

DOI: 10.48303/bese.2021.246084

## نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

شدت جنبش نیرومند زمین توسط پارامترهای مختلفی قابل شناسایی است که میزان همبستگی آنها با پاسخ سازه به عوامل مختلفی از جمله نوع و ارتفاع سازه، پاسخ اندازه‌گیری شده، نوع خاک، پارامتر لرزه‌ای مورد بررسی و ... بستگی دارد. در این پژوهش به ارزیابی همبستگی پارامترهای لرزه در حوزه دور و نزدیک از گسل با شاخص‌های خرابی قاب‌های خمشی فولادی پرداخته شده است. بدین منظور قاب‌های دو بعدی با ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه و سه دهانه در نظر گرفته شدند. تعداد ۱۰۷ جفت رکورد زلزله شامل ۱۰۰ رکورد حوزه دور و ۱۱۴ رکورد حوزه نزدیک به گسل از بانک داده‌های PEER انتخاب شدند. تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی توسط نرم‌افزار OpenSEES بر روی سازه‌ها انجام شد. سپس همبستگی بین پارامترهای جنبش نیرومند زمین با شاخص‌های خرابی حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده در قاب با استفاده از رابطه‌ی پیرسون محاسبه گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پارامترهای شتاب طیفی در مود اول نوسان ((Sa(T1)، Cordova، شدت طیف سرعت<sup>۱</sup> و شدت هاوزنر<sup>۲</sup> در هر دو حوزه دور و نزدیک به گسل قوی‌ترین همبستگی را با پاسخ حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده دارند. همچنین نتایج نشان داد که در بیشتر موارد، تفاوت معنی‌داری در همبستگی اکثر پارامترهای لرزه‌ای با پاسخ سازه برای هر دو نوع خاک C و D وجود ندارد. همچنین اختلاف به وجود آمده در همبستگی بین پاسخ سازه و پارامترهای لرزه در اثر تغییر ارتفاع قاب در زلزله‌های نزدیک به گسل مشهودتر است.

**واژگان کلیدی:** پارامترهای جنبش نیرومند زمین، قاب خمشی فولادی، زلزله دور و نزدیک به گسل، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، همبستگی.

## همبستگی بین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در زلزله‌های دور و نزدیک گسل و پاسخ سازه‌های قاب خمشی فولادی

## اصغر بهادری

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

## سید محمد متولی امامی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، sm.emami@pci.iaun.ac.ir

## ۱- مقدمه

رکوردهای لرزه‌ای نیز عموماً به وسیله‌ی پارامترهای نشان‌دهنده‌ی حداکثر حرکت زمین، میزان انرژی زلزله، مدت زمان وقوع زلزله و پارامترهای مرتبط با طیف‌های پاسخ تعیین می‌شوند. از این رو انتخاب پارامترهای مناسب با پاسخ سازه و شدت جنبش نیرومند زمین که بیان‌گر تحریک ناشی از زلزله به سازه باشد حائز اهمیت است. به بیان دیگر همبستگی میان پارامترهای جنبش نیرومند زمین و پاسخ سازه برای برآورد میزان آسیب وارده بر سازه‌ها بسیار مهم است.

شدت یک زمین‌لرزه که با خسارت ایجاد شده در سازه رابطه دارد، با پارامترهای گوناگونی که در ادبیات فنی توسط محققان پیشنهاد و معرفی شده است، قابل بیان است. با این وجود، پارامتری از زلزله که با آن بتوان خسارت وارد بر سازه را اندازه‌گیری کرد و وابسته به فاکتورهای مختلفی از جنبش نیرومند زمین مانند دامنه، مدت زمان، تعداد سیکل‌ها باشد، توسط محققان قابل بررسی است [۱]. شاخص‌های خرابی در ارزیابی میزان خسارت‌های وارد شده به سازه در اثر زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصات

طبقه بود که برای برآورد خسارت آن شاخص پارک-انگ و حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات را در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که شدت طیف سرعت (VSI)، شدت هازنر و  $S_a(T_1)$  قوی‌ترین همبستگی و پارامترهای مرسوم همچون حداکثر شتاب زمین همبستگی ضعیفی با پاسخ سازه را دارند [7]. باربوسا و همکاران [8] تأثیر مدت زمان زلزله برای تخمین آسیب‌های وارده به سازه‌های قاب‌های خمشی فولادی را بررسی کرد. وی مطالعه تحلیلی خود را برای ارزیابی خسارت سازه‌های قاب خمشی فولادی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه، واقع در مرکز شهرهای سیاتل و واشنگتن و ارتباط آن با مدت زمان جنبش نیرومند زمین انجام داد. ۴۴ رکورد زلزله برای تحلیل‌های دو بعدی دینامیکی غیرخطی افزاینده در نرم‌افزار DRAIN-2DX به کار گرفته شد. پاسخ‌های سازه در قالب حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدت زمان زلزله بر روی پاسخ حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات تأثیر دارد و پیشنهاد شد که آئین‌نامه‌های لرزه‌ای این اثرات را بر هر دو رویکرد طراحی بر اساس مقاومت و طراحی بر اساس عملکرد، در نظر بگیرند [8]. نیکو و همکاران [9] به ارزیابی رابطه بین پارامترهای لرزه‌ای شتاب با شاخص خرابی پارک-انگ اصلاح شده و حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات در سازه بتنی پرداختند. پارامترهای لرزه‌ای انتخاب شده از این رکوردها شامل PGA، PGD، PGV، چگالی انرژی مشخصه<sup>۴</sup> (SED) و شدت آریاس بودند. آنها با انتخاب ۱۸ رکورد زلزله در حوزه نزدیک به گسل و همچنین ۱۵ رکورد زلزله برای حوزه دور از گسل، تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی سه قاب بتنی با دیوار برشی و سه قاب خمشی بتنی با ۴، ۶ و ۸ طبقه انجام دادند. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین PGV و SED با شاخص خرابی وجود دارد و این همبستگی با افزایش ارتفاع و زمان تناوب طبیعی سازه افزایش می‌یابد. همچنین PGV در سازه‌های بلند مرتبه می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای پیش‌بینی خرابی در سازه انتخاب شود [۹]. حبیبی و جامی [۱۰] به مطالعه همبستگی جابه‌جایی هدف در سازه‌های فولادی با پارامترهای زلزله پرداختند.

محققان مطالعات بسیاری در رابطه با همبستگی بین پارامترهای زلزله و خرابی سازه انجام داده‌اند. در مطالعاتی همبستگی بین پاسخ سازه‌های با قاب خمشی بتن مسلح با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و حداکثر شتاب بام بررسی شد و این نتیجه حاصل شد که پارامترهای وابسته به انرژی، همبستگی قوی و حداکثر شتاب زمین همبستگی ضعیفی با شاخص خرابی دارد [۲-۳]. در تحقیقی که چن و وی برای به دست آوردن همبستگی بین شاخص خرابی کلی در قاب ۶ طبقه بتن مسلح با ۴۵۰ رکورد مصنوعی زلزله انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که شدت آریاس<sup>۳</sup> و PGA همبستگی قوی با شاخص خرابی دارند [۴]. چن و همکاران [۵] برای پیدا کردن همبستگی بین شاخص‌های خرابی کلی و پارامترهای لرزه‌ای از ۸۹ رکورد زلزله استفاده کردند که شامل ۱۹ رکورد زلزله‌ی نزدیک به گسل با پالس سرعت و ۳۰ رکورد نزدیک به گسل بدون پالس سرعت و ۴۰ رکورد زلزله‌ی دور از گسل بود. آنها دریافتند که PGA، طیف شتاب، طیف جابه‌جایی همبستگی ضعیفی با شاخص‌های خرابی دارد در حالی که پارامترهای لرزه‌ای وابسته به سرعت با پاسخ سازه همبستگی قوی دارند. آکار و اوزن [۶] به بررسی تأثیر PGV بر تقاضای تغییر شکل سیستم یک درجه آزاد پرداختند. در این پژوهش ۶۰ رکورد زلزله را به سه قسمت تقسیم کردند که قسمت اول برای PGV با سرعت کمتر از ۲۰ سانتی‌متر بر ثانیه و دو قسمت دیگر به ترتیب سرعت‌های حداکثر بین ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بر ثانیه داشتند. رکوردهای انتخابی دارای فواصل بین ۲/۵ تا ۲۳ کیلومتر، بزرگای زلزله بین ۵/۵ تا ۷/۶ ریشتر و فرکانسی بین ۰/۱ تا ۰/۲ هرتز بودند. نتیجه این پژوهش نشان داد که حداکثر سرعت زمین بالاترین همبستگی را در مقایسه با سایر پارامترهای بررسی شده با پاسخ سازه دارد. کاو و رونق [۷] در سال ۲۰۱۴ به بررسی همبستگی بین پارامترهای لرزه‌ای رکوردهای دور از گسل و شاخص خرابی قاب‌های بتنی کوتاه مرتبه پرداختند. در این مقاله از ۱۰۴۰ رکورد دور از گسل با Rrup بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۱۰۰ کیلومتر استفاده شد. سازه مورد بررسی یک قاب سه

داد پارامترهای وابسته به سرعت نظیر شدت هاووزنر، جذر میانگین مربعات سرعت ( $V_{rms}$ )، VSI و PGV به خوبی با پاسخ جابه‌جایی غیرالاستیک سازه‌های میان مرتبه در خاک نرم ارتباط دارند.

همان‌طور که ملاحظه گردید مطالعات زیادی سعی در معرفی بهترین پارامتر زلزله جهت تعیین خسارت ایجاد در سازه‌ها را دارند. هرچند مطالعه جامعی که پارامترهای زلزله در حوزه دور و نزدیک به گسل بر روی محدوده‌ی پروده‌های مختلف سازه را انجام دهد مشاهده نشد؛ بنابراین در این مقاله همبستگی بین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در زلزله‌های دور و نزدیک به گسل و شاخص خرابی سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۱۰۰ رکورد زلزله با فواصل بین ۱۰ تا ۷۷ کیلومتر، برای زلزله‌های دور از گسل و ۱۱۴ رکورد با فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر برای زلزله‌های نزدیک گسل انتخاب شد. قاب‌های مورد مطالعه از نوع قاب خمشی فولادی با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ انتخاب شدند. جهت برآورد پاسخ سازه، شاخص‌های خرابی شامل حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی جذب شده در قاب‌ها استفاده شد.

## ۲- رکوردهای زلزله و پارامترهای آن

رکوردهای دور از گسل شامل ۲۲ جفت رکورد از دستورالعمل FEMA P695 [۱۹] و ۷۸ رکورد از پایگاه داده PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) که ویژگی‌های آن شبیه پیشنهاد دستورالعمل مذکور است، انتخاب شدند. همچنین ۵۷ رکورد دور از گسل شامل ۲۷ رکورد از FEMA P695 و ۳۰ رکورد از پایگاه PEER انتخاب شدند. لازم به ذکر است که مشخصات رکوردهای انتخابی از پایگاه PEER مشابه رکوردهای پیشنهادی دستورالعمل FEMA-P695 بوده که در ادامه شرح داده شده است.

- بزرگی زلزله بین ۶/۵ تا ۷/۶

- مشخصات خاک بر اساس NEHRP خاک نوع C و D

- گسلش از نوع معکوس یا امتدادلغز

آنها گزارش کردند که علاوه بر آنکه PGA همبستگی پایینی با جابه‌جایی سازه دارد، پارامترهای محاسبه شده در حوزه فرکانس مانند زمان تناوب متوسط ( $T_m$ ) نیز با پاسخ غیرخطی سازه همبستگی پایینی دارند [۱۰]. هاووزنر [۱۱] نیز به این نتیجه رسیدند که نمی‌توان پدیده‌ی پیچیده زلزله را با تک پارامتری مانند بیشینه شتاب زمین توصیف کرد. برآورد مقدار آسیب وارده به سازه در اثر زلزله نشان می‌دهد که نسبت یکسانی بین همه‌ی پارامترهای حرکت زمین و پاسخ سازه‌ها وجود ندارد و این نسبت بین هر پارامتر زلزله و پاسخ سازه متفاوت می‌باشد، لذا مطالعات برای دسته‌بندی پارامتر مؤثر برای انواع خاک و سیستم سازه‌ای به منظور پیش‌بینی صحیح از رفتار زلزله و کاهش خسارات احتمالی ضروری است [۱۱]. برخی دیگر از مطالعات در ادبیات فنی نشان دادند که آسیب‌های وارده بر ساختمان‌ها پس از زلزله‌های شدید با پارامترهای مختلف زلزله، همبستگی‌های متفاوتی دارند [۱۲-۱۵]. کناری و چلیکاگ [۱۶] همبستگی بین شدت‌های اندازه‌گیری جنبش نیرومند زمین و شاخص‌های خرابی قاب‌های میان‌پرنمایی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در مطالعه خود از دو سری شتاب‌نگاشت معمولی و با پالس استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که از میان شدت‌های مورد مطالعه، شتاب و سرعت طیفی بیشترین همبستگی را با شاخص خرابی حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات قاب فولادی میان‌پرن دارد. پینزون و همکاران [۱۷] با انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی میزان همبستگی پارامترهای جنبش نیرومند زمین با پاسخ حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی با ۳، ۷ و ۱۳ طبقه را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که پایین‌ترین همبستگی مربوط به PGA و بالاترین آن در دو شدت PGV و جذر میانگین مربعات سرعت<sup>۵</sup> ( $V_{rms}$ ) مشاهده می‌شود. در نهایت یک شدت اندازه‌گیری جدید به نام  $I_{A-PGV}$  پیشنهاد دادند که هر دو مقدار PGV و مدت‌زمان معنی‌دار<sup>۶</sup> را در نظر می‌گیرد. کمال و اینل [۱۸] در مطالعه خود به بررسی همبستگی بین پارامترهای زلزله و پاسخ جابه‌جایی ساختمان‌های بتن‌آرمه میان‌مرتبه‌ی واقع در خاک‌های نرم پرداختند. نتایج نشان

- حداقل و حداکثر فاصله ( $R_{jb}$ ) ۱۰ کیلومتر به ترتیب برای - حداقل PGV برابر ۱۵ سانتی متر بر ثانیه  
 رکوردهای دور و نزدیک به گسل  
 مشخصات رکوردهای دور و نزدیک گسل انتخابی در  
 - حداکثر شتاب زمین PGA برابر  $0.20g$   
 جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): رکوردهای دور از گسل استفاده در تحلیل.

