

ارزیابی رابطه‌ی بین پارامترهای لرزه‌ی حوزه‌های دور و نزدیک گسل با استفاده از مفهوم همبستگی

Research Note

علیرضا حبیبی* (دانشیار)

احسان جانی (کارشناس ارشد)

سجاد رستمی (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه کردستان

رکورد‌های ثبت شده از زمین لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد که حرکات نزدیک گسل، ویژگی‌های متفاوتی نسبت به زلزله‌های حوزه‌ی دور دارند. در مجموع بیشتر این ویژگی‌ها، در اثر پدیده‌ی مهم راستاپذیری پیش‌رونده در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک است. این پدیده باعث می‌شود مؤلفه‌ی عمود بر گسل نداشت‌های ثبت شده در نزدیک گسل، پالس‌هایی با دوره‌ی تناوب بلند در نداشت سرعت دارند. در این نوشتار به بررسی رابطه‌ی بین پارامترهای لرزه‌ی حوزه‌ی نزدیک از جمله پارامترهای دامنه‌ی، انرژی، و محتوای بسامدی پرداخته و نتایج با زلزله‌های حوزه‌ی دور مقایسه شده‌اند. به این منظور از 3° شتاب‌نگاشت واقعی برای حرکات دور و نزدیک گسل استفاده شده است. پس از پردازش داده‌ها نتایج نشان داده است که همبستگی بین پارامترهای مؤلفه‌ی افقی حرکات نزدیک گسل نه فقط رابطه‌ی مستقیمی دارند، بلکه میزان همبستگی‌ها نیز به طور میانگین قوی هستند. از طرف دیگر، رابطه‌ی بین پارامترهای مؤلفه‌ی افقی و قائم حرکات نزدیک گسل به صورت قابل توجهی با هم اختلاف دارند، به طوری که در مؤلفه‌ی افقی هیچ‌گونه رابطه‌ی معکوسی بین پارامترها مشاهده نشده است.

واژگان کلیدی: زلزله، حوزه‌ی نزدیک، حوزه‌ی دور، پارامترهای لرزه‌ی، ضریب همبستگی.

۱. مقدمه

خصوصیات نگاشت‌های زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک کاملاً متفاوت با خصوصیات و مشخصات نگاشت‌های حوزه‌ی دور است. با وجود آگاهی از این تفاوت و به علت کمبود اطلاعات تا دهه‌ی اخیر، مطالعات اندکی بر روی خصوصیات زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و تأثیر آن‌ها در سازه‌ها انجام شده است. با شناخته شدن برخی خصوصیات زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک در سال ۱۹۵۷، مطالعات مهمی در آن زمان صورت گرفته است.^[۱] از چندین زلزله‌ی مشهور مانند: زلزله‌ی نورث ریج آمریکا (۱۹۹۴)، کوبه‌ی ژاپن (۱۹۹۵)، ازمیت ترکیه (۱۹۹۹)، و چی چی تایوان (۱۹۹۹)، اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد شناخت خصوصیات و تأثیر زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک در سازه‌ها به دست آمده است، که راه را برای مطالعه‌ی بیشتر در مورد زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و اثرات آن‌ها باز کرده است. برخی پژوهشگران (۱۹۷۸)،^[۲] نیز به بررسی حرکت نزدیک گسل ۱۹۷۱ سانفرانسیسکو پرداخته‌اند.

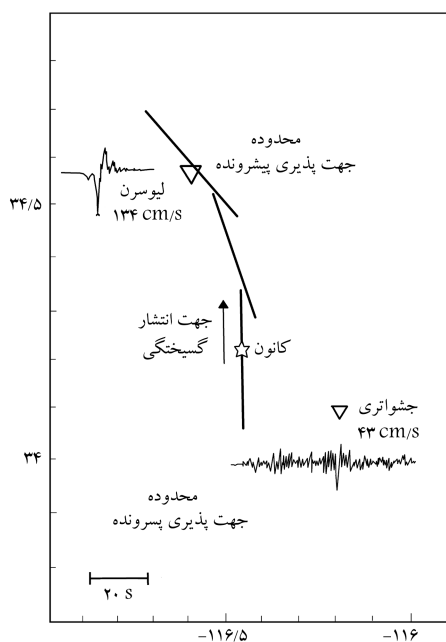
با وجود مطالعات قابل توجه در مورد اثرات راستاپذیری پیش‌رونده و تغییرمکان

* نویسنده مسئول

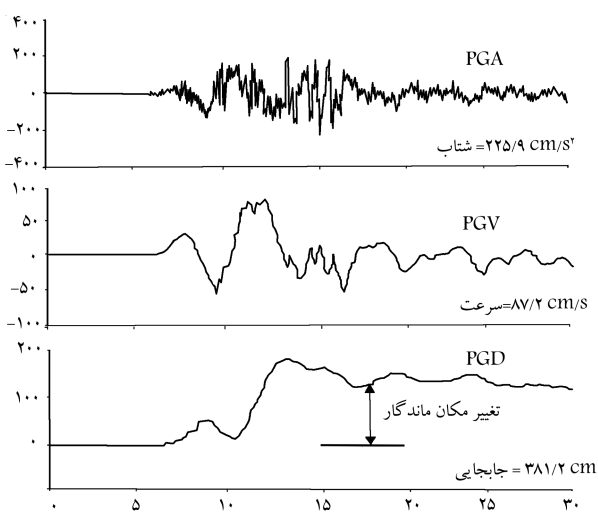
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۸، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱۲/۱۶، پذیرش ۱۳۹۴/۱/۲۲.

ماندگار بر روی انواع سازه‌ها، مطالعات انجام شده در رابطه با مشخصات اثرپذیری پارامترهای لرزه‌ی حوزه‌های دور و نزدیک در یکدیگر بسیار اندک است. در این زمینه می‌توان به پژوهشی در سال ۲۰۰۴^[۳] که به مقایسه‌ی حرکات نزدیک و دور از گسل از نظر محتوای انرژی و توان پرداخته است، اشاره کرد. با توجه به حساسیت بالای پاسخ سازه‌ها به ورودی‌های لرزه‌ی در مقایسه با ورودی‌های پژوهشی در سال ۲۰۰۶^[۴]، شناخت بیشتر پارامترهای لرزه‌ی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۸^[۵] به نقص در مدل‌های پیش‌بینی خطر لرزه‌ی رایج توجه و پیشنهادهایی در راستای اصلاح روابط و نگرش به تحلیل خطر در حوزه‌ی نزدیک ارائه شده است.

خصوصیات جنبش‌های حوزه‌ی نزدیک مستقیماً وابسته به مکانیزم چشمه‌ی لرزه‌ی، جهت گسیختگی گسل نسبت به ساخت‌گاه و جهت لغزش گسل است. مهم‌ترین خصوصیات متمایزکننده‌ی جنبش‌های حوزه‌ی نزدیک، تولید پالس‌هایی به علت اثر راستاپذیری و اثر تغییرمکان ماندگار است.^[۶] این نوع پالس‌های حرکت عموماً شامل یک یا چند پالس مجزا در تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، و تغییرمکان و اغلب در تاریخچه‌ی زمانی سرعت است. در این پژوهش ابتدا مشخصات اصلی متمایزکننده‌ی زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک از حوزه‌ی دور مورد بررسی قرار گرفته است،



شکل ۱. موقعیت کانون زلزله، ایستگاه‌های ثبت رکورد و نگاهت‌های منطقه‌ی لیوسرن (۱۹۶۲)، [۱۱]



شکل ۲. مؤلفه‌ی شرقی - غربی نگاهت باریمکا در زلزله‌ی کوچالی، [۱۴]

۱. گسیختگی گسل به سمت ساختگاه باشد، یا زاویه‌ی بین امتداد انتشار گسیختگی و ساختگاه کوچک باشد.

۲. سرعت گسیختگی گسل نزدیک موج برشی ساختگاه باشد.

۲.۲. اثر تغییر مکان ماندگار

خصوصیات دیگر نگاهت‌های حوزه‌ی نزدیک ثبت شده در زلزله‌های جدید مانند زلزله‌های سال ۱۹۹۹ ترکیه و تایوان، تغییر مکان ماندگار حاصل از گسلش زمین در مناطقی نزدیک گسل است. [۱۱]

به طور نمونه، تغییر مکان ماندگاری در حدود ۲ متر در ایستگاه باریمکا طی زلزله‌ی کوچالی ترکیه به وجود آمده است (شکل ۲).

