

## بررسی اثرات حوزه نزدیک و جهت‌پذیری در مطالعات تحلیل خطر زلزله - مطالعه موردی گسل دورود

بهزاد ملکی<sup>۱</sup>، حبیب رحیمی<sup>۲\*</sup> و محمدرضا حسینی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۹۹/۵/۱۳، پذیرش نهایی: ۹۹/۱/۱۵)

### چکیده

در این مطالعه، با توجه به واقع شدن شهر دورود در حوزه نزدیک گسل دورود، اثرات حوزه نزدیک و جهت‌پذیری ناشی از آن بررسی شده است. اثرات حوزه نزدیک و جهت‌پذیری، می‌تواند منجر به ایجاد پالس‌های پیروبلندی در جنبش زمین شده و برای ساختارهایی با پیروبلند از قبیل پل‌ها که در نزدیکی گسل‌هایی با نرخ فعالیت بالا هستند، گنجاندن اثرات جهت‌پذیری در روابط کاهندگی می‌تواند تأثیر زیادی در نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای واقع‌گرایانه داشته باشد. گسل دورود در هنگام رخداد زمین‌لرزه برای پیرودهای بلند در محدوده شهر دورود، می‌تواند موجب تشدید پارامترهای جنبش زمین شده و باعث خسارات جدی در این محدوده شود. در این مطالعه، پارامترهای جنبش نیرومند زمین در تحلیل خطر احتمالاتی زمین‌لرزه با اعمال جهت‌پذیری برای محدوده گسل دورود برآورد شده است. همچنین با بررسی واهمافزایی خطر زمین‌لرزه، تأثیر جهت‌پذیری برای میزان مشارکت فاصله و بزرگا در برآورد پارامتر شتاب جنبش زمین ارزیابی شده است. در دوره بازگشت‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت، تأثیر جهت‌پذیری برای پیرودهای مختلف برای پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین با روش سامرویل و آبراهامسون برآورد و مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقدار شتاب برآوردشده برای سه دوره بازگشت، ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال و در پیرودهای ۰/۷۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه و ارزیابی شده است. مقدار پارامتر شتاب جنبش زمین با افزایش دوره بازگشت و پیرودها رابطه مستقیم داشته به طوری که بیشترین مقدار افزایش شتاب با تأثیر جهت‌پذیری، در دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال و در پیرودها ۴ ثانیه، ۱۷/۱۶ درصد محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: برآورد خطر زمین‌لرزه، اثرات حوزه نزدیک گسل، جهت‌پذیری گسیختگی، چشمه بالقوه زمین‌لرزه، گسل دورود.

### ۱. مقدمه

و ایران مرکزی بوده (میرزایی و همکاران، ۱۹۹۸) و از جمله گسل‌های فعال و لرزه‌خیز است. مهم‌ترین زمین‌لرزه مشاهده‌شده بروی این گسل، در اوایل دوران دستگامی، زمین‌لرزه ۲۳ ژانویه سال ۱۹۰۹ سیلاخور با بزرگی ۷/۴ (چالنگو و برود، ۱۹۷۴؛ چالنگو و همکاران، ۱۹۷۴) می‌باشد. با توجه به سازوکار گسلش امتداد لغز در این سامانه گسلی، در این تحقیق سعی در برآورد تحلیل خطر زمین‌لرزه با اعمال اثر جهت‌پذیری به روش سامرویل (۱۹۹۷) و آبراهامسون (۲۰۰۰)، شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده در دنیا (ویدر و دنیل، ۲۰۰۷؛ شریستا و تولدهار، ۲۰۱۲؛ ادانور و همکاران، ۲۰۱۲)، اثرات جهت‌پذیری و حوزه نزدیک گسل، برای ساختارهایی با

گسل دورود در مجاورت شهرهای دورود و بروجرد، در محدوده غرب کشور ایران قرار دارد. دورود و بروجرد از جمله شهرهای مهم کشور ایران در صنعت کشاورزی بوده و نیز به دلیل وجود طبیعت بکر در این مناطق همواره مورد توجه گردشگران بوده است. خرد زمین‌لرزه‌های ثبت‌شده در این ناحیه حاکی از فعالیت سامانه گسلی دورود است. به منظور جلوگیری از خسارات ناشی زمین‌لرزه محتمل در این منطقه، مطالعات لرزه‌خیزی می‌تواند به بررسی شتاب سطح زمین با لحاظ کردن اثرات ساختگاه به منظور مقاوم‌سازی برای احداث سازه‌های عمرانی مفید باشد.

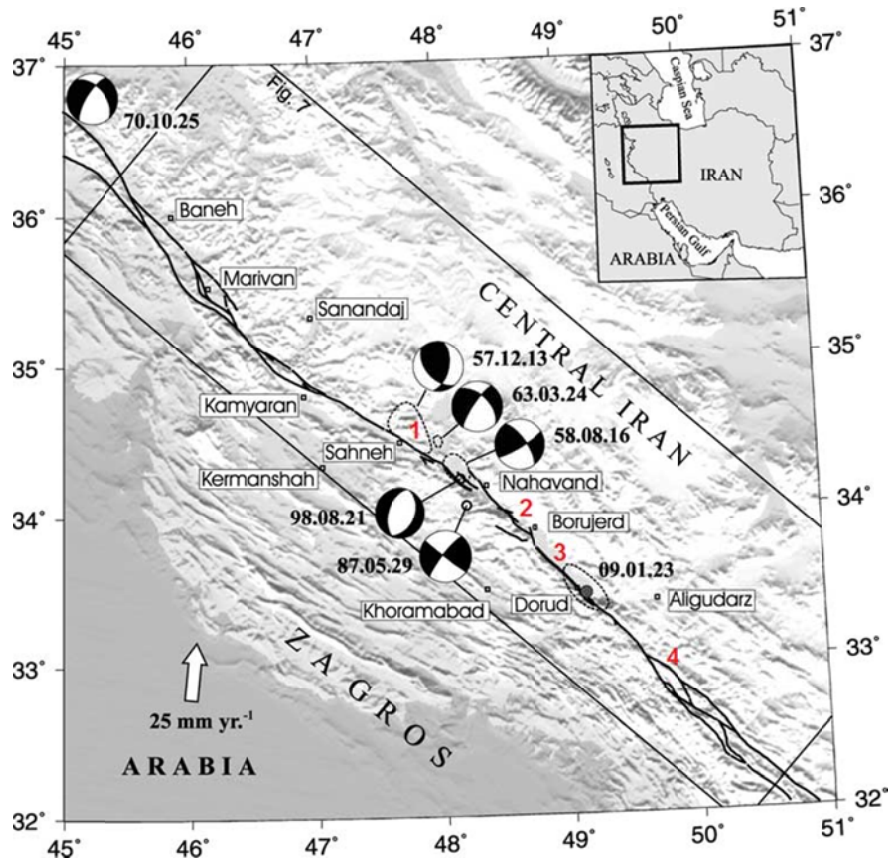
گسل دورود واقع در مرز ایالات لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس

بررسی، مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲. لرزه زمین ساخت گستره مورد مطالعه

تا میوسن میانی، صفحه تکتونیکی عربستان و ایران، در امتداد گسل اصلی زاگرس (MRF) برهم کنش داشته‌اند. در اواخر دوران پلیوسن به دلیل تغییر جهت صفحه عربی به سوی شمال، به طور مایل به طرف زاگرس در حال حرکت بوده است (چالنگو و برود، ۱۹۷۴؛ بربریان، ۱۹۷۶). به گفته چالنگو و برود (۱۹۷۴)، این منطقه شامل چند پاره گسل است که به صورت پلکانی (en echelon) منظم با مکانیزم ترکیبی معکوس و امتداد لغز هستند. از جمله این قطعات گسلی در راستای گسل اصلی زاگرس (MRF) در محدوده مورد مطالعه می‌توان به پاره گسل‌های صحنه، نهاوند، دورود و اردل اشاره داشت. در شکل ۱ می‌توان پاره گسل‌های گسل اصلی زاگرس و زمین لرزه‌های مهم تاریخی این بخش از گسل را مشاهده کرد (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۲). زمین لرزه‌های نشان داده شده ارتباط نزدیکی با بخش‌های اصلی گسل اصلی زاگرس دارد و به نظر می‌رسد مکانیزم گسلش امتداد لغز راست گرد را می‌توان هم‌زمان با دوره دگرشکل‌های مشاهده شده در دوره کواترنری تفسیر کرد (چالنگو و برود، ۱۹۷۴). بیشترین جابه‌جایی در طول گسل اصلی زاگرس ۱۶ کیلومتر می‌باشد که نرخ لغزش آن ۱/۶ الی ۳/۲ میلی‌متر در سال محاسبه شده است (علیپور و همکاران، ۲۰۱۲). زمین لرزه‌های مهم تاریخی در عرض جغرافیایی ۳۳ تا ۳۵ درجه شمالی محدوده گسل اصلی زاگرس، در جدول ۱ آورده شده است. در گسل اصلی زاگرس (MRF) گسل دورود از نظر سابقه لرزه‌خیزی، یکی از مهم‌ترین پاره گسل‌های آن می‌باشد.

پریود بلند، از قبیل سدها، پل‌ها و ... در نزدیکی گسل‌های امتداد لغز با فعالیت لرزه‌ای بالا، امری مهم و مؤثر بر شتاب لرزه‌ای برآورد شده می‌باشد. روش‌های مختلفی برای محاسبه و مدل‌سازی اثرات جهت‌پذیری گزارش شده است. در برخی از مطالعات این اثرات به صورت تحلیلی بررسی می‌شود به طوری که اثرات انتشار امواج، جهت انتشار گسیختگی، موقعیت ساختگاه و ... در تاریخچه زمانی شتاب زمین مورد مطالعه قرار می‌گیرد (هنتزل و هیتون، ۱۹۸۵؛ هاسکل، ۱۹۶۴؛ لای و واسل، ۱۹۹۵). از طرفی دیگر، در برخی از مطالعات به منظور بررسی اثر جهت‌پذیری، اطلاعات جمع‌آوری شده در مناطق نزدیک گسلش‌هایی که در آنها اثرات جهت‌پذیری در حوزه نزدیک مشاهده شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با بررسی اطلاعات مشاهده‌ای، روابط تجربی مربوطه برآورد و گزارش شده است. آبراهامسون (۲۰۰۰) و سامرویل و همکاران (۱۹۹۷) از جمله نخستین محققینی هستند که مطالعات بر این اساس را پایه‌ریزی کرده و روابط و روش‌های مطرح شده توسط آنها، امروزه مقبولیت بیشتری در اعمال اثر جهت‌پذیری دارد. این پژوهشگران دو پارامتر زاویه و نسبت طول گسل را عامل مستقیمی در اثر جهت‌پذیری دانسته و نتایج را برای طیف شتاب ایجاد شده بررسی کرده‌اند. اثر جهت‌پذیری می‌تواند منجر به ایجاد پالس با پریود بلند در جنبش زمین شود که برخی مدل‌های ارائه شده (به عنوان مثال سامرویل و همکاران، ۱۹۹۷)، قادر به اندازه‌گیری کمیت این اثر در برآورد تحلیل خطر زمین لرزه با رویکرد تعیینی و احتمالی می‌باشد (آبراهامسون، ۲۰۰۰). در این مطالعه خطر لرزه‌ای با لحاظ کردن اثرات ناشی از گسل دورود در پریودهای مختلف و دوره بازگشت‌های متفاوت با لحاظ کردن اثر جهت‌پذیری و همچنین بدون اعمال اثر جهت‌پذیری



شکل ۱. پاره‌گسل‌های مهم و زمین‌لرزه‌های مهم تاریخی گسل اصلی زاگرس (MRF) در محدوده مورد مطالعه. ۱- گسل صحنه ۲- گسل نهاوند ۳- گسل دورود ۴- گسل اردل (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۲).

