

چکیده

به دلیل برهم کنش^۱ چشمه‌های لرزه‌زا^۲، وقوع یک زلزله احتمال وقوع زلزله‌های آینده را در منطقه تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه احتمال وقوع زلزله‌های با بزرگای $M_w \geq 5.8$ بر اساس مدل‌های وابسته به زمان بی‌پی‌تی^۳ و ویبل^۴ برای دوره ۱۰، ۳۰ و ۵۰ ساله در بخشی از منطقه زاگرس ارزیابی شده است. ابتدا تغییرات تنش کولمب ناشی از برهم کنش زمین لرزه‌ها در هر گسل محاسبه شده است. سپس اثر این تغییر تنش در احتمال وقوع زلزله‌های مشخصه^۵ برحسب هر دو اثر دائمی (تغییر زمان) و گذرا (نرخ-حالت) تغییرات تنش کولمب ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل ویبل احتمال بالایی از وقوع زلزله را نسبت به مدل بی‌پی‌تی در منطقه تخمین زده است. در نظر گرفتن اثرات تغییر تنش زلزله‌ها، موجب تغییر در نتایج احتمالات شرطی به‌دست آمده از هر دو مدل بی‌پی‌تی و ویبل شد، به طوری که در برخی چشمه‌های لرزه‌زا موجب افزایش و در برخی دیگر موجب کاهش نتایج احتمال شد. بیشترین احتمال به‌دست آمده مربوط به گسل کازرون است که این امر نشان‌دهنده‌ی فعالیت لرزه‌ای بالای این گسل است.

واژگان کلیدی: احتمال، تنش کولمب، مدل وابسته به زمان، بی‌پی‌تی، ویبل.

اثر تنش کولمب بر مدل‌های وابسته به زمان احتمال وقوع زلزله در زاگرس

سمانه کاظمی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، مؤسسه آموزش عالی آل‌طه، تهران

حمید زعفرانی (نویسنده مسئول)

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران
 h.zafarani@jies.ac.ir

۱- مقدمه

زمین لرزه ۲۰۱۰ ریگان، همبستگی خوبی با توزیع مکانی پس لرزه‌های حاصل از آن را نشان می‌دهد و بیش از ۷۰ درصد پس لرزه‌ها در مناطقی رخ داده‌اند که دارای افزایش تنش کولمب بوده‌اند. نوری و همکاران [۳] با مطالعه تغییرات نرخ لرزه‌خیزی و تغییرات تنش کولمب حاصل از زلزله ۹ آوریل ۲۰۱۳ کاکلی-شنبه و توزیع پس لرزه‌های آن نشان دادند که در اکثر قسمت‌های صفحه گسلی مسبب خصوصاً در قسمت‌هایی که دارای لغزش بوده است، افزایش تنش رخ داده و بیش از ۸۰ درصد پس لرزه‌ها در مناطق با تنش کولمب بالا رخ داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که وقوع این زمین لرزه سبب افزایش تنش در قسمت‌هایی از گسل‌های پیش‌رُرفای زاگرس، پیشانی کوهستان و نیمه شمالی گسل برازجان گردیده است. سرخوندی و همکاران [۴] با به کارگیری مدل وابسته به زمان بی‌پی‌تی و با در نظر گرفتن اثرات تنش کولمب در شرق ایران، نشان دادند که زمین لرزه‌ی ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ قائن-بیرجند باعث تغییر در احتمال رخداد زلزله‌های آتی در برخی گسل‌های منطقه مانند گسل دشت

افزایش فشار بیش از حد داخل سنگ‌ها و طبقات درونی زمین موجب گسیختگی در سنگ‌ها می‌شود. زمانی که فشار درونی بر مقاومت سنگ‌ها غلبه کند، انرژی نهفته شده آزاد شده و زمین لرزه رخ می‌دهد. یکی از معیارهایی که از آن برای بیان شرایط شکست سنگ‌ها استفاده می‌شود، معیار شکست کولمب است. یک روش مستقیم برای لحاظ کردن تغییرات تنش کولمب در محاسبه احتمال زلزله‌ها، دخالت دادن تغییرات تنش، به‌عنوان عامل تقدم یا تأخر زمانی در چرخه احتمال وقوع زلزله است [۱]. این تغییر تنش می‌تواند به صورت مثبت (افزایش تنش) یا منفی (کاهش تنش) باشد.

ملکی آسایش و حمزه‌لو [۲] با بررسی تغییرات تنش کولمب حاصل از زمین لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ ریگان در منطقه کرمان و توزیع پس لرزه‌های آن نشان دادند که تغییرات تنش حاصل از این زمین لرزه موجب افزایش تنش ۰/۲۸ مگاپاسکال در مرکز کانونی زمین لرزه ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ ریگان شده است. همچنین تغییرات تنش حاصل از

گیرنده (کازرون، سبزویشان، کره بس، قیر، پیشانی کوهستان (MFF) واقع در غرب گسل میشان، پیش‌زرفای زاگرس (ZFF) شاخه متصل به شرق گسل رگ سفید) و محاسبات مربوط به تنش با استفاده از نرم‌افزار Coulomb 3.3 انجام شده است.