سیس با انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب برای حرکات دور و نزدیک از گسل، پارامترهای لرزه‌ی آن‌ها استخراج شده و با استفاده از مفهوم ضریب همبستگی، این پارامترها مورد پردازش و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۲. اثرات و خصوصیات زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک

هادسون و هازنر، [۹] دریافتند که زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک شامل پالس‌های بحرانی انرژی هستند. هر چند ممکن است این زلزله‌ها بزرگای کوچک و یا دامنه‌ی کوچکی داشته باشند، ولی پتانسیل تخریبی بالایی دارند.

همچنین پالس‌های سرعت، که ناشی از لغزش سریع گسل هستند، برای اولین بار توسط بولت با مطالعه‌ی حرکات ثبت شده‌ی زلزله‌ی سانفرانسیسکو شناخته شده است. در مجموع این زلزله‌ها ویژگی‌هایی چون تاریخچه‌ی زمانی پالس مانند با پالس‌های دوره‌ی تناوب بلند، نسبت بزرگ سرعت پیشینه به شتاب پیشینه‌ی زمین، و گاهی تغییر شکل‌های دائمی بزرگ در زمین دارند. [۸] این ویژگی‌ها در نتیجه‌ی تأثیر پدیده‌های زیادی در نزدیکی چشمه‌ی لرزه‌ی بین وجود می‌آیند.

در حرکات نزدیک گسل خواص خاصی از قبیل پالس گونه‌بودن رکورد و بالا بودن مقدار پیشینه‌ی سرعت قابل مشاهده است. [۹] حرکات نزدیک گسل به زلزله‌هایی اطلاق می‌شود که فاصله‌ی آن‌ها از مرکز آزاد شدن انرژی، کمتر از یک حد معین باشد. بعضی از پژوهشگران این فاصله را ۵۰ کیلومتر می‌دانند و برخی دیگر از جمله بوور و جونیور، [۱۰] این فاصله را ۱۵ کیلومتر در نظر گرفته‌اند. در این نوشتار محدوده‌ی زلزله‌های نزدیک گسل، ۱۵ کیلومتری مرکز سطحی زلزله و فراتر از این فاصله، حوزه‌ی دور در نظر گرفته شده است. در ناحیه‌ی نزدیک گسل، حرکات زمین به نحو قابل توجهی از عواملی نظیر مکانیزم گسیختگی، جهت گسترش گسیختگی به سمت ساختگاه، و احتمالاً جابه‌جایی دائمی زمین، که از لغزش گسل منتج می‌شوند، تأثیر می‌پذیرد.

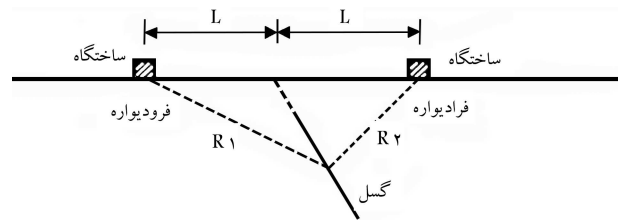
۱.۲. اثر راستای پذیری

هنگامی که گسیختگی گسل به سمت ساختگاه گسترش یابد و جهت لغزش گسل نیز به سمت آن باشد، پدیده‌ی راستای پذیری پیش‌رونده اتفاق می‌افتد. هنگامی که جبهه‌ی گسیختگی از کانون به سمت ساختگاه انتشار یابد، در این صورت به دلیل نزدیک بودن سرعت گسیختگی گسل به سرعت امواج برشی زلزله، امواج آزاد شده در اثر لغزش‌های متوالی نواحی مختلف گسل در نزدیکی جبهه‌ی گسلش (قسمت جلوی مسیر گسیختگی در گسل) به صورت سیلی از امواج در حال حرکت جمع می‌شوند. این امواج دفعاتاً و به صورت یک شوک قوی به ساختگاه می‌رسند، که این شوک به شکل یک پالس قوی حرکت در جهت عمود بر لغزش و در ابتدای نگاهت زلزله قابل تشخیص است. بنابراین، مدت دوام کم و پالس‌هایی با دامنه‌ی بزرگ و دوره‌های تناوب متوسط تا بلند می‌تواند از مشخصه‌های شرایط راستای پذیری پیش‌رونده باشد. این خصوصیات در پشت جبهه‌ی گسیختگی مشاهده نمی‌شود. [۱۱] به طور مثال، شکل ۱ موقعیت دو ایستگاه در زلزله‌ی لندرز را نشان می‌دهد، که ایستگاه لیوسرن در جلوی جبهه‌ی گسیختگی و ایستگاه چشواتری در پشت جبهه‌ی گسیختگی قرار دارند، و پالس راستای پذیری و نیز مدت دوام کوتاه در نگاهت ثبت شده‌ی ایستگاه لیوسرن مشاهده می‌شود.

به‌طور کلی از نظر بسیاری از پژوهشگران، [۱۱-۱۳] می‌توان شرایطی که منجر به اثر راستای پذیری پیش‌رونده می‌شود، در دو نکته خلاصه کرد:

جدول ۱. دسته‌بندی خصوصیات پارامترهای حرکت زمین.

خصوصیات حرکت زمین			پارامترهای حرکت زمین
انرژی	محتوای بسامدی	دامنه	
		✓	بیشینه‌ی شتاب زمین
		✓	بیشینه‌ی سرعت زمین
		✓	بیشینه‌ی جابه‌جایی زمین
	✓		بسامد غالب
	✓		دوره‌ی تناوب متوسط
	✓		نسبت سرعت بیشینه به شتاب بیشینه
✓	✓	✓	چگالی انرژی ویژه
✓	✓	✓	شدت هازنر
✓	✓	✓	شدت آریاس



شکل ۳. نمودار اثر فرادپواره. [۸]

۳.۲. اثر فرادپواره^۳

اثر فرادپواره در یک زلزله‌ی شیب لغز می‌تواند به وجود آید. مطابق شکل ۳، یکی از دلایل ابتدایی به وجود آمدن این اثر می‌تواند نزدیکی بیشتر ساختمان‌های قرارگرفته در قسمت فرادپواره به سطح گسل از ساختمان‌های قرارگرفته در قسمت فرودپواره^۴ در یک فاصله‌ی یکسان از گسل باشد. [۸]

اثر فرادپواره می‌تواند این ویژگی‌ها و مسائل را در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک به همراه داشته باشد:

- الف) دامنه‌ی بیشتر و کاهندگی کمتر در پارامترهای جنبش شدید زمین در فرادپواره نسبت به فرودپواره در یک فاصله‌ی یکسان مشاهده شود. [۳]
- ب) فرادپواره بیشترین تأثیرها را در طیف پاسخ شتاب در دوره‌های تناوب کوتاه دارد. [۱۵]
- د) عدم در نظر گرفته شدن اثر فرادپواره در مدل‌های تجربی پارامترهای جنبش زمین در ارزیابی تحلیل خطر لرزه‌ی. [۱۶]

۴.۲. اثر مؤلفه‌ی قائم

از دیدگاه بسیاری از پژوهشگران، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که در نتیجه‌ی اثر مؤلفه‌ی قائم در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک متفاوت با زلزله‌های حوزه‌ی دور مطرح شده است، به این شرح است:

الف) نسبت بیشینه‌ی شتاب قائم به بیشینه‌ی شتاب افقی در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک نسبت به زلزله‌های حوزه‌ی دور بیشتر است. در بعضی حالات، این نسبت بیشتر از مقدار ۰/۳۳ است، که به طور معمول در آیین‌نامه‌ها در نظر گرفته می‌شود. [۱۸، ۱۷]

ب) برای دوره‌های تناوب کوتاه نسبت طیف پاسخ قائم به افقی برای ساختمان‌های نزدیک گسل از مقداری که معمولاً ۰/۳۳ فرض می‌شود، تجاوز می‌کند؛ در حالی که برای دوره‌های تناوب بلند، نسبت ۰/۳۳ بسیار محافظه‌کارانه است. [۱۹]

۳. پارامترهای لرزه‌ی

حرکات زمین ناشی از زلزله کاملاً پیچیده است. حرکت زمین در یک نقطه‌ی مشخص با سه مؤلفه‌ی تغییرمکان و سه مؤلفه‌ی دوران تعریف می‌شود. در عمل معمولاً از مؤلفه‌های دوران صرف‌نظر و فقط ۳ مؤلفه‌ی عمود بر هم مربوط به تغییرمکان اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً گزارش‌های تیپ حرکات زمین به صورت شتاب‌نگاشت و شامل مقادیر زیادی اطلاعات است. پارامترهای حرکت زمین اساس تشریح خصوصیات حرکت نیرومند زمین به صورت فشرده و کیفی هستند. پارامترهای بسیاری جهت مشخص کردن دامنه، محتوای بسامدی، و مدت حرکت نیرومند زمین

پیشنهاد شده‌اند، که برخی از آن‌ها فقط یکی از خصوصیات مذکور را توصیف می‌کند، در حالی که برخی دیگر ۲ و یا حتی ۳ خصوصیت را تشریح می‌کنند. به علت پیچیدگی حرکت زمین در زلزله، تعریف یک پارامتر منفرد، که کلیه‌ی خصوصیات مهم حرکت زمین را توصیف کند، غیرممکن است (جدول ۱). [۲۰-۲۲]

جهت کاربردهای مهندسی ۳ خصوصیت اصلی حرکت زمین اهمیت ویژه‌ی دارند، که عبارت‌اند از: پارامترهای دامنه‌ی، محتوای بسامدی، و انرژی حرکت زمین. تعداد زیادی پارامترهای مختلف حرکت زمین پیشنهاد شده‌اند که هر کدام اطلاعاتی در خصوص یک یا چند مشخصه‌ی فوق‌الذکر ارائه می‌دهند. در این پژوهش از پارامترهایی استفاده شده است که به طور مناسب قابلیت انعکاس پاسخ لرزه‌ی و یا خسارت سازه‌ی را داشته باشند.

