

بررسی رفتار سیستم دیوار برشی فولادی با ورق نازک با در نظر گرفتن اندرکنش خاک - سازه تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل

Original Article

مجید قلهکی* (دانشیار)

سینا بلول (کارشناس ارشد)

امید رضایی فر (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

دیوار برشی فولادی با ورق نازک، یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است که رفتار آن تحت اثر خاک‌های مختلف پی با لحاظ اندرکنش خاک - سازه بررسی نشده است. در نوشتار حاضر، سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه با دو تیپ خاک ۳ و ۴ در زیر آن‌ها، تحت زلزله‌های دور از گسل و نزدیک تجزیه و تحلیل شده‌اند. تحلیل‌ها در دو حالت پایه‌ی ثابت و پایه‌ی اندرکنشی انجام شده و نتایج نشان داده است که نسبت برش به وزن مؤثر تجمعی طبقات در خاک‌های سخت‌تر (تیپ ۳)، تحت هر دو زلزله‌ی دور و نزدیک با تغییرات ناچیز همراه است. اما در خاک‌های نرم‌تر (تیپ ۴)، تحت زلزله‌های دور و نزدیک، نسبت مذکور کاهش می‌یابد. جابه‌جایی نسبی طبقات سازه‌ها در خاک سخت نسبت به خاک نرم، افزایش کمتری به همراه دارد که در خاک‌های نرم می‌تواند منجر به صدمات بیشتر سازه شود.

واژگان کلیدی: دیوار برشی فولادی با ورق نازک، اندرکنش خاک - سازه، زلزله‌ی دور از گسل، زلزله‌ی نزدیک گسل.

۱. مقدمه

ایران،^[۱] مطمح شده است و تا پیش از آن نیز در نشریه‌ی ۳۶۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی جمهوری اسلامی ایران،^[۲] و نشریه‌ی ۳۸۰ وزارت نفت،^[۳] ارائه شده است، که همگی نشانگر اهمیت بالای آن در بحث طراحی سازه‌هاست. دیوارهای برشی ورق فولادی در چند دهه‌ی اخیر (از دهه‌ی ۱۹۷۰) به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در ساختمان‌های مختلف استفاده شده‌اند و از نظر سختی برشی از سخت‌ترین سیستم‌های مهاربندی X شکل، سخت‌تر هستند و با توجه به امکان ایجاد بازشو در هر نقطه از آن، کارایی همه‌ی سیستم‌های مهاربندی را از نقطه‌نظر ذکر شده دارد.

۲. بررسی مطالعات پیشین

در سال ۲۰۰۹، در یک مطالعه‌ی تحلیلی به بررسی عملکرد لرزه‌ی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فولادی همراه با مدل اندرکنش خاک - سازه پرداخته شده و نتایج آن نشان داده است که آثار در نظر گرفتن اندرکنش خاک - سازه در برش طبقات، ممان طبقات و تغییرشکل‌های اجزاء سازه‌ی بیشتر بوده و آثار اندرکنش خاک - سازه معمولاً برای خاک‌های نرم مهم است و در خاک‌های سخت می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.^[۵]

در سال ۲۰۱۲، در بررسی توزیع تغییرمکان جانبی در ارتفاع سازه، نشان

خسارت‌های ایجاد شده در سازه‌ها در اثر زلزله‌های نورث ریج (۱۹۹۴)، کوبه (۱۹۹۵)، آزمایش ترکیه (۱۹۹۹)، چی‌چی تایوان (۱۹۹۴) و بم (۲۰۰۳) نشان داد که اختلاف فاحشی بین پاسخ سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه‌های دور از گسل و نزدیک آن وجود دارد و همچنین تأثیر زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل به پارامترهای بسیاری بستگی دارد.^[۱] تحقیقات و بررسی‌های انجام شده پس از زلزله‌های مذکور نشان داد که نیاز تغییرمکانی زلزله‌های نزدیک گسل بسیار بالاست که این امر ناشی از اعمال یک انرژی حجیم در یک مدت‌زمان کوتاه توسط رکوردهای نزدیک گسل است.

علاوه بر موارد ذکر شده، بحث تأثیر خاک زیر سازه در پاسخ سازه می‌تواند منجر به تغییرات قابل ملاحظه‌ی در پاسخ سازه شود، به خصوص اگر سازه بر روی خاکی نرم احداث شود. در طراحی‌های متداول فرض بر این است که سازه بر روی بستر صلب قرار گرفته است، این فرض شاید برای سازه‌های واقع بر روی بستر سنگی دقت قابل قبولی داشته باشد. اما زمانی که سازه بر روی خاک نرم واقع می‌شود، رفتار سازه دستخوش تغییر می‌شود. بحث در نظر گرفتن اندرکنش خاک - سازه در تحلیل سازه‌ها، به تازگی در پیوست پنجم ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۳/۳، اصلاحیه ۱۳۹۶/۵/۳۰، پذیرش ۱۳۹۶/۷/۱.

DOI:10.24200/J30.2018.2183.2127

۳. صحت‌سنجی مدل‌سازی در نرم‌افزار

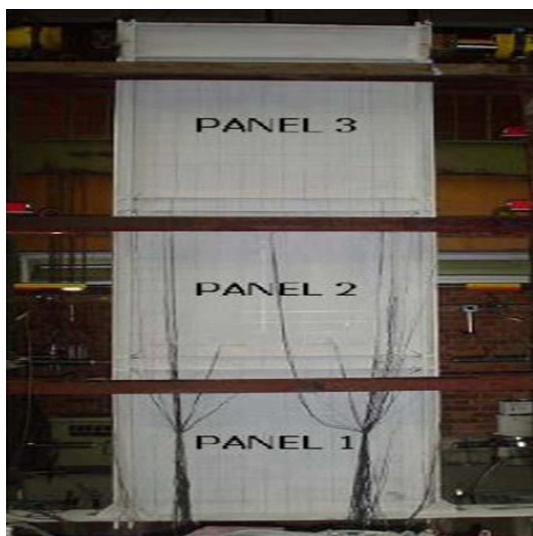
به منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار از مدل آزمایشگاهی با اتصال تیر به ستون صلب قلهکی و صبوری^[۱۱] استفاده شده است (شکل ۱). پس از آنکه دیوارهای برشی فولادی ۳ طبقه‌ی آزمایشگاهی در نرم‌افزار مدل شدند (شکل ۲)، تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) با اعمال بار واحد به نقطه‌ی انتهایی تیر عمیق طبقه‌ی سوم انجام شد و از آنجا که در نتایج آزمایشگاهی، نمودارهای چرخشی جابه‌جایی طبقه‌ی اول به عنوان مینا قرار گرفته بود، جابه‌جایی طبقه‌ی اول به همراه برش پایه‌ی ایجاد شده، از نرم‌افزار استخراج و نمودار برش پایه - تغییرمکان ترسیم و با پوش منحنی چرخشی آزمایشگاهی مقایسه شد (شکل ۳). مطابق شکل ۳، مدل عددی در بخش سختی و مقاومت تسلیم‌شدگی تطابق مناسبی با مدل آزمایشگاهی دارد. همچنین شیب ثانویه‌ی سختی نیز تا حد مناسبی بر مدل آزمایشگاهی منطبق بود، لذا نحوه‌ی مدل‌سازی دیوار برشی فولادی به روش نواری در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ صحیح است. لازم به ذکر است که بیشتر نرم‌افزارها به

داده شد که تغییرات نسبت سختی پس از تسلیم در حالت پایه‌ی ثابت قابل قبول نیست، اما برای سازه‌های اندرکنشی با شکل‌پذیری بزرگ‌تر از ۸، تغییرمکان جانبی طبقات فوقانی (و در بعضی طبقات تحتانی) را به ویژه برای سازه‌های لاغر تحت تأثیر قرار می‌دهد.^[۶] همچنین در سال ۲۰۱۶، در بررسی اثر نوع خاک تکیه‌گاهی و فاصله تا ساختمان مجاور در مشخصات دینامیکی (بسامد طبیعی و نسبت میرایی) یک ساختمان، برای مدل‌سازی اثر خاک، از فنرها و میراگرهای متمرکز در تراز پی استفاده شد و در پایان نیز با بررسی یک ساختمان واقعی، مشخصات دینامیکی آن در حالت بدون مجاورت و با مجاورت محاسبه و مقایسه شد. و مطالعه‌ی مذکور نشان داد که مدل دینامیکی پیشنهادی می‌تواند مقادیر مشخصه‌ی دینامیکی سازه‌های موردبررسی را با دقت خوبی پیش‌بینی کند.^[۷]