جدول ۱. زمین‌لرزه‌های مهم محدوده گسل اصلی زاگرس (MRF)

تاریخ	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ریک	شیب	راستای گسل	بزرگا (Mw)	بزرگا (Ms)	مرجع
۱۹۰۹/۰۱/۲۳	۳۳/۴۱	۴۹/۱۳	-	-	-	-	۷/۴	امبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)
۱۹۵۷/۱۲/۱۳	۳۴/۵۸	۴۷/۸۲	۵۰	۵۰	۱۳۶	-	۶/۷	مک کنزی (۱۹۷۲)
۱۹۵۸/۸/۱۶	۳۴/۳	۴۸/۱۷	۱۷۰	۷۰	۳۲۵	-	۶/۶	شیراکووا (۱۹۶۷)
۱۹۶۳/۳/۲۴	۳۴/۵	۴۸/۰۲	-۱۶۵	۵۲	۳۱۴	-	۵/۸	جکسون و مک کنزی (۱۹۸۴)
۱۹۷۰/۱۰/۲۵	۳۶/۷۷	۴۵/۱۳	-۱۵۵	۵۰	۳۱۹	-	۴/۸	جکسون و مک کنزی (۱۹۸۴)
۱۹۸۷/۵/۲۹	۳۴/۰۵	۴۸/۲۱	۱۷۰	۸۸	۱۲۸	۴/۹	-	حل سازوکار کانونی مرکز هاروارد
۱۹۹۸/۸/۲۱	۳۴/۳۳	۴۸/۱۶	-۸۴	۳۹	۲۵	۴/۹	-	حل سازوکار کانونی مرکز هاروارد

همکاران، ۱۹۹۸) گسترده شده است. جابه‌جایی امتدادلغز راست‌گرد به طول ۱۰ الی ۶۰ کیلومتر با توجه به نشانه‌های زمین‌شناسی برای پاره‌گسل نهاوند-دورود مشاهده شده

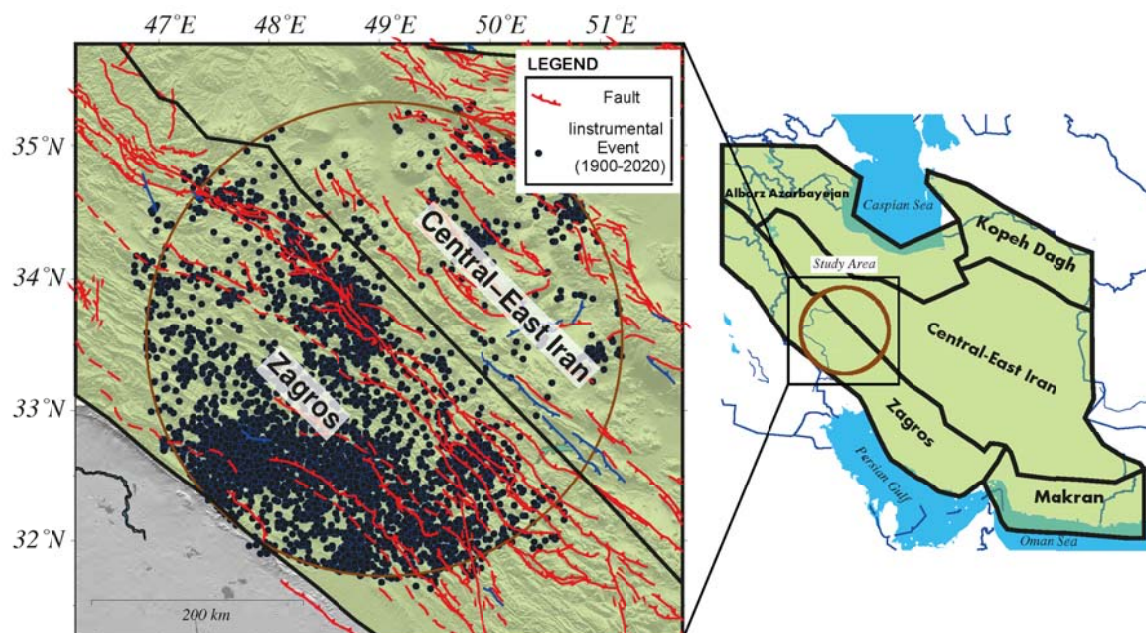
گسل دورود با راستای شمال-غربی و جنوب-شرقی (N315)، طول در حدود ۱۲۰ کیلومتر، شیب نزدیک به قائم، در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس (میرزایی و

مطالعه میرزایی و همکاران (۱۹۹۸) در دو ایالات لرزه زمین‌ساخت ایران مرکزی-شرق ایران و زاگرس قرار دارد. این دو ایالت از نظر مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی ( $b$ -value، نرخ لرزه‌خیزی، مکانیزم گسلش) متفاوت است. در شکل ۲ به وضوح تفاوت رفتار لرزه‌ای دو ایالات لرزه زمین‌ساختی قابل مشاهده است. به همین منظور متناسب با موقعیت چشمه‌های لرزه‌ای در ایالت لرزه زمین‌ساختی، پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه و اعمال شده است.

حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های ناحیه مورد مطالعه در مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌ای خطی، نقش اساسی خواهد داشت. بدین منظور در ناحیه مورد مطالعه جهت تعیین و مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌ای از گسل‌های جنب‌برگرفته از دانش‌نامه گسل‌های ایران (۱۳۹۳) و مطالعه حسامی و همکاران (۲۰۰۳) به همراه حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های با بزرگای  $M > 4$  بر اساس مطالعه مراکز مختلف تهیه کاتالوگ مانند GCMT، HRVD، ISC و ZUR-RMT استفاده شده است (شکل ۳).

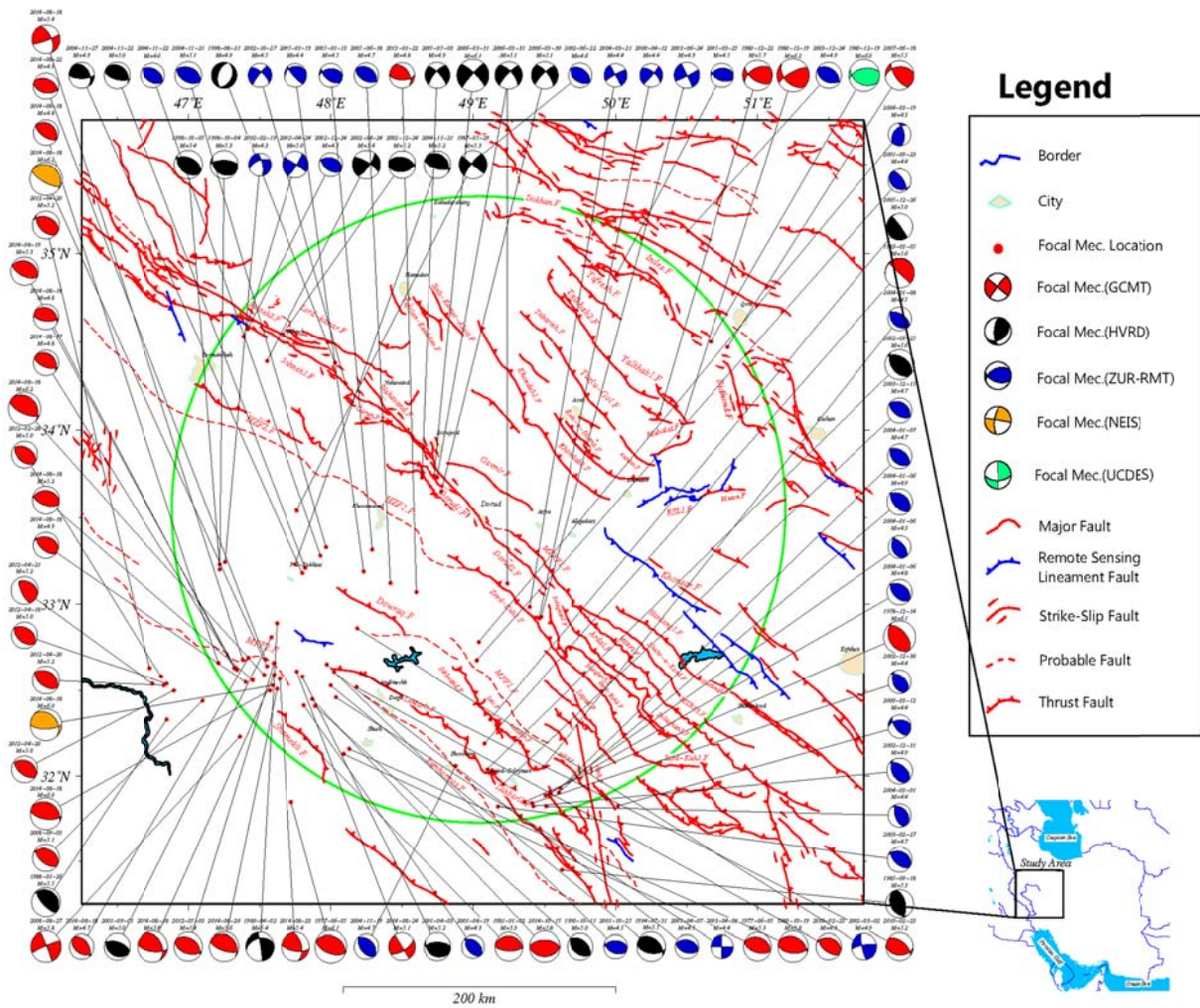
(گیدن و همکاران، ۱۹۷۴) اما با تحقیقات علیپور و همکاران (۲۰۱۲) گمان می‌رود این جابه‌جایی مستقیماً برای بخش گسل دورود نیست و جابه‌جایی این بخش کمتر از دیگر بخش‌های گسل اصلی زاگرس می‌باشد که میزان آن در کل ۶ کیلومتر است (علیپور و همکاران، ۲۰۱۲). از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های رخ داده در امتداد گسل اصلی زاگرس در پاره گسل دورود در ۲۳ ژانویه سال ۱۹۰۹ بوده ( $M_s=7.4$ ) در طی زمین‌لرزه،  $0.8-0$  متر جابه‌جایی راست‌بر و  $0.3-0.25$  متر جابه‌جایی قائم ایجاد شده است (باچمانف و همکاران، ۲۰۰۴). گفته می‌شود دریاچه گهر دورود نتیجه این زمین‌لرزه بزرگ بوده است (علیپور و همکاران، ۲۰۱۲). بنا بر مطالعه بربریان در سال ۱۹۷۶، احتمال می‌رود بخشی از گسل جوان زاگرس به واسطه این زمین‌لرزه مخرب دوباره فعال شده است.