در این مطالعه از پارامترهای: دوره‌ی تناوب غالب (T_p)، [۲۳] دوره‌ی تناوب متوسط (T_m)، [۲۴] نسبت سرعت بیشینه به شتاب بیشینه (v_{max}/a_{max})، [۲۵] بیشینه‌ی شتاب زمین (PGA)، [۲۶] بیشینه‌ی سرعت زمین (PGV)، [۲۷] بیشینه‌ی جابه‌جایی زمین (PGD)، [۲۸] شدت هازنر (HI)، [۲۹] شدت آریاس (AI)، [۳۰] و چگالی انرژی ویژه (SED)، [۳۱] به منظور مقایسه بین پارامترهای لرزه‌ی حوزه‌های دور و نزدیک و همچنین تعیین رابطه بین پارامترهای مذکور استفاده شده‌اند.

۴. ارزیابی همبستگی پارامترهای لرزه‌ی

در بسیاری از اوقات نیاز به شاخصی است که چگونگی ارتباط بین دو متغیر براساس آن اندازه‌گیری شود. یکی از این شاخص‌ها ضریب همبستگی بین دو متغیر X و Y است. این معیار میزان ارتباط خطی بین متغیر مستقل و وابسته را اندازه‌گیری می‌کند. هر چه مقدار مطلق ضریب بیشتر باشد، همبستگی متغیرها بیشتر و تغییرات آن‌ها (بدون توجه به جهت تغییرات) به هم نزدیک‌ترند. ضریب همبستگی همواره بین -۱ و ۱ قرار دارد. [۲۹] در این پژوهش برای به دست آوردن رابطه‌ی بین پارامترهای لرزه‌ی، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است.

همان‌طور که گفته شده است، ضریب همبستگی پیرسون رگرسیون خطی داده‌ها را نشان می‌دهد. این ضریب همبستگی بین دو متغیر X و Y از طریق رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود:

$$\rho_{Pearson} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

جدول ۲. ارزیابی ضریب همبستگی.

بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	قوی	بسیار قوی
$\rho \leq 0.2$	$0.2 < \rho \leq 0.4$	$0.4 < \rho \leq 0.6$	$0.6 < \rho \leq 0.8$	$0.8 < \rho \leq 1$

در ادامه به صورت مشروح به بررسی این ماتریس‌ها به تفکیک پارامترها پرداخته شده است:

- **بیشینه‌ی شتاب زمین:** بیشترین همبستگی بیشینه‌ی شتاب زمین مربوط به شدت اریاس است و با پارامترهای حوزه‌ی بسامدی برای زلزله‌های دور از گسل و مؤلفه‌ی قائم نزدیک گسل، رابطه‌ی معکوسی دارد. کمترین و بیشترین تغییرات به ترتیب مربوط به شدت اریاس و پارامترهای حوزه‌ی بسامدی است.
- **بیشینه‌ی سرعت زمین:** این پارامتر جزء آن دسته از پارامترهایی است که با بیشتر پارامترهای لرزه‌ی همبستگی بالایی دارد، به طوری که نه فقط بیشترین همبستگی با شدت هانزر (که یک پارامتر انرژی ورودی زلزله است) در هر سه ماتریس را دارد، بلکه کمترین پراکندگی با این پارامتر را نیز دارد. این پارامتر کمترین همبستگی با پارامترهای حوزه‌ی بسامدی را دارد.
- **بیشینه‌ی جابه‌جایی زمین:** در هر سه ماتریس، بیشترین و کمترین همبستگی را به ترتیب با چگالی انرژی ویژه و پارامترهای حوزه‌ی بسامدی دارد و کمترین پراکندگی در همبستگی‌ها مربوط به چگالی انرژی ویژه است؛ به طوری که بدون در نظر گرفتن نوع زلزله می‌توان قضاوتی در مورد رابطه‌ی بسیار قوی این دو پارامتر با یکدیگر داشت.
- **نسبت بیشینه‌ی سرعت زمین به بیشینه‌ی شتاب زمین:** حاصل تقسیم بیشینه‌ی سرعت زمین به شتاب زمین از پارامترهای حوزه‌ی بسامدی است، به طوری که با بیشینه‌ی شتاب زمین برای مؤلفه‌ی افقی زلزله‌های دور از گسل و مؤلفه‌ی قائم حرکات نزدیک گسل، رابطه‌ی معکوسی دارد. بدین معنا که با افزایش یکی، دیگری کاهش می‌یابد. شدت این رابطه با مقدار ضریب همبستگی بین آن‌ها سنجیده می‌شود، که تقریباً بنابر جدول ۲، متوسط است. از طرفی همان‌طور که بیان شده است، به دلیل بسیار قوی بودن رابطه بین بیشینه‌ی شتاب زمین و شدت اریاس باید انتظار داشت که این پارامتر نیز با شدت اریاس همانند بیشینه‌ی شتاب زمین، رابطه‌ی مشابهی از نظر مستقیم و معکوس بودن داشته باشند، که با توجه به ماتریس‌ها این موضوع تحقق یافته است. این پارامتر بیشترین همبستگی و کمترین پراکندگی را با دوره‌ی تناوب متوسط (دیگر پارامتر حوزه‌ی بسامدی) دارد.
- **دوره‌ی تناوب متوسط:** وضعیت این پارامتر نیز مشابه پارامتر نسبت بیشینه‌ی سرعت زمین به بیشینه‌ی شتاب زمین است.
- **دوره‌ی تناوب غالب:** این پارامتر نیز مانند دیگر پارامترهای حوزه‌ی بسامدی نه فقط همبستگی ضعیفی با دیگر پارامترها دارد، بلکه پراکندگی زیادی در بین همبستگی‌ها قابل مشاهده است، با وجود این، کمترین پراکندگی در همبستگی‌ها را با پارامترهای حوزه‌ی بسامدی دارد.
- **شدت اریاس:** همان‌طور که قبلاً ذکر شده است، بهترین پارامتری که می‌تواند بیانگر وضعیت شدت اریاس باشد، بیشینه‌ی شتاب زمین است.
- **چگالی انرژی ویژه:** نسبت به شدت اریاس پراکندگی کمتری در همبستگی با پارامترهای لرزه‌ی در ماتریس‌های مختلف دارد، به طوری که کمترین پراکندگی

که در آن، X_i و Y_i به ترتیب مقادیر متغیر وابسته و مستقل و \bar{X} و \bar{Y} میانگین این مقادیر است. اگر X و Y مستقل از یکدیگر باشند، این ضریب صفر است؛ ولی عکس این مطلب درست نیست، یعنی اگر ضریب همبستگی صفر باشد، ممکن است X و Y مستقل باشند یا نباشند و فقط می‌توان گفت بین X و Y رابطه‌ی خطی وجود ندارد. در این پژوهش، Y و X به‌عنوان پارامتر لرزه‌ی تعریف شده است. از لحاظ توصیفی مقادیر مختلف ضریب همبستگی را می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد.^[۲۹]