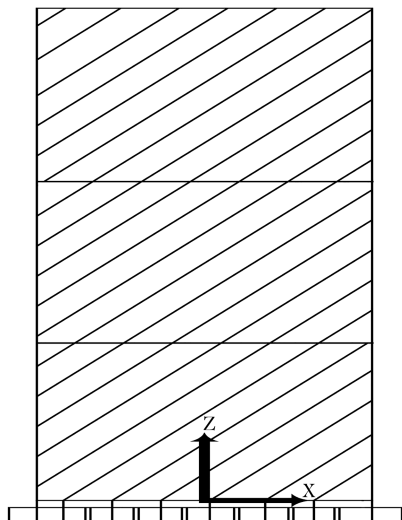
در سال ۲۰۱۰، نیز در بررسی ساختمان‌های قرار گرفته در معرض حرکات حوزی نزدیک براساس تعمیم طیف دریافت آن‌ها، نتایج نشان داد که بیشینه‌ی دریافت طبقات هم‌زمان با افزایش نسبت سختی جانبی از نیمه‌ی بالایی به نیمه‌ی پایینی سازه منتقل می‌شود. مطالعات در ساختمان‌های با سیستم مقاوم قاب ممان‌گیر نشان داد که حرکات حوزی نزدیک با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده، مودهای بالاتر سازه را تحریک می‌کند؛ در حالی که حوزی مذکور با اثر تغییرمکان‌های ماندگار، مودهای پایه‌ی سازه را تحریک می‌کند.^[۸]

همچنین در پژوهشی در سال ۲۰۱۲، تأثیر جهت‌پذیری پیش‌رونده در طیف طراحی ارائه شده با آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌یی در فواصل مختلف نزدیک گسل با تحلیل ۱۶۲ نگاشت زلزله بررسی شد و مطالعات نشان داد که جهت‌پذیری پیش‌رونده، اثر زیادی در طیف پاسخ طراحی در حوزی نزدیک گسل دارد و سبب افزایش ۲ برابری بخش دوره‌ی تناوب بالاتر ($T > 1s$) نسبت به طیف پاسخ بدون اثر مذکور می‌شود. نگاشت‌های دور از گسل سبب افزایش بخش دوره‌ی تناوب کوتاه طیف پاسخ شده است ($T < 1s$) و نگاشت‌های نزدیک گسل به دلیل اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده، موجب افزایش بخش دوره‌ی تناوب بالاتر طیف شده‌اند. از این رو در نواحی نزدیک گسل، اگر طیف ویژه‌ی طرح حوزی نزدیک استفاده شود، توجه به آثار حرکات شدید حوزی دور برای سازه‌ی طرح شده به همان اندازه اهمیت دارد.^[۹] در سال ۲۰۱۶، نیز از روش شبیه‌سازی احتمالی و با فرض چشمه‌ی نقطه‌یی و براساس گسل محدود که هندسه‌ی شکست و اثر جهت‌پذیری را در نظر می‌گیرد، برای چند زلزله‌ی ایران که رکورد نزدیک گسل داشته‌اند، استفاده کردند و به بررسی پارامترهای تأثیرگذار در رکوردهای نزدیک گسل پرداختند.^[۱۰]

همچنین در سال ۲۰۰۸، دو نمونه دیوار برشی فولادی شکل‌پذیر ۳ طبقه با ورق نازک با مقیاس یک سوم، تحت بارگذاری دوره‌یی آزمایش شدند. دیوارهای مذکور دو نوع اتصال تیر به ستون صلب (SPSW-R) و ساده (SPSW-S) داشتند و در ورق پانل‌ها و ستون‌ها به ترتیب از فولاد نرم (فولاد جاذب انرژی) و پرمقاومت استفاده شده بود.^[۱۱] در سال ۲۰۱۴، نیز مطالعاتی بر روی سیستم دیوار برشی فولادی انجام و رفتار لرزه‌یی سیستم دیوار برشی فولادی با چند بازسوی دایره‌یی یک اندازه بررسی شد. قطر دایره‌ها، جانمایی و مش‌بندی المان‌ها از مباحثی بود که در پژوهش مذکور بررسی شد.^[۱۲] همچنین در یک سری مطالعات آزمایشگاهی (۲۰۱۵) بر روی سیستم دیوار برشی فولادی، نحوه‌ی تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌ها و تیرها و همچنین نوع خرابی در سازه ارزیابی شد.^[۱۳]



شکل ۱. مدل آزمایشگاهی قلهکی و صبوری.^[۱۱]



شکل ۲. مدل‌سازی دیوار برشی فولادی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰.

۴. طراحی دیوار برشی فولادی با ورق نازک به روش نواری

آیین‌نامه‌های فولاد کانادا (CAN/CSA S ۱۶-۱۴)^[۱۲] و فولاد آمریکا (AISC)^[۱۵]، دیوار برشی فولادی را به عنوان یک سیستم باربر جانبی پذیرفته‌اند. در آیین‌نامه‌های ذکر شده، به منظور طراحی دیوار برشی فولادی با ورق نازک، ابتدا طراحی اولیه‌ی مقاطع تیر، ستون و ورق‌های دیوارها مشابه یک خرپای قائم با مهاربند فقط کششی انجام می‌شود.

براین اساس به جای هر ورق فولادی، یک بادبند معادل در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین سطح مقطع هر مهاربند (براساس روابط انرژی کرنشی کشسان)، ضخامت ورق فولادی (t) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{2A_b \cdot \sin \theta \cdot \sin^2 \alpha}{L \cdot \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

که در آن، θ زاویه‌ی بین مهاربند و ستون، L عرض دهانه‌ی قاب، A_b سطح مقطع مهاربند معادل و α زاویه‌ی تشکیل میدان کشش قطری در ورق فولادی است که از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$\tan^2 \alpha = \frac{1 + \frac{t \cdot L}{2A_c}}{1 + t \cdot h_s \cdot \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h_s^2}{240 \times I_c \cdot L} \right)} \quad (2)$$

که در آن، A_c و I_c به ترتیب سطح مقطع و ممان اینرسی ستون‌های کناری، h_s ارتفاع طبقه و A_b سطح مقطع تیر است. پس از تعیین ضخامت، هر ورق به تعدادی نوار مورب تبدیل می‌شود که سطح مقطع هر نوار از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$A_s = \frac{L \cdot \cos \alpha + h_s \cdot \sin \alpha}{n} \cdot t \quad (3)$$

که در آن، n تعداد نوارهاست. مطالعات متعددی در زمینه‌ی تعیین تعداد نوار موردنیاز انجام شده است، که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده‌ی کفایت ۱۰ عدد نوار مورب برای آنالیز یک دیوار برشی فولادی با ورق نازک است. با توجه به اینکه ستون‌ها ممکن است تحت تأثیر میدان کشش قطری دچار کمانش شوند، لذا سختی ستون‌های کناری باید از رابطه ۴ تبعیت کند.

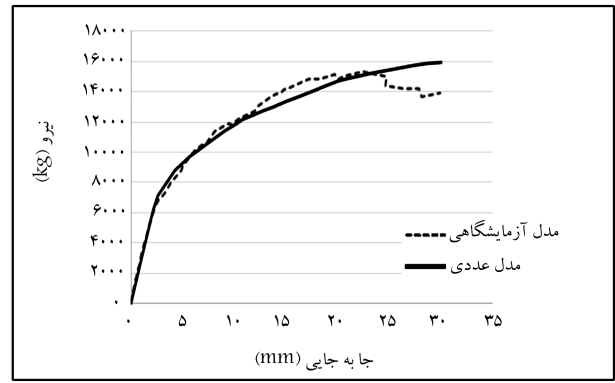
$$I_c \geq \frac{0.0037 t \cdot h_s^3}{L} \quad (4)$$

همچنین به منظور جلوگیری از خمش تیر فوقانی دیوار برشی فولادی ناشی از اثر میدان کششی قطری نامتقارن، رابطه ۵ باید کنترل شود:

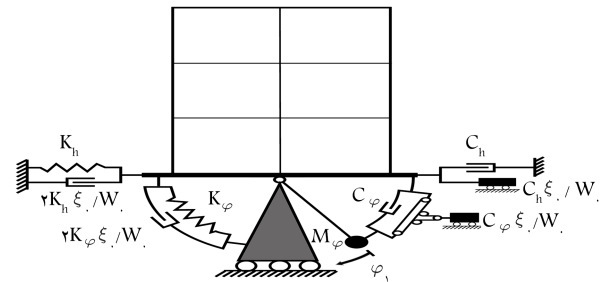
$$M_{fpb} = \frac{\sigma_{ty} t L^2}{8} \cdot \sin^2 \alpha \quad (5)$$

که در آن، M_{fpb} لنگر خمیری مقطع تیر و σ_{ty} تنش نهایی میدان کشش قطری است که برای ورق‌های نازک فولادی تقریباً برابر تنش تسلیم آن است. با توجه به تفاوت اندک شدت میدان کشش قطری بین دو طبقه‌ی مجاور، کنترل رابطه‌ی مذکور فقط برای تیر انتهایی الزامی است، اما اگر تفاوت میدان کشش قطری بین دو طبقه‌ی مجاور زیاد باشد، رابطه‌ی مذکور برای تیرهای میانی نیز باید کنترل شود. به منظور حصول اطمینان از اینکه ستون‌های محیطی بتوانند تنش‌های وارده ناشی از بارهای محیطی به همراه تنش‌های ناشی از اثر میدان کششی را تحمل کنند، لازم است که این شرط (رابطه ۶) برای ستون‌ها نیز رعایت شود:

$$M_{fpb} = \frac{\sigma_{ty} t h^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha \quad (6)$$



شکل ۳. مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی نمونه‌ی ۳ طبقه‌ی قلهکی و صبور.



شکل ۴. اعمال روش مخروطی خاک زیر سازه در تحلیل‌ها.

جدول ۱. مقایسه‌ی دوره‌ی تناوب اصلی سازه‌ی به دست آمده از نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران.