ردیف	RSN	زلزله	سال	$M_w$	نام ایستگاه	$V_s$ (متر بر ثانیه)	نوع خاک براساس (NEHRP)	سازوکار گسل	Rrup
۱	۹۵۳	نورثریج	۱۹۹۴	۶/۷	Beverly Hills	۳۵۶	D	Thrust	۱۷/۱۵
۲	۹۶۰	نورثریج	۱۹۹۴	۶/۷	Canyon Country	۳۰۹	D	Thrust	۱۲/۴۴
۳	۱۶۰۲	دوزجه، ترکیه	۱۹۹۹	۷/۱	Bolu	۳۲۶	D	Strike-Slip	۱۲/۰۴
۴	۱۷۸۷	هکتور ماین	۱۹۹۹	۷/۱	Hector	۶۸۵	C	Strike-Slip	۱۱/۶۶
۵	۱۶۹	ایمپریال ولی	۱۹۷۹	۶/۵	Delta	۲۷۵	D	Strike-Slip	۲۲/۰۳
۶	۱۷۴	ایمپریال ولی	۱۹۷۹	۶/۵	El Centro Array	۱۹۶	D	Strike-Slip	۱۲/۵۶
۷	۱۱۱۱	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	Nishi-Akashi	۶۰۹	C	Strike-Slip	۷/۰۸
۸	۱۱۱۶	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	Shin-Osaka	۲۵۶	D	Strike-Slip	۱۹/۱۵
۹	۱۱۵۸	کوجائیلی، ترکیه	۱۹۹۹	۷/۵	Duzce	۲۷۶	D	Strike-Slip	۱۵/۳۷
۱۰	۱۱۴۸	کوجائیلی، ترکیه	۱۹۹۹	۷/۵	Arcelik	۵۲۳	C	Strike-Slip	۱۳/۴۹
۱۱	۹۰۰	لاندرز	۱۹۹۲	۷/۳	Yermo Fire Station	۳۵۴	D	Strike-Slip	۲۳/۶۲
۱۲	۸۴۸	لاندرز	۱۹۹۲	۷/۳	Coolwater	۲۷۱	D	Strike-Slip	۱۹/۷۴
۱۳	۷۵۲	لوماپریتا	۱۹۸۹	۶/۹	Capitola	۲۸۹	D	Strike-Slip	۱۵/۲۳
۱۴	۷۶۷	لوماپریتا	۱۹۸۹	۶/۹	Gilroy Array	۳۵۰	D	Strike-Slip	۱۲/۸۲
۱۵	۱۶۳۳	منجیل، ایران	۱۹۹۰	۷/۴	Abbar	۷۲۴	C	Strike-Slip	۱۲/۵۵
۱۶	۷۲۱	Superstition Hills	۱۹۸۷	۶/۵	El Centro Imp. Co. Cent	۱۹۲	D	Strike-Slip	۱۸/۲
۱۷	۷۲۵	Superstition Hills	۱۹۸۷	۶/۵	Poe Road (temp)	۲۰۸	D	Strike-Slip	۱۱/۱۶
۱۸	۱۲۴۴	چیچی، تایوان	۱۹۹۹	۷/۶	CHY101	۲۵۹	C	Thrust	۹/۹۴
۱۹	۱۴۸۵	چیچی، تایوان	۱۹۹۹	۷/۶	TCU045	۷۰۵	D	Thrust	۲۶
۲۰	۶۸	سانفرناندو	۱۹۷۱	۶/۶	LA - Hollywood Stor FF	۳۱۶	C	Thrust	۲۲/۷۷
۲۱	۱۲۵	فریلی، ایتالیا	۱۹۷۶	۶/۵	Tolmezzo	۴۲۵	D	Thrust	۱۵/۸۲
۲۲	۱۰۷۷	نورثریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۷	Santa Monica City Hall	۳۳۶	D	Reverse	۲۶/۴۵
۲۳	۱۰۰۳	نورثریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۷	LA - Saturn St	۳۰۸	D	Reverse	۲۷/۰۱
۲۴	۹۹۸	نورثریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۷	LA - N Westmoreland	۳۱۵	D	Reverse	۲۶/۷۳
۲۵	۹۹۹	نورثریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۷	LA - Obregon Park	۳۴۹	D	Reverse	۳۷/۳۶
۲۶	۵۷	سانفرناندو	۱۹۷۱	۶/۶	Castaic - Old Ridge Route	۴۵۰	C	Reverse	۲۲/۶۳
۲۷	۳۳	پارکفیلد	۱۹۶۶	۶/۲	Temblor pre-1969	۵۲۷	C	Strike Slip	۱۵/۹۶
۲۸	۷۷۰	لوماپریتا	۱۹۸۹	۶/۹	Gilroy Array #7	۳۳۳	D	Reverse	۲۲/۶۸
۲۹	۴۸۴۶	چوتسو-اکی	۲۰۰۷	۶/۸	Joetsu Yanagishima paddocks	۶۰۵	C	Reverse	۳۱/۴۳
۳۰	۴۸۴۵	چوتسو-اکی	۲۰۰۷	۶/۸	Joetsu Oshimaku Oka	۶۱۰	C	Reverse	۲۲/۴۸

ادامه جدول (۱).

Rrup	سازوکار گسل	نوع خاک براساس (NEHRP)	Vs (متر بر ثانیه)	نام ایستگاه	M <sub>w</sub>	سال	زلزله	RSN	ردیف
۲۰/۳۴	Reverse	C	۵۶۱	Coyote Lake Dam	۶/۹	۱۹۸۹	لوماپریتا	۷۵۵	۳۱
۷۶/۹۷	Reverse	D	۱۹۸	Emeryville; Pacific Park #2	۶/۹	۱۹۸۹	لوماپریتا	۷۵۸	۳۲
۲۵/۹۱	Reverse	C	۵۱۵	Loleta Fire Station	۷/۰	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۳۷۵۰	۳۳
۲۳/۴۴	Reverse	C	۴۳۰	Ojiya City	۶/۸	۲۰۰۷	چوتسو-اکی	۴۸۶۸	۳۴
۲۰/۱۸	Reverse	C	۴۷۹	MYG004	۶/۹	۲۰۰۸	ایوات	۵۶۶۳	۳۵
۲۰/۷۲	Reverse	C	۴۵۰	Castaic - Old Ridge Route	۶/۷	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۹۶۳	۳۶
۱۶/۰۴	Reverse	D	۲۳۳	CHY036	۷/۶	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۲۰۳	۳۷
۱۹/۸۳	Reverse	C	۴۹۲	CHY041	۷/۶	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۲۰۵	۳۸
۳۵	Reverse	C	۵۲۰	TCU047	۷/۶	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۴۸۷	۳۹
۴۵/۱۸	Reverse	C	۴۴۶	TCU095	۷/۶	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۲۴	۴۰
۲۲/۳۷	Reverse	C	۴۹۶	CHY080	۶/۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۲۴۹۵	۴۱
۲۶/۰۵	Reverse	D	۳۰۵	TCU065	۶/۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۲۶۱۸	۴۲
۲۲/۷۴	Reverse	C	۶۵۵	Joetsu Urugawaraku Kamabucchi	۶/۸	۲۰۰۷	چوتسو-اکی	۴۸۴۲	۴۳
۶۰/۸۹	Reverse	D	۳۰۶	SMART1 M02	۶/۳	۱۹۸۶	اسمارت ۱، تایوان	۳۶۴۳	۴۴
۱۸/۳۱	Reverse	C	۴۵۹	Centerville Beach, Naval Fac	۷/۰	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۳۷۴۶	۴۵
۱۹/۳۲	Reverse	C	۳۷۸	Ferndale Fire Station	۷/۰	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۳۷۴۸	۴۶
۲۰/۴۱	Reverse	D	۳۵۵	Fortuna Fire Station	۷/۰	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۳۷۴۹	۴۷
۲۰/۲۶	Reverse	C	۴۸۸	Anderson Dam (Downstream)	۶/۹	۱۹۸۹	لوماپریتا	۷۳۹	۴۸
۲۳/۴۴	Reverse	C	۴۳۰	Ojiya City	۶/۸	۲۰۰۷	چوتسو-اکی	۴۸۸۲	۴۹
۱۷/۹۳	Reverse	C	۴۱۴	Joetsu Ogataku	۶/۸	۲۰۰۷	چوتسو-اکی	۴۸۴۸	۵۰

جدول (۲): رکوردهای نزدیک گسل استفاده در تحلیل.

Rrup	سازوکار گسل	نوع خاک براساس (NEHRP)	Vs (متر بر ثانیه)	نام ایستگاه	M <sub>w</sub>	سال	زلزله	RSN	ردیف
۷/۲۹	Strike-Slip	D	۲۴۲/۰۵	Chihuahua	۶/۵	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۶۵	۱
۲/۶۶	Strike-Slip	D	۲۲۳/۰۳	Bonds Corner	۶/۵	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۶۰	۲
۹/۶	Thrust	C	۶۰۵/۰۴	Site 1	۶/۷۶	۱۹۸۵	ناهانی، کانادا	۴۹۵	۳
۴/۹۳	Thrust	C	۶۰۵/۰۴	Site 2	۶/۷۶	۱۹۸۵	ناهانی، کانادا	۴۹۶	۴
۱۰/۷۲	Strike-Slip	C	۴۷۶/۵۴	BRAN	۶/۹۳	۱۹۸۹	لوماپریتا	۷۴۱	۵
۳/۸۵	Strike-Slip	C	۴۶۲/۲۴	Corralito	۶/۹۳	۱۹۸۹	لوماپریتا	۷۵۳	۶
۶/۹۶	Thrust	C	۵۶۷/۷۸	Cape Mendocino	۷/۰۱	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۸۲۵	۷
۵/۴۶	Thrust	C	۲۵۹/۵۹	Karakyr	۶/۸	۱۹۷۶	گازلی، شوروی سابق	۱۲۶	۸
۸/۴۴	Thrust	C	۳۸۰/۰۶	LA - Sepulveda VA Hospital	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۰۴	۹
۱۲/۰۹	Thrust	D	۲۸۰/۸۶	Northridge - 17645 Saticoy St	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۴۸	۱۰