جامعه‌ی آماری که در این مطالعه از آن استفاده شده است، رکوردهای زلزله‌های واقعی ۳۰ شتاب‌نگاشت حوزه‌های دور و نزدیک گسل هستند، که مشخصات آن‌ها در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. رکوردهای جدول ۴، مربوط به حرکات نزدیک گسل است و شامل ۳ مؤلفه (۲ افقی و ۱ قائم) است، که از بین آن‌ها مؤلفه‌ی حرکتی عمود بر گسل و مؤلفه‌ی قائم انتخاب شده‌اند. همچنین با توجه به اثرات مخرب مؤلفه‌ی حرکتی عمود بر گسل (Fault Normal) بر تخریب سازه‌ها در رکوردهای حوزه‌ی نزدیک، این مؤلفه در تجزیه و تحلیل آماری لحاظ شده است. با توجه به اینکه یکی از الزامات اعمال گزاره‌ی آماری ضریب همبستگی بر روی جامعه، برقرار بودن توزیع نرمال بر روی جامعه است، بنابراین سعی شده است از تعداد شتاب‌نگاشت‌های زیاد استفاده شود. شتاب‌نگاشت‌های انتخابی که اطلاعات آن‌ها در جدول‌های ۳ و ۴ خلاصه شده است، از پایگاه داده‌ی دانشگاه برکلی استخراج شده‌اند. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بزرگا و نوع خاک ساختگاه حساسیت بیشتری نسبت به بقیه‌ی پارامترهای گسل، به پاسخ سازه‌ها از خود نشان می‌دهند.^[۳۰] بنابراین برای رکوردهای دور از گسل، زلزله‌ها از خاک نوع C براساس دسته‌بندی USGS با بزرگای بین ۶ تا ۷ و برای رکوردهای نزدیک گسل زلزله‌ها از خاک نوع D براساس دسته‌بندی USGS با بزرگای بین ۵/۵ تا ۷/۵ از پایگاه داده دانشگاه برکلی انتخاب شده‌اند.

پس از برداشت پارامترهای لرزه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها با استفاده از نرم‌افزار Seismosignal که مقادیر آن‌ها را می‌توان در جدول‌های ۵ الی ۷ به ترتیب برای مؤلفه‌ی افقی زلزله‌ی دور از گسل، مؤلفه‌های قائم و افقی زلزله‌ی نزدیک گسل مشاهده کرد، می‌توان آن‌ها را از طریق رابطه‌ی ۱ مورد پردازش قرار داد و ماتریسی به نام ماتریس همبستگی ایجاد کرد، که در جدول‌های ۸ الی ۱۰ به ترتیب برای مؤلفه‌ی افقی زلزله دور از گسل، مؤلفه‌های قائم و افقی زلزله‌ی نزدیک گسل مشاهده کرد. در جدول ۱۱، میانگین مقادیر پارامترها با انحراف از معیار آن‌ها ارائه شده است، تا بتوان در مورد مقادیر پارامترها برای زلزله‌های دور و نزدیک گسل قضاوت کرد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضرایب همبستگی همواره بین -۱ و ۱ متغیر بوده و همبستگی هر پارامتر با خودش ۱ است. با این ماتریس به روشنی می‌توان به رابطه‌ی بین پارامترهای لرزه‌ی با یکدیگر در حرکات دور و نزدیک گسل پی برد.

در یک نگاه کلی به ماتریس‌ها می‌توان دید که مؤلفه‌های افقی نزدیک گسل علاوه بر اینکه همبستگی‌های بالایی دارند، همبستگی معکوس نیز در بین آنها مشاهده نمی‌شود. رابطه‌ی بین مؤلفه‌ی قائم پارامترهای لرزه‌ی نزدیک گسل، شباهت زیادی با مؤلفه‌ی افقی زلزله‌های دور از گسل دارد.

جدول ۳. مشخصات زلزله‌های دور از گسل.

Station	Date	Location	NO
CDMG ۵۷۰۶۴ Fremont	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۱
CDMG ۲۴۱۵۷ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۲
UNAMUCSD ۶۶۲۲ Compuertas	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۳
USGS ۵۰۵۲ Plaster City	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۴
USGS ۱۶۵۶ Hollister Diff. Array	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۵
CDMG ۲۴۳۰۳ LA	۱۹۷۱/۹/۲	San Fernando	۶
CDMG ۵۷۵۰۴ Coyote Lake Dam	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۷
USGS ۹۳۱ El Centro Array #۱۲	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۸
UNAMUCSD ۶۶۷۱ Cucapah	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۹
CDMG ۲۴۳۰۳ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۱۰
USGS ۱۶۹۵ Sunnyvale	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۱۱
SCE ۲۳ Coolwater	۱۹۹۲/۷/۲۳	Landers	۱۲
SCE ۲۳ Coolwater	۱۹۹۲/۷/۲۳	Landers	۱۳
UNAMUCSD ۶۶۲۱ Chihuahua	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۱۴
USGS ۵۰۵۹ El Centro Array #۱۳	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۱۵
CDMG ۱۱۳۶۹ Westmorland Fire Sta	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۱۶
USC ۹۰۰۹۱ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۱۷
USC ۹۰۰۹۱ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۱۸
USGS ۵۲۱۰ Wildlife Liquef. Array	۱۹۸۷/۱۱/۲۴	Superstition Hills	۱۹
CDMG ۲۴۶۰۵ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۲۰
CDMG ۲۴۶۰۵ LA	۱۹۹۴/۱/۱۷	Northridge	۲۱
USGS ۱۰۰۲ APEEL۲	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۲۲
USGS ۱۰۰۲ APEEL۲	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Loma Prieta	۲۳
UNAMUCSD ۶۶۲۲ Compuertas	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	Imperial Valley	۲۴
CDMG ۲۴۳۰۳ LA	۱۹۷۱/۹/۲	San Fernando	۲۵
CDMG ۱۲۲۰۴ San Jacinto	۱۹۸۶/۸/۷	N. Palm Springs	۲۶
CDMG ۱۲۲۰۴ San Jacinto	۱۹۸۶/۸/۷	N. Palm Springs	۲۷
USGS ۵۰۴۳ Hurkey Creek Park	۱۹۸۶/۸/۷	N. Palm Springs	۲۸
USGS ۵۰۴۳ Hurkey Creek Park	۱۹۸۶/۸/۷	N. Palm Springs	۲۹
CDMG ۱۳۳۵ El Centro	۱۹۸۷/۱۱/۲۴	Superstition Hills	۳۰

جدول ۴. مشخصات رکوردهای نزدیک گسل.

Station	Date	Location	NO
USGS STATION ۱۱۷	۱۹۴۰/۱۹/۰۵	IMPERIAL VALLEY	۱
CDMG STATION ۱۰۱۴	۱۹۶۶/۲۸/۰۶	PARKFIELD	۲
CDMG STATION ۱۰۱۵	۱۹۶۶/۲۸/۰۶	PARKFIELD	۳
CDMG STATION ۴۷۳۸۰	۱۹۷۹/۰۶/۰۸	COYOTE LAKE	۴
CDMG STATION ۴۷۳۸۱	۱۹۷۹/۰۶/۰۸	COYOTE LAKE	۵
CDMG STATION ۵۷۳۸۲	۱۹۷۹/۰۶/۰۸	COYOTE LAKE	۶
UNAM/UCSD STATION ۶۶۱۶	۱۹۷۹/۱۵/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۷
UNAM/UCSD STATION ۶۶۱۸	۱۹۷۹/۱۵/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۸
UNAM/UCSD STATION ۶۶۲۲	۱۹۷۹/۱۵/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۹
USGS STATION ۹۵۲	۱۹۷۹/۱۵/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۱۰
CDMG STATION ۹۵۸	۱۹۷۹/۱۵/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۱۱
CDMG STATION ۵۱۶۹	۱۹۷۹/۱۶/۱۰	IMPERIAL VALLEY	۱۲
CDMG STATION ۵۴۰۹۹	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۳
CDMG STATION ۵۴۲۱۴	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۴
CDMG STATION ۵۴۲۵۴	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۵
LONG VALL DAM DOWN ST	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۶
LONG VALL DAM LEFT ST	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۷
LONG VALL DAM (L ABUT)	۱۹۸۰/۲۵/۰۵	MAMMOTH LAKES	۱۸
UNAM/UCSD STATION ۶۶۲۴	۱۹۸۰/۰۹/۰۶	VICTORIA MEXICO	۱۹
USGS STATION ۵۰۶۲	۱۹۸۱/۲۶/۰۴	WESTMORELAND	۲۰
CDMG STATION ۵۱۶۹	۱۹۸۱/۲۶/۰۴	WESTMORELAND	۲۱
USGS STATION ۱۱۶۲	۱۹۸۳/۰۲/۰۵	COALINGA	۲۲
USGS STATION ۱۱۶۲	۱۹۸۳/۰۲/۰۵	COALINGA	۲۳
USGS STATION ۱۶۰۶	۱۹۸۳/۲۲/۰۷	COALINGA	۲۴
CDMG STATION ۲۴۳۰۳	۱۹۸۳/۲۲/۰۷	COALINGA	۲۵
CDMG STATION ۴۷۳۸۰	۱۹۸۴/۲۴/۰۴	MORGAN HILL	۲۶
CDMG STATION ۴۷۳۸۱	۱۹۸۴/۲۴/۰۴	MORGAN HILL	۲۷
CDMG STATION ۵۷۴۲۵	۱۹۸۴/۲۴/۰۴	MORGAN HILL	۲۸
USGS STATION ۵۰۷۳	۱۹۸۶/۰۸/۰۷	PALM SPRINGS	۲۹
USGS STATION ۵۰۶۹	۱۹۸۶/۰۸/۰۷	PALM SPRINGS	۳۰

جدول ۵. پارامترهای لرزه‌ی مؤلفه‌ی افقی دور از گسل.