سازه	خاک نمونه‌ی ۱		خاک نمونه‌ی ۲	
	$T_{SAP2000}$	$T_{آیین‌نامه}$	$T_{SAP2000}$	$T_{آیین‌نامه}$
طبقه ۶	۰٫۷۳۴	۰٫۷۳۵	۰٫۸۲۵	۰٫۸۰۵
طبقه ۱۲	۱٫۵۴۰	۱٫۵۴۲	۱٫۵۸۴	۱٫۵۶۵
طبقه ۲۵	۲٫۹۸۸	۲٫۹۹۸	۳٫۷۷۹	۳٫۸۰۷

دلیل عدم مدل‌سازی شکست، پارگی و غیره‌ی اجزاء نمی‌توانند بار نهایی مدل را به خوبی به دست آورند که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود و نیز به علت استفاده از المان‌های یک بعدی، بحث ابعاد مش بندی مطرح نبوده است.

پس از بحث صحت‌سنجی دیوار برشی به روش نواری در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰، نوبت به صحت‌سنجی نرم‌افزار مذکور در بحث اندرکنش خاک - سازه است. بعد از به دست آمدن توابع امیدانس نمونه‌های خاک، برای اعمال روش مخروطی (مطابق شکل ۴)، ضرایب مذکور برای نرم‌افزار SAP۲۰۰۰، تعریف و سپس به سازه اختصاص داده شد و زمان تناوب اصلی سازه‌ها از نرم‌افزار، با زمان تناوب اصلی مؤثر سازه (که در پیوست پنجم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران (ویرایش چهارم) به دست آمده است، در حالتی که اندرکنش خاک - سازه در نظر گرفته شده است)، مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، زمان تناوب اصلی سازه با استفاده از روش مخروطی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ با روش زیر سازه در آیین‌نامه تفاوت چندانی نداشته و قابل قبول است و می‌توان به این نتیجه رسید که توابع امیدانس نرم‌افزار CONAN و نحوه‌ی مدل‌سازی خاک روش مخروطی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ صحیح است.

جدول ۲. مشخصات خاک مورد استفاده در تحلیل‌ها.

$V_s(m/s)$	v	$(\gamma(kg/m^3))$	$G(kN/m^2)$	$E(kn/m^2)$	
۳۰۹٫۲۲	۰٫۳۵	۱۹۰۰	$۱٫۹۲ \times ۱۰^۵$	۵×۱۰^۵	خاک نمونه‌ی ۱
۸۲٫۵۴	۰٫۴	۱۸۰۰	$۱٫۲۵ \times ۱۰^۴$	$۳٫۵ \times ۱۰^۴$	خاک نمونه‌ی ۲

جدول ۳. شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل مورد استفاده در تحلیل‌ها.

ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه زلزله	فاصله از گسل (کیلومتر)	مدت زمان زلزله (ثانیه)
۱	CHI-CHI	TAP۰۹۵	۱۰۹٫۰۱	۱۲۲٫۹۹۵
۲	CHI-CHI	CHY۰۶۵	۸۳٫۴۳	۸۹٫۹۹۵
۳	Imperial Valley	Niland fire station	۳۶٫۹۲	۳۹٫۹۹۵
۴	Loma prieta	Alameda naval air Stn hanger	۷۱	۲۹٫۵۹
۵	Loma prieta	Oakland - Outer Harbor Wharf	۷۴٫۲۶	۳۹٫۹۹
۶	Manjil	Qazvin	۴۹٫۹۷	۶۰٫۴۲
۷	Tabas	Ferdows	۹۱٫۱۴	۳۹٫۹۸

جدول ۴. شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل مورد استفاده در تحلیل‌ها.

ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه زلزله	فاصله از گسل (کیلومتر)	مدت زمان زلزله (ثانیه)
۱	Bam-Iran	Bam	۱٫۷	۶۶٫۵۴
۲	Imperial Valley	EC County Center FF	۷٫۳۱	۳۹٫۹۹
۳	Imperial Valley	El Centro Array #۳	۱۲٫۵۸	۳۹٫۶۲
۴	Imperial Valley	El Centro Array #۶	۱٫۳۵	۳۹٫۰۸
۵	CHI-CHI	CHY۱۰۱	۹٫۹۴	۸۹٫۹۸
۶	Kocaeli-Turkey	Yermica	۴٫۸۳	۳۴٫۹۹
۷	Northwest China-۰۳	Jiashi	۱۷٫۷۳	۵۹٫۹۸

کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، نسبت پواسون ۰٫۳ و مدول کشسانی $۲٫۱ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع داشت. ارتفاع تمام طبقات ۳ متر و قاب‌ها در مدل‌های سازه‌یی با ۵ دهانه‌ی ۴٫۵ متر بودند. کاربری سازه‌ها به صورت مسکونی و بار مرده‌ی طبقات ۵۲۰، بار مرده‌ی بام ۴۵۰، بار زنده‌ی طبقات ۲۰۰ و بار زنده‌ی بام برابر ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شد. در جدول ۲، مشخصات خاک‌های نمونه‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. برای مدل‌سازی خاک زیر سازه به روش مخروطی از نرم‌افزار CONAN استفاده و توابع امپدانس خاک به دست آمده از نرم‌افزار مذکور به نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ معرفی و به روش مخروطی مدل‌سازی شد.

۶. شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل‌ها

شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل و نزدیک گسل مورد استفاده در تحلیل‌ها که براساس معیارهای موجود در استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران انتخاب شدند، در جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شوند. همه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها براساس استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران، بند ۲-۳-۵، مقیاس شده‌اند؛ به این صورت که پس از دریافت شتاب‌نگاشت‌ها از سایت PEER، ابتدا در نرم‌افزار Seismo Signal به بیشینه‌ی مقدار خود

که در آن، M_{fpc} لنگر خمیری مقطع ستون است. در زمان کنترل، رابطه‌ی ۶ باید بار محوری ستون‌ها نیز در نظر گرفته شود.

۵. فرضیات و مشخصات مدل‌ها

برای مقایسه‌ی دو حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی سیستم دیوار برشی فولادی با ورق نازک تحت ۷ شتاب‌نگاشت دور از گسل و ۷ شتاب‌نگاشت نزدیک گسل از نمونه‌های سه بعدی در ساختمان‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه، که برای دو نمونه خاک تیپ ۳ و ۴ براساس طبقه‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران طراحی شده بود، تحلیل دینامیکی تاریخی زمانی غیرخطی صورت پذیرفت. ساختمان‌ها براساس میچث ششم مقررات ملی ساختمان،^[۱۶] بارگذاری ثقلی و براساس استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران،^[۱] با فرض زمین تیپ ۳ و ۴ و نسبت شتاب مبنای طرح ۰٫۳۵، تحت بارگذاری جانبی قرار گرفت. مدل‌های مورد بررسی با نرم‌افزار ETABS ۲۰۱۳ و روابط ۱ الی ۶، تحلیل و اجزاء مدل‌ها براساس UBC۹۷ طراحی و براساس میچث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)،^[۱۷] کنترل شد. مصالح فرض شده برای مدل‌سازی و تحلیل، فولاد ST۳۷ با تنش تسلیم ۲۴۰

بار زنده‌ی طبقات است. مقادیر برش پایه به وزن مؤثر کل سازه و همچنین میانگین نسبت (v/w) طبقات با یکدیگر در شکل‌های ۵ الی ۱۶ مقایسه شده است. در شکل‌های ۵ الی ۷، مقادیر بیشینه‌ی این نسبت برای سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه در خاک تیپ ۳، تحت زلزله‌های دور از گسل بررسی شده است.

در جدول ۵، تغییرات نسبت (v/w) برای سازه‌های مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار نسبت برش پایه به وزن مؤثر کل سازه و میانگین برش طبقات به وزن مؤثر تجمعی در تمامی سازه‌ها در زلزله‌های دور از گسل برای حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی در خاک تیپ ۳ به هم نزدیک هستند و با مقادیر اندک، کاهش یا افزایش یافته‌اند. شکل‌های ۸ الی ۱۰، مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های دور از گسل در خاک تیپ ۳ نشان می‌دهد.

در جدول ۶، تغییرات نسبت (v/w) برای سازه‌ها در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت تحت زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نسبت برای سازه‌های ۶ و ۲۵ طبقه کاهش داشته است. اما در سازه‌ی ۱۲ طبقه، کاهش مذکور مقدار بیشتری نسبت به سازه‌ی ۲۵ طبقه داشته و در سازه‌ی ۶ طبقه، نسبت (v/w) با افزایش ناچیز همراه بوده است. در شکل‌های ۱۱ الی ۱۳، مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های دور از گسل در خاک تیپ ۴ مشاهده می‌شود.

مقیاس شدند، سپس طیف پاسخ هر یک از شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده با منظورکردن میرایی ۵٪ به دست آمدند و پس از ترکیب کردن طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت با روش میانگین مجذور مربعات (SRSS)، از آن‌ها متوسط‌گیری شد و در محدوده‌ی زمان تناوب سازه $0.7T$ و $1.5T$ با طیف طرح استاندارد مقایسه شدند.