ناحیه مورد مطالعه دایره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر به مرکز بخش میانی گسل دورود در نظر گرفته شده به طوری که پاره گسل دورود را پوشش دهد (شکل ۲). این ناحیه بنا بر



شکل ۲. لرزه‌خیزی ناحیه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی ایالات لرزه زمین‌ساختی ایران، میرزایی و همکاران (۱۹۹۸).





شکل ۳. نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه به همراه حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های  $M > 4$ ، در شعاع ۲۰۰ کیلومتری از شهرستان دورود.

### ۳. روش مطالعه

#### ۳-۱. اثر جهت‌پذیری گسیختگی در برآورد خطر

#### زمین‌لرزه به روش احتمالاتی (PSHA)

جهت‌پذیری در حوزه نزدیک گسل‌های فعال و لرزه‌خیز دارای دو اثر مهم در جنبش نیرومند زمین مشاهده شده می‌باشد. اولین اثر گزارش شده، تغییرات مشاهده شده در متوسط شدت لرزش مؤلفه‌های افقی جنبش زمین بوده و دومین اثر تفاوت سیستماتیکی شدت لرزش برای دو مؤلفه عمودی و موازی راستای گسل است. مدل سامرویل و همکاران (۱۹۹۷)، شامل دو عامل مقیاس‌گذاری که وابسته به پیروید است توسط آبراهامسون (۲۰۰۰) به روابط کاهندگی جنبش نیرومند زمین اعمال شده است. یکی از عوامل تغییر در شدت جنبش نیرومند زمین برای مؤلفه‌های

افقی بر اثر جهت‌پذیری (بیشترین جنبش زمین برای گسیختگی در جهت ساختگاه و کمترین جنبش برای گسیختگی در خلاف جهت ساختگاه) و دیگری ماهیت جهت‌پذیری شدت لرزش برای دو مؤلفه عمودی و موازی گسلش است.

در نهایت مدل اصلاح شده نهایی سامرویل و همکاران (۱۹۹۷) برای میانگین مؤلفه‌های افقی گسل‌های امتدادلغز به صورت زیر ارائه شده است (آبراهامسون، ۲۰۰۰):

$$\begin{aligned} \ln Sa_{Dir}(M, r, x, \theta, T) = \\ \ln Sa(M, r) + \gamma_{Dir}(x, \theta, T) T_d(r) T_m(m) \end{aligned} \quad (1)$$

که در رابطه بالا،  $x$ ، طول گسیختگی گسل به سمت ساختگاه،  $\theta$  زاویه مابین راستای گسل و رومرکزی زمین‌لرزه،  $T_m(m)$  تیپر (taper) بزرگ،  $T_d(r)$  تیپر

برای گستره مورد مطالعه در نظر گرفته شده و پارامترهای لرزه‌خیزی هر یک محاسبه شده است. در واقع برای گسل‌هایی که گسترش آنها واضح و اطلاعات کافی از هندسه گسلش موجود است (اطلاعات مربوط به حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها در مجاورت گسل مورد نظر)، چشمه به صورت خطی و در غیر این صورت چشمه به صورت ناحیه‌ای تعیین شده است. به گونه‌ای که تمامی ناحیه تصویر شده را روی سطح زمین پوشش دهد. گسل‌های موجود در ناحیه مورد بررسی بر حسب روند گسلش، رفتار لرزه‌ای و مکانیزم گسلش به پاره‌گسل‌ها بخش‌بندی شده و هر یک از آنها یک چشمه لرزه‌ای در نظر گرفته شده است. گسل دورود به دو چشمه لرزه‌ای زون گسل دورود ۱ و زون گسل دورود ۲ مدل شده است. شکل ۴ موقعیت چشمه‌های لرزه‌ای تعیین شده را نمایش می‌دهد به گونه‌ای که چشمه‌های خطی با رنگ زردهای لایت شده و چشمه‌های ناحیه‌ای با چندضلعی قرمز رنگ مشخص شده است.

کاتالوگ زمین‌لرزه‌های تاریخی و نیز دستگاهی مورد استفاده برای بازه زمانی قبل از سال ۱۹۰۰ و نیز ۱۹۰۰ الی ۲۰۱۲ از فهرست نامه (کاتالوگ) بازسازی شده زمین‌لرزه‌های ایران، از مطالعه موسوی بفرئی و همکاران (۲۰۱۴) و برای سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ از کاتالوگ مرکز لرزه‌نگاری کشوری دانشگاه تهران مورد استفاده قرار گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است، به منظور ایجاد شرایط پواسنی وقوع زمین لرزه‌ها، پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها با روش‌های گرونتال (۱۹۹۸)، اورهمر (۱۹۹۶)، گاردنر نوپوف (۱۹۷۴) برآورد و مقایسه شد که در نهایت به منظور حفظ داده‌ها در ناحیه مورد مطالعه، روش گرونتال (۱۹۹۸)، به دلیل حذف کمتر زمین‌لرزه‌ها برای بزرگی‌های  $M_w > 4$ ، انتخاب شد (شکل ۵). در این روش، ۷۴۱ دسته زمین‌لرزه وابسته تعیین شده و در نهایت ۱۲۰۹ زمین‌لرزه مستقل باقی مانده است.

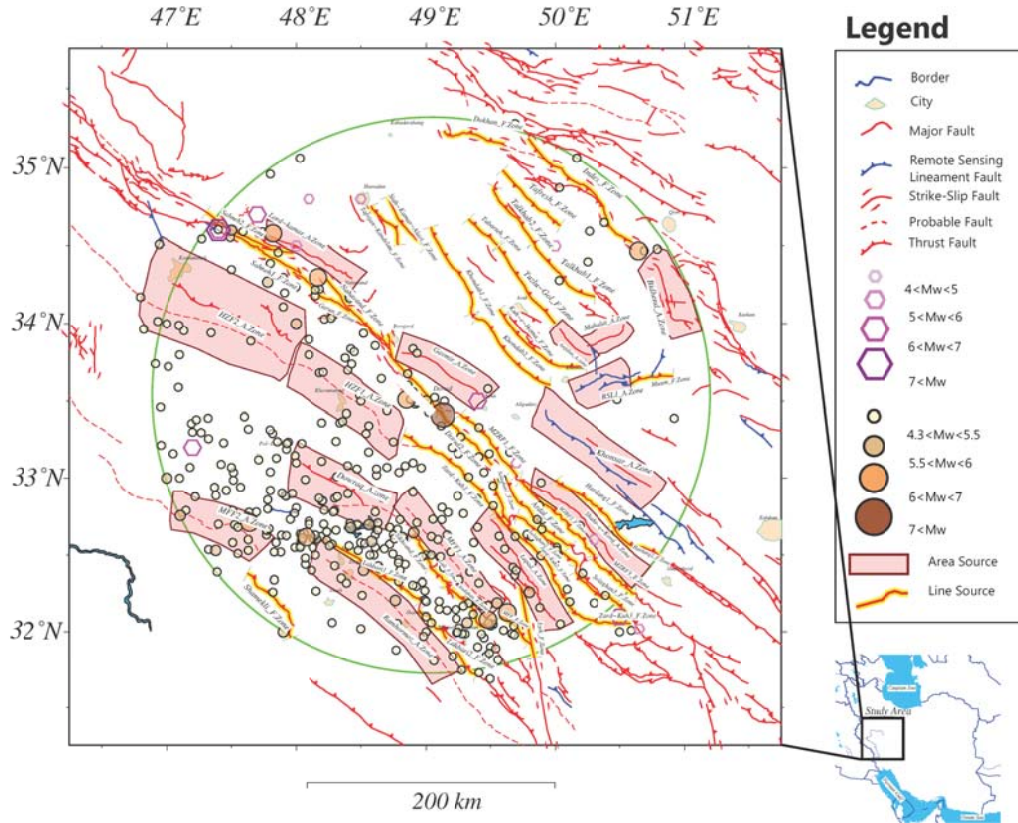
فاصله،  $Sa(M, r)$ ، رابطه تجربی کاهندگی بدون اعمال جهت‌پذیری و  $y_{Dir}(x, \theta, T)$ ، رابطه جهت‌پذیری اصلاح شده توسط آبراهامسون (۲۰۰۰) است.

در برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی، اصلی‌ترین تغییر به منظور لحاظ کردن اثرات جهت‌پذیری، اعمال توزیع مکانی کانون عمقی ناحیه گسیختگی به عنوان یک چشمه تغییرپذیر و تصادفی است. اثر جهت‌پذیری برای برآورد خطر گسل‌های امتدادلغز توسط آبراهامسون (۲۰۰۰) به صورت زیر بیان شده است:

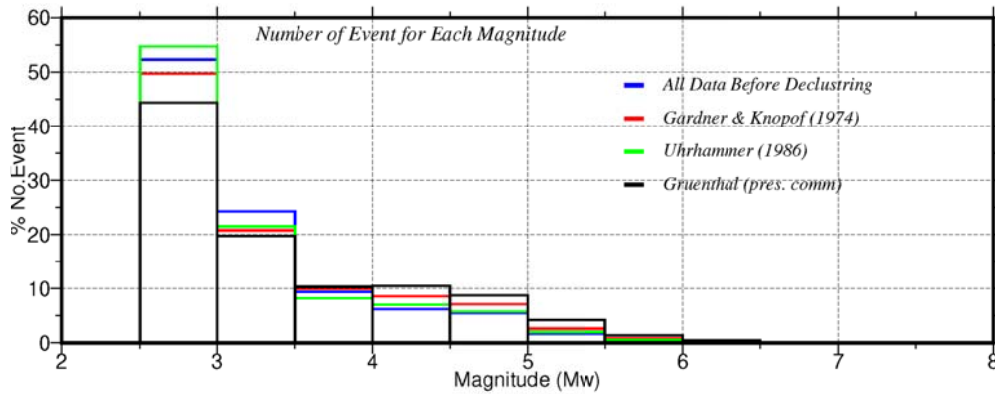
$$V_i(A > z) = N_i(M_{\min}) \int_{w=0}^{\infty} \int_{RA=0}^{\infty} \int_{Ex=0}^1 \int_{Ey=0}^1 \int_{hx=0}^1 \int_{m=M_{\min}}^{M_{\max}} f_{m_i}(m) f_{W_i}(m, W) f_{RA_i}(m, RA) f_{Ex_i}(x) f_{Ey_i}(m, x) f_{hx}(h_x) P(A > z | m, r, X, \theta) dw dRA dx dy dh_x dm \quad (2)$$

در رابطه بالا  $N_i(M_{\min})$  فراوانی زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیشتر از  $M_{\min}$  برای آمین چشمه،  $M$  بزرگی،  $M_{\max}$  بزرگای بیشینه برای آمین چشمه و  $f_m(m)$ ،  $f_{W_i}(m, W)$ ،  $f_{RA_i}(m, RA)$ ،  $f_{EX}$ ،  $f_{EY}$  و  $f_{hx}(h_x)$  به ترتیب تابع چگالی احتمال برای بزرگای زمین‌لرزه، عرض گسیختگی، مکان گسیختگی در راستای گسل و عرض گسلش و در نهایت تابع چگالی احتمال کانون عمقی گسلش می‌باشد. همچنین مقدار  $P(A > z | m, r, X, \theta)$  احتمال فزونی جنبش زمین نسبت به پارامتر  $Z$  است که برای پارامترهای بزرگی ( $m$ )، فاصله ( $r$ )، مکان گسیختگی ( $\theta, X$ ) محاسبه می‌شود.