## ادامه جدول (۲).

Rrup	سازوکار گسل	نوع خاک براساس (NEHRP)	Vs (متر بر ثانیه)	نام ایستگاه	M <sub>w</sub>	سال	زلزله	RSN	ردیف
۴/۸۳	Strike-Slip	D	۲۹۷	Yarimca	۷/۵۱	۱۹۹۹	کوجائیلی، ترکیه	۱۱۷۶	۱۱
۰/۶۲	Thrust	C	۴۳۳/۶۳	TCU067	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۰۴	۱۲
۱۱/۴۸	Thrust	C	۶۶۵/۲	TCU084	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۱۷	۱۳
۲/۷۴	Strike-Slip	C	۳۲۹/۴	TAPS Pump Station #10	۷/۹	۲۰۰۲	دنالی، آلاسکا	۲۱۱۴	۱۴
۱/۳۵	Strike-Slip	D	۲۰۳/۲۲	El Centro Array #6	۶/۵۳	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۸۱	۱۵
۰/۵۶	Strike-Slip	D	۲۱۰/۵۱	El Centro Array #7	۶/۵۳	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۸۲	۱۶
۱۰/۸۴	Normal	B	۳۸۲	Sturmo (STN)	۶/۹	۱۹۸۰	ایرینیا، ایتالیا-۰۱	۲۹۲	۱۷
۰/۹۵	Strike-Slip	D	۳۴۸/۶۹	Parachute Test Site	۶/۵۴	۱۹۸۷	Superstition Hills-02	۷۲۳	۱۸
۴/۳۸	Strike-Slip	D	۳۵۲/۰۵	Erzincan	۶/۶۹	۱۹۹۲	ارزیکان، ترکیه	۸۲۱	۱۹
۸/۱۸	Thrust	C	۴۲۲/۱۷	Petrolia	۷/۰۱	۱۹۹۲	کیپ مندوسینو	۸۲۸	۲۰
۲/۱۹	Strike Slip	C	۱۳۶۹	Lucerne	۷/۲۸	۱۹۹۲	لاندرز	۸۷۹	۲۱
۶/۵	Thrust	D	۲۸۲/۲۵	Rinaldi Receiving Sta	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۶۳	۲۲
۵/۳	Thrust	C	۴۴۰/۵۴	Sylmar - Olive View Med FF	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۸۶	۲۳
۷/۲۱	Strike Slip	B	۸۱۱	Izmit	۷/۵۱	۱۹۹۹	کوجائیلی، ترکیه	۱۱۶۵	۲۴
۰/۵۷	Thrust	D	۳۰۵/۸۵	TCU065	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۰۳	۲۵
۱/۴۹	Thrust	C	۷۱۴/۲۷	TCU102	۷/۶	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۲۹	۲۶
۶/۵۸	Strike Slip	D	۲۸۱/۸۶	Duzce	۷/۱	۱۹۹۹	دوزجه، ترکیه	۱۶۰۵	۲۷
۸/۵	Reverse	C	۳۸۰/۸۹	Saratoga - Aloha Ave	۶/۹۳	۱۹۸۹	لوماپریتا	۸۰۲	۲۸
۵/۴۳	Reverse	C	۳۳۳/۰۷	Jensen Filter Plant Administrative Building	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۹۸۲	۲۹
۵/۴۳	Reverse	C	۵۲۵/۷۹	Jensen Filter Plant Generator Building	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۹۸۳	۳۰
۵/۹۲	Reverse	C	۶۲۸/۹۹	LA Dam	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۱۳	۳۱
۷/۲۶	Reverse	C	۵۰۸/۰۸	Pacoima Kagel Canyon	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۵۲	۳۲
۵/۱۹	Reverse	C	۳۷۰/۵۲	Sylmar - Converter Sta East	۶/۶۹	۱۹۹۴	نورتریج-۰۱	۱۰۸۵	۳۳
۳/۷۶	Reverse	C	۴۸۷/۲۷	TCU049	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۴۸۹	۳۴
۰/۶۶	Reverse	C	۵۷۹/۱	TCU052	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۴۹۲	۳۵
۰/۳۲	Reverse	C	۴۸۷/۳۴	TCU068	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۰۵	۳۶
۰/۸۹	Reverse	C	۵۷۳/۰۲	TCU075	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۱۰	۳۷
۲/۷۴	Reverse	C	۶۱۴/۹۸	TCU076	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۱۱	۳۸
۲/۱۱	Reverse	C	۳۸۹/۴۱	TCU101	۷/۶۲	۱۹۹۹	چی چی، تایوان	۱۵۲۸	۳۹
۴۵/۱۸	Strike Slip	C	۴۸۷/۴	Bam	۶/۶	۲۰۰۳	بم، ایران	۴۰۴۰	۴۰
۲۲/۳۷	Reverse	C	۴۶۲/۲۳	Bar-Skupstina Opstine	۷/۱	۱۹۷۹	مونتنکرو، یوگسلاوی	۴۴۵۱	۴۱
۲۶/۰۵	Strike Slip	C	۶۹۰	IRIGM 487	۷/۱۴	۱۹۹۹	دوزجه، ترکیه	۸۱۶۴	۴۲
۲۲/۷۴	Strike Slip	D	۲۴۲/۰۵	Agrarias	۶/۶۹	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۵۹	۴۳
۶۰/۸۹	Strike Slip	D	۱۹۲/۰۵	EC County Center FF	۶/۶۹	۱۹۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۷۰	۴۴

ادامه جدول (۲).

ردیف	RSN	زلزله	سال	Mw	نام ایستگاه	Vs (متر بر ثانیه)	نوع خاک براساس (NEHRP)	سازوکار گسل	Rrup
۴۵	۱۷۱	ایمپریال ولی-۰۶	۱۹۷۹	۶/۶۹	El Centro - Meloland Geot. Array	۲۶۴/۵۷	D	Strike Slip	۱۸/۳۱
۴۶	۱۷۹	ایمپریال ولی-۰۶	۱۹۷۹	۶/۵۳	El Centro Array #4	۲۰۸/۹۱	D	Strike Slip	۱۹/۳۲
۴۷	۱۸۰	ایمپریال ولی-۰۶	۱۹۷۹	۶/۵۳	El Centro Array #5	۲۰۵/۶۳	D	Strike Slip	۲۰/۴۱
۴۸	۱۸۴	ایمپریال ولی-۰۶	۱۹۷۹	۶/۵۳	El Centro Differential Array	۲۰۲/۲۶	D	Strike Slip	۲۰/۲۶
۴۹	۱۸۵	ایمپریال ولی-۰۶	۱۹۷۹	۶/۵۳	Holtville Post Office	۲۰۲/۸۹	D	Strike Slip	۲۳/۴۴
۵۰	۱۰۴۴	نورث‌ریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۶۹	Newhall - Fire Sta	۲۶۹/۱۴	D	Reverse	۱۷/۹۳
۵۱	۱۰۵۴	نورث‌ریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۶۹	Newhall - W Pico Canyon Rd.	۲۸۵/۹۳	D	Reverse	۵/۴۸
۵۲	۱۰۵۴	نورث‌ریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۶۹	Pardee - SCE	۳۲۵/۶۷	D	Reverse	۷/۴۶
۵۳	۱۰۸۴	نورث‌ریج-۰۱	۱۹۹۴	۶/۶۹	Sylmar - Converter Sta	۲۵۱/۲۴	D	Reverse	۵/۳۵
۵۴	۱۱۰۶	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	KJMA	۳۱۲	D	Strike Slip	۰/۹۶
۵۵	۱۱۱۴	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	Port Island (0 m)	۱۹۸	D	Strike Slip	۳/۳۱
۵۶	۱۱۱۹	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	Takarazuka	۳۱۲	D	Strike Slip	۰/۲۷
۵۷	۱۱۲۰	کوبه، ژاپن	۱۹۹۵	۶/۹	Takatori	۲۵۶	D	Strike Slip	۱/۴۷

مورد بررسی قرار داد. این شاخص‌های خرابی معمولاً وابسته به جابه‌جایی هستند مانند حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و حداکثر جابه‌جایی بام نسبت به تراز پایه‌ی سازه و یا وابسته به انرژی مستهلک شده در سازه بوده و یا شاخص‌های خرابی به صورت ترکیبی مانند شاخص پارک-انگ [۲۱] که مرتبط با جابه‌جایی و انرژی است، پیشنهاد شده است.

حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات یک شاخص کلی خرابی است که برای ارزیابی سازه استفاده می‌شود. جابه‌جایی نسبی طبقه به ارتفاع آن مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$ID = \frac{u_m}{h} \quad (1)$$

که در آن  $u_m$  جابه‌جایی نسبی طبقه و  $h$  ارتفاع طبقه می‌باشد. دیگر پاسخ سازه که مورد بررسی قرار گرفته است، انرژی جذب شده توسط قاب فولادی می‌باشد که از به دست آمدن مساحت زیر نمودار برش پایه و جابه‌جایی بام و به روش انتگرال‌گیری دوزنقه‌ای به دست می‌آید [۲۲]. یک نمونه از منحنی برش پایه برحسب جابه‌جایی بام رکورد زلزله نورث‌ریج سال ۱۹۹۴ برای قاب سه طبقه در شکل (۱) نشان داده شده است.

پارامترهای لرزه‌ای زیادی در ادبیات فنی معرفی شده‌اند. تعدادی از آنها به صورت مستقیم از نگاهت ثبت شده و تعدادی دیگر به صورت غیر مستقیم از تحلیل بر روی نگاهت ثبت شده به دست می‌آیند. در جدول (۳) تعداد ۲۶ پارامتر زلزله استفاده شده در این مقاله به همراه تعریف و نوع وابستگی آنها به شتاب، سرعت، فرکانس، زمان و انرژی قابل مشاهده است. برای تعریف و روند محاسبه این پارامترها می‌توان به مرجع [۲۰] مراجعه کرد. تعداد ۲۶ پارامتر از هر رکورد به دست آمده که در کل ۲۷۸۲ پارامتر لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که بر اساس آزمون آماری انجام شده، توزیع اکثر این پارامترها در زلزله‌های انتخابی به صورت توزیع نرمال به دست آمد.

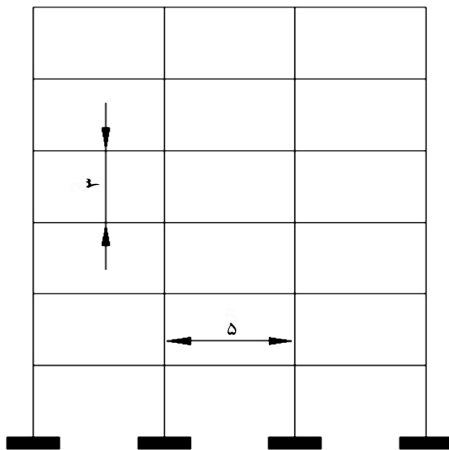
### ۳- شاخص خرابی

شاخص‌های خرابی در ارزیابی میزان خسارت‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنین شاخص‌هایی پایه و اساس خسارت‌پذیری در سازه‌ها می‌باشد. وقوع خسارت در سازه‌ها با توجه به مصالح تشکیل‌دهنده‌ی آن متفاوت است، لذا لازم است شاخص خسارت را در هر کدام از سازه‌ها جداگانه

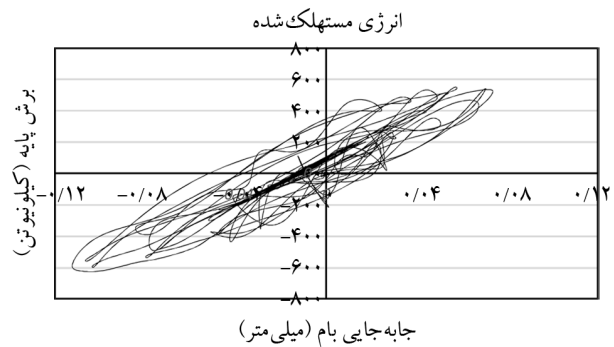
جدول (۳): پارامترهای جنبش نیرومند زمین استفاده شده.

شماره	پارامتر لرزه‌ای	تعریف	واحد	نوع یا وابستگی
۱	Cordova	$S_a(T_1) \left( \frac{S_a(T_1)}{S_a(2T_1)} \right)^{0.5}$	g	شتاب
۲	Sa(T <sub>1</sub> )	$S_a(T_1, \zeta = 0.05)$	g	شتاب
۳	PGA	$\max  a(t) $	g	شتاب
۴	PGV	$\max  v(t) $	(سانتی متر بر ثانیه)	سرعت
۵	PGD	$\max  d(t) $	(سانتی متر)	جابه‌جایی
۶	$V_{\max} / A_{\max}$	$\frac{\max  v(t) }{\max  a(t) }$	(ثانیه)	فرکانس
۷	Acceleration RMS	$\sqrt{\left( \frac{1}{t_{\text{tot}}} \int_0^{t_{\text{tot}}} a(t)^2 dt \right)}$	g	شتاب
۸	Velocity RMS	$\sqrt{\left( \frac{1}{t_{\text{tot}}} \int_0^{t_{\text{tot}}} v(t)^2 dt \right)}$	(سانتی متر بر ثانیه)	سرعت
۹	Displacement RMS	$\sqrt{\left( \frac{1}{t_{\text{tot}}} \int_0^{t_{\text{tot}}} d(t)^2 dt \right)}$	(سانتی متر)	جابه‌جایی
۱۰	Arias Intensity	$\frac{\pi}{2g} \int_0^{t_{\text{tot}}} a(t)^2 dt$	(متر بر ثانیه)	شتاب
۱۱	Characteristic Intensity	$I_c = a_{\text{rms}}^{1.5} \sqrt{t_d}$	-	شتاب
۱۲	Specific Energy Density	$\int_0^{t_{\text{tot}}} v(t)^2 dt$	(متر مربع بر ثانیه)	سرعت
۱۳	CAV	$\int_0^{t_{\text{tot}}}  a(t)  dt$	(سانتی متر بر ثانیه)	سرعت
۱۴	ASI	$\int_{0.1}^{0.5} S_a(T, \zeta = 0.05) dT$	(سانتی متر بر ثانیه)	شتاب
۱۵	VSI	$\int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \zeta = 0.05) dT$	(سانتی متر)	سرعت
۱۶	Housner Intensity	$\int_{0.1}^{2.5} PSV(T, \zeta = 0.05) dT$	(سانتی متر)	سرعت
۱۷	SMA	سومین شتاب حداکثر اندازه‌گیری شده	g	شتاب
۱۸	SMV	سومین سرعت حداکثر اندازه‌گیری شده	(سانتی متر بر ثانیه)	سرعت
۱۹	EDA		g	شتاب
۲۰	A95 Parameter		g	شتاب
۲۱	T <sub>p</sub>	پریود غالب	(ثانیه)	فرکانس
۲۲	T <sub>m</sub>	$\frac{\sum C_i^2 / f_i}{\sum C_i^2}$	(ثانیه)	فرکانس
۲۳	Uniform Duration(0.05)		(ثانیه)	زمان
۲۴	Bracketed Duration (0.05)		(ثانیه)	زمان
۲۵	SD(5%-95%)		(ثانیه)	زمان
۲۶	Effective Duration		(ثانیه)	زمان





شکل (۲): هندسه قاب مورد مطالعه [۲۳].