۷. تحلیل مدل‌ها و ارزیابی تأثیر حضور خاک در رفتار

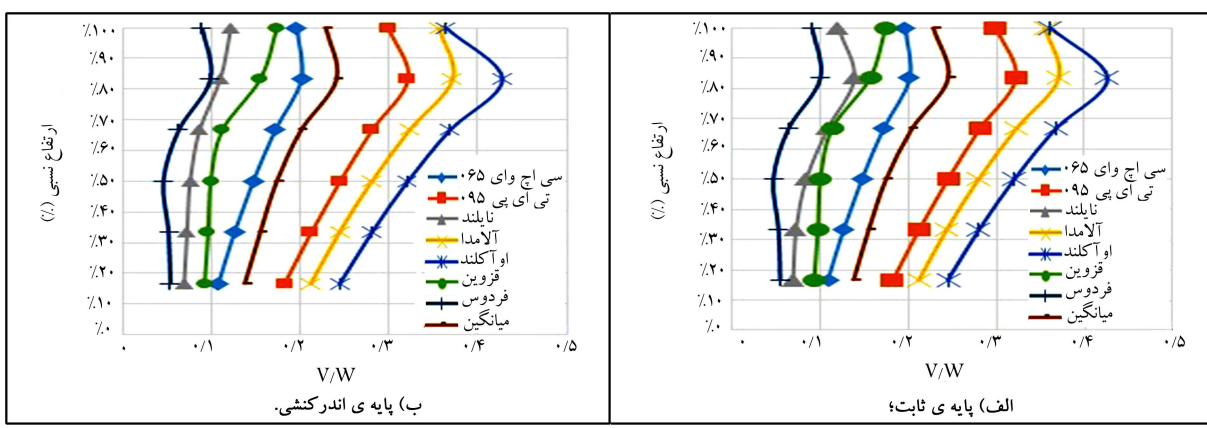
سیستم دیوار برشی فولادی با ورق نازک

پس از مدل‌سازی در نرم‌افزار، مدل‌ها تحت آنالیز دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی قرار گرفتند و نسبت برش به وزن تجمعی مؤثر طبقات و نسبت دررفت طبقات در دو حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی با هم مقایسه شدند.

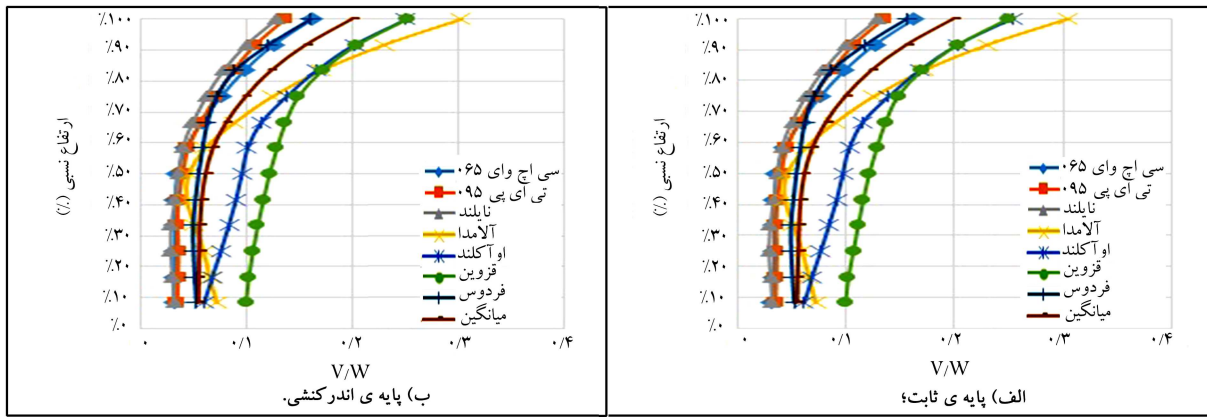
۸. نسبت برش به وزن تجمعی مؤثر طبقات مدل‌ها در دو

حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی

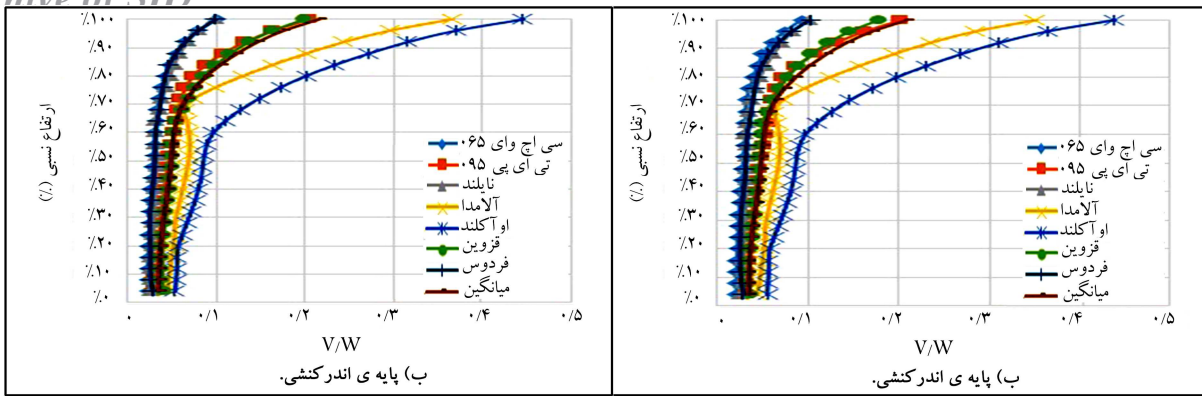
در بخش حاضر از نسبت (V/W) که بیانگر نسبت برش طبقات به وزن مؤثر تجمعی سازه است، به‌عنوان نمادی شبیه به ضریب زلزله (c) که پارامتری بی بعد است، در ارائه‌ی نتایج استفاده شده است. منظور از بار مؤثر سازه، بار مرده‌ی طبقات و 0.7



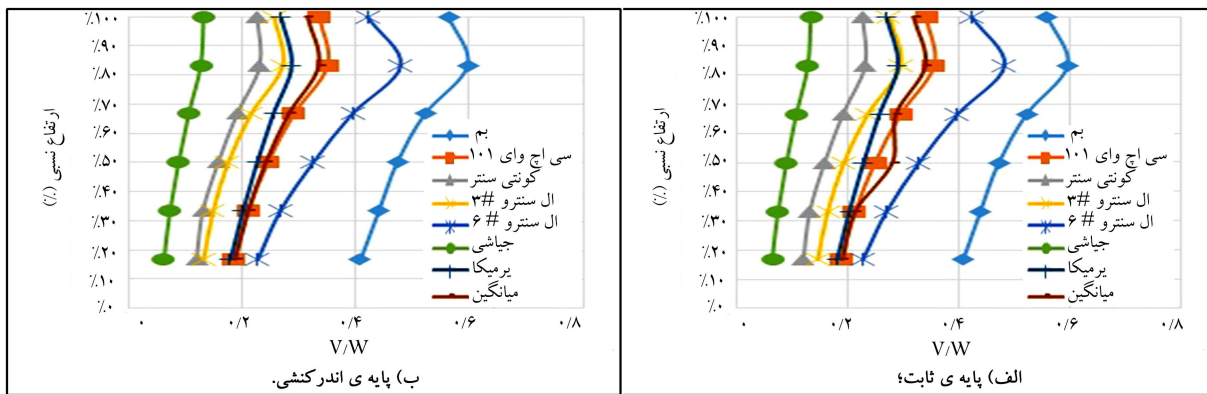
شکل ۵. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.



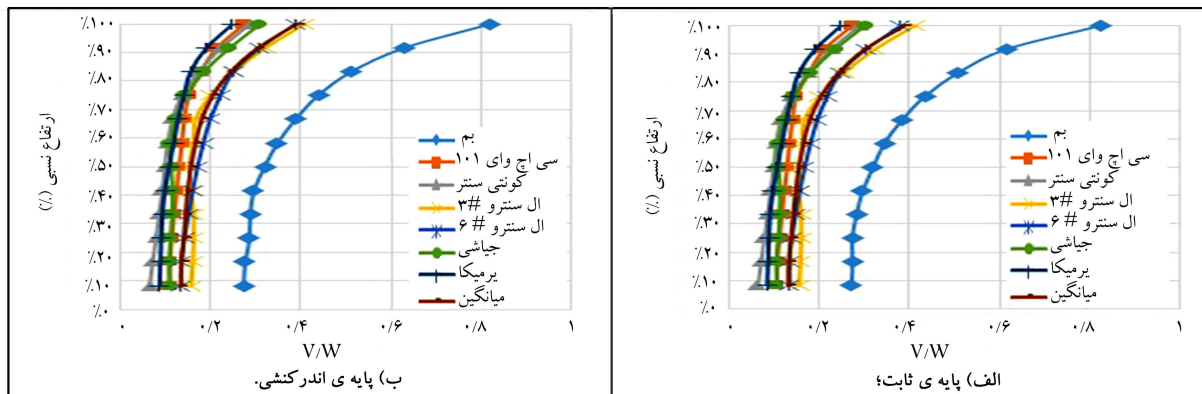
شکل ۶. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.