۲-۳. برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه در این مطالعه تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی که توسط کرنل در سال ۱۹۶۸ ارائه شده، استفاده شده است. در این روش ۵۴ چشمه لرزه‌ای خطی و ناحیه‌ای



شکل ۴. نقشه لرزه‌زمین‌ساخت به‌همراه چشمه‌های پهنه‌ای و خطی تعیین‌شده در شعاع ۲۰۰ کیلومتری از شهر دورود. چشمه‌های خطی با نوار زردرنگ و چشمه‌های ناحیه‌ای با چندضلعی‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند.



شکل ۵. فراوانی زمین‌لرزه‌های حذف‌شده از کاتالوگ مورداستفاده برای روش‌های مختلف (گرونتال، ۱۹۹۸؛ اورهمر، ۱۹۹۶)، گاردنر نوپوف (۱۹۷۴).

پارامتر برای کاتالوگ موردنظر در این مطالعه با روش گوتنبرگ و ریشتر (۱۹۵۶) مقدار ۴/۳ محاسبه شده است. همان‌طور که گفته شد، با توجه به اینکه ناحیه مورد مطالعه از دو ایالات لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی و زاگرس تشکیل شده و لرزه‌خیزی این دو ایالت تفاوت چشم‌گیری دارند (شکل ۲). پارامترهای لرزه‌خیزی برای هر ایالت در گستره ۲۰۰ کیلومتری بر اساس

بیشینه بزرگای برای هر چشمه با توجه به بزرگای مشاهده‌ای و روابط تجربی بین بزرگای و طول گسل محاسبه شده است (نوروزی، ۱۹۸۵؛ ولز و کوپرسمیت، ۱۹۸۴؛ آمبرسیز و جکسون، ۱۹۹۸). همچنین پارامترهای گسیختگی برای چشمه‌های تعیین‌شده از مطالعه ولز و کوپرسمیت (۱۹۹۴) استفاده شده است. لازم به‌ذکر است در برآورد بزرگای ناکاملی کاتالوگ مورداستفاده، این

توسط ملکی و همکاران (۲۰۱۹) با داده‌های شتاب‌نگاشتی زمین‌لرزه‌های ۵/۵ الی ۶/۵ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران تطبیق داده شده است. لذا از روابط مذکور که برای گستره ایران مناسب می‌باشد استفاده شده است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

##### ۴-۱. تأثیر جهت‌پذیری در برآورد منحنی خطر

##### لرزه‌ای برای گسل دورود

در تحلیل خطر زمین‌لرزه احتمال وقوع رخداد برای هر چشمه با منحنی خطر لرزه‌ای سنجیده می‌شود. به‌منظور برآورد خطر در محدوده گسل دورود، یک نقطه به طول ۴۸/۷۸۱ و عرض ۳۳/۷۲۵ درجه در مجاورت چشمه گسل دورود ۱، که بیشترین تأثیر در پارامتر جنبش زمین ایجاد شده برای این سامانه گسلی را دارد، انتخاب و خطر آن با تأثیر جهت‌پذیری به‌روش آبراهامسون (۲۰۰۰) محاسبه شده است. در شکل ۶ میزان خطر لرزه‌ای برای روش اصلاح‌شده تحلیل احتمالاتی خطر زمین‌لرزه با تأثیر جهت‌پذیری (آبراهامسون ۲۰۰۰) و بدون اثر جهت‌پذیری برای پروده‌های ۱ و ۲ ثانیه نمایش و مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل مذکور پیدا است با افزایش دوره بازگشت زمین‌لرزه مقدار خطر محاسبه‌شده برای روش اصلاح‌شده تحلیل خطر بیشتر است. همچنین این نتیجه را می‌توان از شکل ۷ که برای پروده‌های ۳ و ۴ ثانیه است دریافت کرد. از مقایسه منحنی خطر زمین‌لرزه برای پروده‌های ۱ الی ۴ ثانیه نمایش داده‌شده در شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان دریافت که با افزایش پروده، میزان تأثیر جهت‌پذیری نیز بیشتر می‌شود. لذا مقادیر دوره بازگشت و پروده نقش مهمی در میزان خطر زمین‌لرزه برای اعمال جهت‌پذیری را دارد.

روش ارائه‌شده توسط کیکو (۲۰۰۴)، جداگانه محاسبه شده است. به‌دلیل کافی نبودن زلزله‌های با بزرگای بیشتر از ۴/۳ (بزرگای ناکاملی) در کاتالوگ، آهنگ رویداد سالیانه  $\lambda$  محاسبه‌شده برای هر ایالت بر حسب طول بین چشمه‌های آنها تقسیم شده است و به‌دلیل عدم وجود داده‌های کافی برای محاسبه  $\beta$ ، این مقدار برای هر ایالت لرزه زمین‌ساختی محاسبه‌شده برای چشمه‌های آن ثابت فرض شده است:

$$M_{max}=7.65, \beta=2.52, \lambda=10.360$$

(for  $M_{min}=4.3$  Mw) Zagros

$$M_{max}=5.85, \beta=2.39, \lambda=1.615$$

(for  $M_{min}=4.3$  Mw) Central-East Iran

(۳)

همچنین در این مطالعه لرزه‌خیزی زمینه (Background Seismicity) با دایره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر از مرکز شهر دورود در نظر گرفته شده است. پارامترهای چشمه زمینه نیز بر اساس زمین‌لرزه‌هایی که در خارج از چشمه‌های دیگر قرار دارد، محاسبه شده است. جدول ۲ مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه‌شده را برای ناحیه مورد مطالعه نمایش می‌دهد. نقشه چشمه‌های خطی و ناحیه‌ای تعیین‌شده به‌همراه توزیع زمین‌لرزه‌های دستگاهی و تاریخی در محدوده مورد مطالعه در شعاع ۲۰۰ کیلومتری شهرستان دورود در شکل ۴ نمایش داده شده است.

##### ۳-۳. روابط کاهندگی مورد استفاده در این مطالعه

انتخاب روابط کاهندگی یکی از مهم‌ترین مراحل تحلیل احتمالاتی خطر زمین‌لرزه است. روابط کاهندگی کمپل و بزرگنیا ۲۰۱۴، آبراهامسون و همکاران (۲۰۱۴)، ادریس در پروژه NGA (۲۰۱۴)، چیو و یانگ در پروژه NGA (۲۰۱۴) و بور و همکاران در پروژه NGA (۲۰۱۴)

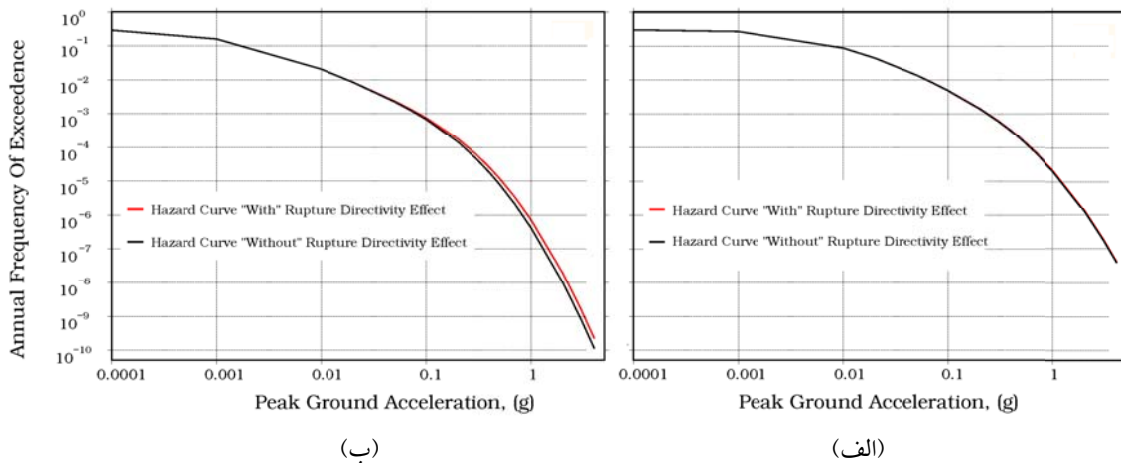


جدول ۲. پارامترهای لرزه‌خیزی استفاده‌شده برای چشمه‌های خطی و پهنه‌ای در محدوده مورد مطالعه.