شکل (۱): نمودار جاب‌جایی بام و برش پایه.

جدول (۴): مشخصات مصالح قاب‌های مورد استفاده.

۵ متر	دهانه قاب‌ها
۳ متر	ارتفاع طبقات
۲۷/۵ کیلونیوتن بر متر	بار (زننده + مرده)
۲۳۵ مگاپاسکال	(تنش جاری شدگی) $F_y$
۲۰۰ گیگاپاسکال	(مدول یانگ) $E$
۰/۰۱	(سخت‌شوندگی کرنشی) $\beta$

ETABS نیز مدل‌سازی گردید و زمان تناوب مودهای اول، دوم و سوم محاسبه شده در دو نرم‌افزار با یکدیگر مقایسه شد. این مقایسه در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود زمان تناوب‌های به‌دست آمده دو نرم‌افزار OpenSEES و ETABS انتخاب قابل قبولی دارند و این نشان‌دهنده‌ی صحت مدل‌سازی مقاطع، هندسه و بارگذاری قاب‌ها در نرم‌افزار OpenSEES می‌باشد.

جدول (۵): مشخصات تیر و ستون قاب‌های مورد استفاده [۲۳].

تعداد طبقات	ستون‌ها: (HEB) - تیرها: (IPE)
۳	۳-۱) ۳۳۰-۲۶۰
۶	۳-۱) ۳۶۰-۳۰۰ + (۴-۱) ۳۶۰-۲۸۰ + (۶-۵)
۹	۱) ۳۶۰-۳۶۰ + (۲-۵) ۴۰۰-۳۶۰ + (۷-۶) ۳۶۰-۳۲۰ + (۸-۹) ۳۳۰-۳۶۰
۱۲	۱) ۳۶۰-۴۵۰ + (۲-۳) ۴۰۰-۴۵۰ + (۴-۵) ۴۵۰-۴۰۰ + (۶-۷) ۴۵۰-۴۰۰ + (۸-۹) ۴۰۰-۳۶۰ + (۱۰-۱۱) ۳۳۰-۳۶۰
۱۵	۱) ۳۰۰-۵۵۰ + (۲-۳) ۴۰۰-۵۵۰ + (۴-۵) ۴۵۰-۵۵۰ + (۶-۷) ۴۰۰-۵۵۰ + (۸-۹) ۴۰۰-۴۵۰ + (۱۰-۱۱) ۳۶۰-۴۵۰ + (۱۲-۱۳) ۳۶۰-۴۵۰ + (۱۴-۱۵) ۳۳۰-۴۵۰
۲۰	۱) ۳۰۰-۶۵۰ + (۲-۳) ۴۰۰-۶۵۰ + (۴-۵) ۴۵۰-۶۵۰ + (۶-۷) ۴۰۰-۶۵۰ + (۸-۹) ۴۵۰-۵۵۰ + (۱۰-۱۱) ۴۵۰-۵۵۰ + (۱۲-۱۳) ۴۵۰-۵۵۰ + (۱۴-۱۶) ۴۰۰-۵۵۰ + (۱۷-۲۰) ۳۰۰-۶۵۰
	۲۰) ۳۳۰-۵۰۰ + (۱۹-۱۸) ۳۶۰

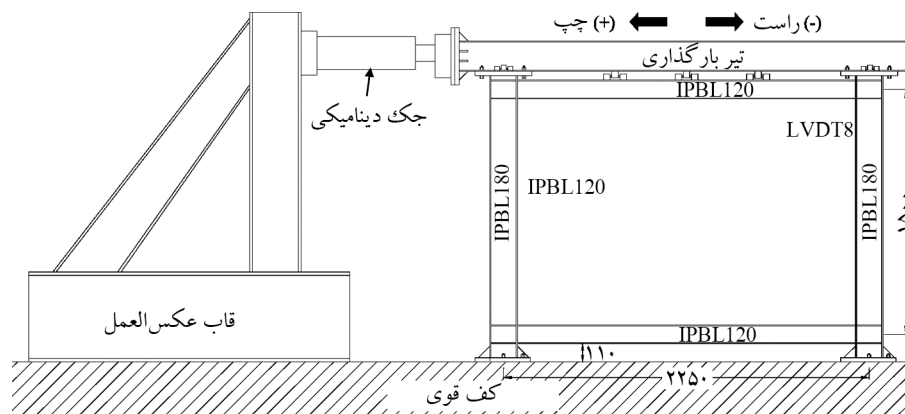
#### ۴- معرفی مشخصات مدل‌های مورد مطالعه و صحت‌سنجی

در این پژوهش تعداد شش قاب خمشی فولادی با ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه و سه دهانه انتخاب شد. لازم به ذکر است که این قاب‌ها از مرجع [۲۳] استخراج شده است. مشخصات هندسی و مقاطع این قاب‌ها در شکل (۲) و جدول‌های (۴) و (۵) آورده شده است. تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم‌افزار OpenSEES تحت شتاب‌نگاشت‌های مشخص شده بر روی مدل‌های مورد بررسی، انجام می‌شود. مدل رفتاری مصالح در نرم‌افزار OpenSEES برای مقاطع فولادی از مصالح فولادی با جنس steel02 و مقاطع سازه از جنس fiber میرایی سازه ۵ درصد است و در عین حال فرآیند تحلیل غیرخطی از دستور میرایی رایلی به‌منظور محاسبه میرایی سازه در هر گام تحلیل استفاده شده است. در پایان نتایج حاصل از تحلیل بر روی مدل‌ها و میزان همبستگی آنها با پارامترهای لرزه‌ای با یکدیگر مقایسه می‌شود.

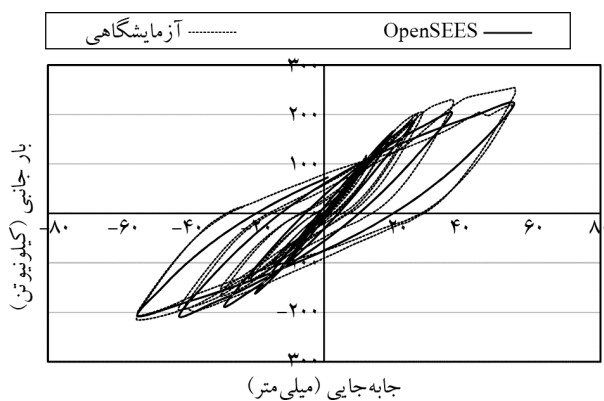
برای اطمینان از مدل‌سازی و بارگذاری انجام شده در OpenSEES [۲۴] تمامی قاب‌های استفاده شده، در نرم‌افزار

جدول (۶): مقایسه زمان تناوب در ETABS و OpenSEES.

ETABS	OpenSEES	زمان تناوب	تعداد طبقات	ETABS	OpenSEES	زمان تناوب	تعداد طبقات
۱/۷۸	۱/۷۱	مود اول	۱۲	۰/۷۲	۰/۶۷	مود اول	۳
۰/۶۳	۰/۶۱	مود دوم		۰/۲۱	۰/۲	مود دوم	
۰/۳۴	۰/۳۳	مود سوم		۰/۱۱	۰/۱۱	مود سوم	
۲/۲	۲/۱۳	مود اول	۱۵	۱/۱۷	۱/۱۳	مود اول	۶
۰/۷۴	۰/۷۲	مود دوم		۰/۳۸	۰/۳۷	مود دوم	
۰/۴۲	۰/۴۱	مود سوم		۰/۲۱	۰/۲	مود سوم	
۲/۷۲	۲/۶۴	مود اول	۲۰	۱/۵۱	۱/۴۶	مود اول	۹
۰/۹۳	۰/۹	مود دوم		۰/۵۲	۰/۵	مود دوم	
۰/۵۱	۰/۵	مود سوم		۰/۲۸	۰/۲۷	مود سوم	



شکل (۳): نمونه آزمایشگاهی قاب مورد استفاده در صحت‌سنجی [۲۵].



شکل (۴): مقایسه پاسخ مدل آزمایشگاهی و نرم‌افزار OpenSEES.

### ۵- آنالیز همبستگی

برای محاسبه همبستگی بین پاسخ سازه و هر یک از پارامترهای جنبش نیرومند زمین از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. این ضریب نشان‌دهنده‌ی میزان رابطه خطی بین دو متغیر X و Y است که بر اساس میزان همبستگی بین دو متغیر

برای اطمینان از مدل‌سازی و نتایج تحلیل‌های غیرخطی، یک قاب فولادی که توسط محمدی و متولی امامی [۲۵] تحت بارگذاری چرخه‌ای در آزمایشگاه قرار گرفته بود، به‌عنوان نمونه صحت‌سنجی انتخاب گردید. تیرها و ستون‌های این قاب از مقاطع IPBL120 و IPBL180 است که طول دهانه آن برابر ۲/۲۵ متر و ارتفاع آن ۳ متر می‌باشد. مقاومت جاری‌شدگی و مدول الاستیسیته مصالح فولادی به ترتیب برابر با ۲۹۰ مگاپاسکال و ۱۸۵ گیگاپاسکال گزارش شده است. در شکل (۳) نمای شماتیک قاب و چیدمان بارگذاری آن در آزمایشگاه نشان داده شده است. منحنی‌های رفتار چرخه‌ای در دو حالت آزمایشگاهی و OpenSEES در شکل (۴) قابل مشاهده است. مقایسه این دو منحنی بیان‌گر دقت قابل قبول مدل‌سازی رفتار غیرخطی در نرم‌افزار را دارد و با اطمینان بالایی می‌توان به نتایج به‌دست آمده در این مقاله اطمینان کرد.

قاب‌های با ارتفاع مختلف را با پارامترهای زلزله‌های دور از گسل نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت که در زلزله‌های دور از گسل، پارامتر Cordova در تمام قاب‌های با طبقات مختلف

نامبرده اعدادی بین ۱ و -۱ را نتیجه می‌دهد. در حقیقت ضریب همبستگی صفر بیانگر عدم وجود رابطه خطی بین دو متغیر مورد مطالعه است. این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۶-۲۷].

$$r_{\text{pearson}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

جدول (۷): تفسیر اعداد آماری پیرسون [۲۸].

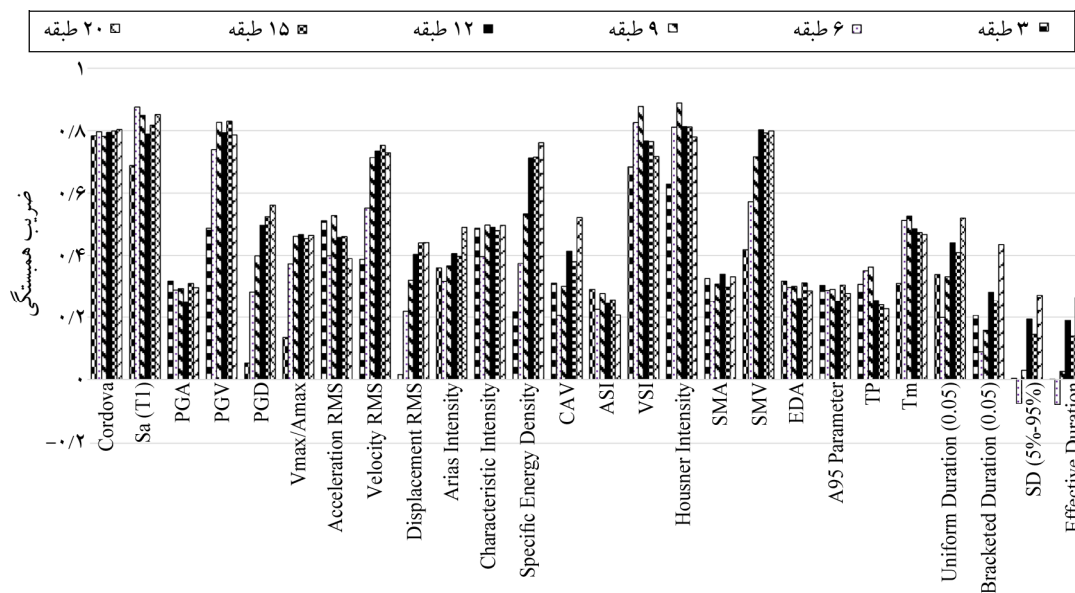
مقدار ضریب همبستگی	تفسیر
۰/۸ تا ۱	رابطه بسیار قوی
۰/۶ تا ۰/۸	رابطه قوی
۰/۴ تا ۰/۶	رابطه متوسط
۰/۲ تا ۰/۴	رابطه کم (یا ضعیف)
صفر تا ۰/۲	فقدان رابطه یا رابطه ناچیز