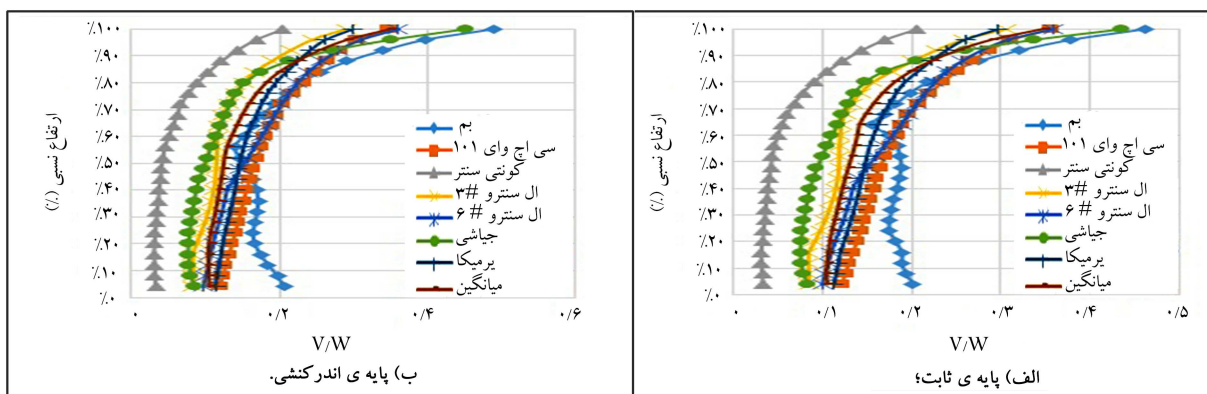
شکل ۷. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.



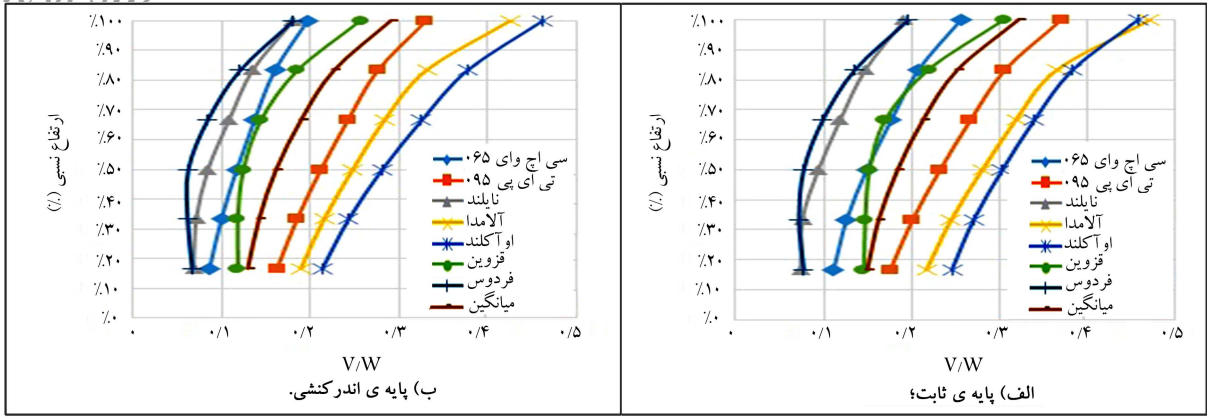
شکل ۸. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



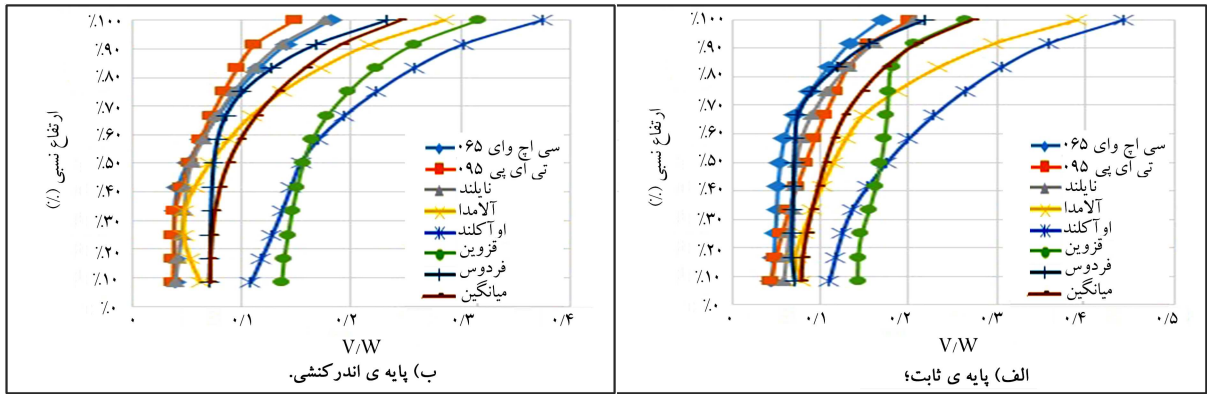
شکل ۹. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



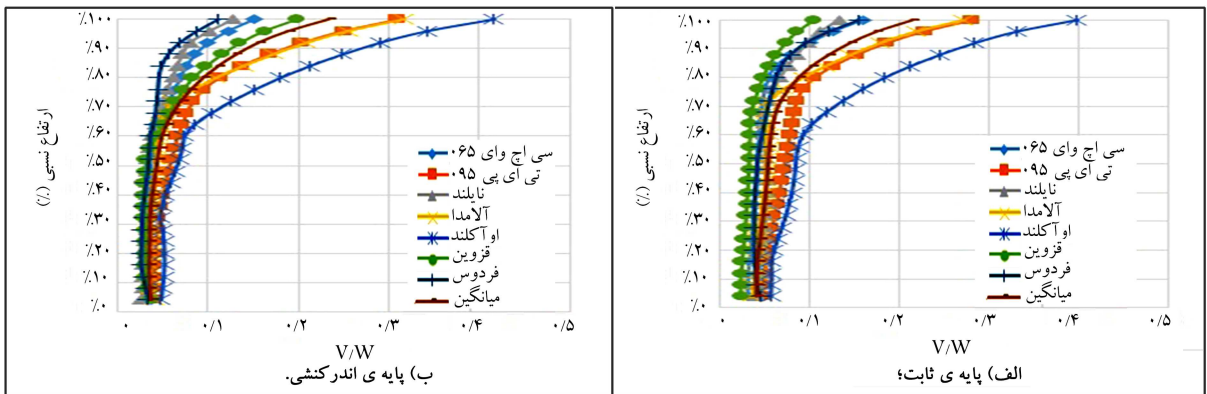
شکل ۱۰. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



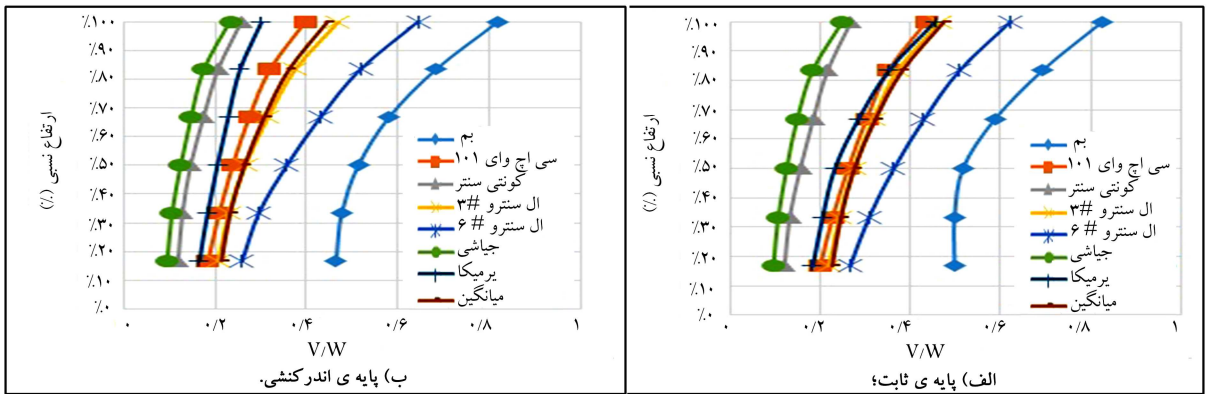
شکل ۱۱. مقادیر بیشینه (v/w) سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۴.



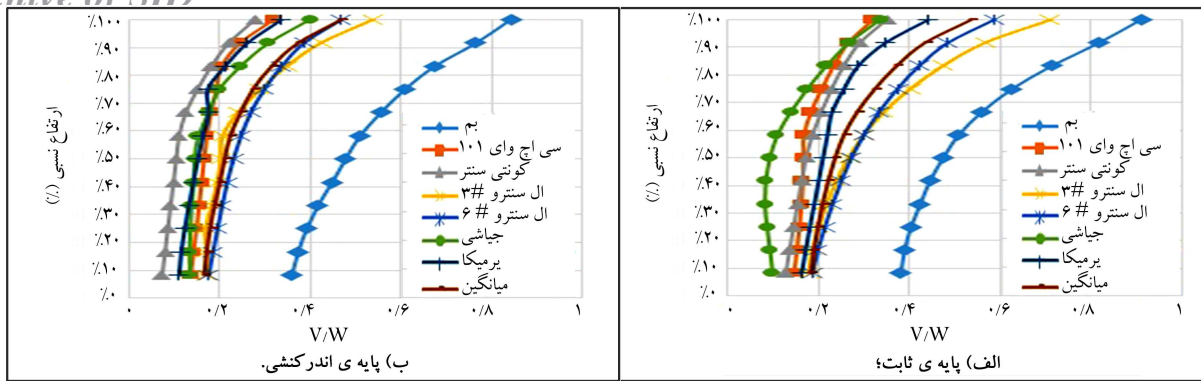
شکل ۱۲. مقادیر بیشینه (v/w) سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۴.