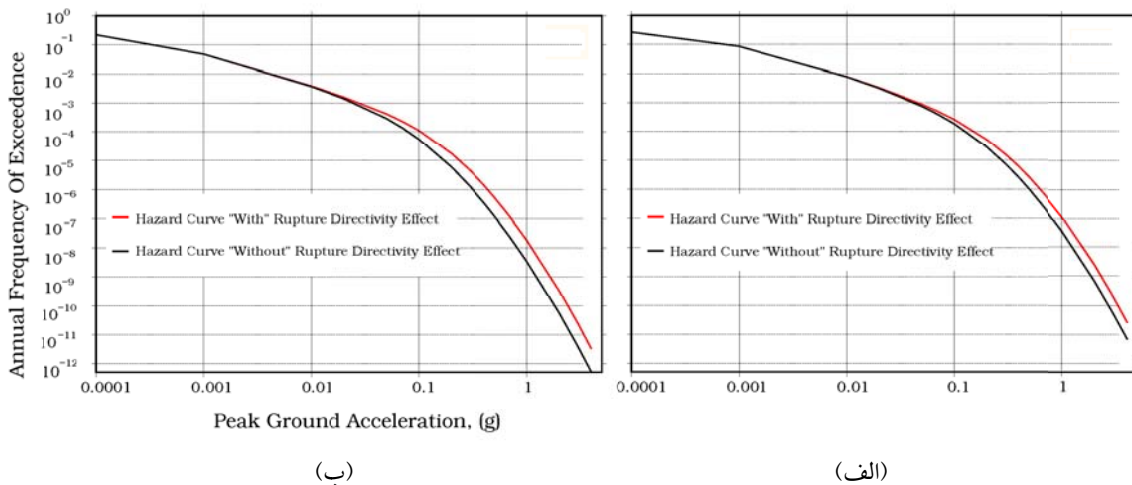
شماره	چشمه های لرزه ای	ایالات لرزه زمینساختی	طول چشمه (کیلومتر)	آهنگ رویداد سالیانه	بنا	کمینه بزرگا	شیب	عمق لرزهای (کیلومتر)	بیشینه بزرگا
۱	زون اندکان	زاگرس	۵۵/۷	۰/۲۱۲	۲/۵۳	۴/۳	۵	۵الی ۲۰	۶/۸
۲	زون اردل	زاگرس	۷۲/۱	۰/۲۷۴	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۹
۳	زون دوخان	ایران مرکزی	۴۶/۶	۰/۱۷۷	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۷
۴	زون گسل دورود ۱	زاگرس	۷۱/۹	۰/۲۷۳	۲/۵۳	۴/۳	۷۰	۵الی ۲۰	۶/۹
۵	زون گسل دورود ۲	زاگرس	۵۷/۳	۰/۳۱۸	۲/۵۳	۴/۳	۷۰	۵الی ۲۰	۷/۴
۶	زون گارون	زاگرس	۵۰/۸	۰/۱۹۳	۲/۵۳	۴/۳	۹۰	۵الی ۲۰	۶/۷
۷	زون هردنگ ۱	زاگرس	۵۴/۲	۰/۲۰۶	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۸
۸	زون هردنگ ۲	ایران مرکزی	۴۲/۱	۰/۱۶۴	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۷
۹	زون ایندس	ایران مرکزی	۱۰۹	۰/۴۱۲	۲/۳۹	۴/۳	۵۳	۵الی ۲۰	۷/۱
۱۰	زون ایزه	زاگرس	۵۲/۴	۰/۲۰۳	۲/۵۳	۴/۳	۶۱	۵الی ۲۰	۶/۸
۱۱	زون خونداب ۱	ایران مرکزی	۷۰/۶	۰/۲۶۸	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۹
۱۲	زون خونداب ۲	زاگرس	۷۴/۹	۰/۲۸۵	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۹
۱۳	زون کوه هما	ایران مرکزی	۷۹/۷	۰/۲۰۳	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۹
۱۴	زون لهبری ۱	زاگرس	۱۰۷	۰/۴۰۸	۲/۵۳	۴/۳	۳۰-۶۰	۵الی ۲۰	۷/۱
۱۵	زون لهبری ۲	زاگرس	۴/۶۶	۰/۲۵۲	۲/۵۳	۴/۳	۳۰-۶۰	۵الی ۲۰	۶/۹
۱۶	زون لالی	زاگرس	۲۲/۲	۰/۰۸۵	۲/۵۳	۴/۳	۵	۵الی ۲۰	۶/۳
۱۷	زون گسل پیشانی کوهستان	زاگرس	۳۰	۰/۱۱۴	۲/۵۳	۴/۳	۴۰	۵الی ۲۰	۶/۵
۱۸	زون موتن	ایران مرکزی	۳۱/۸	۰/۰۷۹	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۵
۱۹	زون گسل اصلی زاگرس ۱	زاگرس	۶۱/۴	۰/۲۳۴	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۸
۲۰	زون گسل اصلی زاگرس ۲	زاگرس	۸۴/۱	۰/۳۲۰	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۷/۰
۲۱	زون گسل اصلی زاگرس ۳	زاگرس	۴۲/۱	۰/۱۶۴	۲/۵۳	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۷
۲۲	زون نهاوند	زاگرس	۶۵/۹	۰/۲۵۱	۲/۵۳	۴/۳	۹۰	۵الی ۲۰	۶/۹
۲۳	زون صحنه ۱	زاگرس	۵۹/۶	۰/۲۲۷	۲/۵۳	۴/۳	۹۰	۵الی ۲۰	۶/۸
۲۴	زون صحنه ۲	زاگرس	۶۹/۱	۰/۲۶۳	۲/۵۳	۴/۳	۹۰	۵الی ۲۰	۶/۹
۲۵	زون شامکلی	زاگرس	۶۱/۸	۰/۲۲۵	۲/۵۳	۴/۳	۳۰-۶۰	۵الی ۲۰	۶/۸
۲۶	زون سیاه کمر- علوی	ایران مرکزی	۴۵/۷	۰/۱۱۳	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۷
۲۷	زون سیخوند	زاگرس	۲۴/۸	۰/۰۹۵	۲/۵۳	۴/۳	۵	۵الی ۲۰	۶/۴
۲۸	زون سولقان ۱	زاگرس	۳۲/۷	۰/۱۲۸	۲/۵۳	۴/۳	۴۱	۵الی ۲۰	۶/۵
۲۹	زون سولقان ۲	زاگرس	۵۸/۶	۰/۲۲۳	۲/۵۳	۴/۳	۴۱	۵الی ۲۰	۶/۸
۳۰	زون سولقان ۳	زاگرس	۵۰/۴	۰/۱۹۲	۲/۵۳	۴/۳	۴۱	۵الی ۲۰	۶/۷
۳۱	زون تیرته	ایران مرکزی	۲۸/۱	۰/۰۷	۲/۳۹	۴/۳	۵۹	۵الی ۲۰	۶/۴
۳۲	زون تفرش	ایران مرکزی	۵۸	۰/۱۴۳	۲/۳۹	۴/۳	۵۹	۵الی ۲۰	۶/۸
۳۳	زون تفریحان کندلان	ایران مرکزی	۳۶/۲	۰/۰۸۹	۲/۳۹	۴/۳	۴۵	۵الی ۲۰	۶/۶
۳۴	زون تلخ آب ۱	ایران مرکزی	۵۹/۵	۰/۱۴۷	۲/۳۹	۴/۳	۵۹	۵الی ۲۰	۶/۸
۳۵	زون تلخ آب ۲	ایران مرکزی	۵۰/۸	۰/۱۲۵	۲/۳۹	۴/۳	۵۹	۵الی ۲۰	۶/۷
۳۶	زون تووزلو گل	ایران مرکزی	۶۸/۵	۰/۱۶۹	۲/۳۹	۴/۳	۵۹	۵الی ۲۰	۶/۹
۳۷	زون زرد کوه ۱	زاگرس	۹۲	۰/۳۵	۲/۵۳	۴/۳	۳۳-۶۰	۵الی ۲۰	۷/۰
۳۸	زون زرد کوه ۲	زاگرس	۸۹/۲	۰/۳۳۹	۲/۵۳	۴/۳	۳۳-۶۰	۵الی ۲۰	۷/۰
۳۹	زون زرد کوه ۳	زاگرس	۴۹	۰/۱۸۶	۲/۵۳	۴/۳	۳۰-۶۰	۵الی ۲۰	۶/۷
۴۰	زون اندیجان	ایران مرکزی	۲۶/۳	۰/۰۹	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۶
۴۱	زون بیدهند	ایران مرکزی	۶۲/۲	۰/۱۵۶	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۸
۴۲	زون دوراق C	زاگرس	۷۷/۳	۰/۲۹۴	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۹
۴۳	زون گاو میر	زاگرس	۶۸/۵	۰/۲۶	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۹
۴۴	زون زاگرس مرتفع ۱	زاگرس	۹۱/۵	۰/۳۴۸	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۰
۴۵	زون زاگرس مرتفع ۲	زاگرس	۱۱۵	۰/۴۳۵	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۱
۴۶	زون خوانسار	ایران مرکزی	۱۰۶	۰/۲۶	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۱
۴۷	زون لاپد	زاگرس	۹۹/۷	۰/۳۷۹	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۱
۴۸	زون لورد کمر	زاگرس	۷۴/۸	۰/۲۸۴	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۹
۴۹	زون محلات	ایران مرکزی	۳۱/۴	۰/۲۷۸	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۵
۵۰	زون پیشانی کوهستان ۱	زاگرس	۱۰۷	۰/۴۰۶	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۱
۵۱	زون پیشانی کوهستان ۲	زاگرس	۷۱/۸	۰/۲۷۳	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۹
۵۲	زون راهپرز	زاگرس	۱۳۱	۰/۴۹۷	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۲
۵۳	زون گسل های RSL	ایران مرکزی	۴۲/۴	۰/۱۰۵	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۶
۵۴	زون شهرکرد	زاگرس	۱۰۷	۰/۴۰۶	۲/۵۳	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۷/۱
۵۵	چشمه زمینلرزه زمینه	-	-	۱/۶۱۵	۲/۳۹	۴/۳	-	۵الی ۲۰	۶/۳

چشمه خطی

چشمه پهنه‌ای



شکل ۶: منحنی احتمال وقوع رخداد زمین‌لرزه برای چشمه Dorud1\_F.Zone در دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب پارامتر شتاب (منحنی خطر زمین‌لرزه) در پروید الف) ۱ (ب) ۲ ثانیه.



شکل ۷: منحنی احتمال وقوع رخداد زمین‌لرزه برای چشمه Dorud1\_F.Zone در دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب پارامتر شتاب (منحنی خطر زمین‌لرزه) در پروید الف) ۳ (ب) ۴ ثانیه.

