$$

$$\text{Log } D_v = -1/13 + 0/24 I_0$$

این محاسبات در جدول ۵ ارائه شده است.

رابطه‌ی میان بزرگی و شدت زمین لرزه‌ها

برای بدست آوردن رابطه‌ی میان بزرگی زلزله و حداکثر شدت زمین لرزه در کانون مه لرزه‌ای از روابط تجربی زیر می‌توان استفاده کرد.

۱. دستور تجربی (Amberaseys and Melville, 1982)

که در آن I_0 شدت نسبی زلزله در کانون زلزله برحسب مقیاس مرکالی است.

$$I_0 = 1/3 M_s + 0/09$$

۲. دستور تجربی (Mohajer-Ashjai and Nowroozi 1985) برای زلزله‌های با عمق کانونی کوچکتر از ۶۰ کیلومتر

$$I_0 = 1/7 M_s - 2/8$$

کاهش شدت زمین لرزه

در این پژوهش، برای برآورد حداکثر شدت زمین لرزه در هر فاصله‌ای از کانون زلزله از دستور تجربی ذیل استفاده شد.

دستور تجربی (Chandera 1984)

$$IR = I_0 + 6/453 - 0/00012 IR - 4/69 \log(R + 20)$$

$IR =$ شدت زمین لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی

راضیه عباس‌پور و همکاران

جدول ۴. برآورد شدت نسبی در کانون (I_0)، و شدت زمین‌لرزه (IR)، برای گسل‌های معروف گسترده مورد مطالعه. A و M (Amberseys and Melville, 1982); MA and N (Mohajer-Ashjai and Nowroozi, 1985); CH(Chandera, 1976)

نام گسل	توان لرزه‌زایی گسل‌ها		شدت در کانون I_0		IR
	Ms	A and M	MA and N	Av	CH
کال درونه	۷/۰۹	۹/۳۱	۹/۲۶	۹/۲۸	۷/۰۶
گل خار	۷/۳۸	۹/۶۹	۹/۷۶	۹/۲۷	۷/۵۰
لادر	۷/۵۱	۹/۸۶	۹/۹۸	۹/۹۲	۷/۷۰
نار	۷/۲۱	۹/۴۷	۹/۴۶	۹/۴۷	۷/۲۴
کلشانه	۷/۳۸	۹/۶۸	۹/۷۴	۹/۷۱	۷/۴۹
کلمرد	۷/۹۳	۱۰/۴۰	۱۰/۶۹	۱۰/۵۵	۸/۳۲
نائین	۷/۳۴	۹/۶۳	۹/۶۸	۹/۶۵	۷/۴۳
تراست شتری	۷/۴۰	۹/۱۷	۹/۷۸	۹/۷۵	۷/۵۲
نابیند	۷/۵۵	۹/۹۱	۱۰/۰۴	۹/۹۸	۷/۷۶
سرنده	۶/۵۵	۸/۶۱	۸/۳۴	۸/۴۷	۶/۲۵
اسفندیار	۷	۹/۲۰	۹/۱۱	۹/۱۵	۶/۹۳