نتایج کمی به دست آمده از رابطه آماری پیرسون را می‌توان

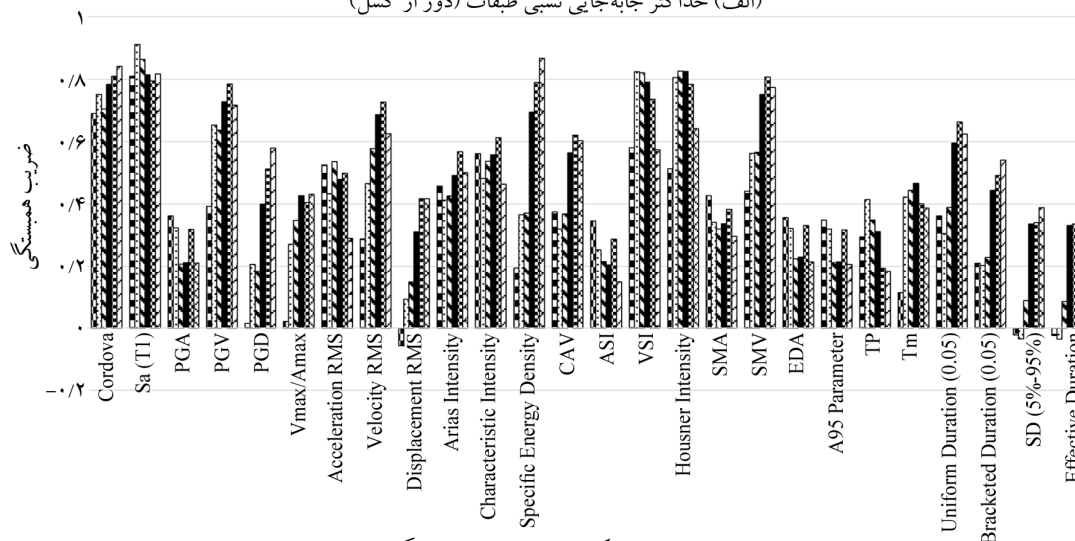
مطابق با جدول (۷) به صورت کیفی تفسیر کرد [۲۸].

نتایج تحلیل همبستگی در شکل‌های (۵) تا (۸) نشان داده شده

است. شکل (۵-الف) همبستگی حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات



(الف) حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات (دور از گسل)

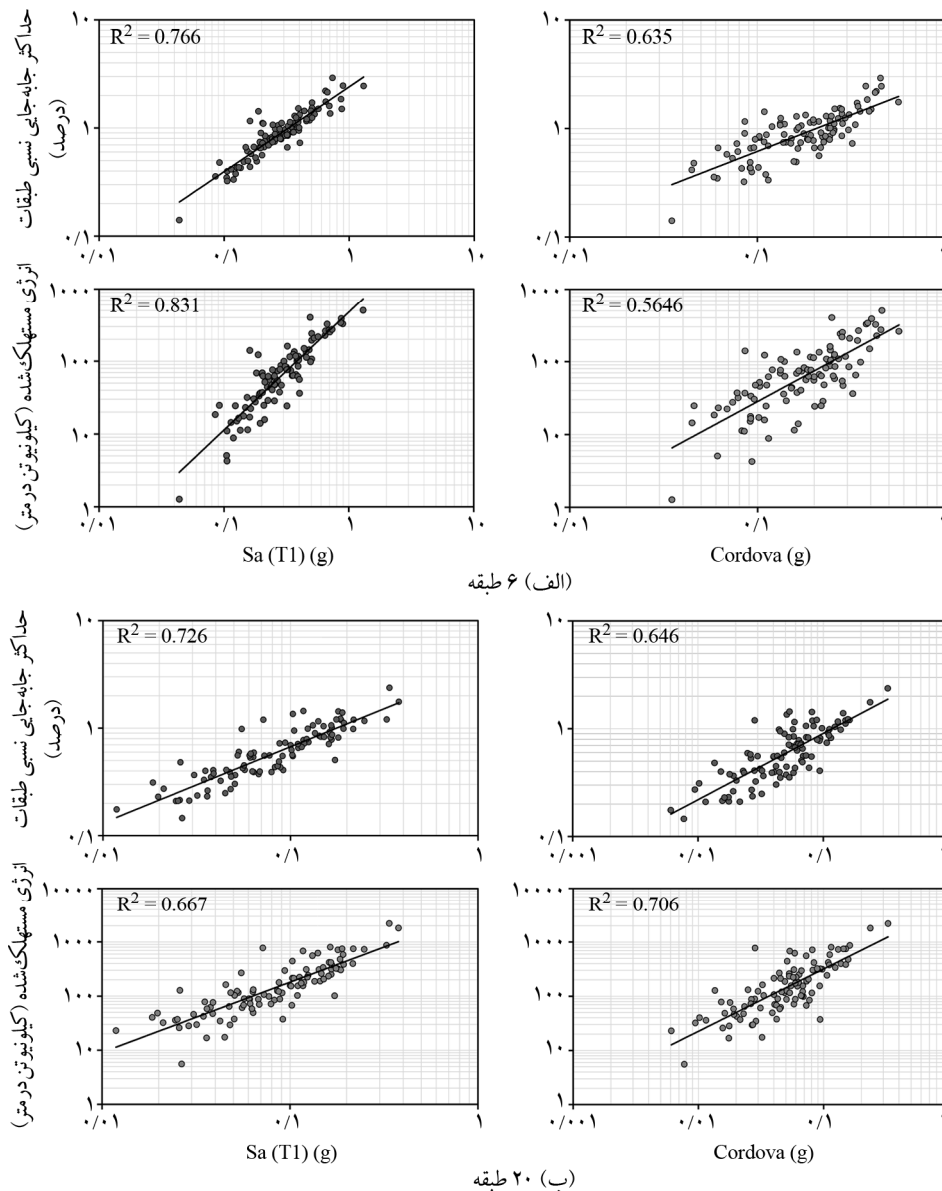


(ب) انرژی مستهلک شده در قاب (دور از گسل)

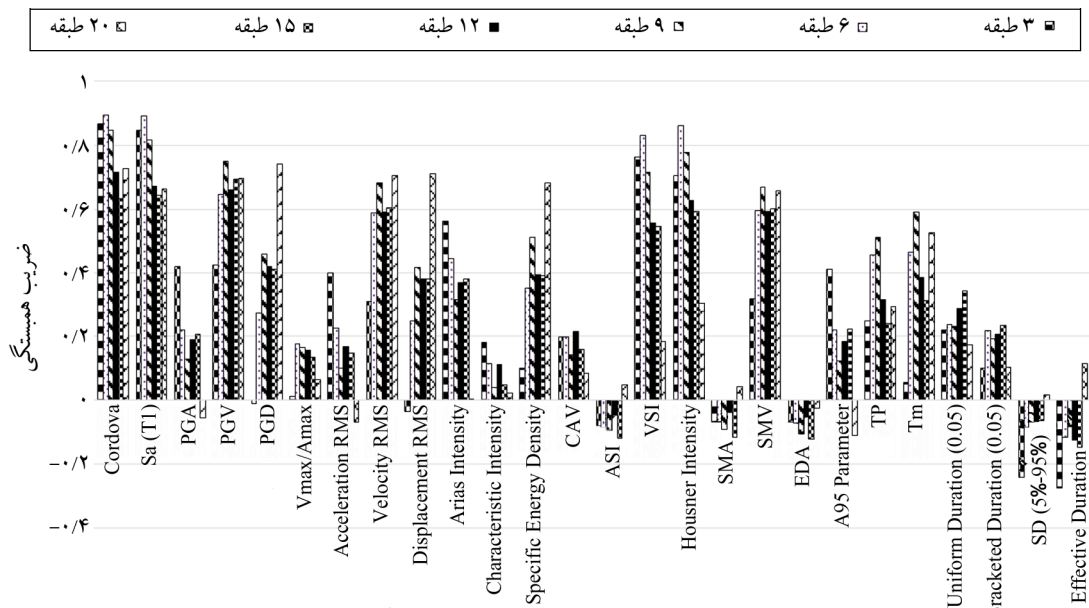
شکل (۵): نمودار همبستگی بین پارامترهای زلزله‌های دور از گسل.

به جابه‌جایی (سازه‌های بلند مرتبه با زمان تناوب زیاد) تقسیم می‌شوند. از این رو پارامتری نظیر VSI که وابسته به سرعت است بیشترین همبستگی را با پاسخ قاب‌های میان مرتبه از خود نشان داده است و با کاهش یا افزایش ارتفاع قاب، این همبستگی کاهش پیدا می‌کند. پارامترهای  $PGA$ ،  $A95$ ،  $EDA$  و  $ASI$  در تمامی قاب‌ها همبستگی ضعیف با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات سازه دارد. همچنین پارامتر  $PGD$  که یک پارامتر وابسته به جابه‌جایی است، طبق انتظار با افزایش ارتفاع طبقات همبستگی بیشتری با شاخص خرابی سازه پیدا می‌کند.

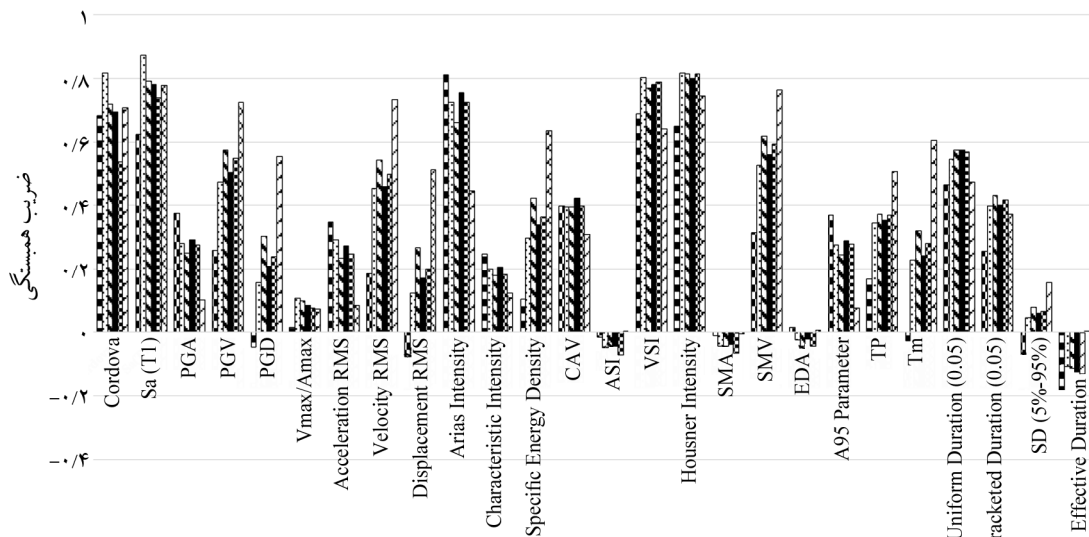
همبستگی قوی و یکسانی با حداکثر جابه‌جایی نسبی دارد. پارامترهای  $S_a(T_1)$ ،  $PGV$  و شدت هاوزنر نیز به جز در قاب سه طبقه همبستگی بسیار قوی با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات سازه دارند. پارامتر  $VSI$  نیز که از جنس سرعت است در قاب‌های ۶ و ۹ طبقه همبستگی بسیار قوی داشته و افزایش ارتفاع میزان همبستگی کاهش پیدا می‌کند. توضیح آنکه به طور کلی سازه‌ها برحسب ارتفاع به سه دسته حساس به شتاب (سازه‌های کوتاه مرتبه با زمان تناوب کوتاه)، حساس به سرعت (سازه‌های میان مرتبه با زمان تناوب متوسط) و سازه‌های حساس



شکل ۶: همبستگی بین پارامترهای شدت  $S_a(T_1)$  و  $Cordova$  با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده در قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه در زلزله‌های دور از گسل.