۲- احتمالات شرطی محاسبه شده بر اساس مدل‌های نو

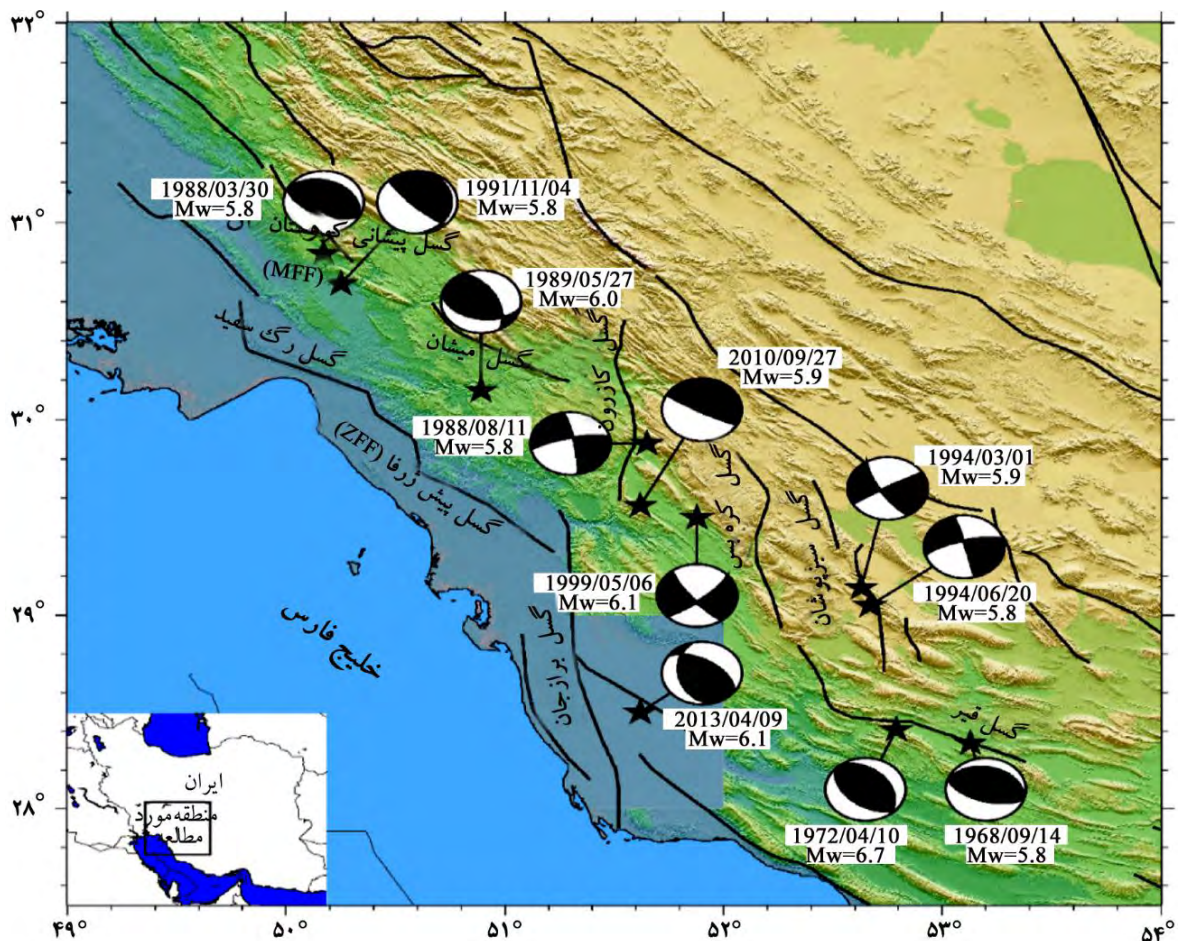
به منظور بهبود نتایج احتمال وقوع زلزله‌ها، اثر تغییرات تنش ناشی از برهم‌کنش زلزله‌ها در مدل‌های احتمالاتی باید لحاظ شود. تغییر تنش کولمب بر روی گسل گیرنده ناشی از لغزش گسل چشمه با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\Delta CFF = \Delta \tau - \mu' \Delta \sigma_n \quad (1)$$

در رابطه فوق $\Delta \tau$ تغییر تنش برشی بر روی گسل گیرنده، μ' ضریب

بیاض شرقی و غربی شده است؛ اما در این پژوهش، تنها تأثیر تغییر تنش ناشی از یک زلزله بر احتمال وقوع زلزله‌های آینده در گسل‌های منطقه در نظر گرفته شده است. درحالی‌که در نظر گرفتن تمامی زلزله‌هایی که بعد از آخرین رویداد مشخصه آن گسل رخ داده‌اند، موجب بهبود نتایج احتمالات محاسبه شده خواهد شد.

زاگرس از دیدگاه لرزه‌خیزی بسیار فعال و یکی از زلزله‌خیزترین مناطق ایران است. با توجه به اهمیت این موضوع، منطقه زاگرس محدود به مختصات $49/6$ تا $53/4$ درجه شرقی و 27 تا $31/2$ درجه شمالی به‌عنوان منطقه‌ی مورد بررسی انتخاب شده است (شکل ۱). سپس احتمال وقوع زلزله‌های با بزرگای $M_w \geq 5.8$ با در نظر گرفتن هر دو اثر دائمی و گذرای تنش کولمب برای دوره‌ی ۱۰، ۳۰ و ۵۰ ساله با استفاده از دو توزیع بی‌پی‌تی و ویبل محاسبه شده است. مدل‌سازی زلزله‌ها، گسل‌های



شکل (۱): منطقه زاگرس به همراه گسل‌های فعال و زلزله‌های مشخصه رخ داده در هر یک از آنها.

را ایجاد می‌کند. با اضافه شدن بارگذاری تکنیکی به حرکت براونی، توزیع زمان بین زلزله‌ها تغییر می‌کند [۱۸]. در توزیع زمان عبور براونی (بی‌پی‌تی) فرض می‌شود که گسیختگی زمانی رخ می‌دهد که این فرآیند به آستانه گسیختگی بحرانی برسد. در این توزیع احتمال گسیختگی آنی صفر است و نرخ خطر به‌طور پیوسته از صفر در $t=0$ تا یک مقدار ماکزیمم محدود و کران داری نزدیک به میانگین دوره بازگشت افزایش و سپس به‌طور مجانب‌وار تا سطح شبه‌ثابت کاهش می‌یابد که در آن احتمال شرطی یک رویداد مستقل از زمان می‌شود [۱۷]. تابع توزیع بی‌پی‌تی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(t; T_r, \alpha) = \left(\frac{T_r}{2\pi\alpha^2 t^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{(t-T_r)^2}{2T_r\alpha^2 t} \right\} \quad (4)$$

با داشتن تابع چگالی احتمال $f(t)$ و تابع چگالی تجمعی $F(t)$ ، تابع خطر $h(t)$ به شرطی که هیچ رویدادی بعد از زمان t رخ نداده باشد، به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (5)$$

بنابراین تابع خطر تجمعی که احتمال وقوع یک رویداد را در زمان بین t و $t+\Delta t$ محاسبه می‌کند، به‌صورت زیر بیان می‌شود [۱۹]:

$$H(t < T \leq t + \Delta t) = \text{pr}[t < T \leq t + \Delta t | T] = \frac{\text{pr}[t < T \leq t + \Delta t]}{\text{pr}[t < T]} = \frac{\int_t^{t+\Delta t} f(u) du}{1 - \int_0^t f(u) du} \quad (6)$$

تأثیر تغییرات تنش کولمب بر مدل‌های احتمالاتی زمان وابسته به دو صورت تأثیر دائمی و گذرای تغییرات تنش کولمب بررسی می‌شود. اثرات گذرا با گذشت زمان از بین می‌رود، درحالی‌که اثرات ماندگار با گذشت زمان زوال نمی‌یابد [۲۰]. اثر دائمی تغییر تنش کولمب بر روی احتمال وقوع یک زلزله مشخصه به دو روش قابل بررسی است [۱۹، ۲۱]:

۱- روش زمان بین رویدادی که در آن میانگین دوره بازگشت زلزله از T_r به T_r' اصلاح می‌شود:

$$T_r' = T_r - \frac{\Delta CFF}{\dot{t}} \quad (7)$$

اصطکاک مؤثر و $\Delta\sigma_n$ تغییر تنش نرمال بر روی گسل گیرنده می‌باشد [۵]؛ که در آن ضریب اصطکاک مؤثر به‌صورت تابعی از ضریب اسکمپتون B و ضریب اصطکاک بیان می‌شود:

$$\mu' = \mu(1 - B) \quad (2)$$

مقدار ضریب اصطکاک مؤثر μ' از $0.8-0$ تغییر می‌کند که مقدار $\mu'=0.4$ برای محاسبات تنش کولمب مناسب است [۶-۷]. مدل‌های وابسته به زمان که مدل‌های نو نیز خوانده می‌شوند برای لرزش‌های ناشی از گسل‌های منفرد [۸-۹] و یا چشمه‌های لرزه‌زایی که زلزله مشخصه تولید می‌کنند، کاربرد دارد [۱۰-۱۱] که در این مدل‌ها، احتمال شرطی وقوع زلزله‌ی بزرگ بعدی با زمان و بلافاصله بعد از آخرین زلزله تغییر می‌کند و با گذر زمان این احتمال افزایش می‌یابد [۱۲]. برای محاسبه احتمال شرطی بازگشت زلزله، از دو توزیع بی‌پی‌تی و ویبل استفاده شده است. توزیع ویبل از مکانیک شکست و فیزیک آماری پیروی می‌کند و امروزه به‌صورت گسترده در برنامه‌های مهندسی استفاده می‌شود [۱۳-۱۴]. همچنین از این توزیع برای محاسبه بازگشت زلزله‌ها نیز استفاده می‌شود [۱۵]. تابع چگالی احتمال این توزیع مطابق با رابطه (۳) بیان می‌شود [۱۳]:

$$f(t, T_r, \gamma) = \frac{\gamma}{T_r} \left(\frac{t}{T_r} \right)^{\gamma-1} \exp \left\{ -\left(\frac{t}{T_r} \right)^\gamma \right\} \quad (3)$$

که در آن، γ پارامتر شکل توزیع نامیده می‌شود که برابر با معکوس ضریب تغییرات است [۱، ۱۶]؛ که برای انواع مختلف چرخه وقوع زلزله، این ضریب مقادیر مختلفی را به خود اختصاص می‌دهد [۱۲]. به دلیل مشخص نبودن این ضریب برای منطقه مطالعاتی، مانند مطالعه یاکولف و همکاران [۱۶] مقدار آن برابر با 0.5 و 0.75 فرض شده است. فواصل زمانی بین رویدادهای متوالی، از توزیع زمان عبور براونی پیروی می‌کند که از آن برای مقاصد مختلفی مانند پیش‌بینی‌های لرزه‌ای زمان-وابسته و بلندمدت استفاده می‌شود [۱۷]. اضافه کردن تغییرات براونی به یک سیستم بارگذاری تکنیکی یکنواخت، یک فرآیند بار-حالت تصادفی

مدت زمان مؤثر پس لرزه‌ها نامیده می‌شود، مدت زمانی است که نرخ لرزه‌خیزی به نرخ لرزه‌خیزی زمینه می‌رسد و به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

$$t_a = \frac{A\sigma}{\dot{t}} \quad (10)$$

که در رابطه بالا، \dot{t} نرخ تنش تکنونیک، A پارامتر بی بعد ساختار گسل و σ تنش نرمال فعال در گسل است. بنابراین احتمال وقوع زلزله با در نظر گرفتن اثرات گذرای تنش کولمب به صورت زیر برآورد می‌شود که در آن N تعداد رویدادهای مورد انتظار در یک گسل در بازه زمانی $(t, t+\Delta t)$ است [۶]:

$$p = 1 - \exp(-N) = 1 - \exp\left(-\int_t^{t+\Delta t} R(t) dt\right) \quad (11)$$

۳- مدل سازی و نتایج آن

در تحقیق حاضر، گسل‌های منطقه و زلزله‌های بعد از آخرین رویداد مشخصه در هر گسل، با استفاده از نرم افزار 3.3 Coulomb، مدل سازی و پارامترهای مورد نیاز مطابق با جدول (۱) ارائه شده است:

که در رابطه بالا، \dot{t} نرخ تنش تکنونیک (نرخ بارگذاری تکنونیک) است.

۲- روش تغییر زمانی که در آن زمان سپری شده از آخرین زلزله مشخصه، از t به t' اصلاح می‌شود:

$$t' = t + \frac{\Delta CFF}{\dot{t}} \quad (8)$$

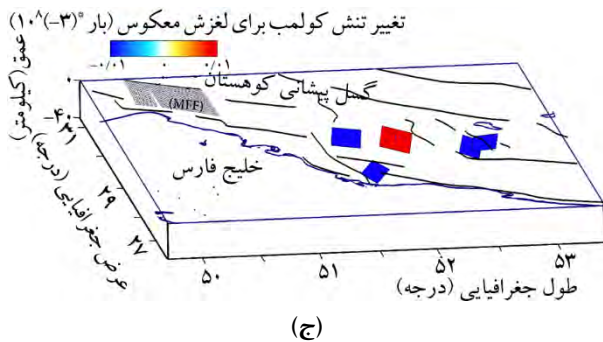
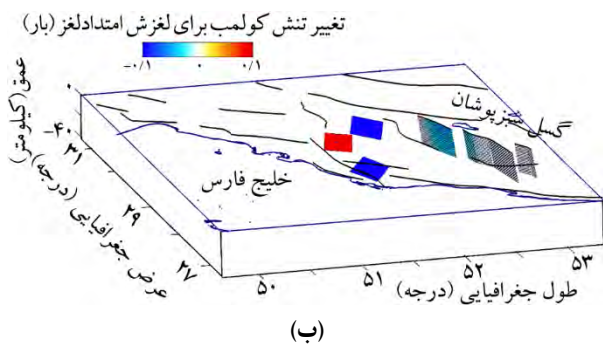
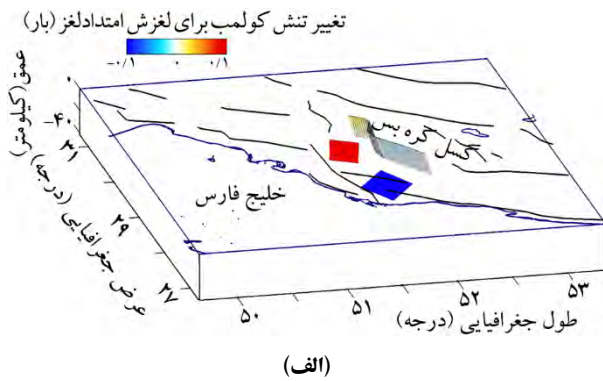
زمانی که زمان سپری شده از آخرین زلزله، به طور مؤثری از متوسط دوره بازگشت زلزله بزرگ تر یا کوچک تر باشد؛ دو روش فوق، منجر به نتایج متفاوتی در مقادیر احتمال می‌شوند [۱۹]. طبق مطالعات اخیر [۱، ۶، ۱۹، ۲۲] از روش دوم در محاسبات استفاده شده است. اثرات گذرا که از مدل نرخ-حالت برای زلزله‌ها به دست می‌آید [۶]، ممکن است بیشتر از آنچه در روش تغییر زمانی پیش بینی شده است، باشند [۱۷]. نرخ لرزه‌خیزی $R(t)$ پس از تغییر ناگهانی تنش به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R(t) = \frac{R_0}{\left[\exp\left(\frac{-\Delta CFF}{A\sigma}\right) - 1\right] \exp\left(-\frac{t}{t_a}\right) + 1} \quad (9)$$

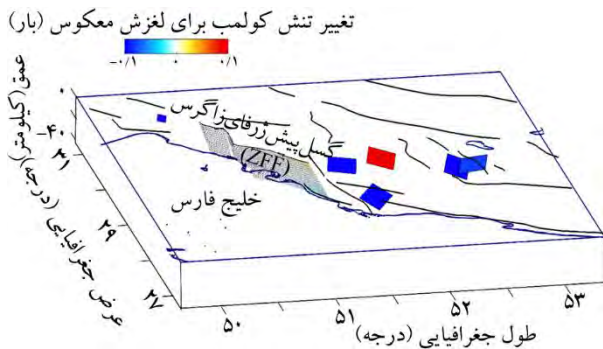
که در آن، ΔCFF تغییر تنش کولمب و R_0 نرخ لرزه‌خیزی قبل تغییر تنش، A پارامتر بی بعد گسل، σ تنش نرمال گسل و t_a که

جدول (۱): زلزله‌های دستگاهی بزرگ‌تر از $MW \geq 5.8$ منطقه از سال ۲۰۱۶-۱۹۶۰.