جدول ۵. محاسبه مقادیر سرعت و جابجایی افقی و قائم برای گسل‌های فعال منطقه

نام گسل	توان لرزه‌زایی گسل	حداکثر سرعت قائم و افقی (cm/s)		حداکثر جابجایی قائم و افقی (cm)	
		Vh	Vv	Dh	Dv
کال درونه	۷/۰۹	۴۹/۲۴	۳۱/۶۹	۱۷/۱۷	۲۹/۵۸
گل خار	۷/۳۸	۶۳/۳۸	۴۲/۰۵	۲۰/۸۱	۳۹/۲۵
لادر	۷/۵۱	۷۰/۹۵	۴۷/۷۱	۲۲/۶۷	۴۴/۵۳
نار	۷/۲۱	۵۴/۶۶	۳۵/۶۲	۱۸/۵۹	۳۳/۲۵
کلشانه	۷/۳۸	۶۳/۰۲	۴۱/۷۹	۲۰/۷۲	۳۹
کلمرد	۷/۹۳	۱۰۱/۷۷	۷۱/۴۷	۲۹/۸۲	۶۶/۷۰
نائین	۷/۳۴	۶۰/۹۳	۴۰/۲۳	۲۰/۱۹	۳۷/۵۵
تراست شتری	۷/۴۰	۶۴/۲۳	۴۲/۶۹	۲۱/۰۲	۳۹/۸۴
نابیند	۷/۵۵	۷۳/۳۹	۴۹/۵۶	۲۳/۲۶	۴۶/۲۵
سرنده	۶/۵۵	۳۰/۸۶	۱۸/۷۸	۱۲/۰۴	۱۷/۵۳
اسفندیار	۷	۴۵/۷۰	۲۹/۱۵	۱۶/۲۳	۲۷/۲۰

بیشینه شتاب گرانشی^۱ زمین در گستره مورد مطالعه

در طراحی سازه در برابر زمین‌لرزه، ارزیابی میزان حداکثر شتاب زلزله در طول عمر سازه از اهمیت بالایی برخوردار است. در روش تحلیلی، داده‌های دقیق زمین‌ساختی و لرزه زمین‌شناختی ناحیه‌ای و محلی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و بدین ترتیب بیش‌ترین اثرهای ناشی از زمین‌لرزه‌های پیشین بر گستره طرح و پتانسیل هر یک از عوامل لرزه زمین‌ساختی و اثرهای آن بر گستره طرح در نظر

برآورد بیشینه شتاب افقی و قائم در کانون

شتاب افقی در محل کانون، از فرمول‌های تجربی زیر بدست می‌آید (نقل از پورکرمانی و آراین، ۱۳۷۶)، که برای منطقه مورد مطالعه بصورت جدول (۶) برآورد شده است:

Trifunac and Brady, (1975)

$$\text{Log } a = 0/3 I_0 - 0/014$$

$$\text{Log } a = 0/3 I_0 - 0/18$$

McGuire, (1978)

$$\text{Log } a = 0/25 I_0 - 0/25$$

1. Peak ground acceleration

گرفته می‌شود.

جدول ۷. محاسبه بیشینه شتاب افقی و قائم در کانون

نام گسل	Av Ah (m/s ²)	(m/s ²)
کال درونه	۰/۰۴	۰/۰۵
گل خار	۰/۰۵	۰/۰۷
لادر	۰/۰۶	۰/۰۸
نار	۰/۰۴	۰/۰۶
کلشانه	۰/۰۵	۰/۰۷
کلمرد	۰/۰۹	۰/۱
نائین	۰/۰۵	۰/۰۷
تراست شتری	۰/۰۵	۰/۰۷
نایبند	۰/۰۶	۰/۰۸
سزند	۰/۰۲	۰/۰۳
اسفندیار	۰/۳	۰/۰۵

از آنجا که ساختمان‌ها معمولاً شتاب عمودی ناشی از زمین لرزه را به راحتی تحمل می‌کنند، لذا در انجام بررسی‌های فوق، تنها شتاب افقی حرکت زمین دارای اهمیت است. از طرف دیگر جنبش‌های شدید زمین لرزه با دوری از گسل‌های فعال کاهش می‌یابد. میزان کاهش اثرهای ویرانگر زمین لرزه نسبت به مسافت، به طور تدریجی و کم بوده و رابطه‌های آزمایشی گوناگونی در سراسر کشورهای لرزه خیز جهان در این زمینه پیشنهاد شده است.