(الف) حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات (نزدیک به گسل)

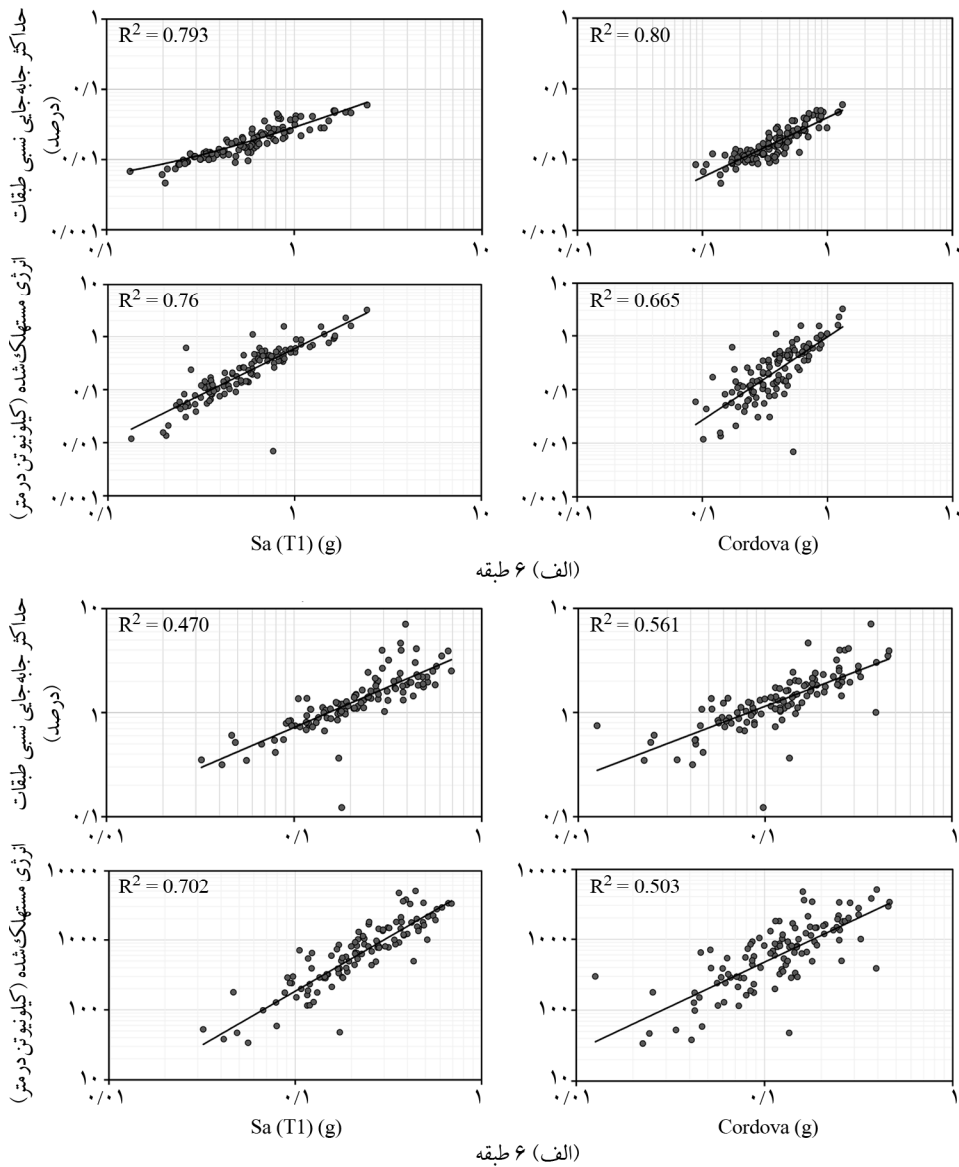


(ب) انرژی مستهلک شده در قاب (نزدیک به گسل)

شکل (۷): نمودار همبستگی بین پارامترهای زلزله‌های نزدیک به گسل.

نمودارهای توزیع پراکندگی این شدت‌ها با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده به ترتیب برای قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه آورده شده است. همچنین پارامترهای Cordova و  $S_a(T_1)$  نیز با افزایش ارتفاع قاب و پارامترهای PGV، VSI، شدت هاوژنر نیز در قاب‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه همبستگی قوی با انرژی مستهلک شده در قاب دارند. ذکر این نکته ضروری است که پارامتر رایج و مرسوم PGA همانند مطالعات مشابه [۷، ۱۰] در تمامی قاب‌ها همبستگی ضعیفی با حداکثر پاسخ جابه‌جایی طبقات و انرژی مستهلک شده دارد.

شکل (۵-ب) نیز همبستگی پارامترهای زلزله‌های در حوزه دور از گسل را با انرژی مستهلک شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است پارامترهایی نظیر PGV، Velocity RMS که از جنس سرعت هستند بیشترین همبستگی را در قاب ۱۵ طبقه دارند و با کاهش یا افزایش ارتفاع ضریب همبستگی کاهش پیدا کرده است. همان‌طور که مشخص است پارامتر  $S_a(T_1)$  و بعد از آن پارامتر Cordova بیشترین همبستگی را با انرژی ذخیره شده در قاب‌ها به خود اختصاص داده‌اند. به منظور ارائه بهتر مقادیر شدت‌های Cordova و  $S_a(T_1)$  در شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب)



شکل (۸): همبستگی بین پارامترهای شدت  $Sa(T_1)$  و Cordova با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده در قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه در زلزله‌های نزدیک به گسل.

ارتفاع مجدداً کاهش می‌یابد. پارامتر PGD نیز که وابسته به جابه‌جایی است، به‌طور مشهود در قاب ۲۰ طبقه که حساسیت بیشتری نسبت به جابه‌جایی دارد، همبستگی قوی و با کاهش ارتفاع قاب، همبستگی آن با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۷-ب) نیز می‌توان گفت که در تمامی قاب‌ها پارامترهای  $Sa(T_1)$ ، Cordova و شدت هاووزنر نیز در زلزله‌های نزدیک به گسل، همبستگی قوی با انرژی مستهلک شده در قاب دارند. نکته قابل توجه این است که شدت آریاس نیز به‌جز در قاب با ارتفاع ۲۰ طبقه، در سایر قاب‌ها همبستگی قوی با

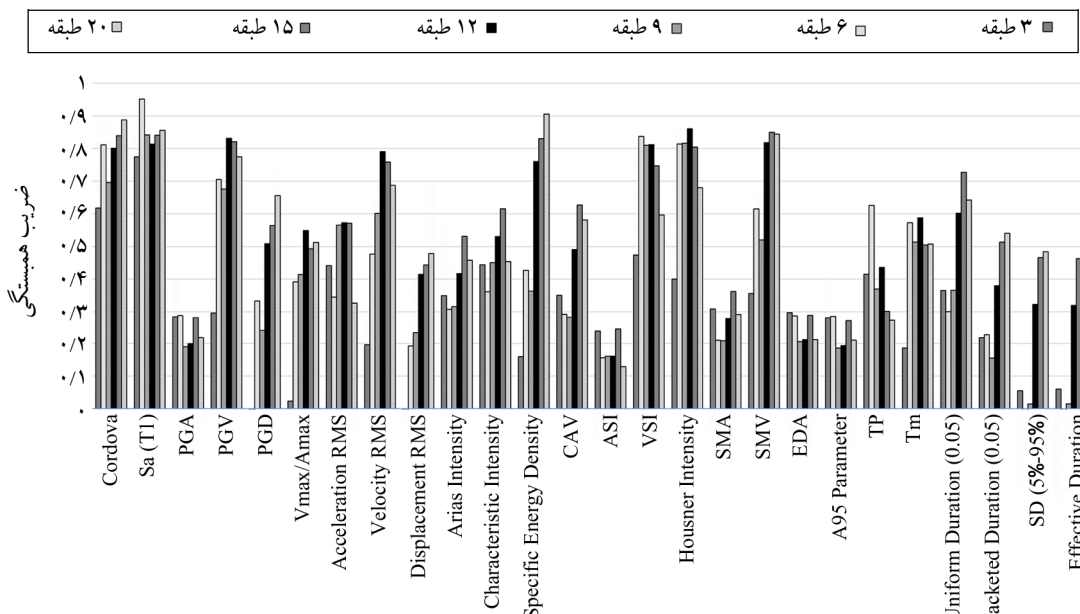
شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) همبستگی پارامترهای زلزله در حوزه‌ی نزدیک به گسل را به ترتیب با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷-الف)، در تمامی قاب‌ها، بالاترین همبستگی مربوط به پارامترهای  $Sa(T_1)$  و Cordova است، هرچند پارامترهای VSI و شدت هاووزنر نیز در قاب‌های با ارتفاع کم و متوسط همبستگی قوی دارند ولی با افزایش ارتفاع این همبستگی کاهش پیدا می‌کند. همبستگی پارامتر PGV که از جنس سرعت است نیز با افزایش ارتفاع بیشتر شده که حداکثر مقدار آن مربوط به قاب ۹ طبقه است و با افزایش

معنی داری با افزایش ارتفاع طبقات همبستگی کاهش پیدا می‌کند در حالی که در زلزله‌های دور از گسل این تغییرات با ارتفاع مشهود نیست. در شکل (۸) نیز نمودار پراکندگی شدت‌های  $S_a(T_1)$  و Cordova که بالاترین همبستگی را با پاسخ سازه داشته‌اند به‌عنوان نمونه برای قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه که نماینده‌ای از قاب کوتاه و بلند مرتبه است، آورده شده است.

در این قسمت به تأثیر نوع خاک بر همبستگی پارامترهای زلزله در هر دو حوزه دور و نزدیک به گسل با شاخص‌های خرابی مورد مطالعه پرداخته شده است. لازم به ذکر است که در زلزله‌های دور از گسل تعداد ۲۵ رکورد در خاک C و ۲۵ رکورد در خاک D ثبت شده و در رکوردهای نزدیک به گسل، ۲۹ رکورد در خاک C و ۲۶ رکورد در خاک D می‌باشد.

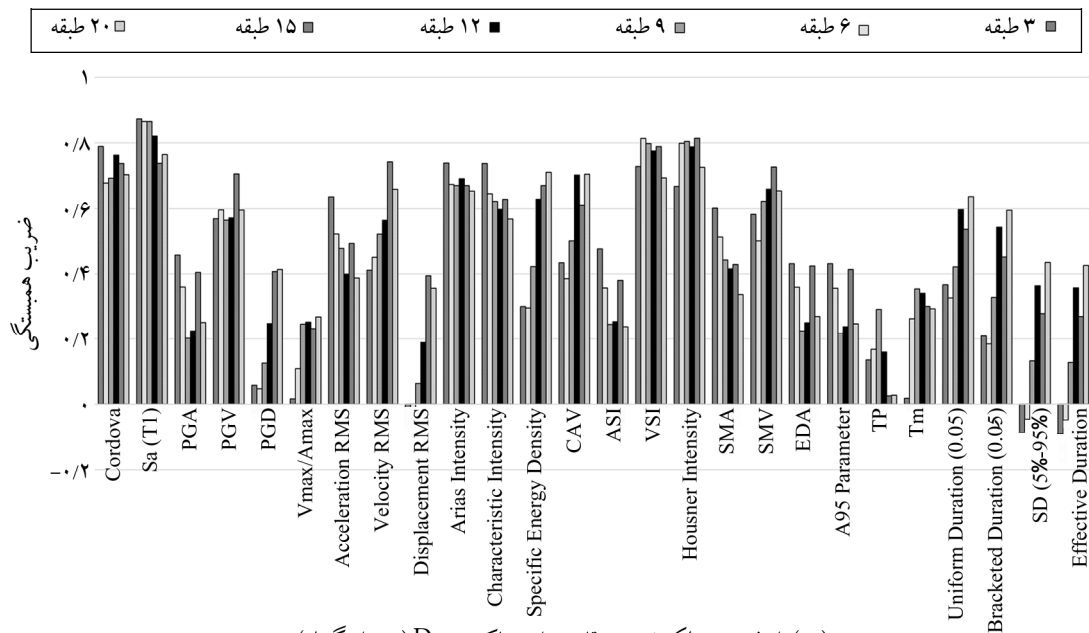
شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب) نمودارهای همبستگی پارامترهای زلزله در حوزه دور از گسل را با انرژی مستهلک شده به ترتیب برای خاک نوع C و D نشان می‌دهد. از این نمودارها مشخص است که همبستگی پارامترهای لرزه‌ای در حوزه دور از گسل با انرژی مستهلک شده در قاب‌های مختلف تفاوت زیادی ندارد. ولی این همبستگی شدت هاوزنر با پاسخ سازه در خاک نوع D (قوی) نسبت به خاک نوع C (متوسط) بیشتر می‌باشد.

انرژی مستهلک شده در قاب دارد. همانند زلزله‌های دور از گسل پارامتر مرسوم PGA همبستگی ضعیفی با هر دو شاخص خرابی در نظر گرفته شده از خود نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که با توجه به اینکه زلزله‌های نزدیک گسل محدوده‌ی وسیعی از فرکانس‌ها را در خود جای دارند (محتوای فرکانسی غنی)، همبستگی پارامترهایی مانند شدت هاوزنر و VSI که محدوده‌ی وسیعی از فرکانس‌ها و سرعت‌ها را در تعریفش به کار می‌برد، با انرژی مستهلک شده بیشتر از همبستگی آنها با حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات سازه است. هرچند با مقایسه نتایج حاصل از زلزله‌های دور از گسل با نزدیک به گسل می‌توان گفت در زلزله‌های نزدیک به گسل (حاوی محدوده‌ی وسیعی از محتوای فرکانسی غنی)، به‌طور مشخص همبستگی‌های به‌دست آمده از پارامترهای مختلف که وابسته به شتاب، سرعت یا جابه‌جایی هستند با پاسخ قاب‌های با ارتفاع مختلف متفاوت خواهد بود. توضیح آنکه قاب‌های با ارتفاع کم، متوسط و زیاد را می‌توان به ترتیب حساس به شتاب، سرعت و جابه‌جایی معرفی کرد. به‌طور مثال با توجه به شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) مشخص است که در پارامتری مانند PGA که وابسته به شتاب است، در زلزله‌های نزدیک به گسل به علت محتوای غنی فرکانسی به‌صورت



(الف) انرژی مستهلک شده در قاب برای خاک نوع C (دور از گسل)

شکل (۹): نمودار همبستگی بین پارامترهای زلزله‌های در حوزه دور از گسل با انرژی مستهلک شده در قاب.