مرجع	مکانیسم	امتداد	شیب	زاویه بردار لغزش	عمق	تاریخ	بزرگای گشتاوری	مختصات رومرکز		گسل
								عرض	طول	
[۲۴-۲۳]	امتداد لغز	۳۵۰	۸۲	-۱۶۶	۹	۱۹۸۸/۰۸/۱۱	۵/۸	۵۱/۶۵	۲۹/۸۸	کازرون
[۲۵]		۱۱۹	۸۵	۸۹	۱۷/۱	۲۰۱۰/۰۹/۲۷	۵/۹	۵۱/۶۲	۲۹/۵۶	
[۲۶]	-	۱۶۴	۴۲	۱۱۹	۹	۲۰۱۳/۰۴/۰۹	۶/۱	۵۱/۶۲۳	۲۸/۵۰۷	-
[۲۸-۲۷]	امتداد لغز	۲۵۵	۷۴	-۳	۹	۱۹۹۴/۰۶/۲۰	۵/۸	۵۲/۶۷	۲۹/۰۵	سبزیوشان
[۲۷]		۱۴۹	۷۵	۱۷۷	۱۳	۱۹۹۴/۰۳/۰۱	۵/۹	۵۲/۶۳	۲۹/۱۴	
[۲۷]	امتداد لغز	۱۴۲	۷۸	-۱۶۷	۷	۱۹۹۹/۰۵/۰۶	۶/۱	۵۱/۸۸	۲۹/۵۰	کره‌بس
[۲۹، ۲۷]	معکوس	۲۸۸	۳۰	۹۰	۷	۱۹۶۸/۰۹/۱۴	۵/۸	۵۳/۱۸	۲۸/۳۴	قیر
[۲۷، ۲۴]		۳۲۲	۴۰	۹۸	۱۰	۱۹۷۲/۰۴/۱۰	۶/۷	۵۲/۷۹	۲۸/۴۱	
[۲۷، ۲۵]	معکوس	۲۹۶	۳۲	۹۰	۱۵	۱۹۸۸/۰۳/۳۰	۵/۸	۵۰/۱۸	۳۰/۸۵	پیشانی کوهستان (MFF)
[۲۷]		۱۳۵	۸۰	۷۸	۵	۱۹۹۱/۱۱/۰۴	۵/۸	۵۰/۲۵	۳۰/۶۹	
[۲۷، ۲۵]	معکوس	۳۳۲	۵۷	۱۲۲	۱۵	۱۹۸۹/۰۵/۲۷	۶	۵۰/۸۹	۳۰/۱۵	پیش‌زرفا زاگرس (ZFF)

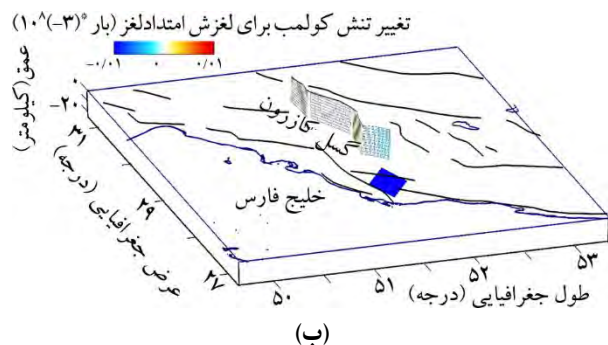
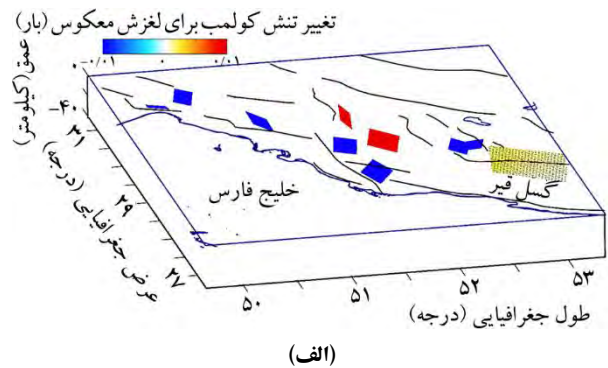


شکل (۳): نمایش تغییرات تنش کولمب در صفحه‌ی: (الف): گسل کره بس با مکانیسم امتدادلغز؛ (ب): گسل سبزپوشان با مکانیسم امتدادلغز؛ (ج): گسل پیشانی کوهستان با مکانیسم معکوس.



شکل (۴): نمایش تغییرات تنش کولمب در صفحه‌ی گسل پیش‌زرفای زاگرس با مکانیسم معکوس.

به دلیل اینکه جزئیاتی مانند توزیع لغزش غیر یکنواخت و شکل گسل در دسترس نیست، گسل‌ها به صورت مستطیل شکل و با توزیع تنش یکنواخت فرض شده است [۱، ۶ و ۲۲]. به منظور محاسبه طول و عرض گسیختگی، از روابط تجربی ولز و کاپراسمیت [۳۰] استفاده شده است. عمق گسل برای محاسبه تغییرات تنش کولمب ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. تغییرات تنش کولمب ناشی از زلزله‌های بعد از آخرین رویداد مشخصه در هر گسل در شکل‌های (۲) تا (۴) نشان داده شده است. به منظور محاسبه احتمال زلزله، به اطلاعاتی مانند نرخ تنش تکتونیکی و مدت زمان مؤثر پس‌لرزه‌ها نیاز است. خداوردیان و همکاران [۳۱] نرخ لغزش بلندمدت و کرنش برشی را برای گسل‌های ایران محاسبه کردند؛ به طوری که با حاصل ضرب مدول برشی در نرخ کرنش برشی، نرخ تنش تکتونیکی به دست می‌آید. سپس با استفاده از جدول پنجره‌های زمانی و مکانی گاردنر و نویوف [۳۲] مدت زمان مؤثر پس‌لرزه‌ها برابر با ۱/۴ سال به دست آمد. متوسط زمان بازگشت زلزله برابر با معکوس نرخ



شکل (۲): نمایش تغییرات تنش کولمب در صفحه‌ی: (الف): گسل قیر با مکانیسم معکوس؛ (ب): گسل کازرون با مکانیسم امتدادلغز.