لرزه‌ای در پروید ۳ ثانیه و دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شده است. همچنین تغییرات شتاب بر حسب پرویدهای مختلف برای تحلیل خطر زمین‌لرزه در سطوح مختلف با دو رهیافت اعمال جهت‌پذیری و بدون اعمال جهت‌پذیری ترسیم و شرح داده شده است. در مختصات جغرافیایی به طول ۴۸/۷۸۱ و عرض ۳۳/۷۲۵ درجه در نزدیکی گسل دورود، میزان افزایش مقادیر شتاب برای پرویدهای بالاتر از ۰/۵ در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۷۵، ۱۴۵، ۴۷۵، ۹۵۰ و ۲۴۷۵ با تأثیر جهت‌پذیری برآورد و در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است، مقدار پارامتر شتاب با

۲-۴. تأثیر جهت‌پذیری در پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین ضرورت اجرای آیین‌نامه‌های طراحی سازه در احداث سازه‌های مهم عمرانی، لازمه بررسی پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین در سطوح مختلف طراحی، برای پرویدهای مختلف می‌باشد. اعمال اثر حوزه نزدیک در تحلیل خطر زمین‌لرزه در برآورد واقع‌گرایانه شتاب جنبش نیرومند زمین ضروری است. در این بخش ابتدا میزان تأثیر جهت‌پذیری به صورت کمی، در برآورد پارامتر شتاب با اندازه‌گیری این پارامتر برای یک نقطه در نزدیکی گسل دورود انجام شده و سپس این پارامتر با نمایش نقشه خطر

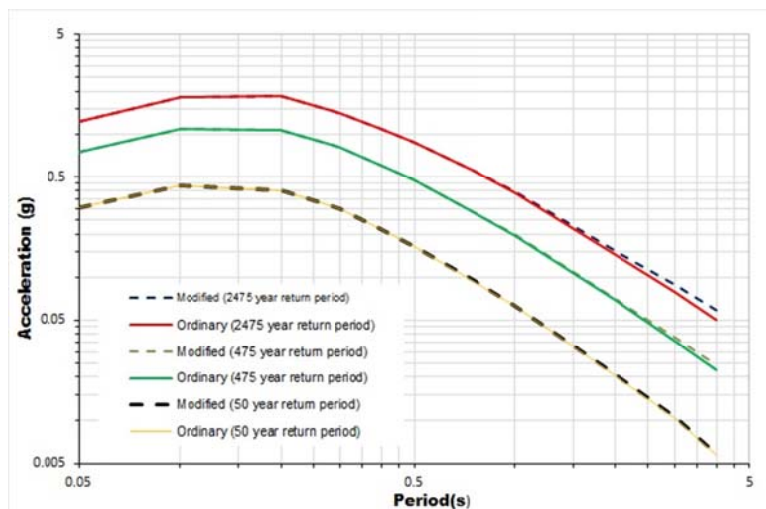
شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در پریودهای بالاتر میزان تأثیر جهت‌پذیری در مقدار شتاب جنبش نیرومند زمین با افزایش دوره بازگشت بیشتر شده است.

مقدار شتاب جنبش نیرومند زمین با اعمال اثر جهت‌پذیری و بدون اعمال اثر جهت‌پذیری برای دوره بازگشت‌های مهم ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال در پریود ۳ ثانیه در محدوده  $۴۸/۲-۵۰/۱$  درجه طولی و  $۳۲/۸-۳۴/۲$  درجه عرضی به‌صورت نقشه خطر زمین‌لرزه تهیه و به‌ترتیب در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۹ پیدا است در دوره بازگشت‌های کوتاه‌مدت اثر جهت‌پذیری ناچیز است. اما در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به‌ترتیب برای دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال تأثیر جهت‌پذیری بیشتر است.

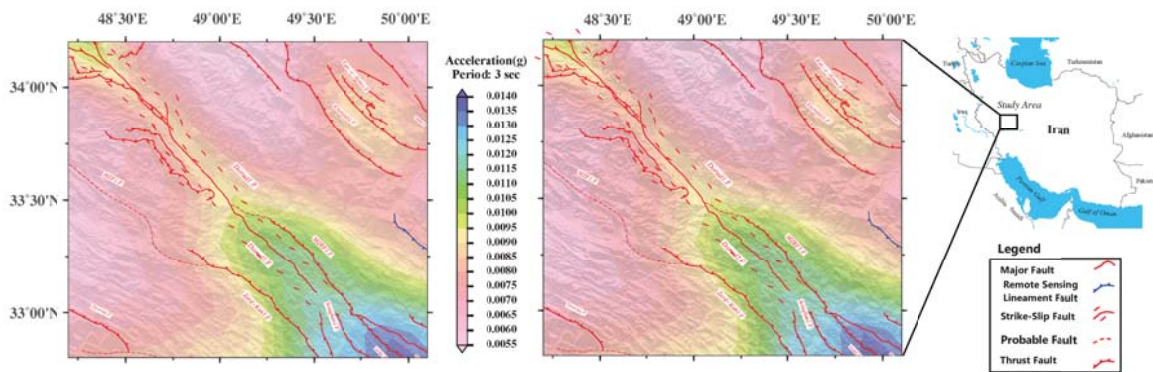
افزایش پریود و دوره بازگشت رخداد زمین‌لرزه، افزایش می‌یابد. با افزایش دوره بازگشت زمین‌لرزه، گسل زمان کافی برای تجمع تنش را داشته، لذا با افزایش دوره بازگشت انتظار مقادیر بالای شتاب و رخداد زمین‌لرزه بزرگتر محتمل‌تر است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نسبت افزایش شتاب با توجه به شتاب بدون لحاظ کردن اثر جهت‌پذیری، در دوره بازگشت‌های مختلف تفاوت چندانی نداشته و با توجه به مقادیر بالای شتاب در دوره بازگشت‌های بالاتر، بیشتر است. همچنین در مطالعه سامرویل (۲۰۰۳) نشان داده شده با افزایش بزرگ‌اثر جهت‌پذیری نیز بیشتر می‌شود که تصدیقی بر صحت نتایج حاصل از این تحقیق را دارد. در شکل ۸ مقادیر شتاب بر حسب پریود با اعمال تأثیر جهت‌پذیری و بدون اعمال تأثیر جهت‌پذیری در دوره بازگشت‌های مختلف آورده

جدول ۳. درصد افزایش شتاب جنبش نیرومند زمین در دوره بازگشت و پریودهای مختلف در اعمال اثر جهت‌پذیری مؤلفه عمودی گسلش به‌روش آبراهامسون (۲۰۰۰).

مقدار افزایش شتاب برای پریودهای مختلف در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۵۰، ۷۵، ۱۴۵، ۴۷۵ و ۹۵۰ سال بر حسب درصد برای نقطه ای به مختصات $۳۳/۷۲۵$ و $۴۸/۸۷۱$ .							
پریود (ثانیه)	سال ۲۴۷۵	سال ۹۵۰	سال ۴۷۵	سال ۱۴۵	سال ۷۵	سال ۵۰	سال ۱۰
۰.۷۵	۰/۵۹۲	۰/۵۷۱	۰/۴۵۴	۰/۳۰۷	۰/۱۷۱	۰/۱۳۸	۰/۰۲۸
۱	۱/۵۸۱	۱/۳۱۶	۱/۱۷۰	۰/۶۳۳	۰/۳۹۴	۰/۲۸۵	۰/۰۴۲
۲	۶/۱۸۰	۴/۳۴۹	۳/۰۳۳	۱/۶۴۴	۰/۹۶۵	۰/۵۷۷	۰/۱۲۵
۳	۱۲/۰۹۸	۷/۷۸۶	۵/۹۸۷	۲/۲۹۴	۱/۳۷۵	۰/۷۷۳	۰/۴۴۱
۴	۱۷/۱۶۰	۱۲/۳۱۷	۷/۴۴۵	۳/۰۸۰	۲/۲۳۱	۱/۹۰۴	۰/۶۹۱



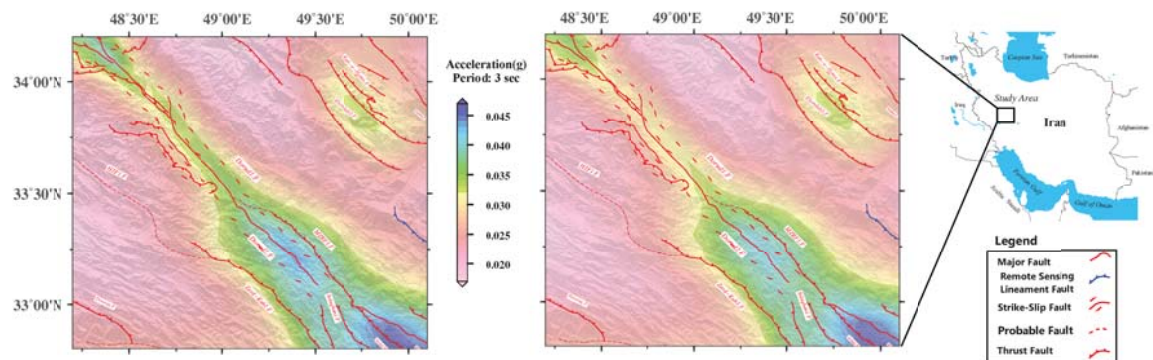
شکل ۸. شتاب جنبش نیرومند زمین در تحلیل خطر زمین‌لرزه در دوره بازگشت‌های ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال با دو رهیافت اعمال تأثیر جهت‌پذیری (خط‌چین) و بدون اعمال جهت‌پذیری در پریودهای مختلف.



(ب)

(الف)

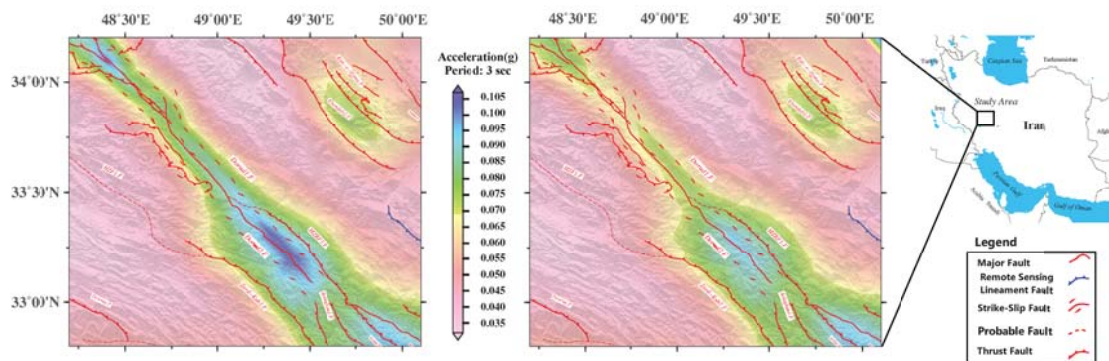
شکل ۹. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۵۰ سال برای پریود ۳ ثانیه، در محدوده گسل دورود، (الف) بودن اعمال اثر جهت‌پذیری (ب) با اعمال جهت‌پذیری.



(ب)

(الف)

شکل ۱۰. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای پریود ۳ ثانیه، در محدوده گسل دورود، (الف) بودن اعمال اثر جهت‌پذیری (ب) با اعمال جهت‌پذیری.



(ب)

(الف)

شکل ۱۱. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال برای پریود ۳ ثانیه، در محدوده گسل دورود، (الف) بودن اعمال اثر جهت‌پذیری (ب) با اعمال جهت‌پذیری.