در این پژوهش، از رابطه‌ی آزمایشی کاهش بیشینه شتاب گرانش زمین در پیوند با بزرگی زمین لرزه استفاده شده است. بدین منظور دستور آزمایشی به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد:
 Dames and Moore, (1983) برای فلات ایران دستور آزمایش زیر را بدست آورده اند:

$$Y=1.08\exp(0.68M)/(R+25)1.32$$

با استفاده از دستور فوق الذکر شتاب افقی وارد بر شهر طبس محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول (۷) آمده است. مطابق این محاسبات بیشترین شتاب افقی وارد بر این شهر $g/0.7$ شتاب ثقل زمین و ناشی از فعالیت راندگی شتری با توان لرزه‌زایی $7/4$ ریشتر می‌باشد.

جدول ۶. برآورد بیشینه شتاب افقی وارد بر شهر طبس. در این جدول Av؛ D and M (Dames and Moore) میانگین روابط فوق

بیشینه شتاب گرانشی زمین (peak ground acceleration)	Mmax	D and M
نام گسل		
کال درونه	۷/۰۹	۰/۳۶
گل خار	۷/۳۸	۰/۳۰
لادر	۷/۵۱	۰/۴۲
نار	۷/۲۱	۰/۵۹
کلشانه	۷/۳۸	۰/۶۰
کلمرد	۷/۹۳	۰/۶۳
نائین	۷/۳۴	۰/۳۹
تراست شتری	۷/۴۰	۰/۷۰
نایبند	۷/۵۵	۰/۶۹
سزند	۶/۵۵	۰/۵۰
اسفندیار	۷	۰/۵۰

پتانسیل حرکتی

پتانسیل حرکتی گسل یا FMP، پارامتری برای به کمیت کشیدن خطر زمین لرزه برای گسل‌های کواترنری و فعال است. این پارامتر که توسط Lee et al. (1997) مطرح شده، برای ارزیابی حرکت گسل‌های اصلی در هنگ کنگ به کار گرفته شده است. نتایج این روش با رکوردهای لرزه‌ای تاریخی و فعالیت ریزلرزه‌ای کنونی آن منطقه سازگار می‌باشد. لذا می‌توان با در نظر گرفتن ملاحظاتی، برای گسل‌های ایران زمین به کار گرفته شود (Arian and Qorashi, 2006).

پتانسیل حرکتی گسل یا FMP که براساس ویژگی‌های هندسی گسل و میدان تنش تکتونیکی ناحیه‌ای محاسبه می‌شود، یک ابزار مفید برای رده‌بندی پتانسیل جنبش گسل‌های کواترنری و فعال است. به بیان بهتر، برآورد این پارامتر برای تمام گسل‌های فعال یک گستره، امکان درصد بندی جنبش‌های احتمالی را در رژیم تکتونیکی جاری (CRT) فراهم می‌سازد.

از نظر مکانیکی، مهم‌ترین عواملی که در شروع حرکت لغزشی روی یک گسل از پیش موجود مؤثر هستند (با فرض مثبت بودن تنش فشاری) عبارتند از:

۱. تفاضل تنش‌های اصلی حداکثر (σ_1) و حداقل (σ_3):
 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ، که تعیین کننده قطر دایره موهر است.
۲. مجموع تنش اصلی حداکثر و حداقل: $(\sigma_1 + \sigma_3)$ ، که تعیین کننده محل دایره موهر است.

راضیه عباس‌پور و همکاران

این روش پهنه‌بندی، این است که به فعالیت مرز گسل استوار است. اگر یک ناحیه به مرکز گسل‌های فعال نزدیک باشد به عنوان منطقه خطر بالا در نظر گرفته می‌شود. در حالی که اگر همان گسل در بخش‌های دیگر خود فعالیت کند مناطق نزدیک به کانون زمین‌لرزه خسارت بیشتری خواهند دید و منطقه نزدیک به مرکز گسل که در این روش پهنه‌بندی ممکن است در منطقه خطر خیلی بالا باشد، خسارت کمتری ببیند و در نتیجه این روش برآورد خطر زمین‌لرزه‌یک روش نسبی است.