قسمت گسیخته شده ی گسل و M_w بزرگای گشتاوری است. جدول (۲) پارامترهای مورد نیاز در محاسبه احتمال زلزله ها را نشان می دهد.

در این مطالعه، احتمال وقوع زلزله بدون در نظر گرفتن تنش بر اساس رابطه (۶)، احتمال با در نظر گرفتن اثر دائمی تنش کولمب $p(mod)$ بر اساس روابط (۶) و (۸) و همچنین احتمال با در نظر گرفتن اثر گذرا و دائمی تنش $p(trans)$ بر اساس رابطه (۱۱) انجام شده است که نتایج آن در جداول (۳) تا (۸) بیان شده است.

سالانه زلزله می باشد. با توجه به اینکه در این مطالعه، چشمه های لرزه زا به صورت منفرد بررسی شده اند، بنابراین برای محاسبه دوره بازگشت از مدل سرشنی (مشخصه) استفاده شده است. به دلیل نبود جزئیات دیرینه لرزه شناسی برای چشمه های لرزه زای منطقه، از رابطه ارائه شده توسط فیلد و همکاران [۳۳] استفاده شده است:

$$\text{نرخ سالانه} = \frac{\dot{M}_0}{M_0} = \frac{\mu v A}{10^{(1.5M_w + 9.05)}} \quad (12)$$

در رابطه فوق μ مدول برشی، v نرخ لغزش بلندمدت، A مساحت

جدول (۲): پارامترهای مورد استفاده در محاسبه احتمال وقوع زلزله مشخصه در منطقه.

گسل	حداکثر تغییرات تنش کولمب (بار)	نرخ تنش تکتونیکی (پاسکال بر سال)	مدت زمان مؤثر (t_a)	$A\sigma$ (مگاپاسکال)	متوسط دوره بازگشت زلزله (سال)	زمان سپری شده از آخرین زلزله مشخصه تا سال ۲۰۱۶
قیر	۰/۰۰۲	۳۴۱	۱/۴	۰/۰۰۰۵	۳۱۵	۴۴
کازرون	۰/۰۰۰۹	۶۴۶	۱/۴	۰/۰۰۰۹	۱۱۲/۴	۶
کره بس	۰/۰۲	۳۵۰	۱/۴	۰/۰۰۰۵	۳۰۳/۷	۱۷
سبزپوشان	۰/۰۰۵	۳۱۲	۱/۴	۰/۰۰۰۵	۳۴۸/۴	۲۲
پیشانی کوهستان MFF	۰/۰۰۰۰۷	۱۸۵	۱/۴	۰/۰۰۰۲	۱۴۸/۳	۲۵
پیش ژرفا ZFF	۰/۰۱	۴۳۰	۱/۴	۰/۰۰۰۶	۲۱۶	۲۷

جدول (۳): احتمالات به دست آمده از مدل های بی پی تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۵ و پارامتر شکل برابر با ۲ در ۱۰ سال آینده.

گسل	توزیع ویبل $\gamma = 2$			توزیع بی پی تی $\alpha = 0.5$		
	P-trans(10)(%)	P-mod(10)(%)	P(10)(%)	P-trans(10)(%)	P-mod(10)(%)	P(10)(%)
قیر	۰/۹۹	۱	۰/۹۸	۰	۰	۰
کره بس	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۴۸	۰	۰	۰
سبزپوشان	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۴	۰	۰	۰
کازرون	۱/۷۳	۱/۷۵	۱/۷۳	۰	۰	۰
پیشانی کوهستان MFF	۲/۶۶	۲/۶۹	۲/۶۹	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
پیش ژرفا ZFF	۱/۴۹	۱/۵	۱/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰

جدول (۴): احتمالات به دست آمده از مدل‌های بی‌بی‌تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۵ و پارامتر شکل برابر با ۲ در ۳۰ سال آینده.

توزیع بی‌بی‌تی $\alpha=0.5$			توزیع ویبل $\gamma=2$			گسل
P(30)(%)	P-mod(30)(%)	P-trans(30)(%)	P(30)(%)	P-mod(30)(%)	P-trans(30)(%)	
۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۴	۳/۵	۳/۵۴	۳/۴۸	قیر
۰	۰	۰	۲/۰۶	۲/۴۱	۲/۳۸	کره‌بس
۰	۰	۰	۱/۸۱	۱/۹	۱/۸۸	سبزپوشان
۱/۲۷	۱/۳	۱/۲۹	۹/۵	۹/۵۵	۹/۱۱	کازرون
۲/۹۴	۲/۹۴	۲/۹	۱۰/۳۴	۱۰/۳۴	۹/۸۳	پیشانی کوهستان MFF
۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۵۱	۵/۲۶	۵/۶۶	۵/۵	پیش‌زرفا ZFF

جدول (۵): احتمالات به دست آمده از مدل‌های بی‌بی‌تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۵ و پارامتر شکل برابر با ۲ در ۵۰ سال آینده.

توزیع بی‌بی‌تی $\alpha=0.5$			توزیع ویبل $\gamma=2$			گسل
P(50)(%)	P-mod(50)(%)	P-trans(50)(%)	P(50)(%)	P-mod(50)(%)	P-trans(50)(%)	
۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۸۴	۶/۷۲	۶/۷۷	۶/۵۵	قیر
۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۴/۴۵	۵/۰۲	۴/۹	کره‌بس
۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۳/۸	۳/۹۴	۳/۸۶	سبزپوشان
۱۱/۰۲	۱۱/۱۱	۱۰/۵۲	۲۱/۷۷	۲۱/۸۵	۱۹/۶۲	کازرون
۱۱/۶۲	۱۱/۶۴	۱۰/۹۹	۲۰/۳۳	۲۰/۳۴	۱۸/۴	پیشانی کوهستان MFF
۲/۳۸	۲/۹۸	۲/۹۴	۱۰/۵۵	۱۱/۱۸	۱۰/۵۸	پیش‌زرفا ZFF

جدول (۶): احتمالات به دست آمده از مدل‌های بی‌بی‌تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۷۵ و پارامتر شکل برابر با ۱/۳۳ در ۱۰ سال آینده.

توزیع بی‌بی‌تی $\alpha=0.75$			توزیع ویبل $\gamma=1/33$			گسل
P(10)(%)	P-mod(10)(%)	P-trans(10)(%)	P(10)(%)	P-mod(10)(%)	P-trans(10)(%)	
۰/۴۷	۰/۵	۰/۵	۲/۲۶	۲/۲۷	۲/۲۴	قیر
۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۱/۸۲	۱/۹۶	۱/۹۴	کره‌بس
۰	۰	۰	۱/۶۳	۱/۶۶	۱/۶۵	سبزپوشان
۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۳	۵/۳۱	۵/۳۳	۵/۱۹	کازرون
۲/۴۲	۲/۴۳	۲/۴	۵/۱۵	۵/۱۵	۵/۰۲	پیشانی کوهستان MFF
۰/۵۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۳/۲۲	۳/۳۳	۳/۲۷	پیش‌زرفا ZFF

جدول (۷): احتمالات به دست آمده از مدل‌های بی‌بی‌تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۷۵ و پارامتر شکل برابر با ۱/۳۳ در ۳۰ سال آینده.