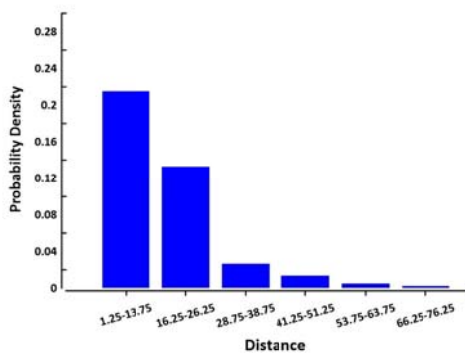
### ۳-۴. تأثیر جهت‌پذیری در نتایج واهم‌افزایی

متغیر از ساختگاه است. می‌توان با واهم‌افزایی، مشخصات زمین‌لرزه‌ای که این خطر را در ساختگاه ایجاد می‌کنند،

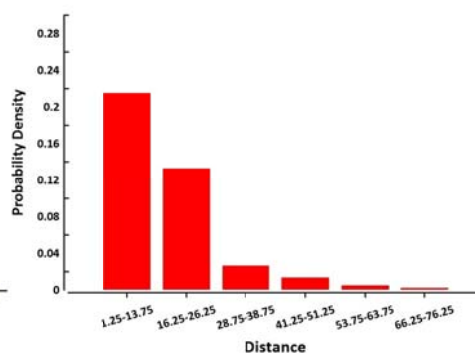
در تحلیل خطر احتمالاتی، خطر لرزه‌ای حاصل از زمین‌لرزه‌های محتمل با بزرگی‌های مختلف در فواصل

بازگشت‌های کوتاه و بلندمدت بر حسب تابع چگالی احتمال ترسیم شده است. برای دوره بازگشت ۵۰ سال، جهت‌پذیری در نتایج واهم‌افزایی تأثیری نداشته اما برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تأثیر جهت‌پذیری بر میزان مشارکت در فواصل نزدیک گسل برای روش اصلاح‌شده، کمتر بوده و میزان مشارکت برای فواصل دورتر افزایش یافته است. همچنین برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال تأثیر جهت‌پذیری در نتایج واهم‌افزایی به نسبت دوره بازگشت ۴۷۵ کمتر است.

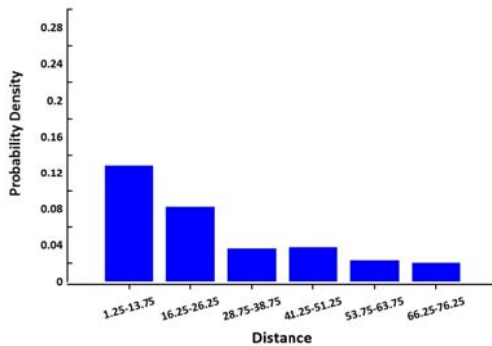
موردارزیابی قرارداد. در حقیقت با واهم‌افزایی خطر زمین‌لرزه (Seismic Hazard Deaggregation) به اجزاء تشکیل‌دهنده آن، یعنی به چگالی احتمال خطر زمین‌لرزه به ازاء پارامترهای بزرگی و فاصله دست یافت. در این بخش نتایج واهم‌افزایی برای نقطه‌ای به مختصات  $48/781$  درجه طولی و  $33/25$  درجه عرضی در مجاورت گسل دورود در دوره بازگشت‌های ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برای پی‌یود ۳ ثانیه بررسی شده است. میزان مشارکت فاصله در ایجاد پارامتر جنبش زمین در شکل ۱۲ برای دوره



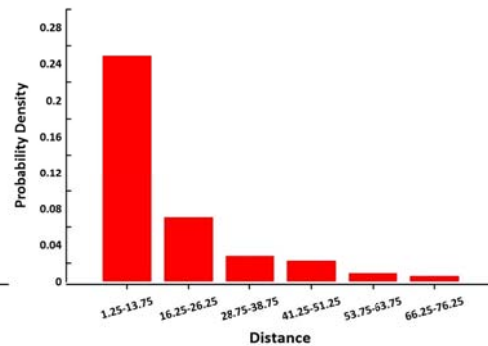
(ب)



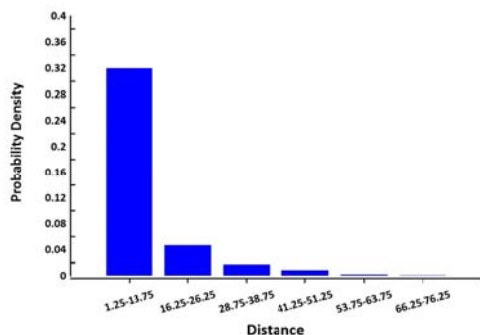
(الف)



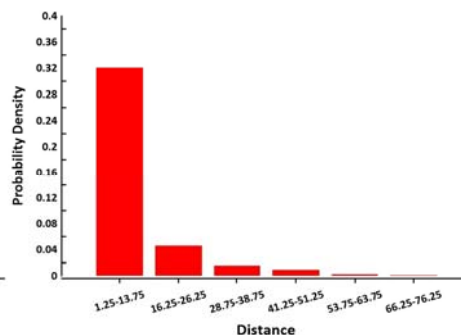
(ت)



(پ)



(ج)



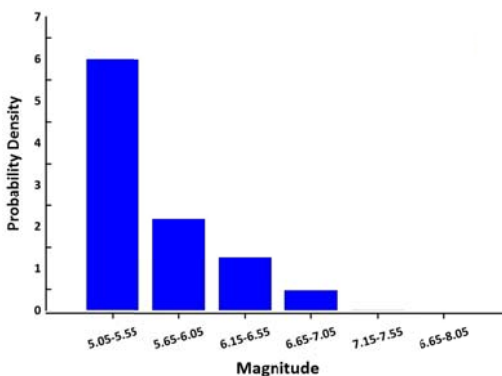
(ح)

شکل ۱۲. مقایسه نتایج واهم‌افزایی فاصله در تحلیل خطر زمین‌لرزه برای نقطه‌ای به مجاورت گسل دورود با رهیافت اثر جهت‌پذیری (نمودارهای آبی رنگ) و بدون اثر جهت‌پذیری (نمودارهای قرمز رنگ). الف و ب) نتایج دوره بازگشت ۵۰ سال، پ و ت) نتایج دوره بازگشت ۴۷۵ سال، ج و ح) نتایج دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال.

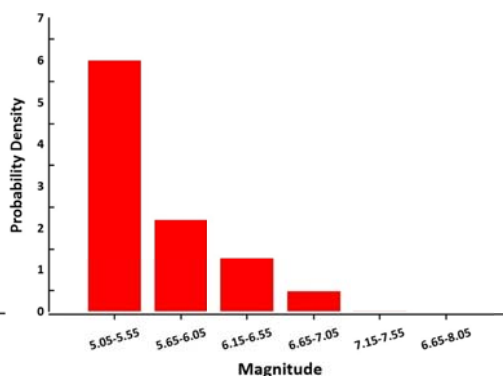


بزرگا در برآورد شتاب جنبش نیرومند زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال بیشتر از دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال بوده به گونه‌ای که تحلیل خطر زمین‌لرزه با اعمال جهت‌پذیری برای بزرگ‌های کمتر مشارکت بیشتری دارد. برای دوره بازگشت ۵۰ سال اعمال جهت‌پذیری در مقادیر واهم‌افزایی بزرگا بی‌تأثیر بوده است.

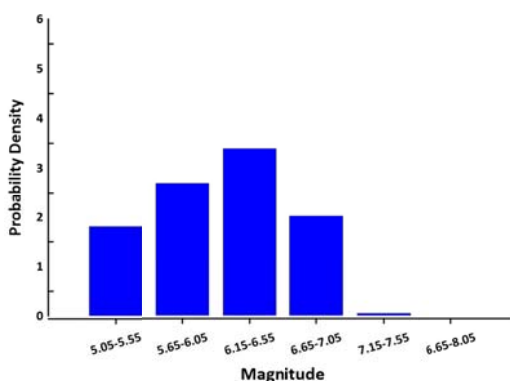
همچنین میزان مشارکت بزرگا نیز در نتایج واهم‌افزایی بر حسب تابع چگالی احتمال برای تحلیل احتمالی زمین‌لرزه برای دو رهیافت موردنظر (اعمال جهت‌پذیری و عدم اعمال جهت‌پذیری) در شکل ۱۳ برای دوره بازگشت‌های ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ نیز مشاهده می‌شود، میزان تأثیر جهت‌پذیری برای مشارکت



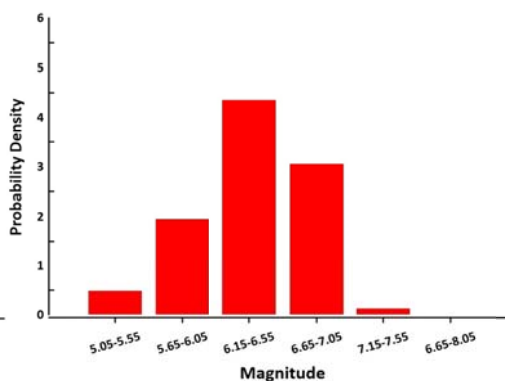
(ب)



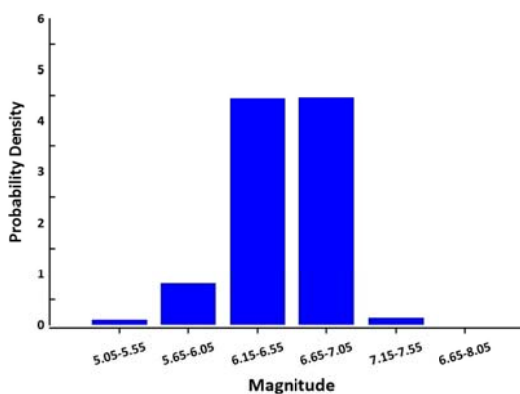
(الف)



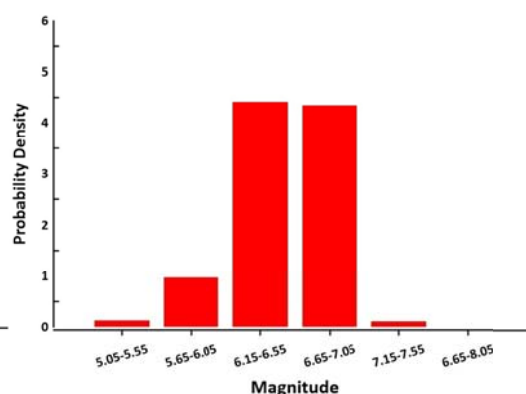
(ت)



(پ)



(ج)



(ج)

شکل ۱۳. مقایسه نتایج واهم‌افزایی بزرگا در تحلیل خطر زمین‌لرزه برای نقطه‌ای به مجاورت غسل دورود با رهیافت اثر جهت‌پذیری (نمودارهای آبی رنگ) و بدون اثر جهت‌پذیری (نمودارهای قرمز رنگ). الف و ب) نتایج دوره بازگشت ۵۰ سال، پ و ت) نتایج دوره بازگشت ۴۷۵ سال، ج و چ) نتایج دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال.