در مدل کریچینگ ساده روند خم‌های هم شتاب، به‌طور کلی از راستای گسل‌های بزرگ و فعال و با درازای زیاد در گستره مورد پژوهش پیروی می‌کند. مقادیر بیشینه شتاب در هر نقطه از گستره تحت تأثیر گسل‌های اطراف و فاصله نقطه تا گسل‌ها می‌باشد. شکل ۱۵ نقشه خطر لرزه‌ای شهرستان طبس در شعاع ۱۵۰ کیلومتری از این شهر را نشان می‌دهد. در این نقشه بیشینه شتاب ثقل افقی با استفاده از روابط تجربی در هر سلول محاسبه شده و نقشه خطر لرزه‌ای نسبت به کل شبکه بدست آمده است. همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود، می‌توان سه منطقه با شتاب افقی بالا شناسایی کرد که اولین منطقه، محل برخورد گسل‌های نایبند، شتری و اسفندیار، دومی در محل برخورد گسل‌های کلمرد و کلشانه و دیگری در محل برخورد گسل‌های لادر، گل خار، نار و کال درونه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بیشترین شتاب افقی وارد بر شهر طبس ۰/۷ شتاب ثقل زمین، از راندگی شتری با توان لرزه‌زایی ۷/۴ ریشتر است و این در حالیست که گسل در فاصله‌ی ۲۵ کیلومتری طبس فعالیت می‌کند. حداقل شتاب وارده از گسل‌های گل خار با توان لرزه‌زایی ۷/۳ ریشتر و از فاصله ۹۳ کیلومتری از شهر طبس به میزان ۰/۳ شتاب ثقل زمین است.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که گسل کلمرد به طول ۱۷۰ کیلومتر به فاصله‌ی ۵۰ کیلومتری از شهر طبس بیشترین تأثیر را بعد از راندگی شتری خواهد داشت. به‌طوری‌که بیشترین زمین‌لرزه قابل انتظار (۸/۹۳ ریشتر)، بیشینه شدت نسبی در کانون (۸/۳۲)، حداکثر جابجایی

زاویه بین عمود بر صفحه گسلی و تنش اصلی حداکثر (σ_1) به صورت θ نشان داده می‌شود.

یعنی وقتی $30^\circ < \theta < 90^\circ$ ، یک گسل ممکن است بلغزد. هنگامی که $\theta = 60^\circ$ باشد، گسل به راحتی می‌لغزد. اگر $\theta \leq 30^\circ$ یا $\theta \geq 90^\circ$ باشد، گسل نمی‌تواند بلغزد. برای به کمیت کشیدن رابطه بین پتانسیل حرکتی گسل (FMP) و زاویه FMP، θ به صورت یک عامل نرمالیزه شده در ذیل تعریف شده است.