توزیع بی‌بی‌تی $\alpha=0.75$			توزیع ویبل $\gamma=1/33$			گسل
P(30)(%)	P-mod(30)(%)	P-trans(30)(%)	P(30)(%)	P-mod(30)(%)	P-trans(30)(%)	
۲/۷۷	۲/۸۵	۲/۸۱	۷/۰۱	۷/۰۴	۶/۷۹	قیر
۰/۳۷	۰/۷	۰/۶۹	۶/۰۱	۶/۳۴	۶/۱۴	کره‌بس
۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۳۶	۵/۲۹	۵/۳۷	۵/۲۳	سبزپوشان
۸/۷۴	۸/۸۳	۸/۴۵	۱۸/۱	۱۸/۱۴	۱۶/۵۹	کازرون
۱۲/۵۹	۱۲/۶	۱۱/۸۴	۱۵/۹۴	۱۵/۹۵	۱۴/۷۴	پیشانی کوهستان MFF
۴/۵۳	۵/۴۴	۵/۳	۱۰/۱۶	۱۰/۴۱	۹/۸۸	پیش‌زرفا ZFF

جدول (۸): احتمالات به دست آمده از مدل های بی پی تی و ویبل به ازای ضریب تغییرات ۰/۷۵ و پارامتر شکل برابر با ۱/۳۳ در ۵۰ سال آینده.

توزیع بی پی تی $\alpha = 0.75$			توزیع ویبل $\gamma = 1/33$			گسل
P(50)(%)	P-mod(50)(%)	P-trans(50)(%)	P(50)(%)	P-mod(50)(%)	P-trans(50)(%)	
۶/۸۴	۶/۹۷	۶/۷۳	۱۱/۹۵	۱۱/۹۸	۱۱/۲۹	قیر
۲/۲۷	۳/۱۶	۳/۱۱	۱۰/۶۳	۱۱/۰۸	۱۰/۴۹	کره بس
۱/۷	۱/۹	۱/۸۸	۹/۲۹	۹/۴	۸/۹۷	سبزپوشان
۲۵/۳۱	۲۵/۴۳	۲۲/۴۵	۳۱/۳۲	۳۱/۳۶	۲۶/۹۲	کازرون
۲۵/۵۷	۲۵/۵۹	۲۲/۵۸	۲۶/۶۷	۲۶/۶۷	۲۳/۴۱	پیشانی کوهستان MFF
۱۱/۷۵	۱۳/۰۴	۱۲/۲۲	۱۷/۳۶	۱۷/۷۱	۱۶/۲۳	پیش ژرفا ZFF

۴- بحث

با توجه به تغییرات تنش کولمب محاسبه شده در هر گسل:
 ۱- تنش مثبت بارگذاری شده در نیمه غربی صفحه گسل قیر، بیشتر از نیمه شرقی است. در نتیجه باعث نزدیک شدن زمان وقوع زلزله در این قسمت شده است.

۲- در صفحه گسل پیشانی کوهستان (واقع در غرب گسل میشان) مقدار تنش مثبت (اندک) بارگذاری شده باعث نزدیک شدن زمان وقوع زلزله در این گسل می شود.

۳- در قسمت هایی از گسل پیش ژرفای زاگرس (شاخه متصل به گسل رگ سفید) تنش بارگذاری شده موجب تسریع گسیختگی در گسل خواهد شد. در سایر قسمت های گسل تنش منفی ایجاد شده، موجب تأخیر در امر گسیختگی خواهد شد.

۴- بارگذاری تنش مثبت در قسمت شمالی صفحه ی گسل کره بس، موجب نزدیک شدن زمان وقوع زلزله و باربرداری تنش در قسمت های جنوبی موجب دور شدن زمان وقوع زلزله در این قسمت ها خواهد شد.

۵- در بیشتر قسمت های شمالی گسل سبزپوشان، تنش منفی بوده است و در بخش های جنوبی، تنش مثبت اندکی بارگذاری شده است که موجب نزدیک شدن زمان وقوع زمین لرزه در این قسمت از گسل می شود.

۶- همچنین به دلیل نوع جهت گیری گسل کازرون نسبت به زمین لرزه ۹ آوریل ۲۰۱۳، باعث ایجاد تنش منفی در قسمت های نزدیک به زلزله و تنش مثبت در قسمت های دور از زلزله شده است.

۵- نتیجه گیری

۱- در تمامی گسل های مورد مطالعه مدت زمان سپری شده از آخرین زلزله مشخصه (t) نسبت به متوسط دوره بازگشت کوچک تر است. مقادیر احتمالات محاسبه شده در هر دو توزیع بی پی تی و ویبل برای گسل پیش ژرفای زاگرس بیشتر از مقادیر محاسبه شده برای گسل سبزپوشان است. گویای این مطلب است که با افزایش فاصله بین زمان سپری شده از آخرین زلزله مشخصه و متوسط دوره بازگشت زلزله مقادیر احتمال اعداد کوچک تری را به خود اختصاص می دهند.

۲- احتمال وقوع زلزله مشخصه بر اساس مدل ویبل در گسل کره بس با در نظر گرفتن اثرات دائمی تغییرات تنش کولمب P(mod) با ضریب $\gamma = 1/33$ در ۵۰، ۳۰ و ۱۰ سال آینده به ترتیب برابر است با ۱۱/۰۸، ۶/۳۴ و ۱/۹۶ درصد. نتایج نشان می دهد که احتمال در ۵۰ سال حدود ۴/۷۴ درصد نسبت به ۳۰ سال افزایش داشته است. بنابراین برای میزان بار ثابت در یک پهنه گسلی، احتمال وقوع یک زلزله ی بزرگ با گذر زمان افزایش می یابد.

۳- به طور کلی با نزدیک شدن زمان سپری شده به متوسط زمان بازگشت زلزله مشخصه، هر دو مدل احتمالاتی بی پی تی و ویبل مقادیر احتمال بالایی را نشان می دهند، به طوری که مقادیر احتمال در هر دو توزیع بررسی شده به ازای سه حالت احتمال در ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سال در گسل کازرون در اکثر موارد به طور قابل توجهی بیشتر از گسل قیر است. علت این اختلاف