HI	SED	AI	Tm	Tp	V/A	PGD	PGV	PGA	NO
(cm)	(cm ² /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
۷۹,۷	۹,۵	۰,۳۷۴	۰,۹۳	۰,۲۴	۰,۱۱۲	۹,۸	۱۷,۶	۰,۱۶	۱
۷۲,۸	۶۹۴,۷	۰,۶۷۱	۰,۵۱	۰,۲۸	۰,۰۶۳	۶,۲	۱۴,۹	۰,۲۴	۲
۲۶,۱	۱۰۸,۵	۰,۱۷۱	۰,۳۶	۰,۲۶	۰,۰۶۶	۲,۵	۹,۵	۰,۱۵	۳
۱۸,۱	۴۱,۴	۰,۰۵۶	۰,۳۸	۰,۲۲	۰,۰۹۷	۱,۹	۵,۴	۰,۰۶	۴
۱۲۵,۲	۲۵۸۱,۷	۱,۰۳۶	۰,۸	۰,۵۲	۰,۱۳	۱۳,۱	۳۵,۶	۰,۲۸	۵
۵۲,۷	۳۳۹,۹	۰,۴۴۷	۰,۳۵	۰,۱۲	۰,۰۸۷	۶,۳	۱۴,۹	۰,۱۷	۶
۷۹,۲	۶۱۰,۸	۰,۴۶۴	۰,۵۳	۰,۱۸	۰,۱۲۹	۱۳,۲	۲۲,۶	۰,۱۸	۷
۷۱,۳	۹۶۱,۶	۰,۳۸۱	۰,۶۳	۰,۲	۰,۱۲۵	۱۱,۳	۱۷,۶	۰,۱۴	۸
۱۱۴,۶	۱۲۳۶,۸	۱,۰۲۴	۰,۵۶	۰,۲	۰,۱۲	۱۰,۷	۳۶,۳	۰,۳۱	۹
۹۵,۶	۷۲۷,۴	۲,۰۰۵	۰,۳۷	۰,۱۸	۰,۰۷۸	۳,۰	۲۷,۴	۰,۳۶	۱۰
۱۰۸,۵	۴۴۷۸,۱	۰,۶۵۱	۱,۴۶	۰,۲۸	۰,۱۸۳	۱۹,۱	۳۷,۳	۰,۲۱	۱۱
۷۸,۴	۱۰۶۳,۶	۱,۲۱۵	۰,۴۲	۰,۲۶	۰,۰۹۲	۱۳,۷	۲۵,۷	۰,۲۸	۱۲
۱۴۳,۵	۱۸۸۷,۵	۲,۱۷۲	۰,۵۵	۰,۳۴	۰,۱۰۴	۱۳,۸	۴۲,۴	۰,۴۲	۱۳
۹۵,۹	۱۱۵۳,۸	۱,۱۶۷	۰,۵۷	۰,۲۶	۰,۰۹۴	۹,۱	۲۴,۹	۰,۲۷	۱۴
۵۱,۹	۴۳۵,۱	۰,۲۶۵	۰,۵۸	۰,۲۲	۰,۱۲۸	۷,۳	۱۴,۷	۰,۱۲	۱۵
۴۴,۰	۱۶۷۳,۷	۰,۱۲۲	۱,۲۶	۰,۴۸	۰,۲۹۱	۱۶,۵	۲۱,۲	۰,۰۷	۱۶
۹۷,۳	۶۶۱,۷	۱,۱۱۷	۰,۴۷	۰,۱۴	۰,۰۷۴	۶,۶	۳۴,۵	۰,۴۷	۱۷
۱۲۲,۹	۸۷۲,۵	۱,۵۸۲	۰,۴۶	۰,۱۸	۰,۰۹	۶,۵	۳۸,۹	۰,۴۴	۱۸
۱۰۶,۷	۲۶۷۷,۷	۰,۶۹۴	۰,۹۱	۰,۱۲	۰,۱۶۹	۲۰,۱	۲۹,۹	۰,۱۸	۱۹
۷۰,۷	۳۹۶,۵	۱,۳۷۱	۰,۳۷	۰,۳۸	۰,۰۶۴	۲,۴	۳۱,۱	۰,۴۹	۲۰
۳۶,۹	۱۷۲,۹	۰,۵۳۸	۰,۳	۰,۲۲	۰,۰۵۱	۲,۴	۱۰,۸	۰,۲۱	۲۱
۸۹,۷	۵۶۶,۷	۰,۸۵۷	۰,۵۳	۰,۳	۰,۱۱	۴,۲	۲۵,۵	۰,۲۴	۲۲
۹۸,۷	۶۴۷,۶	۰,۹۰۱	۰,۵۵	۰,۳	۰,۰۸۶	۶,۰	۲۷,۹	۰,۳۳	۲۳
۳۹,۰	۲۱۴,۰	۰,۳۹۲	۰,۳۹	۰,۱	۰,۰۷۶	۲,۹	۱۳,۸	۰,۱۹	۲۴
۷۶,۹	۱۰۲,۹	۰,۶۵	۰,۵۴	۰,۲۴	۰,۰۹۲	۱۲,۴	۱۸,۹	۰,۲۱	۲۵
۳۳,۶	۷۸,۱	۰,۳۵۲	۰,۲۹	۰,۱۶	۰,۰۳۹	۱,۲	۹,۲	۰,۲۴	۲۶
۲۵,۵	۶۰,۴	۰,۳۳۶	۰,۲۸	۰,۲	۰,۰۳۹	۱,۱	۹,۶	۰,۲۵	۲۷
۱۵,۲	۱۸,۲	۰,۱۳۹	۰,۲۴	۰,۲۲	۰,۰۳۲	۰,۵	۷,۴	۰,۲۴	۲۸
۲۳,۶	۳۶,۹	۰,۱۴۶	۰,۳۳	۰,۱	۰,۰۴۹	۰,۹	۹,۱	۰,۱۹	۲۹
۱۴۵,۷	۲۹۶۷,۵	۰,۶۷۵	۰,۹۱	۰,۴۶	۰,۱۶۱	۲۰,۱	۴۰,۸	۰,۲۶	۳۰

جدول ۶. پارامترهای لرزه‌ی مؤلفه‌ی قائم نزدیک گسل.