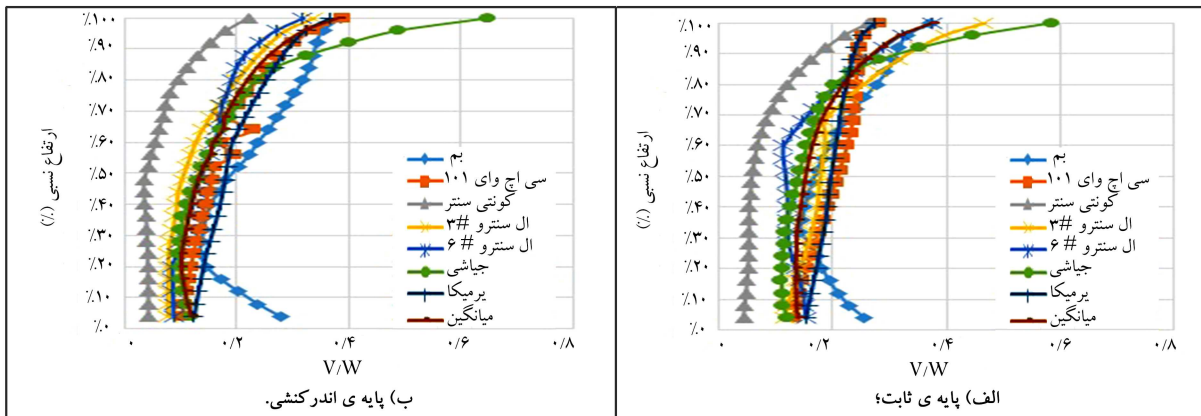
شکل ۱۳. مقادیر بیشینه (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۴.



شکل ۱۴. مقادیر بیشینه (v/w) سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تیپ ۴.



شکل ۱۵. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.



شکل ۱۶. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.

جدول ۵. مقایسه‌ی مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ها در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.

سازه‌ی ۲۵ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۶ طبقه		نام زلزله و ایستگاه آن
برش پایه به وزن	موثر کل سازه	برش پایه به وزن	موثر کل سازه	برش پایه به وزن	موثر کل سازه	
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
کاهش ۰٫۶۷	کاهش ۱٫۲	افزایش ۰٫۸۸	افزایش ۱٫۰۷	کاهش ۰٫۱۴	کاهش ۰٫۱۶	CHI-CHI-TAP ۰۹۵
افزایش ۵٫۴۸	افزایش ۵٫۰۲	کاهش ۰٫۶۲	کاهش ۰٫۸۹	کاهش ۰٫۲۷	کاهش ۰٫۶۸	CHI-CHI-CHY ۰۶۵
کاهش ۲٫۲۱	کاهش ۴٫۷۳	افزایش ۰٫۱۳	افزایش ۱٫۵۴	کاهش ۸٫۱۵	افزایش ۰٫۱۹	Imperial valley-Niland
افزایش ۱٫۵۹	افزایش ۶٫۱۶	کاهش ۰٫۱۳	کاهش ۰٫۳۸	افزایش ۰٫۱۵	کاهش ۰٫۰۴	Loma prieta-Alameda
کاهش ۰٫۶۸	کاهش ۲٫۷۶	کاهش ۰٫۹۳	کاهش ۱٫۸۵	افزایش ۰٫۲۳	کاهش ۰٫۱۴	Loma prieta-Oakland
افزایش ۷٫۹۶	افزایش ۹٫۶۹	افزایش ۰٫۵۶	افزایش ۰٫۲۷	کاهش ۰٫۸۳	کاهش ۰٫۹۲	Manjil-Qazvin
کاهش ۳٫۸۷	کاهش ۲٫۹۲	افزایش ۲٫۳۲	افزایش ۱٫۹۲	کاهش ۱٫۳	کاهش ۱٫۱	Tabas-Ferdows
افزایش ۱٫۰۴	افزایش ۱٫۳۵	افزایش ۰٫۱۹	افزایش ۰٫۴۱	کاهش ۰٫۷۳	کاهش ۰٫۲۹	میانگین زلزله‌ها

شکل‌های ۱۴ الی ۱۶، مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های دور از گسل در خاک تپ ۴ نشان می‌دهد. در جدول ۸، تغییرات نسبت (v/w) برای سازه‌های مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نسبت برای همه‌ی سازه‌ها، کاهش داشته و مقدار آن به ترتیب

در جدول ۷، تغییرات نسبت (v/w) برای سازه‌های مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این نسبت برای همه‌ی سازه‌ها، کاهش داشته و مقدار کاهش ذکر شده برای سازه‌ی ۶ طبقه بیش از بقیه‌ی سازه‌ها و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه کمتر از بقیه‌ی سازه‌ها بوده است.

جدول ۶. مقایسه‌ی مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ها در حالت پایهی اندرکنشی نسبت به پایهی ثابت، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)
Bam-Iran-Bam	۰٫۳۹	افزایش	۰٫۲۶	افزایش	۱٫۷۷	افزایش
CHI-CHI-CHY۱۰۱	۰٫۹۲	کاهش	۱٫۸	افزایش	۲٫۰۳	کاهش
Imperial valley-County	۰٫۰۶	کاهش	۱٫۲۷	کاهش	۱٫۲۲	کاهش
Imperial valley-El Centro #۳	۸٫۹۳	کاهش	۰٫۳۵	افزایش	۱٫۷۷	کاهش
Imperial valley-El Centro #۶	۰٫۵۳	افزایش	۰٫۰۵	کاهش	۲٫۷۳	کاهش
Northwest China-Jiashi	۱٫۲۸	کاهش	۱٫۸۶	افزایش	۲٫۵۶	کاهش
Kocaeli-Yermica	۰٫۲۷	کاهش	۱٫۲۵	افزایش	۰٫۳۳	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۱	کاهش	۰٫۵۸	افزایش	۰٫۱۴	کاهش

جدول ۷. مقایسه‌ی مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ها در حالت پایهی اندرکنشی نسبت به پایهی ثابت، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۴.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)
CHI-CHI-TAP۰۹۵	۷٫۶۹	کاهش	۱۵٫۴۳	کاهش	۱۲٫۸۲	کاهش
CHI-CHI-CHY۰۶۵	۲۲٫۶۳	کاهش	۱۲٫۶۲	کاهش	۱٫۶۳	افزایش
Imperial valley-Niland	۷٫۵۹	کاهش	۳۳٫۵۸	کاهش	۳۴٫۴۶	کاهش
Loma prieta-Alameda	۱۲٫۹۶	کاهش	۱۹٫۶	کاهش	۱۲٫۴۴	افزایش
Loma prieta-Oakland	۱۳٫۳۳	کاهش	۱٫۸۶	کاهش	۱۴٫۰۸	کاهش
Manjil-Qazvin	۱۸٫۸۴	کاهش	۴٫۱۶	کاهش	۵۸٫۵۶	افزایش
Tabas-Ferdows	۱۳٫۷۹	کاهش	۰٫۰۱	افزایش	۲۱٫۶۲	کاهش
میانگین زلزله‌ها	۱۳٫۶۹	کاهش	۱۰٫۱	کاهش	۶٫۷۷	کاهش

جدول ۸. مقایسه‌ی مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ها در حالت پایهی اندرکنشی نسبت به پایهی ثابت، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقات به وزن موثر تجمعی (%)
Bam-Iran-Bam	۶٫۶۳	کاهش	۵٫۷۴	کاهش	۸٫۰۹	افزایش
CHI-CHI-CHY۱۰۱	۸٫۳۹	کاهش	۶٫۷۸	کاهش	۲٫۶۱	کاهش
Imperial valley-County	۲٫۹۷	کاهش	۴۲٫۷۸	کاهش	۰٫۹۵	افزایش
Imperial valley-El Centro #۳	۶٫۲۱	کاهش	۲٫۸۷	کاهش	۳۲٫۴۸	کاهش
Imperial valley-El Centro #۶	۲٫۹۶	کاهش	۰٫۷	کاهش	۴۲٫۱۷	کاهش
Northwest China-Jiashi	۲٫۹۷	کاهش	۳۵٫۶۵	افزایش	۱٫۱۱	افزایش
Kocaeli-Yermica	۱۰٫۵	کاهش	۱۹٫۳۴	کاهش	۱۹٫۰۵	کاهش
میانگین زلزله‌ها	۶٫۱۲	کاهش	۵٫۵۲	کاهش	۱۴٫۱۶	کاهش