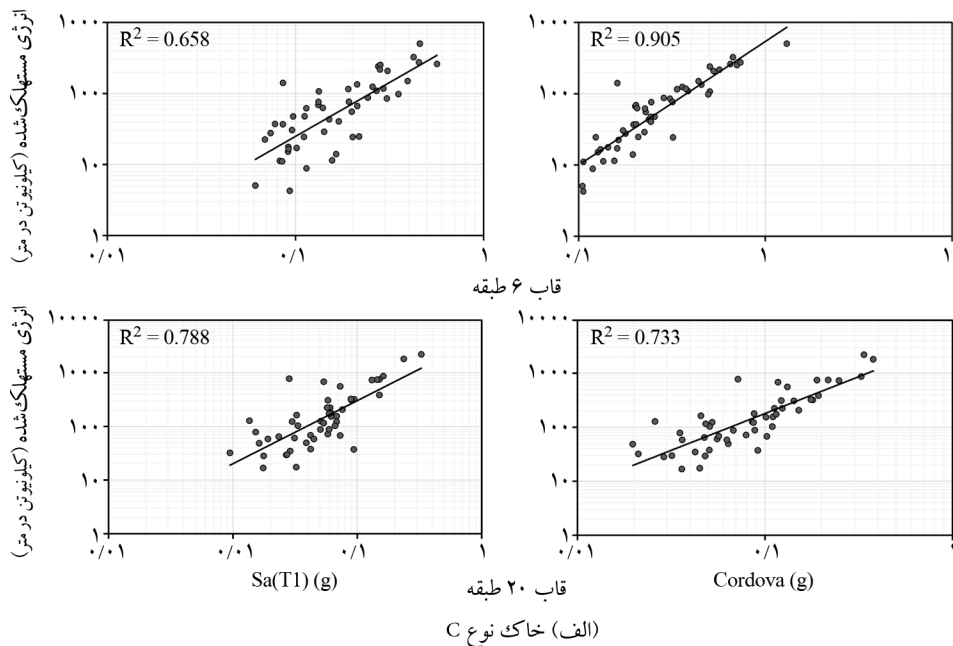


(ب) انرژی مستهلک شده در قاب برای خاک نوع D (دور از گسل)

ادامه شکل (۹).

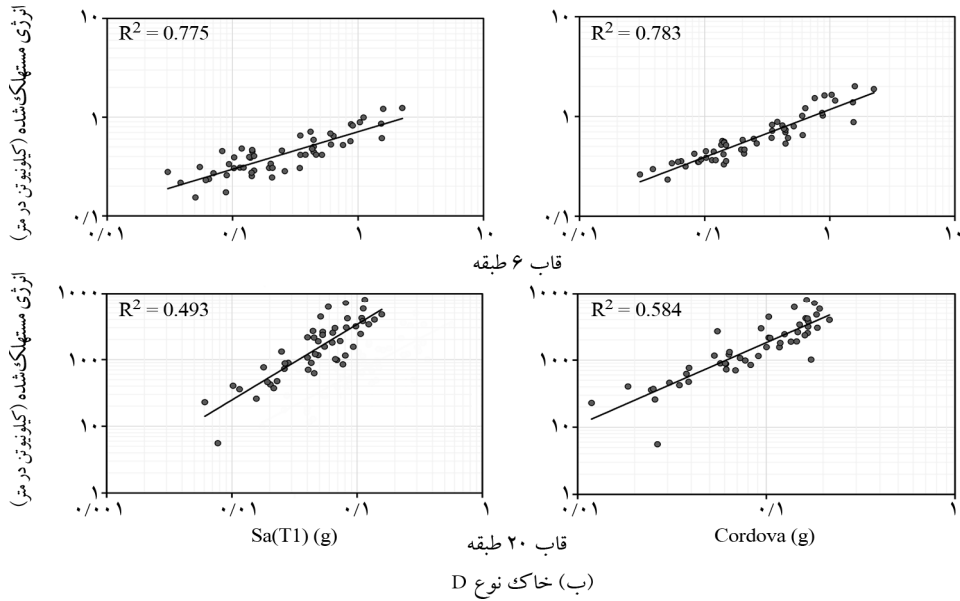
شده به ترتیب برای خاک نوع C و D نشان داده شده است. همان طور که مشخص است در این حالت در مجموع همبستگی پارامترهای زلزله در خاک نوع D و خاک نوع C تفاوت چندانی ندارد. هر چند میزان همبستگی پارامترهای PGA و چگالی انرژی مشخصه در خاک نوع D و برای پارامتر CAV در خاک نوع D به صورت معنی داری بیشتر است.

به منظور ارائه بهتر نتایج و مشخص شدن پراکندگی داده‌های شدت‌های Sa(T1) و Cordova و همچنین پراکندگی پاسخ‌های محاسبه شده، شکل‌های (۱۰-الف) و (۱۰-ب) به ترتیب برای داده‌های در خاک‌های نوع C و D قابل رؤیت است. در شکل‌های (۱۱-الف) و (۱۱-ب) نمودارهای همبستگی پارامترهای زلزله در حوزه نزدیک به گسل با انرژی مستهلک

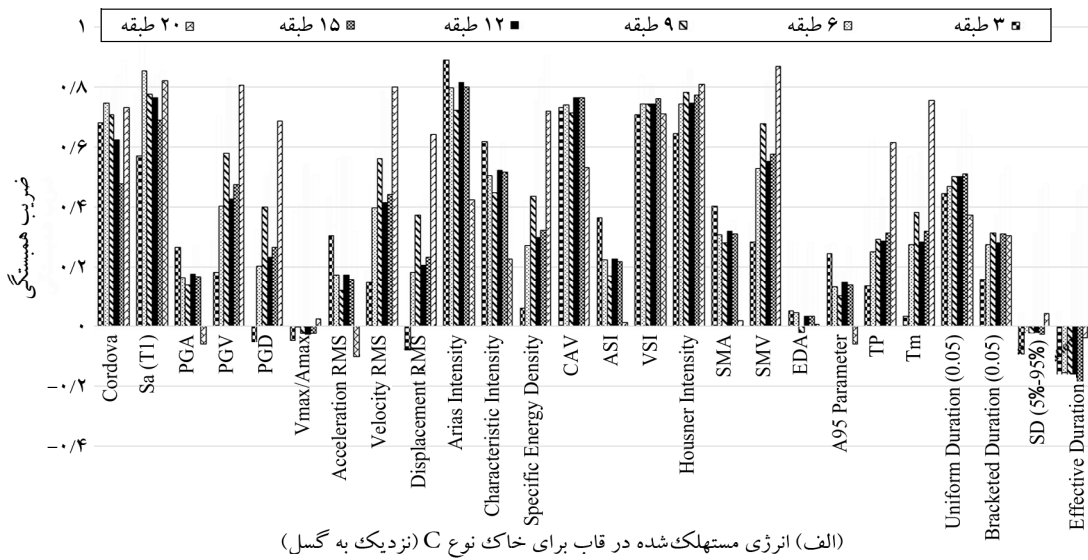


شکل (۱۰): همبستگی بین پارامترهای شدت Sa(T1) و Cordova در زلزله‌های دور از گسل با انرژی مستهلک شده در قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه.

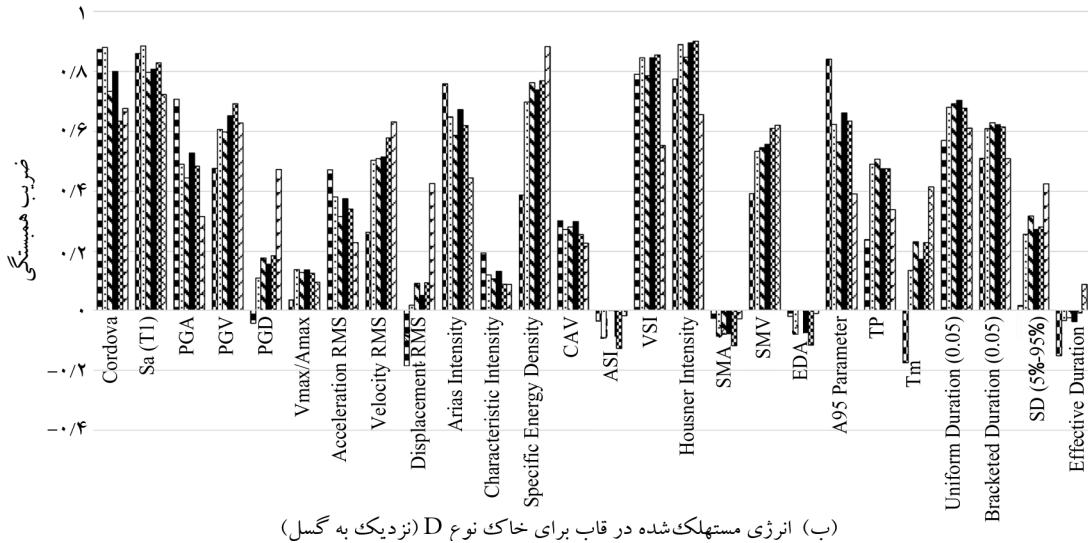




ادامه شکل (۱۰).

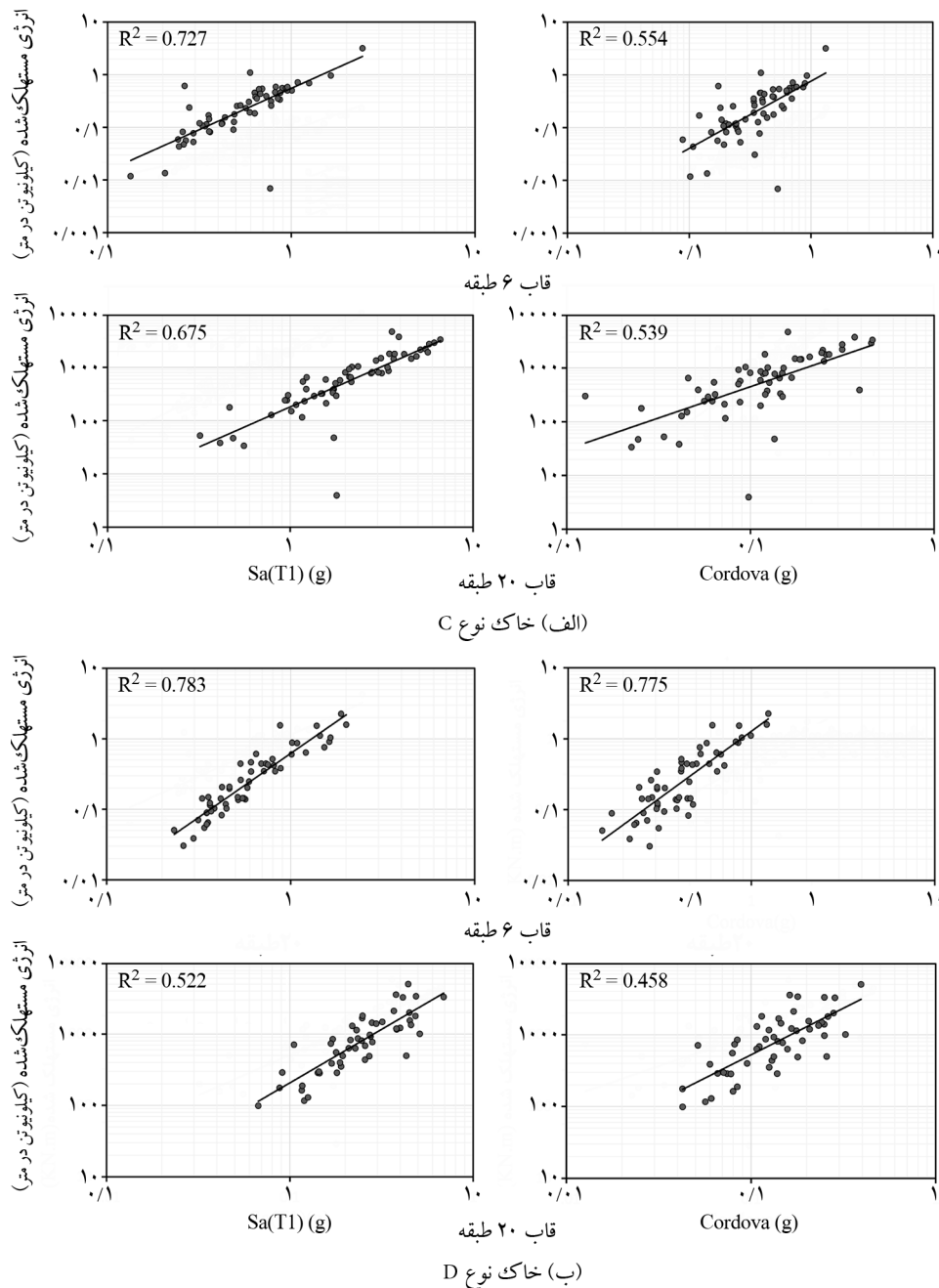


(الف) انرژی مستهلک شده در قاب برای خاک نوع C (نزدیک به گسل)



(ب) انرژی مستهلک شده در قاب برای خاک نوع D (نزدیک به گسل)

شکل (۱۱): نمودار همبستگی بین پارامترهای زلزله‌های در حوزه نزدیک گسل با انرژی مستهلک شده در قاب.