## ۵. نتیجه‌گیری

فواصل نزدیک گسل با اعمال جهت‌پذیری میزان مشارکت کمتری در شتاب جنبش نیرومند زمین دارد. همچنین با بررسی اثر جهت‌پذیری در برآورد شتاب جنبش نیرومند زمین برای دوره بازگشت و پیوندهای مختلف، دیده شد که با افزایش دوره بازگشت و پیوند، پارامتر شتاب جنبش زمین، با اعمال اثر جهت‌پذیری افزایش یافته به گونه‌ای که بیشترین اثر در دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال، و پیوند ۴ ثانیه به مقدار ۱۷/۱۶ درصد محاسبه شده است. با توجه اهمیت دوره بازگشت‌های بلندمدت در طراحی طیف اثر دستگاه در آیین‌نامه‌های مختلف طراحی ساختمان‌ها (آیین‌نامه ASE7-05، ASE7-10، IBC و آیین‌نامه لرزه‌ای نشریه ۰۳۸ (تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت)) بررسی این اثر می‌تواند کمک شایانی در طراحی و ساخت ساختارهایی با پیوند بلند کند.

## مراجع

شیخ الاسلامی، م. ر.، ۱۳۹۳، «دانشنامه گسل‌های ایران». سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

جهت‌پذیری گسیختگی موجب ایجاد پالس‌های پیروبلندی در جنبش زمین می‌شود که این اثر در گسل‌های امتدادلغز نمود بیشتری دارد. اگرچه میزان اثر جهت‌پذیری در مقادیر پارامترهای حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای به نظر ناچیز می‌باشد اما این مقادیر می‌تواند، در پیوندهای بالا در ساختارهایی با پیروبلند از قبیل پل‌ها، سدها، برج‌های مرتفع و ... اثرات مخربی داشته باشد. در این تحقیق با توجه به مکانیزم و اهمیت گسل دورود، اثر جهت‌پذیری گسیختگی با روش آبراهامسون (۲۰۰۰) و سامرویل و همکاران (۱۹۹۷) اعمال شده است. با بررسی نتایج واهم‌افزایی، تأثیر جهت‌پذیری در میزان مشارکت فاصله (نسبت به گسل) و بزرگا در برآورد پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین در دوره بازگشت ۴۷۵ سال بیشتر از دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال بوده و نتایج واهم‌افزایی برای دوره بازگشت ۵۰ سال با اعمال و بدون اعمال جهت‌پذیری یکسان بوده است. بررسی نتایج واهم‌افزایی نشان می‌دهد

- Univ. Press, New York, p. 219.
- Bachmanov, D. M., Trifonov, V. G., Hessami, Kh. T., Kozhurin, T. P., Rogozhin, E. A., Hademi, M. C. and Jamali, F. H., 2004, Active faults in the Zagros and central Iran, Tectonophysics, 380, 221-241.
- Berberian, M., 1976, contribution to the seismotectonic of iran (Part II). Geol. Surv. Iran, Rep.39.
- Chiou, B.S.-J. and Youngs, R.R., 2014, Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra, 30, 1117-1153.
- Cornell, C. A., 1968, Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583-1606.
- Boore D.M; Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan and Gail Atkinson, M., 2014, NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. Earthquake Spectra 30(3), 1057-1085.
- Gardner, J. K. and Knopo, L., 1974, Is the sequence of earthquakes in Southern
- Abrahamson, N. A., 2000, Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis. In: Proc. 6th Int. Conf. Seismic Zonation, Palm Springs, CA, 12-15 November 2000, Earthquake Engineering Research Institute.
- Abrahamson, N.A., Kamai, R. and Silva, W.J., 2014, Nonlinear Horizontal Site Amplification for Constraining the NGA-West2 GMPEs. Earthquake Spectra, 30(3), 1223-1240.
- Adanur, S., Altunişik, A.C. and Bayraktar, A., 2012, Comparison of near-fault and far-faultground motion effects on geometricallynonlinear earthquake behavior of suspensionbridges. Nat Hazards 64, 593-614.
- Alipoor, R., Zare, M. and Ghassemi, M.R., 2012, Inception of activity and slip rate on the Main Recent Fault of Zagros Mountains, Iran. Geomorphology, s 175-176, 86-97.
- Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediteranean region, Geophys. J. Int., 133, 390-406.
- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., 1982, A History of Persian Earthquakes, Cambridge

- California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seis. Soc. Am.*, 64(5), 1363-1367.
- Gidon, M., Berthier, F., Billiault, J.P., Halbronn, B. and Maurizot, P., 1974. Sur le carateres et l'ampleur du coulissement de la 'Main Fault' dans la region de Borujerd-Dorud, Zagros oriental, Iran. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Série D* 278, 701-704.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1956, Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 46, 105-145.
- Grünthal, G., 1998, European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, P. 99.
- Harzell, S.H. and Heaton, T.H., 1985, Teleseismic time function for large, shallow subduction zone earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, 965-1004.
- Haskell, N. 1964, Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 56, 1811-1842.
- Hessami, K., Jamali, F. and Tabassi, H., 2003. Major active faults of Iran, scale 1: 2,500,000. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.
- Idriss, I. M., 2014, An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra: August 2014*, 30(3), 1155-1177.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2014, NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra. *Earthquake Spectra: August 2014*, 30 (3), 1087-1115.
- Kijko, A. 2004, Estimation of the maximum earthquake magnitude, *m* max. *Pure Appl Geophys*, 161(8), 1655-1681.
- Lay, T. and Wallace, T., 1995, *Modern global seismology*. International Geophysics Series. Academic, USA, p. 58.
- Maleki, B. Rahimi, H., and Maleki, V., 2019, Applying the characteristic magnitude distribution Model for North Tabriz Fault (NTF) in Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) and its effects on acceleration parameter and hazard curve. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(3), P. 4.
- McKenzie, D.P. and Jackson, J.A., 1972, The relation between strain rates, crustal thickening, paleomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone, *Earth planet. Sci. Lett.*, 65, 182-202.
- McKenzie, D.P., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30, 109-185.
- Mirzaei, N., Gao, M. and Chen, Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces; *J. Earthquake. Pred. Res.* 7 465-495.
- Mousavi-Bafrouei, S. H., Mirzaei, N. and Shabani, E., 2014, A declustered earthquake catalog for Iranian plateau, *Annals of Geophysics*, under review. Shahvar, M. P., M. Zare, and S. Castellaro (2013). A unified seismic catalog for the Iranian plateau (1900-2011), *Seismol. Res. Lett.* 84, 233-249.
- Nowroozi, A. A., 1985, Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75(5), 1327-1338.
- Somerville, P.G., 2003, Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 137, 201-212.
- Shirakova, E.I., 1967, General features in the orientation of principal stresses in earthquake foci in the Mediterranean-Asian seismic belt, *Earth Phys.*, 1, 22-36.
- Shrestha, B. and Tuladhar, R. 2012, No Access The response of Karnali Bridge, Nepal to near-fault earthquakes. *165(4)*, 223-232.
- Somerville, P.G., Smith N.F., Graves R.W. and Abrahamson N.A., 1997, Modification of empirical strong motion attenuation relations to include the amplitude and duration effect of rupture directivity. *Seismol. Res. Lett.*, 68, 199-222.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2002, Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int.*, 150, 422-439.
- Tchalenko, J. S. and Braud, J., 1974, Seismicity and structure of the Zagros (Iran): the Main Recent Fault between 33o and 35oN, *Philos. Roy. Soc. Lond.*, 227, 1-25.
- Tchalenko, J.S., Braud, J. and Berberian, M., 1974, Discovery of three earthquake faults in Iran. *Nature* 248, 661- 663.
- Urhammer, S. A., Clausen, J. O., Hansen, T., Pedersen, O., 1996, Insulin sensitivity and body weight changes in young white carriers of the codon 64 amino acid polymorphism of the beta 3-adrenergic receptor gene. *Diabetes.*, 45, 1115-20.
- Vader, T. and Daniel, C.C. 2007, Influence of Dampers on Seismic Response of Cable-Supported Bridge Towers. *Journal of Bridge Engineering*. ISSN (print): 1084-0702.

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement," *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

## Investigation of the near-field and directivity effects in earthquake hazard analysis studies - a case study of Doroud fault

Maleki, B.<sup>1</sup>, Rahimi, H.<sup>2\*</sup> and Hosseini, M. R.<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduated, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3. M.Sc. Student, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 3 Aug 2020, Accepted: 24 Jan 2021)

### Summary

In this study, considering the location of Dorud city in the area near the strike-slip and seismic fault of Doroud, the effects of the near site and the directivity due to rupture have been investigated in seismic hazard analysis studies.

Doroud fault is located near the cities of Doroud and Boroujerd, in the western part of Iran. Dorud and Boroujerd are among the important cities of Iran in the agricultural industry and also due to the pristine nature in these areas has always been of interest to tourists. The micro-earthquakes recorded in this area indicate the activity of the Doroud fault system. In order to prevent possible earthquake damage in this area, seismicity studies can be useful to study the acceleration of the ground by considering the effects of the site in order to strengthen the construction of civil structures.

Abrahamson (2000) and Somerville et al., (1997) were among the first researchers to establish studies based on this, and the relationships and methods proposed by them are more acceptable today in applying the directional effect. These researchers considered two parameters of angle and ratio of fault length as a direct factor in the effect of orientation and examined the results for the acceleration spectrum created. The effect of orientation can lead to the formation of long-period pulses in the earth's motion, which some proposed models (eg Somerville et al., 1997) can measure the quantity of this effect in estimating earthquake risk analysis with a deterministic and probabilistic approaches. (Abrahamson, 2000). In this study, seismic hazard has been investigated, compared and evaluated by considering the effects of Doroud fault in different periods and different return periods by considering the effect of orientation and also without applying the effect of orientation.

Near-field and directional effects can lead to long-period pulses in ground motion parameter, and for structures with long periods such as bridges and dams near faults with high activity rates. The inclusion of directional effects in attenuation relationships, to see whether for deterministic and probabilistic approach can have a great impact on the results of realistic seismic hazard analysis. Doroud fault is one of the most important faults in Iran with a history of large earthquakes in the early instrumental period and its mechanism of strike-slip mechanism, It can intensify the strong motion parameters during earthquakes for long periods in the city of Dorud, and consequently cause serious damage to structures with long periods in this area.

In this study, the parameters of strong ground motion in the analysis of probabilistic earthquake hazard by applying direction for the range of Doroud fault have been estimated. In addition, by examining the disaggregation of earthquake hazard, the effect of direction for the contribution of distance and magnitude in estimating the strong motion parameter has been evaluated. In the short and long return periods, the effect of directivity for different periods for the strong motion has been estimated and evaluated by the Somerville and Abrahamson method. The estimated acceleration is calculated and evaluated for three return periods, 50, 475 and 2475 years and in periods of 0.75, 1, 2, 3 and 4 sec. The value of the strong motion parameter was directly related to the increase of the return period and the period, so that the highest amount of acceleration increase (17.16 percentage) with the effect of directivity was calculated in the return period of 2475 years and in the 4-second period.

**Keywords:** Near-field, directional effects, Doroud fault , Dorud city, Hazard.

---

\* Corresponding author:

rahimih@ut.ac.ir