مراجع

1. Console, R., Falcone, G., Karakostas, V., Murru, M., Papadimitriou, E., and Rhoades, D. (2013) Renewal models and coseismic stress transfer in the Corinth Gulf, Greece, fault system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **118**(7), 3655-3673.
2. Asayesh, B.M. and Hamzehloo, H. (2015) The Coulomb Stress Changes Due to Rigan Earthquakes and their Aftershocks. *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, **2**(2), 1-10 (in Persian).
3. Nouri, B., Hashemi, S.N., Asayesh, B.M. (2017) Study of the seismicity rate and Coulomb stress changes associated with the April 9th, 2013 Kaki-Shonbe earthquake (Mw=6.3) and the spatial distribution of aftershocks. *Earth and Space Physics*, **43**(2), 339-353 (in Persian).
4. Sorkhvandi, S., Zafarani, H. and Ghalandarzadeh, A. (2016) Effect of Coulomb Stress Changes on Time Dependent Model in East of Iran. *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, **2**(4), 1-10 (in Persian).
5. King, G.C.P., Stein, R.S., and Lin, J. (1994) Static stress changes and the triggering earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**(3), 935-953.
6. Console, R., Murru, M. and Falcone, G. (2010) Perturbation of earthquake probability for interacting faults by static Coulomb stress changes. *Journal of Seismology*, **14**(1), 67-77.
7. Parsons, T. (2004) Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. *Journal of Geophysical Research*, **109**(B5), 1-21.
8. Wesnousky, S.G., Scholz, C.H., Shimazaki, K., and Matsuda, T. (1984) Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: A case study of Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **74**(2), 687-708.
9. Nishenko, S.P., and Buland, R. (1987) A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **77**(4), 1382-1399.

نزدیک بودن زمان سپری شده از آخرین زلزله به متوسط زمان بازگشت آن، در گسل کازرون نسبت به گسل قیر است. که این اختلاف زمانی در گسل قیر نسبت به گسل کازرون حدود ۲/۵ برابر می‌باشد.

۴- در مدل نرخ - حالت، نرخ لرزه‌خیزی زمینه (اولیه) ثابت فرض می‌شود. در بیشتر موارد، مقادیر احتمال به دست آمده با در نظر گرفتن اثرات دائمی تنش کولمب $P(mod)$ بزرگ‌تر از احتمالات محاسبه شده با احتساب اثرات گذرای تنش $P(trans)$ است، به طوری که مقدار احتمال وقوع زلزله‌ی مشخصه در ۵۰ سال آینده، در گسل پیشانی کوهستان (MFF) واقع در غرب گسل میشان بر اساس مدل ویبل با ضریب ۱/۳۳، با احتساب اثرات دائمی تنش کولمب ۳/۲۶ درصد نسبت به احتمال محاسبه شده بر اساس مجموع اثرات گذرا و دائمی تنش کولمب افزایش داشته است.

در این مطالعه احتمال وقوع زلزله‌های مشخصه‌ی $M_w \geq 5.8$ بر روی چشمه‌های گسلی مجزا با در نظر گرفتن هر دو اثر دائمی (تغییر زمان) و اثر گذرا (نرخ - حالت) تنش کولمب برای دوره‌ی ۱۰، ۳۰ و ۵۰ ساله با استفاده از دو توزیع بی‌بی‌تی و ویبل محاسبه شد. در نظر گرفتن اثرات تنش ناشی از برهم کنش زلزله‌ها موجب تغییر در نتایج احتمال شد. بیشترین احتمال به دست آمده مربوط به گسل‌های کازرون است که این مطلب مؤید این یافته است که این زون گسلی از فعالیت لرزه‌ای بالایی برخوردار است. کیفیت داده‌های ورودی برای تخمین خطر زلزله بسیار حائز اهمیت است، به طوری که میانگین دوره بازگشت، ضریب تغییرات و ضریب شکل فاکتورهای مهم برای اطمینان از چنین نتایجی است. از آنجایی که در این پژوهش با عدم قطعیت‌های^۷ مختلفی نظیر پارامترهای مکانیسم کانونی زلزله‌ها، متوسط دوره بازگشت، مختصات رومرکز، بزرگای زلزله و ضریب تغییرات روبرو هستیم، در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در مدل‌های آماری با روش‌هایی نظیر مونت کارلو^۸ موجب دستیابی به نتایج دقیق‌تر خواهد شد.

- Geophysical Research*, **103**(B10), 24543-24565.
21. Stein, R., Barka, A., and Dieterich, J. (1997) Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, **128**(3), 594-604.
 22. Akinci, A., Murru, M., Consol, R., Falcone, G. and Pussi, S. (2014) Implications of earthquake recurrence models to the seismic hazard estimates in the marmara region, turkey. *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Aug 25-29.
 23. Berberian, M., Petrie, C.A., Potts, D.T., Asghari Chaverdi, A., Disting, A., Sardari Zarchi, A., Weeks, L., Ghassemi, P., and Noruzi, R. (2014) Archaeoseismicity of the mounds and monuments along the kazerun fault (western Zagros, sw Iranian plateau) since the chalcolithic period. *Iranica Antiqua*, XLIX, doi: 10.2143/IA.49.0.3009238.
 24. Baker, C., Jackson, J. and Priestley, K. (1993) Earthquakes on the Kazerun Line in the Zagros Mountains of Iran: strike-slip faulting within a fold and thrust belt. *Geophysical Journal International*, **115**(1), 41-61.
 25. Centroid Moment Tensor catalogue. Available online: www.globalcmt.org/CMTsearch.html [2016, March 3].
 26. Elliott, J.R., Bergman, E.A., Copley, A.C., Ghods, A.R., Nissen, E.K., Oveisi, B., Tatar, M., Walters, R.J. and Yamini-Fard, F. (2015) The 2013 Mw 6.2 Khaki-Shonbe (Iran) Earthquake: insights 1 into seismic and aseismic shortening of the Zagros 2 sedimentary cover. *Earth and space science*, **2**, 435-471, doi:10.1002/2015EA000098.
 27. Talebian, M. and Jackson, J. (2004) A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysical Journal International*, **156**(3), 506-526.
 28. Maggi, A., Jackson, J.A., Priestley, K. and Baker, C. (2000a) A re-assessment of focal depth distributions in southern Iran, the Tien Shan and northern India: do earthquakes really occur in the continental mantle? *Geophysical Journal International*, **143**(3), 629-661.
 10. Papazachos, B.C. (1992) A time and magnitude predictable model for generation of shallow earthquakes in the Aegean area. *Pure and Applied Geophysics*, **138**(2), 287-308.
 11. Boschi, E., Gasperini, P., and Mulargia, F. (1995) Forecasting where larger crustal earthquakes are likely to occur in Italy in the near future. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **85**, 1475-1482.
 12. Zafarani, H., and Ghafoori, S.M.M. (2013) Probabilistic Assessment of Strong Earthquake Recurrence in the Iranian Plateau. *Journal of Earthquake Engineering*, **17**(3), 449-467.
 13. Weibull, W. (1951) A statistical distribution function of wide application. *Journal of Applied Mechanics*, **18**(3), 293-297.
 14. Meeker, W.Q. and Escobar, L.A. (1991) *Statistical Methods for Reliability Data Using SAS Software*. John Wiley and Sons, New York.
 15. Rikitake, T. (1982) *Earthquake Forecasting and Warning*. D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
 16. Yakovlev, G., Turcotte, D.L., Rundle, J.B., and Rundle, P.B. (2006) Simulation-based earthquake recurrence times on the San Andreas fault system. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**(6), 1995-2007.
 17. Matthews, M.V., Ellsworth, W.L. and Reasenber, P.A. (2002) A Brownian model for recurrent earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(6), 2233-2250.
 18. Kagan, Y.Y. and Knopoff, L. (1987) Random stress and earthquake statistics: time dependence. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **88**(3), 723-731.
 19. Console, R., Murru, M., Falcone, G. and Catalli, F. (2008) Stress interaction effect on the occurrence probability of characteristic earthquakes in Central Apennines. *Journal of Geophysical Research*, **113**(B08313).
 20. Toda, S. (1998) Stress transferred by the 1995 Mw=6.9 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities. *Journal of*