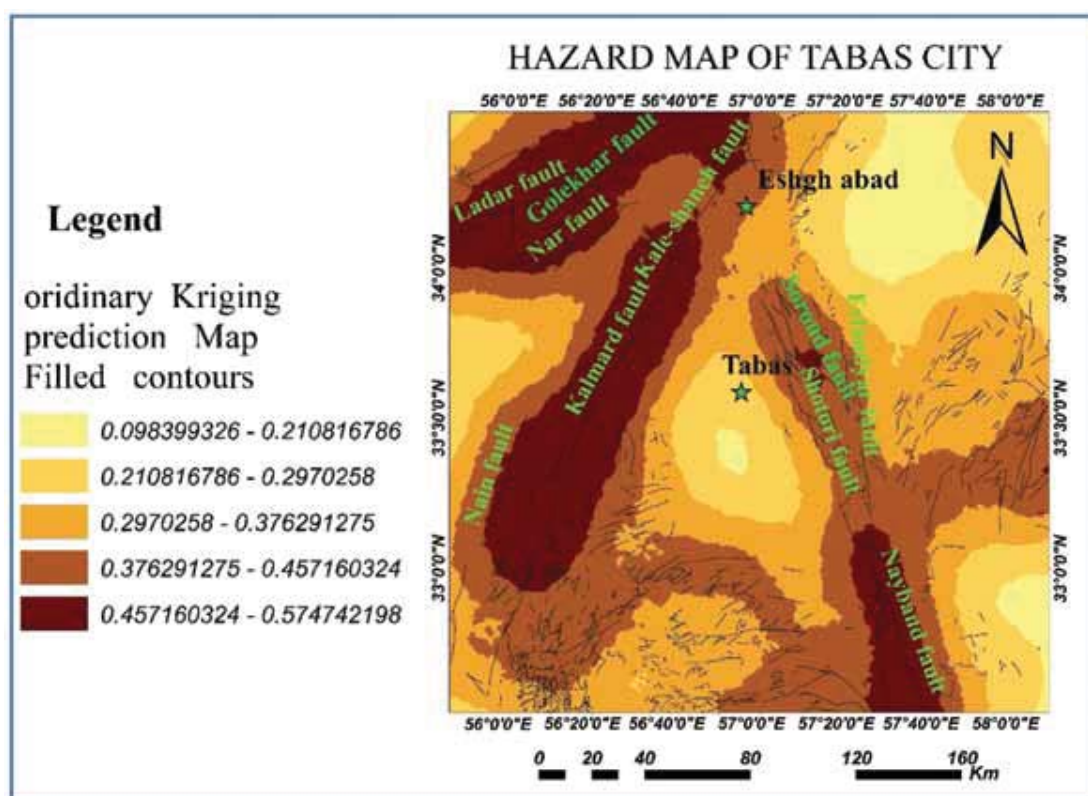
$$FMP = \begin{cases} 0 & , \theta \in [0^\circ, 30^\circ] \\ \frac{\theta - 30}{30} & , \theta \in [30^\circ, 60^\circ] \\ 1 - \frac{\theta - 60}{30} & , \theta \in [60^\circ, 90^\circ] \end{cases}$$

زاویه FMP، θ برای گسل‌های برداشت شده در گستره‌ی مورد مطالعه محاسبه شده، و نتایج آن در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. نتایج بدست آمده از محاسبه پتانسیل حرکتی گسل‌های برداشت شده در منطقه

نتیجه	FMP	θ	مشخصات گسل	نام گسل
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۴۶	۴۴	N225,87NW $\sigma_1 = N91,16$	F ₂
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۷	۶۹	N70,82SE $\sigma_1 = N139,29$	F ₃
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۵۳	۴۶	N95,80NE $\sigma_1 = N139,18$	F ₅
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۵۳	۴۶	N170,40NE $\sigma_1 = 214, 28$	F ₆
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۵	۴۵	N335,85SW $\sigma_1 = N20,03$	F ₇
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۷	۵۱	N40,56NW $\sigma_1 = N 179,13$	F ₈
احتمال لغزش وجود دارد.	۰/۵	۴۵	N300,80NE $\sigma_1 = N165,07$	F ₉

تهیه نقشه منحنی خطر لرزه‌ای برای گستره مورد مطالعه به‌منظور ارائه مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در گستره مطالعاتی، مدل کریچینگ ساده، مدلی مناسب در تهیه منحنی‌های خطر معرفی شد. از ایرادهای



شکل ۱۵. پهنه‌بندی نسبی خطر لرزه‌ای در منطقه طبس (پهنه‌بندی نسبت به کل شبکه انجام شده است)

امید است با کنترل و نظارت صحیح و دقیق از مرحله طراحی تا پایان عملیات ساختمان سازی و رعایت آیین نامه‌های استاندارد در طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در شهر طبس، از خطرات زمین لرزه احتمالی بر این شهر کاسته شود.

منابع

- بربریان، مانوئل، ۱۳۷۱، پژوهش و بررسی زمین ساخت و بررسی ژرف نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه گسلش در شمال تهران، سازمان زمین شناسی کشور.
- پور کرمانی، م.، آرین، م.، ۱۳۷۶. لرزه زمین ساخت. انتشارات شرکت مشاور دز آب.

- Ambraseys, N. N. and Melville, C. P., 1982. "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, Cambridge, UK.2.