HI (cm)	SED (cm ² /s)	AI (m/s)	Tm (sec)	Tp (sec)	V/A (sec)	PGD (cm)	PGV (cm/s)	PGA (g)	NO
۲۵٫۹	۱۴۸٫۰	۰٫۴۱۵	۰٫۱۹	۰٫۱۲	۰٫۰۵۲	۸٫۵	۱۰٫۵	۰٫۲۱	۱
۲۲٫۳	۶۱٫۸	۰٫۱۶۷	۰٫۲۸	۰٫۰۸	۰٫۰۵۱	۲٫۷	۶٫۸	۰٫۱۴	۲
۲۲٫۱	۵۳٫۵	۰٫۰۹۶	۰٫۳۲	۰٫۰۸	۰٫۰۳۷	۱٫۵	۴٫۲	۰٫۱۲	۳
۲۳٫۲	۳۱٫۷	۰٫۲۲۲	۰٫۲۰	۰٫۱۰	۰٫۰۴۳	۱٫۲	۶٫۹	۰٫۱۷	۴
۲۶٫۲	۵۸٫۴	۰٫۱۷۵	۰٫۲۷	۰٫۱۲	۰٫۰۳۳	۱٫۳	۵٫۲	۰٫۱۶	۵
۴۴٫۸	۱۴۲٫۱	۰٫۵۳۳	۰٫۲۱	۰٫۱۲	۰٫۰۳۱	۲٫۵	۱۱٫۷	۰٫۳۹	۶
۱۵٫۰	۴۱٫۴	۰٫۲۹۳	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴۰	۲٫۵	۵٫۶	۰٫۱۴	۷
۲۶٫۷	۱۴۷٫۲	۸٫۸۹۷	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱۲	۵٫۰	۱۰٫۱	۰٫۸۳	۸
۱۳٫۵	۲۱٫۳	۰٫۰۸۷	۰٫۲۳	۰٫۰۶	۰٫۰۳۹	۱٫۰	۲٫۸	۰٫۰۷	۹
۸۶٫۲	۱۱۰۳٫۵	۱٫۱۸۷	۰٫۲۹	۰٫۱۰	۰٫۰۷۳	۱۹٫۸	۳۸٫۴	۰٫۵۴	۱۰
۷۱٫۹	۹۸۷٫۹	۰٫۸۱۹	۰٫۲۷	۰٫۰۶	۰٫۰۵۲	۱۱٫۹	۲۲٫۳	۰٫۴۴	۱۱
۴٫۹	۲٫۸	۰٫۰۸۰	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۰٫۰۱۸	۰٫۲	۲٫۰	۰٫۱۱	۱۲
۷۶٫۳	۳۷۹٫۷	۱٫۴۱۸	۰٫۲۷	۰٫۰۶	۰٫۰۵۴	۵٫۹	۲۰٫۴	۰٫۳۹	۱۳
۲۴٫۲	۵۱٫۴	۰٫۲۵۰	۰٫۲۵	۰٫۱۶	۰٫۰۷۰	۱٫۷	۸٫۴	۰٫۱۲	۱۴
۳۷٫۴	۱۱۴٫۷	۰٫۵۳۲	۰٫۲۱	۰٫۱۸	۰٫۰۴۵	۲٫۵	۱۱٫۱	۰٫۲۵	۱۵
۱۱٫۴	۱۲٫۴	۰٫۰۶۳	۰٫۲۹	۰٫۲۴	۰٫۰۵۸	۰٫۴	۴٫۴	۰٫۰۸	۱۶
۱۳٫۱	۱۴٫۷	۰٫۰۶۵	۰٫۲۹	۰٫۱۶	۰٫۰۶۱	۰٫۵	۴٫۰	۰٫۰۷	۱۷
۸٫۴	۶٫۳	۰٫۰۲۹	۰٫۳۰	۰٫۰۸	۰٫۰۴۱	۰٫۳	۲٫۴	۰٫۰۶	۱۸
۷٫۸	۶٫۰	۰٫۰۱۰	۰٫۴۴	۰٫۲۴	۰٫۰۸۱	۰٫۶	۱٫۹	۰٫۰۲	۱۹
۱۹٫۹	۳۳٫۹	۰٫۳۲۸	۰٫۱۴	۰٫۰۸	۰٫۰۲۳	۱٫۱	۴٫۸	۰٫۲۱	۲۰
۱۶٫۴	۴۳٫۹	۲٫۳۹۷	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۱۳	۰٫۵	۱۰٫۳	۰٫۸۴	۲۱
۴۳٫۰	۲۴۴٫۱	۰٫۶۹۹	۰٫۳۷	۰٫۴۴	۰٫۰۶۱	۲٫۵	۱۲٫۲	۰٫۲۱	۲۲
۵۰٫۲	۳۳۳٫۷	۱٫۵۶۷	۰٫۲۷	۰٫۱۰	۰٫۰۴۶	۲٫۳	۱۶٫۱	۰٫۳۵	۲۳
۲۶٫۹	۷۹٫۸	۰٫۲۹۳	۰٫۳۴	۰٫۱۸	۰٫۰۴۹	۱٫۱	۱۰٫۲	۰٫۲۱	۲۴
۲۴٫۰	۵۲٫۹	۰٫۲۰۰	۰٫۲۸	۰٫۱۰	۰٫۰۳۶	۱٫۱	۷٫۱	۰٫۲۰	۲۵
۱۷٫۴	۲۷٫۵	۰٫۲۷۶	۰٫۱۷	۰٫۰۸	۰٫۰۱۹	۰٫۹	۱۰٫۸	۰٫۵۸	۲۶
۲۶٫۲	۵۷٫۷	۰٫۳۰۷	۰٫۲۰	۰٫۱۲	۰٫۰۲۵	۱٫۲	۹٫۹	۰٫۴۰	۲۷
۹٫۷	۱۰٫۸	۰٫۱۶۲	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۰۱۳	۰٫۹	۵٫۳	۰٫۴۳	۲۸
۲۵٫۵	۵۱٫۵	۰٫۴۳۳	۰٫۲۰	۰٫۱۰	۰٫۰۲۱	۰٫۸	۷٫۴	۰٫۳۶	۲۹
۹٫۷	۱۱٫۴	۰٫۰۶۶	۰٫۲۲	۰٫۰۶	۰٫۰۵۳	۰٫۷	۳٫۷	۰٫۰۷	۳۰

جدول ۷. پارامترهای لرزه‌یی مؤلفه‌ی افقی نزدیک گسل.

HI	SED	AI	Tm	Tp	V/A	PGD	PGV	PGA	NO
(cm)	(cm ^۲ /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
۱۲۹٫۰	۱۵۹۳٫۶	۱٫۷۰۴	۰٫۵۴	۰٫۴۶	۰٫۰۹۷	۱۳٫۰	۲۹٫۷	۰٫۳۱	۱
۸۱٫۴	۵۳۳٫۹	۰٫۸۵۸	۰٫۴۴	۰٫۳۶	۰٫۰۵۷	۵٫۱	۲۴٫۶	۰٫۴۴	۲
۳۸٫۴	۱۹۲٫۶	۰٫۳۱۳	۰٫۳۹	۰٫۱۶	۰٫۰۴۲	۳٫۶	۱۰٫۲	۰٫۲۵	۳
۴۰٫۱	۱۲۰٫۰	۰٫۲۸۷	۰٫۳۷	۰٫۱۸	۰٫۰۵۳	۲٫۳	۱۰٫۹	۰٫۲۱	۴
۷۷٫۲	۳۸۴٫۳	۰٫۴۰۵	۰٫۵۸	۰٫۱۴	۰٫۰۷۰	۳٫۴	۱۸٫۷	۰٫۲۷	۵
۷۱٫۸	۴۰۴٫۳	۰٫۶۲۴	۰٫۵۵	۰٫۲۸	۰٫۰۹۵	۲٫۶	۲۳٫۱	۰٫۲۵	۶
۱۶۲٫۷	۱۵۹۷٫۲	۱٫۱۴۵	۰٫۶۷	۰٫۱۰	۰٫۱۳۴	۱۰٫۳	۴۲٫۸	۰٫۳۳	۷
۱۲۲٫۹	۹۷۷٫۰	۱٫۵۱۱	۰٫۵۶	۰٫۰۴	۰٫۰۹۷	۱۰٫۰	۳۵٫۴	۰٫۳۷	۸
۳۹٫۰	۲۱۴٫۰	۰٫۳۹۲	۰٫۳۹	۰٫۱۰	۰٫۰۷۶	۲٫۹	۱۳٫۸	۰٫۱۹	۹
۱۶۷٫۶	۵۱۸۰٫۱	۱٫۶۵۴	۰٫۶۶	۰٫۳۴	۰٫۰۹۲	۳۵٫۴	۴۶٫۹	۰٫۵۲	۱۰
۱۸۳٫۰	۳۵۱۱٫۰	۱٫۵۹۰	۰٫۶۱	۰٫۱۰	۰٫۰۹۲	۳۲٫۳	۵۴٫۲	۰٫۶۰	۱۱
۴۱٫۳	۱۰۰٫۷	۰٫۱۷۵	۰٫۳۸	۰٫۱۰	۰٫۰۶۵	۲٫۸	۱۱٫۰	۰٫۱۷	۱۲
۱۰۳٫۱	۷۵۹٫۳	۲٫۲۵۵	۰٫۳۲	۰٫۲۲	۰٫۰۵۷	۴٫۷	۲۳٫۲	۰٫۴۲	۱۳
۶۸٫۷	۴۶۹٫۹	۱٫۳۲۴	۰٫۳۷	۰٫۱۶	۰٫۰۵۶	۷٫۵	۲۳٫۶	۰٫۴۳	۱۴
۳۳٫۷	۱۱۹٫۸	۰٫۶۷۸	۰٫۲۵	۰٫۱۴	۰٫۰۵۰	۱٫۶	۱۵٫۷	۰٫۳۲	۱۵
۲۱٫۳	۲۹٫۴	۰٫۰۷۲	۰٫۳۶	۰٫۲۴	۰٫۰۵۶	۱٫۲	۵٫۹	۰٫۱۱	۱۶
۲۳٫۹	۳۶٫۸	۰٫۰۷۲	۰٫۴۵	۰٫۲۴	۰٫۰۶۵	۱٫۱	۶٫۶	۰٫۱۰	۱۷
۲۲٫۶	۳۳٫۱	۰٫۰۶۰	۰٫۴۷	۰٫۲۶	۰٫۰۹۲	۱٫۷	۷٫۶	۰٫۰۸	۱۸
۲۷٫۴	۷۳٫۷	۰٫۰۲۹	۰٫۹۶	۰٫۳۲	۰٫۱۱۸	۲٫۶	۵٫۲	۰٫۰۴	۱۹
۶۱٫۶	۳۰۳٫۱	۰٫۵۲۲	۰٫۴۰	۰٫۱۶	۰٫۰۸۴	۴٫۴	۱۶٫۳	۰٫۲۰	۲۰
۱۷۹٫۸	۱۷۵۲٫۷	۱٫۷۵۶	۰٫۵۸	۰٫۳۶	۰٫۱۳۵	۱۰٫۶	۴۸٫۷	۰٫۳۷	۲۱
۱۳۲٫۱	۱۲۴۷٫۴	۱٫۵۷۰	۰٫۶۱	۰٫۵۰	۰٫۰۸۷	۶٫۴	۳۲٫۴	۰٫۳۸	۲۲
۱۹۷٫۰	۲۸۱۴٫۲	۴٫۱۳۵	۰٫۵۵	۰٫۵۰	۰٫۱۰۴	۸٫۸	۶۰٫۲	۰٫۵۹	۲۳
۵۵٫۳	۲۷۴٫۵	۰٫۶۹۷	۰٫۴۳	۰٫۳۲	۰٫۰۵۴	۲٫۳	۱۴٫۲	۰٫۲۷	۲۴
۴۳٫۲	۱۴۵٫۳	۰٫۵۵۵	۰٫۳۱	۰٫۱۶	۰٫۰۴۵	۱٫۴	۱۴٫۴	۰٫۳۲	۲۵
۲۵٫۵	۷۸٫۱	۰٫۱۶۱	۰٫۳۹	۰٫۲۲	۰٫۰۳۲	۱٫۴	۵٫۱	۰٫۱۶	۲۶
۴۸٫۲	۲۳۹٫۲	۰٫۳۳۶	۰٫۴۳	۰٫۱۶	۰٫۰۵۹	۲٫۴	۱۱٫۲	۰٫۱۹	۲۷
۲۰٫۰	۵۸٫۸	۰٫۲۸۳	۰٫۲۹	۰٫۱۶	۰٫۰۳۹	۲٫۱	۷٫۳	۰٫۱۹	۲۸
۳۲٫۶	۷۶٫۶	۰٫۲۵۵	۰٫۲۸	۰٫۱۴	۰٫۰۳۶	۲٫۰	۷٫۶	۰٫۲۲	۲۹
۲۲٫۹	۴۴٫۸	۰٫۱۳۳	۰٫۳۶	۰٫۱۴	۰٫۰۵۰	۱٫۱	۶٫۴	۰٫۱۳	۳۰