Archive of SID

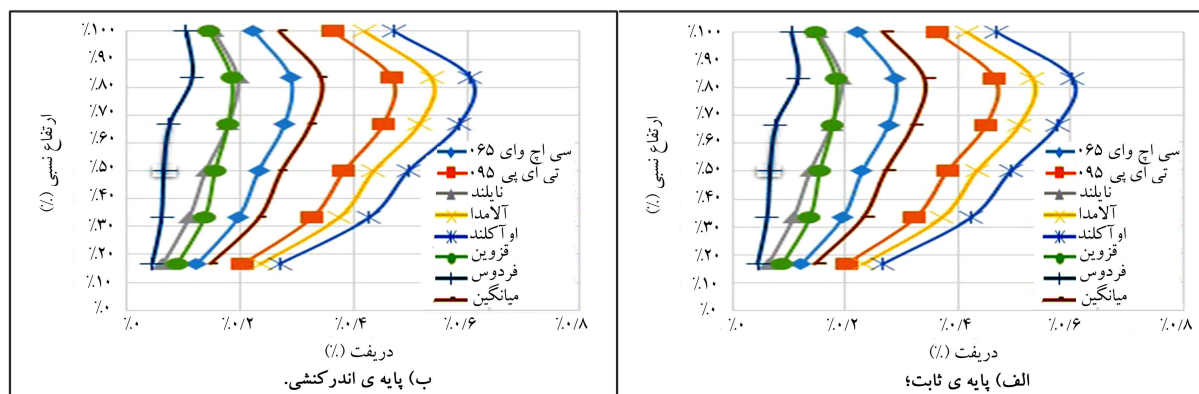
مقادیر بیشینه‌ی نسبت دررفت برای سازه‌های ۶، ۱۲، و ۲۵ طبقه در خاک تپ ۳، تحت زلزله‌های دور از گسل بررسی شده است.

در جدول ۹، تغییرات نسبت دررفت برای سازه‌های مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت دررفت برای همه‌ی سازه‌ها، افزایش داشته و مقدار آن برای سازه‌ی ۲۵ طبقه محسوس‌تر از سازه‌های ۶ و ۱۲ طبقه (که مقدار ناچیزی است) بوده است. شکل‌های ۲۰ الی ۲۲، مقادیر بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های نزدیک گسل در خاک تپ ۳ نشان می‌دهد. در جدول ۱۰، تغییرات نسبت دررفت برای سازه‌های

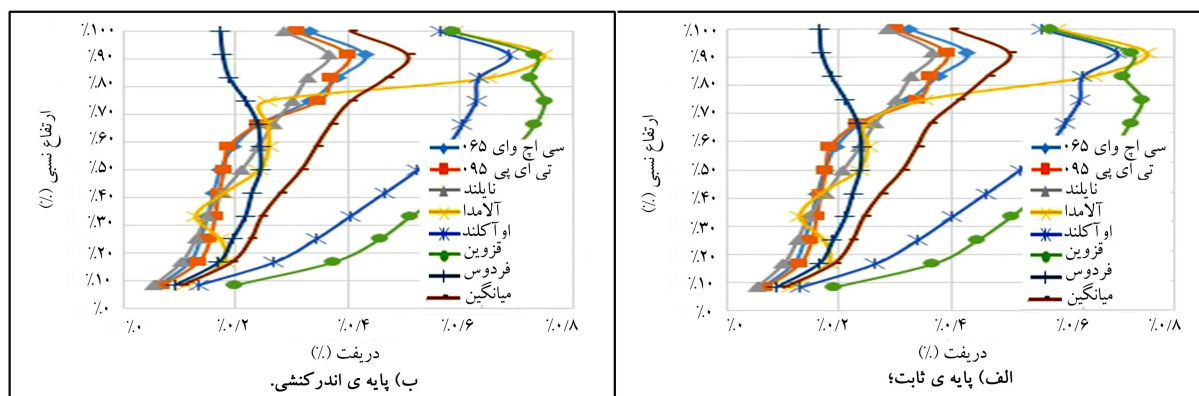
برای سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه بیش از سازه‌ی ۶ طبقه بوده است.

۹. بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات مدل‌ها در دو حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی

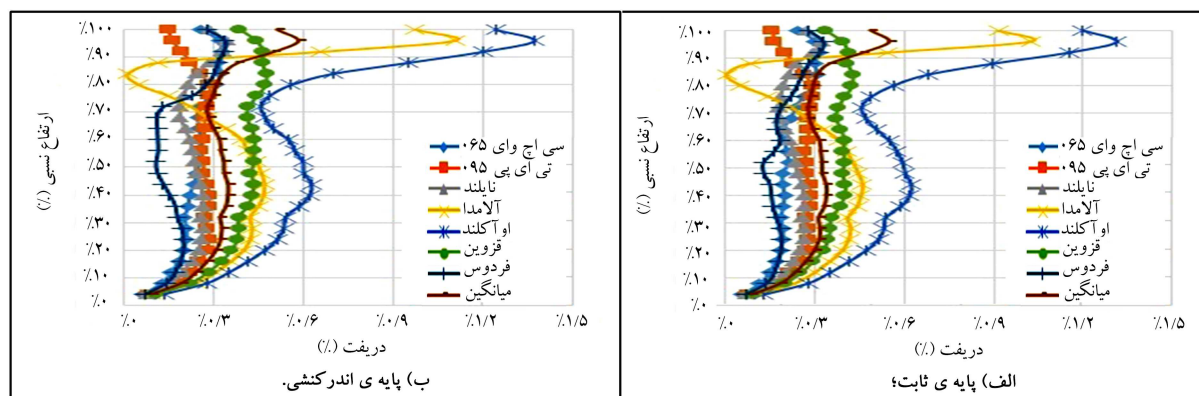
بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه در دو حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی تحت زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل با دو تپ خاک ۳ و ۴ در شکل‌های ۱۷ الی ۲۸ بررسی و مقایسه شده‌اند. در شکل‌های ۱۷ الی ۱۹،



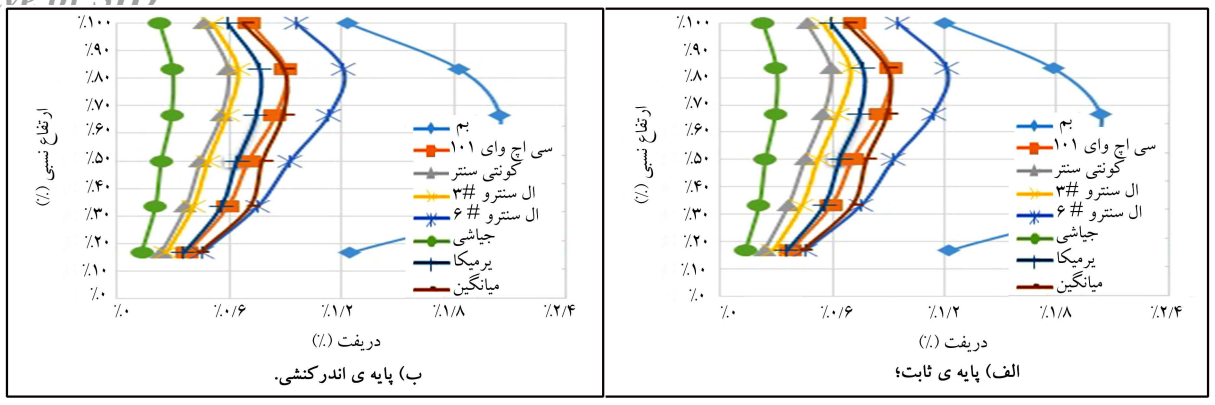
شکل ۱۷. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.



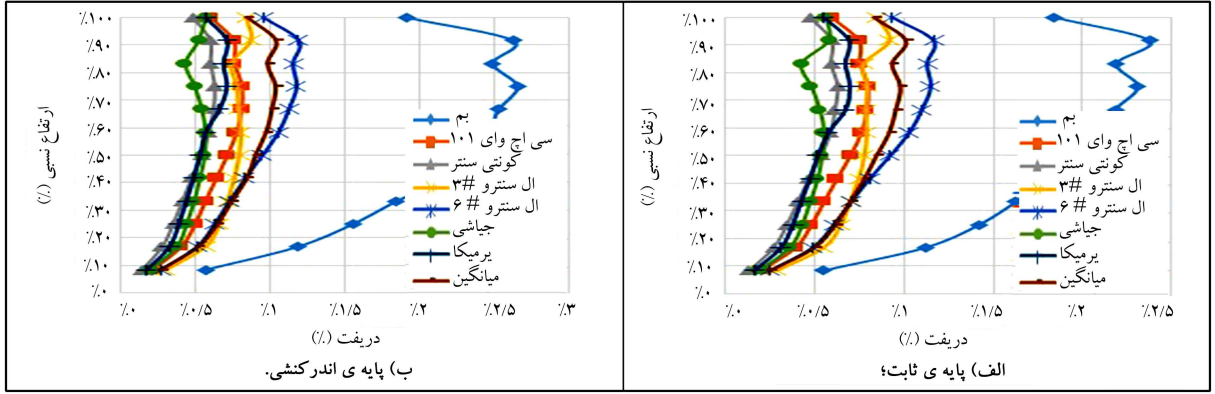
شکل ۱۸. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.