29. Ni, J. and Barazangi, M. (1986) Seismotectonics of the Zagros continental collision zone and a comparison with the Himalayas. *Journal of Geophysical Research*, **91**(B8), 8205-8218.
30. Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**(28), 974-1002.
31. Khodaverdian, A., Zafarani, H. and Rahimian, M. (2015a) Long term Fault slip rates, distributed deformation rates and forecast of seismicity in the Iranian Plateau. *Tectonics*, **34**(10), 2190-2220.
32. Gardner, J.K., and Knopoff, L. (1974) Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, **64**(5), 1363-1367.
33. Field, E.H., Johnson, D.D. and Dolan, J.F. (1999) A mutually consistent seismic-hazard source model for Southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **89**(3), 559-578.

واژه‌نامه

Interaction	۱- برهم کنش
Seismogenetic Source	۲- چشمه لرزه‌زا
Brownian-Passage-Time (BPT)	۳- بی‌پی‌تی
Weibull	۴- ویبل
Characteristic Earthquake	۵- زلزله مشخصه
Individual Fault	۶- گسل منفرد
Uncertainty	۷- عدم قطعیت
Monte Carlo	۸- مونت کارلو

Coulomb Stress Effect on the Time-Dependent Models of Earthquake Occurrence Probability in Zagros

Samaneh Kazemi¹ and Hamid Zafarani^{2*}

1. M.Sc. Graduate, AleTaha Institute of Higher Education, Tehran, Iran

2. Associate Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran,
Corresponding Author, email: h.zafarani@iiees.ac.ir

This work aims at the assessment of the occurrence probability of future earthquakes, taking into account Coulomb stress changing based on the time-dependent models. The influence of Coulomb stress changing on the occurrence probability of characteristic earthquakes is computed, taking into account both permanent (clock advance) and transient (rate-and-state) Coulomb perturbations. Calculations are based to the time elapsed since the last characteristic earthquake on a fault and to the history of the following events. For this purpose, earthquakes with magnitude $M_n \geq 5.8$ are applied. Then, by using the BPT and the Weibull models, the occurrence probability of characteristic earthquakes for the 10, 30 and 50 year periods are estimated. The Zagros region included in the rectangle of coordinates 27-31.2 N° and 49.6-53.4 E° and faults such as Kazerun, Borazjan, Sabzpushan, Qir, Karebas and parts of MFF and ZFF were selected. For calculating coulomb stress, Coulomb 3.3 software was used.

Time-dependent models called renewal models, have been applied to investigate shocks on single faults [1-2] or in seismic sources that include, in addition to the main fault where the characteristic earthquake is generated [3-4]. In the renewal processes, the conditional probability of the next large earthquake, given that it has not happened yet, varies with time and is small shortly after the last one and then increases with time. In recent years, many models for earthquake occurrence probability were proposed. This study used BPT and Weibull models. Weibull distribution is one of the most widely used lifetime distributions in a wide range of engineering applications [5-6]. The Weibull distribution has also been widely used for specifying the distribution of earthquake recurrence times [7] and follows from both damage mechanics and statistical physics. For computing probabilities with Weibull distribution, γ parameter is needed that is the shape parameter of the distribution, defined as the inverse of the coefficient of variation [8].

Adding Brownian perturbations to steady tectonic loading produces a stochastic load-state process. Rupture is assumed to occur when this process reaches a critical-failure threshold. More recently, the Brownian Passage Time (BPT) model, assumed to adequately represent the earthquake recurrence time distribution, has been proposed to describe the probability distribution of inter-event times [9]. One of the important properties of this model is that with increasing time since the last event, the BPT hazard rate decreases toward a non-zero constant asymptote [9]. The expected recurrence time T_r is the necessary piece of information. Besides, a parameter as the coefficient of variation (also known as aperiodicity) α , defined as the ratio between the standard deviation and the average of the recurrence times, is required. In this study, C_v values 0.5 and 0.75 were used for individual faults as Yakovlev et al. [10].

As we are dealing mainly with events, for which details as fault shape and slip heterogeneity are not known, rectangular faults with uniform stress shop distribution are assumed [11]. For modeling faults and calculating stress changes due to earthquakes, fault parameters like strike, dip, rake, rupture dimensions and receiver fault mechanism are necessary for all the triggering sources. Moreover, the rupture length and rupture width are required. In most cases in this study, these two parameters are indistinctive, so Wells and Coppersmith [12] empirically relations were used for computing rupture length and width.

Characteristic earthquake yearly rate was computed by using the relation given by Field et al. [13]. Then by inverting obtained amounts, the mean recurrence time of earthquakes could be computed. The effect of Coulomb stress change on the probability for the future characteristic event can be considered from two viewpoints [14]. The first idea is that the stress change can be equivalent to a modification of the expected mean recurrence time, T_r to the T'_r , the second view point works on the idea that the time elapsed since the previous earthquake is modified to the t'_r by a shift proportional to ΔCFF . According to Stein et al. [14], both methods yield similar results nearly. In this study, the alternative between the first and the second view has been decided in favor of the second one. By substitution of t' into the hazard function, the probability modified by the permanent effect (P-mod) of the subsequent earthquakes were calculated.

Khodaverdian et al. [15] calculated shear strain rate for the most of the faults in the Iranian Plateau. These values have been used for the calculation of tectonic stressing rate $\dot{\tau}$. For computing the probability obtained from the sum of the permanent and the transient effect (P-trans), we would have aftershock duration (t_a) and $A\sigma$ parameters. The obtained amount of aftershock duration by using window algorithm for aftershocks according to Gardner and Knopoff method is 1.4 year. Accordingly, by using t_a and tectonic stressing rate, $A\sigma$ parameter was obtained for each fault.

Taking into account the effects of earthquakes stress change, caused changing the results of conditional probabilities that obtained from both models, so that in some of the seismogenic sources increased probability result and in others decreased. The result shows that the probabilities obtained from the sum of the permanent and transient effect are generally smaller than the conditional probabilities obtained from the permanent effect only. This is due to the assumption of constant background rate made for the application of the rate-and-state model. The maximum obtained probability is related to the Kazerun fault that shows the high seismic activity of Kazerun fault. The uncertainties are treated in the parameters of each examined fault source, such as focal mechanism, mean recurrence time, magnitudes of earthquakes, epicenter coordinates and coefficient of variation in the statistical model. Taking into account these uncertainties by Monte Carlo technique will lead to more accurate results.

Keywords: Probability, Coulomb Stress, Time-Dependent Model, Weibull, BPT.