جدول ۸. ماتریس همبستگی پارامترهای لرزه‌یی مؤلفه‌ی افقی دور از گسل.

HI	SED	AI	Tp	Tm	V/A	PGD	PGV	PGA	
(cm)	(cm ^۲ /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
								۱	PGA (g)
							۱	۰٫۶۴	PGV (cm/s)
						۱	۰٫۶۳	-۰٫۰۹	PGD (cm)
					۱	۰٫۷۹	۰٫۴۱	-۰٫۳۳	V/A (sec)
				۱	۰٫۸۷	۰٫۸۱	۰٫۴۷	-۰٫۲۴	Tm (sec)
			۱	۰٫۴۸	۰٫۴۸	۰٫۴۱	۰٫۴۱	۰٫۰۹	Tp (sec)
		۱	۰٫۱۷	-۰٫۰۶	-۰٫۰۷	۰٫۱۶	۰٫۷۴	۰٫۸۲	AI (m/s)
	۱	۰٫۲۷	۰٫۴۶	۰٫۷۹	۰٫۶۶	۰٫۸۱	۰٫۷۱	۰٫۰۸	SED (cm ^۲ /s)
۱	۰٫۶۷	۰٫۷۲	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰٫۳۷	۰٫۶۷	۰٫۹۴	۰٫۵۳	HI (cm)

جدول ۹. ماتریس همبستگی پارامترهای لرزه‌ی مؤلفه‌ی قائم نزدیک گسل.

HI	SED	AI	Tp	Tm	V/A	PGD	PGV	PGA	
(cm)	(cm ^۲ /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
								۱	PGA (g)
							۱	۰٫۵۲	PGV (cm/s)
						۱	۰٫۸۹	۰٫۳۵	PGD (cm)
					۱	۰٫۳۵	۰٫۲۷	-۰٫۰۵	V/A (sec)
				۱	۰٫۷۷	۰٫۰۸	۰٫۰۹	-۰٫۰۵	Tm (sec)
			۱	۰٫۵۸	۰٫۴۸	-۰٫۱۳	۰٫۰۳	-۰٫۲۶	Tp (sec)
		۱	-۰٫۱۹	-۰٫۳۵	-۰٫۳۱	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۶۹	AI (m/s)
	۱	۰٫۱۶	-۰٫۰۶	۰٫۱۹	۰٫۳۵	۰٫۹۲	۰٫۹۱	۰٫۳۶	SED (cm ^۲ /s)
۱	۰٫۸۸	۰٫۱۸	-۰٫۰۱	۰٫۲۱	۰٫۳۱	۰٫۸	۰٫۹۲	۰٫۳۸	HI (cm)

جدول ۱۰. ماتریس همبستگی پارامترهای لرزه‌ی مؤلفه‌ی افقی نزدیک گسل.

HI	SED	AI	Tp	Tm	V/A	PGD	PGV	PGA	
(cm)	(cm ^۲ /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
								۱	PGA (g)
							۱	۰٫۸۷	PGV (cm/s)
						۱	۰٫۷۵	۰٫۰۷	PGD (cm)
					۱	۰٫۴۳	۰٫۶۶	۰٫۲۵	V/A (sec)
				۱	۰٫۸	۰٫۴۵	۰٫۴۶	۰٫۱۶	Tm (sec)
			۱	۰٫۳۷	۰٫۳۳	۰٫۱۴	۰٫۳۴	۰٫۲۶	Tp (sec)
		۱	۰٫۴۹	۰٫۲۴	۰٫۴۴	۰٫۴۹	۰٫۸۶	۰٫۸۳	AI (m/s)
	۱	۰٫۶۸	۰٫۳۴	۰٫۴۷	۰٫۵۱	۰٫۹۴	۰٫۸۵	۰٫۷۶	SED (cm ^۲ /s)
۱	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۳۹	۰٫۵۱	۰٫۶۸	۰٫۷۵	۰٫۹۸	۰٫۸۳	HI (cm)

جدول ۱۱. مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای لرزه‌ی بی.

HI	SED	AI	Tp	Tm	V/A	PGD	PGV	PGA	
(cm)	(cm ^۲ /s)	(m/s)	(sec)	(sec)	(sec)	(cm)	(cm/s)	(g)	
۲۷٫۶۷	۱۴۴٫۴	۰٫۷۴	۰٫۱۲	۰٫۲۴	۰٫۰۴	۲٫۷۷	۹٫۲۴	۰٫۲۷	میانگین
۲۰٫۳۹	۲۶۲٫۳۴	۱٫۶۳	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۴٫۱۲	۷٫۴۴	۰٫۲۱	انحراف معیار
۷۵٫۷۷	۷۷۸٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۲۳	۰٫۴۷	۰٫۰۷	۶٫۲۳	۲۱٫۰۹	۰٫۲۸	میانگین
۵۶٫۵۱	۱۱۹۳٫۹۸	۰٫۸۹	۰٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۰۳	۸٫۲۱	۱۵٫۸۶	۰٫۱۴	انحراف معیار
۷۴٫۶۷	۹۱۵٫۹۳	۰٫۷۳	۰٫۲۵	۰٫۵۶	۰٫۱	۸٫۱۶	۲۲٫۵	۰٫۲۴	میانگین
۳۷٫۶۹	۱۰۶۱٫۹۷	۰٫۵۴	۰٫۱۱	۰٫۲۹	۰٫۰۵	۶٫۰۵	۱۱٫۱۳	۰٫۱۱	انحراف معیار

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به طور جامع به بررسی رابطه‌ی بین پارامترهای لرزه‌ی دامنه‌ی، محتوای بسامدی و محتوای انرژی حرکات نزدیک و دور از گسل پرداخته شده است. نتایج عددی بر روی مجموعه زلزله‌های انتخابی نشان داده است که همبستگی بین پارامترهای مؤلفه‌ی افقی رکوردهای نزدیک گسل نه فقط رابطه‌ی مستقیمی دارند، بلکه میزان همبستگی‌ها نیز به طور میانگین، قوی هستند. از طرفی دیگر، رابطه‌ی بین پارامترهای مؤلفه‌های افقی و قائم حرکات نزدیک گسل به صورت قابل توجهی با هم اختلاف دارند، به طوری که در مؤلفه‌ی افقی هیچ‌گونه رابطه‌ی معکوسی بین پارامترها مشاهده نمی‌شود. در حالی که در مؤلفه‌ی قائم چندین مورد رابطه‌ی معکوس مشاهده می‌شود، که همگی متعلق به پارامترهای حوزه‌ی بسامدی هستند و از نظر میزان همبستگی نیز اختلاف‌های چشم‌گیری بین این دو مؤلفه‌ی رکوردهای نزدیک گسل مشاهده می‌شود.