- Arian, M. and Qorashi, M., 2006. The movement potential evaluation of the major Quaternary faults in Alborz-Central Iran, border zone,

افقی در کانون (۲۹/۸۲)، حداکثر جابجایی قائم (۶۶/۷۰) در نتیجه‌ی عملکرد این گسل بر شهر طبس وارد می‌شود. مناطق با خطر بالا و خیلی بالا در گستره مورد مطالعه (شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهر طبس) شناسایی شده‌اند. بنابراین رسیدگی به روستاهای این بخش و تعیین محل‌هایی با ایمنی بیشتر ضروری به نظر می‌رسد و در توسعه شهری نیز رعایت آیین نامه ۲۸۰۰ برای ساخت سازه‌های مقاوم در برابر تکان‌های زمین و رعایت حریم گسل‌های فعال (راندگی شتری و کلرد) با در نظر گرفتن جنبه‌های عمومی و نکات اجرایی پهنه‌ای به طول ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در امتداد درازای دو سوی گسل در نظر گرفته شود.

پیشنهاد می‌شود در حریم گسل هیچ سازه مسقفی بنا نشود و سازه‌های موجود نیز جابجا شود. حریم گسل به فعالیت‌های روباز مانند زمین‌های ورزشی، کشاورزی و فضای سبز اختصاص یابد. در مناطق با ریسک خطر بالا و خیلی بالا مطالعات لرزه زمین ساختی محلی و ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای صورت گیرد.

راضیه عباس‌پور و همکاران

from the East of Tehran to the East of Semnan. *Geosciences*, 15, (59), 184-187.

- Chandera, U., 1984. Focal mechanism solution for earthquake in Iran. *Physics of the Earth and Planetary*.

- Dames and Moore., 1983. Rubey Clay-Mine subsidence hazard study, Golden, Colorado: Representative to Adolph Coors Company dated August 30, 1983.

- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1954. *Seismicity of the Earth*, Princeton University.

- Housner, G.W., 1969. "Engineering estimates of ground shaking and maximum earthquake magnitude", *Proceeding of the 4th world conference on Earthquake engineering*. Santiago, Chile. Incorporation of magnitude heterogeneity. *Bulletin of Seismological Society of America*. 82, 120-134.

- Kijko, A., 1992. estimation of earthquake parameters from incomplete data files, Part II, *Bulletin of seismological Society of America*, 79, (3), 645-654.

- Lee, C.F., Hou, J.J. and Ye, H., 1997. The movement potential of the major faults in Hong Kong area, *Episodes*, 20, (4). 227-231.

- McGuire, R.K., 1978. Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake source (FRISK). Openfile report 78-1007, US Department of Interior Geological Survey, Denver, Colorado, 71 p.

- Mohajer-Ashjai, A. and Nowroozi, A.A., 1985. Fault movements and tectonics of eastern Iran: Boundaries of the Lut plate. *Gephysicol Journal of the Royal Astronomical Society*, 83, 215-257.

- Press, F., 1967. Dimentions of the source for small shallow earthquakes. *Proceeding. VESI-AC Conference. on the source mechanism of shallow seismic events*, VESIAC rep. 7885-1-X PRU-Pruhonice, Czechoslovakia.

- Schwartz, D., and Coppersmith, K. J., 1984. "Fault behavior and characteristic Eathquake: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zone", *Journal of Geophysical Research*, . 89, (B7). 5681-5698.

- Slemmons, D.B., 1982. Determination of design earthquake magnitude for micrizonation, *Proceeding of the 3rd International Earthquake Microzonation. Conference.*, VI, 119-130.

- Tocher, D., 1985. Earthquake energy and ground breakage. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 48., 147-153.

- Trifunac M. D. and Brady, A.G., 1975. A study of the duration of strong earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65, 581-626.

- Wesnouske. S. G., 1986. Earthquake Quaternary Fault and seismic hazards in California. *Journal of Geophysical Research*,. 91, 12587-12632.