شکل (۱۲): همبستگی بین پارامترهای شدت Sa(T1) و Cordova در زلزله‌های نزدیک به گسل با انرژی مستهلک شده در قاب‌های ۶ و ۲۰ طبقه.

آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، هر مقدار پراکندگی داده‌ها از خط مشخص شده بیشتر باشد، ضریب همبستگی کاهش پیدا می‌کند.

#### ۶- نتایج

در این پژوهش به بررسی همبستگی تعداد ۲۶ پارامتر لرزه‌ای از ۱۰۷ رکورد زلزله نزدیک و دور از گسل با پاسخ قاب‌های

هر چند همبستگی پارامترهای مهم و مؤثری (طبقه آنچه در قبل مشاهده و گزارش شد) مانند Cordova، Sa(T1) در هر دو زلزله دور و نزدیک به گسل برای خاک نوع D قوی‌تر از خاک نوع C است. نمودارهای پراکندگی داده‌های شدت‌های Sa(T1) و Cordova در مقابل پاسخ انرژی مستهلک شده در سازه برای خاک‌های نوع C و D در زلزله‌های نزدیک به گسل به ترتیب در شکل‌های (۱۲-الف) و (۱۲-ب) برای سازه‌های ۶ و ۲۰ طبقه

2. Alvanitopoulos, P.F., Andreadis, I., and Elenas, A. (2009) Interdependence between damage indices and ground motion parameters based on Hilbert–Huang transform. *Measurement Science and Technology*, **21**(2), 025101.
3. Elenas, A. and Liolios, A. (1996) Earthquake induced nonlinear behavior of reinforced concrete frame structures in relation with characteristic acceleration parameters. *Proceedings of the fifth International Conference on Seismic Zonation*, 1013-1020.
4. Chen, Z. and Wei, J. (2013) Correlation between ground motion parameters and lining damage indices for mountain tunnels. *Natural Hazards*, **65**(3), 1683-1702.
5. Chen, Z., Shi, C., Li, T., and Yuan, Y. (2012) Damage characteristics and influence factors of mountain tunnels under strong earthquakes. *Natural Hazards*, **61**(2), 387-401.
6. Akkar, S. and Özen, Ö. (2005) Effect of peak ground velocity on deformation demands for SDOF systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**(13), 1551-1571.
7. Cao, V.V. and Ronagh, H.R. (2014) Correlation between seismic parameters of far-fault motions and damage indices of low-rise reinforced concrete frames. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **66**, 102-112.
8. Barbosa, A.R., Ribeiro, F.L., and Neves, L.A. (2017) Influence of earthquake ground-motion duration on damage estimation: application to steel moment resisting frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **46**(1), 27-49.
9. Nikoo, B., Haghshenas, M., and Eslamdoust, R. (2016) Assessment of interdependency between Near-Field seismic acceleration parameters and overall structural damage index in the concrete buildings. *International Conference on Research in Civil Engineering, Architecture, Urban Planning and Sustainable Environment*, Istanbul, Turkey.
10. Habibi, A. and Jami, E. (2017) Correlation between ground motion parameters and target displacement

فولادی کوتاه تا بلند مرتبه با انجام تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم‌افزار OpenSees پرداخته شد. این رکوردها از مرکز PEER استخراج شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد در هر دو حوزه دور و نزدیک گسل پارامترهای Cordova،  $S_a(T_1)$  و شدت هاوزنر و VSI قوی‌ترین همبستگی را در دو شاخص خرابی حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده در سازه نسبت به پارامترهای دیگر دارد. همچنین پارامترهای PGA، نسبت حداکثر سرعت به حداکثر شتاب و ASI همبستگی ضعیفی با دو شاخص خرابی مذکور دارند. در ادامه با مقایسه نتایج همبستگی حاصل از زلزله‌های دور با نزدیک به گسل نشان داد که در حوزه دور از گسل پارامترهای Cordova، شتاب طیفی در مود اول نوسان، VSI و شدت هاوزنر همبستگی قوی‌تری نسبت به سایر پارامترهای ذکر شده در حوزه نزدیک از خود نشان داد. در بررسی تأثیر نوع خاک مشخص شد که همبستگی انرژی مستهلک شده در سازه با پارامترهای جنبش نیرومند زمین در خاک نوع D در مجموع قوی‌تر از خاک نوع C می‌باشد. همچنین در حوزه نزدیک گسل پارامترهای Cordova، شتاب طیفی در مود اول نوسان، VSI و شدت هاوزنر در تمام موارد قوی‌ترین همبستگی را دارند و در خاک‌های نوع C و D همبستگی قوی‌تری نسبت به سایر پارامترهای زلزله با شاخص حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات و انرژی مستهلک شده دارند. پارامترهای مدت‌زمان مؤثر و مدت‌زمان معنی‌دار همبستگی ضعیف‌تری از خود نشان دادند. نکته قابل توجه این است که با توجه به محتوای فرکانسی غنی در زلزله‌های نزدیک به گسل، حساسیت همبستگی پارامترهای لرزه‌ای مختلف وابسته به شتاب، سرعت و جابه‌جایی با پاسخ سازه‌های با پریود مختلف مشهود است. به‌علاوه نتایج به‌دست‌آمده مجدداً ضعف پارامتر PGA را در برآورد خسارت لرزه‌ای همانند تحقیقات پیشین نشان می‌دهد.

## مراجع

1. Elnashai, A.S. and Di Sarno, L. (2008) *Fundamentals of Earthquake Engineering*. New York: Wiley.

- Council, and United States Federal Emergency Management Agency. US Department of Homeland Security.
20. Kramer, S.L. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*. Pearson Education India.
21. Park, Y.J., Ang, A.H.S., and Wen, Y.K. (1984) Seismic damage analysis and damage-limiting design of reinforced concrete building. *Structural Research Series*, 516.
22. Naeim, F. (2001) *The Seismic Design Handbook*, 2<sup>nd</sup> Edition.
23. Dimopoulos, A.I., Bazeos, N., and Beskos, D.E. (2012) Seismic yield displacements of plane moment resisting and x-braced steel frames. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **41**, 128-140.
24. Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M.H., and Fenves, G.L. (2007) *The OpenSees Command Language Manual, Version 2.0*. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
25. Mohammadi, M. and Motovali Emami, S.M. (2019) Multi-bay and pinned connection steel infilled frames; an experimental and numerical study. *Engineering Structures*, **188**, 43-59.
26. Spiegel, M.R. (1966) *Theory and Problems of Statistics*. Ed. revol. London: McGraw-Hill.
27. Gibbons, J.D. and Chakraborti, S. (2020) *Nonparametric Statistical Inference*. CRC Press.
28. Montgomery, D.C. and Runger, G.C. (2010) *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons.
- of steel structures. *International Journal of Civil Engineering*, **15**(2), 163-174.
11. Housner, G.W. (1952) Spectrum intensities of strong-motion earthquakes. Proceeding of the symposium on earthquake and blast effects on structures in Los Angeles, California, 20-36.
12. Elenas, A. (2010) Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 93-100.
13. Mohammad, S.S., Sasan, M., and Ali, K-C. (2013) Interrelation between time-frequency domain parameters of earthquake records and structural damage index for medium height RC frames. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, **3**(20), 2734-2742.
14. Safi, M. and Soleymani, A. (2014) Investigation of correlations between seismic parameters and damage indices for earthquakes of Iran Region. *International Journal of Engineering*, **27**(2), 283-292.
15. Maniyar, M.M. and Khare, R.K. (2011) Selection of ground motion for performing incremental dynamic analysis of existing reinforced concrete buildings in India. *Current Science*, **100**(5), 701-713.
16. Kenari, M.S. and Celikag, M. (2019) Correlation of Ground Motion Intensity Measures and Seismic Damage Indices of Masonry-Infilled Steel Frames. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **44**(5), 5131-5150.
17. Pinzón, L.A., Vargas-Alzate, Y.F., Pujades, L.G., and Diaz, S.A. (2020) A drift-correlated ground motion intensity measure: Application to steel frame buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **132**, 106096.
18. Kamal, M. and Inel, M. (2021) Correlation between ground motion parameters and displacement demands of mid-rise RC buildings on soft soils considering Soil-Structure-Interaction. *Buildings*, **11**(3), 1-20.
19. FEMA P695 (2009) *Quantification of Building Seismic Performance Factors*. Applied Technology

#### واژه‌نامه

Velocity Spectrum Intensity	۱- شدت طیف سرعت
Housner Intensity	۲- شدت هاوژنر
Arias Intensity	۳- شدت آریاس
Specific Energy Density (SED)	۴- چگالی انرژی مشخصه
Root Mean Square of Velocity	۵- جذر میانگین مربعات سرعت
Significant Duration	۶- مدت زمان معنی دار

## Correlation between Seismic Parameters of far and Near Fault Ground Motion and Response of Moment Resisting Steel Frames

Asghar Bahadori<sup>1</sup> and Sayed Mohammad Motovali Emami<sup>2\*</sup>

1. M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran,  
\*Corresponding Author, email: sm.emami@pci.iaun.ac.ir

In seismic countries, with regard to the damages and losses caused by ground motion, the earthquake resistant design of structures is a critical matter. Previous earthquakes have shown that the regulation in seismic codes does not guarantee the buildings to resist against seismic forces and may cause severe damage in the structures. This subject goes back to the design philosophy in seismic code and also weakness in the hypothesis of seismic design of structures. Noted that, the earthquake records include many inherent parameters affected the response of the structures. Meanwhile the seismic codes use only a few of them in the designing process such as spectral acceleration at the first mode period, i.e.,  $S_a(T_1)$  and well-known parameter PGA. In recent decades, many studies focus on the correlation between seismic parameters and the response of structures and found out that the used parameters in the codes do not have the best correlation with the response of structures. This finding depends on the databank of the records including the site-to-fault distance intensity of the earthquake, frequency content etc. as well as the type of earthquake resistant structure. This paper deals with a comprehensive study on the correlation between both far-field and near-field earthquake parameters and response of moment resisting steel frames. For this purpose, a series of nonlinear time history analyses were carried out on 3, 6, 9, 12, 15 and 20 moment resisting steel frame using OpenSEES. 107 records pair included 100 far-field records and 114 near-field records were selected from FEMA P695 as well as Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) databases. 26 seismic parameters were extracted from these records, i.e. 5564 earthquake parameters were considered. Two damage indices including maximum inter-story drift (MISD) and the amount of absorbed energy were calculated in studied frames. To assess the relationship between seismic parameters and structural damage Pearson correlation coefficient was determined. The results show that Corvoda,  $S_a(T_1)$ , PGV, velocity spectral intensity (VSI), Housner intensity have the best correlation with response of structure in MISD and structure absorb energy in both far-field and near-field earthquakes. Also, the correlation coefficient of displacement dependent parameters is enhanced by increasing the number of stories. Moreover, the results indicate a weak correlation between PGA and response of structures for both MISD and absorbed energy as reported by previous researches. It should be noted that due to the rich frequency content of near-field earthquakes, the correlation of their parameters with seismic response of the studied frames was sensitive to the frames height. Noted that the short period structures (short height) are named acceleration sensitive and the medium and high rise building are recognized as velocity and displacement sensitive, respectively. Therefore, because of rich frequency content of near-field earthquakes, the correlation between acceleration based parameters such as PGA and displacement response of the structures are reduced by increasing the frame height. In a contrary manner, the correlation between damage indices of the structures with displacement based parameters is increased by increasing the frame height. Meanwhile, the correlation between damage indices of the structures with velocity based parameters such as PGV is the most for mid-rise structures. According to the result it can be concluded that the parameters depended on velocity like Housner intensity and velocity spectral intensity have the best correlation with MISD and absorbed energy. Also, the parameters depended on earthquake duration like Significant Duration and Effective Duration have weak correlation with the response of structures. It is shown that one cannot expect the longer duration earthquake result in more damage i.e. maximum story drift in structures.

**Keywords:** Strong Motion Parameters, Moment Resisting Steel Frame, Far and Near Fault Earthquake, Nonlinear Time History Analysis, Correlation.