پارامترهای دامنه‌ی زلزله‌ها (بیشینه‌ی شتاب، سرعت، و جابه‌جایی) نسبت به دیگر پارامترها به سهولت قابل دسترس هستند و حتی در بعضی موارد، مانند بیشینه‌ی شتاب زمین به عنوان پارامتری از زلزله در طراحی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه‌ی سرعت زمین بهتر از بیشینه‌ی شتاب زمین در پیش‌بینی دیگر پارامترهای لرزه‌ی در هر ۳ مؤلفه‌ی مورد بررسی است.

رابطه را می‌توان در بیشینه‌ی سرعت زمین، بیشینه‌ی جابه‌جایی زمین، و شدت هازنر مشاهده کرد.

• شدت هازنر: از پارامترهای مهمی است که مطالعات پیشین نشان داده و یکی از پارامترهایی است که رابطه‌ی قوی با خسارت سازه‌ها دارد. همان‌طور که از ماتریس‌ها مشاهده می‌شود، نه فقط دارای رابطه‌ی بسیار قوی با بیشینه‌ی سرعت زمین است، بلکه در هر سه ماتریس کمترین پراکندگی را نیز دارد.

لذا به نظر می‌رسد بتوان از رابطه‌ی بیشینه‌ی سرعت زمین مانند شدت هازنر برای هر زلزله، فارغ از نوع زلزله برای پاسخ سازه‌ها استفاده کرد.

از جدول ۱۱ می‌توان با مقایسه‌ی انحراف از معیارها برای پارامترهای مختلف، به ماهیت پیچیدگی زلزله‌های حوزه‌های نزدیک و دور پی برد؛ به طوری که هر چه انحراف از معیار عدد بزرگ‌تری را نشان دهد، نشان از شدیدبودن پراکندگی‌های به‌دست‌آمده دارد و این موضوع ناشی از ماهیت آن دسته از زلزله‌هاست که به دلیل پیچیدگی‌های موجود در گسلش، مسیرانتشار موج، و... باعث پراکندگی شدید مقادیر می‌شود. لذا با بررسی انحراف معیارها برای تمام پارامترها، مؤلفه‌ی قائم حوزه‌ی نزدیک، مؤلفه‌ی افقی حوزه‌ی دور و مؤلفه‌ی افقی حوزه‌ی نزدیک به ترتیب دارای کمترین انحراف معیار هستند و به همین ترتیب نیز می‌توان نگاه‌ی منطقی نسبت به پیچیده‌بودن زلزله‌های مذکور داشت.

پانویس‌ها

1. directivity effect
2. fling-step effect
3. hanging wall
4. footwall

منابع (References)

1. Hudson, D.E. and Housner, G.W. "An analysis of strong motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22", *Bull. Seism. Soc. Am.*, **48**(3), pp. 253-268 (1957).
2. Bolt, B.A. "The San Fernando valley earthquake of February 9, 1971-data on seismic hazards", *Bull. Seism. Soc. Am.*, **61**(2), pp. 501-510 (1971).
3. Bertero, V.V., Mahin, S.A. and Herrera, R.A. "Seismic design implications of nearfault San Fernando earthquake records", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **6**(1), pp. 31-42 (1978).
4. ELWood, K. and Niit, E. "The use of power for the characterization of earthquake ground motions", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 574 (1-6 August 2004).
5. Kwon, O.-S. and Elnashai, A. "The effect of material and ground motion uncertainty on the seismic vulnerability curves of RC structure", *Engineering Structure*, **28**(2), pp. 289-303 (2006).
6. Iervolino, I. and Cornell, C.A. "Probability of occurrence of velocity pulses in near-source ground motions", *Bull. Seismol. Soc. Am*, **98**(5), pp. 2262-2277 (2008).
7. Davoodi, M., Faizi, R. and Hadiani, N. "Evaluation effect of near and far field earthquakes in seismic behavior of some kind structures", *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)*, No.13 (2010).
8. Li, Sh. and Xie, L.-L. "Progress and trend on near-field problems in civil engineering", *CTA Seismologica Sinica*, **20**(1), pp. 105-114 (2007).
9. Naeim, F., *The Seismic Design Handbook*, 2nd ed., Boston: Kluwer Academic Publishers (2001).
10. Bragato, P.L. "Estimating an upper limit probability distribution for peak ground acceleration using the randomly clipped normal distribution", *Bulletin of the Seismological Society of America*, **95**(6), pp. 2058-2065 (December 2005).
11. Stewart, J.P., Chiou, Sh.-J., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A. "Ground motion evaluation procedures for performance-based design PEER", Center College of Engineering University of California, Berkeley (2001).
12. Somerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W. and Abrahamson, N.A. "Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity", *Seismological Research Letters*, **68**(1), pp. 199-222 (1997).

13. Bray, J.D. and Rodriguez-Marek, A. "Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **24**(11), pp. 815-828 (2004).
14. Kalkan, E., Adalier, K. and Pamuk, A. "Near source effects and engineering implications of recent earthquake in Turkey", *Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York, NY (2004).
15. Somerville, P.G. "Seismic hazard evaluation", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand: New Zealand Society for Earthquake Engineering, Paper No. 2833 (2000).
16. Yu, Y.-X. and Gao, M.-T. "Effect of the hanging wall and footwall on peak acceleration during the Chi-Chi earthquake Taiwan", *Acta Seismologica Sinica*, **14**(6), pp. 654-659 (2001).
17. Wang, G.Q., Zhou, X.Y., Zhang, P.Z. and Igel, H. "Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**(1), pp. 73-96 (2002).
18. Ni, Y.-J. and Zhu, X. "Analysis of acceleration peak ratios and response spectra for near-fault earthquakes", *Journal of Northern Jiaotong University*, **28**(4), pp.1-5 (2004).
19. Bozorgnia, Y., Niazi, M. and Campbell, K.W. "Characteristics of free-field vertical ground motion during the Northridge earthquake", *Earthquake Spectra*, **11**(4), pp. 515-525 (1995).
20. Boore, D.M. "Effect of baseline corrections on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake", *Bulletin of the Seismological Society of America*, **91**(5), pp. 1199-1211 (October 2001).
21. Boore, D.M. and Akkar, S. "Effect of causal and acausal filters on elastic and inelastic response spectra", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32**(11), pp. 1729-1748 (2003).
22. Boore, D.M. and Bommer, J.J. "Processing of strong-motion accelerograms: Needs, options and consequences", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **25**(2), pp. 93-115 (February 2005).
23. Moghadam, H., *Earthquake Engineering*, Tehran, Farhang publication (2002).
24. Rathje, E.M., Abrahamson, N.A. and Bray, J.D. "Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **124**(2), pp. 150-159 (1998).
25. Kramer, S.L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, p. 653 (1996).
26. Housner, G.W. "Measures of severity of earthquake ground shaking", *Proceedings of the U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute, Ann Arbor, MI. Housner GW, Jennings (1975).
27. Arias, A., *A Measure of Earthquake Intensity, Seismic Design for Nuclear Power Plants*, Hansen, R. editor Cambridge, MA: MIT Press (1970).
28. Maniyar, M.M. and Khare, R.K. "Selection of ground motion for performing incremental dynamic analysis of existing reinforced concrete buildings in India", *Current Science*, **100**(5), pp. 701-713 (2011).
29. Dowdy, S. and Wearden, S., *Statistics for Research*, Wiley, ISBN 0-471-08602-9, p. 230 (1983).
30. Yazdani, A. and Eftekhari, S.N. "Variance decomposition of the seismic response of structures", *Scientia Iranica*, Sharif University of Technology, **19**(1), pp. 84-90 (2012).