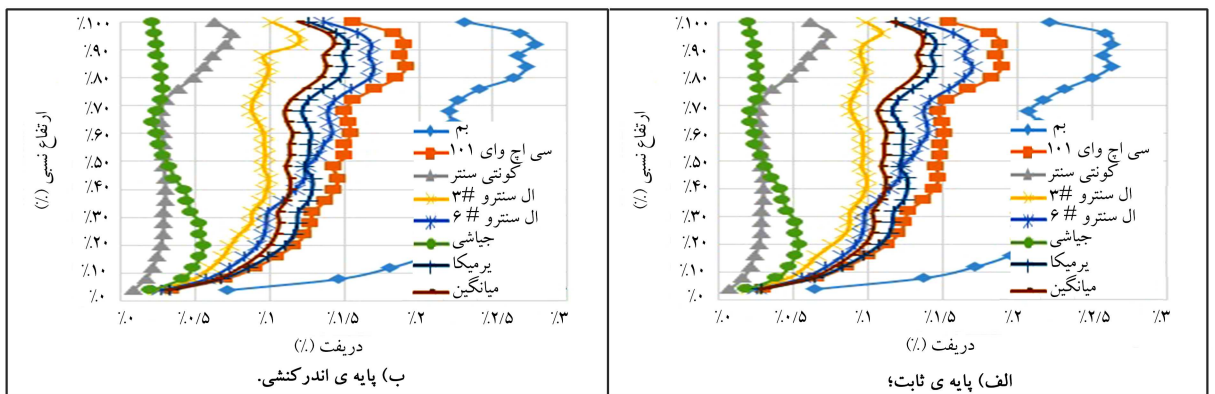
شکل ۱۹. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.



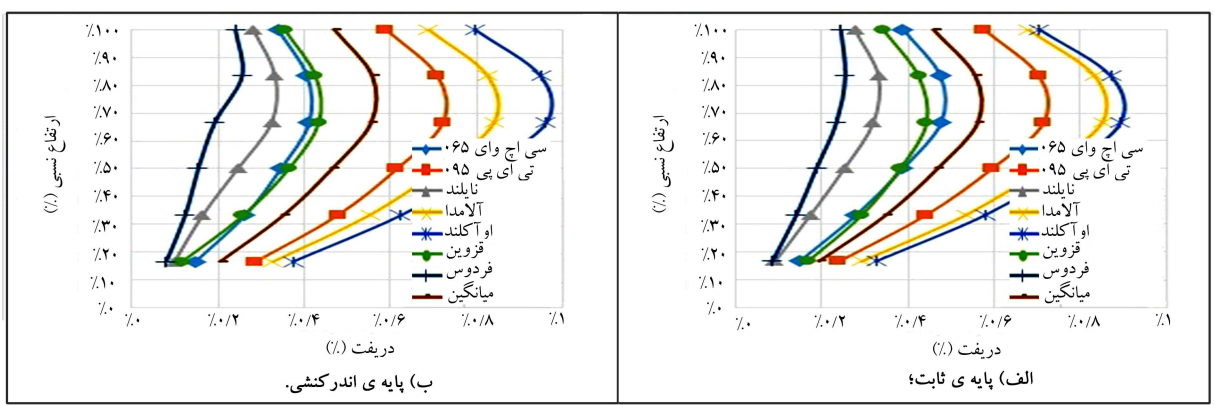
شکل ۲۰. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



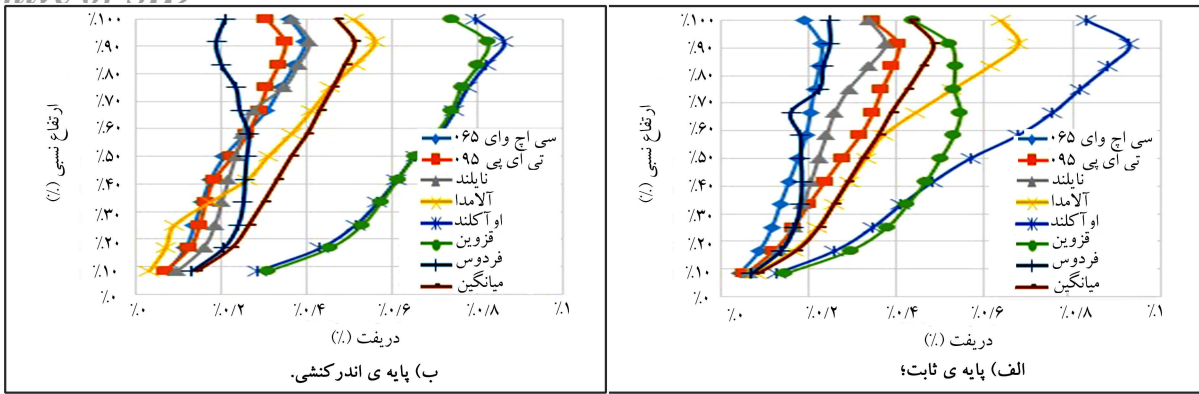
شکل ۲۱. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



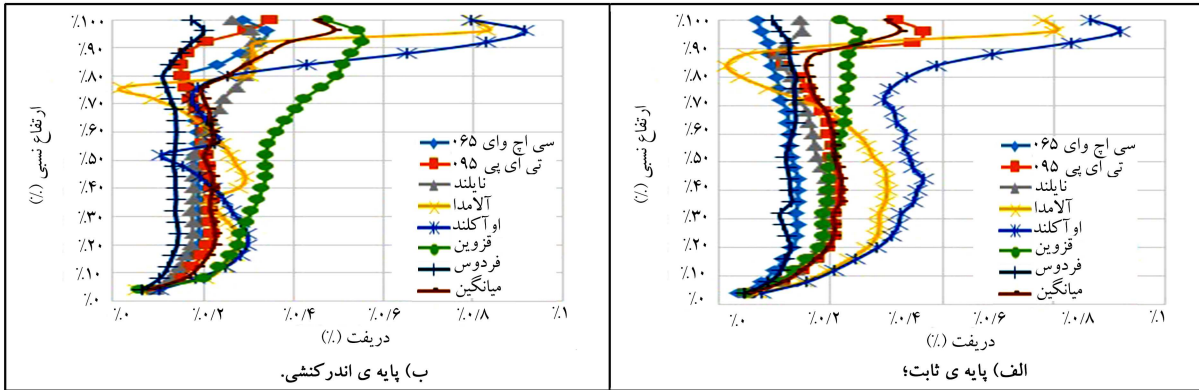
شکل ۲۲. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.



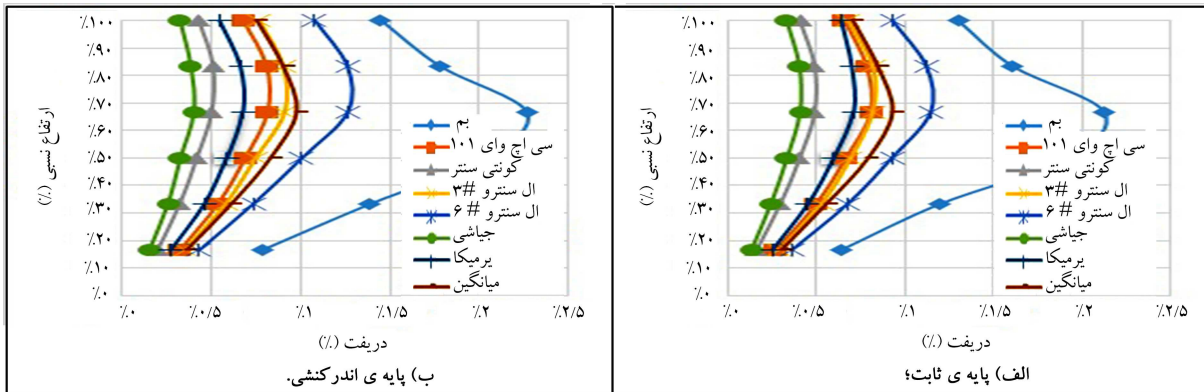
شکل ۲۳. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۴.



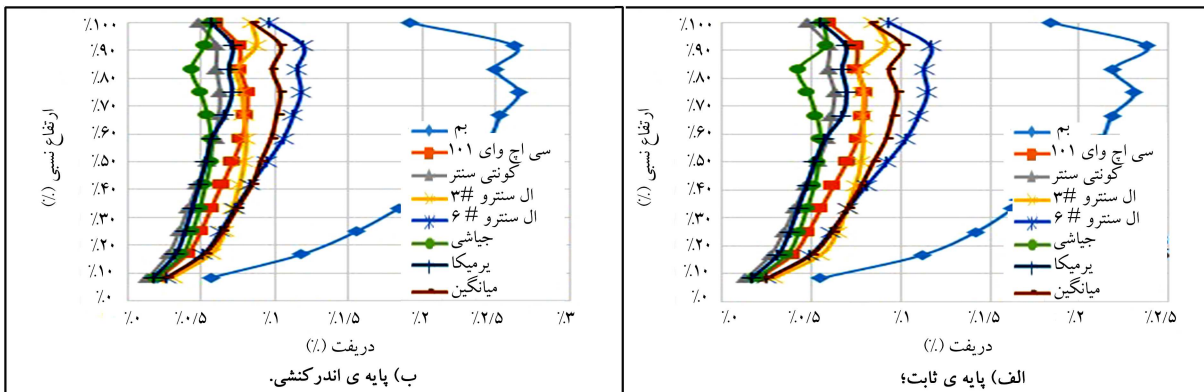
شکل ۲۴. مقادیر بیشینه دررفت طبقات سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۴.



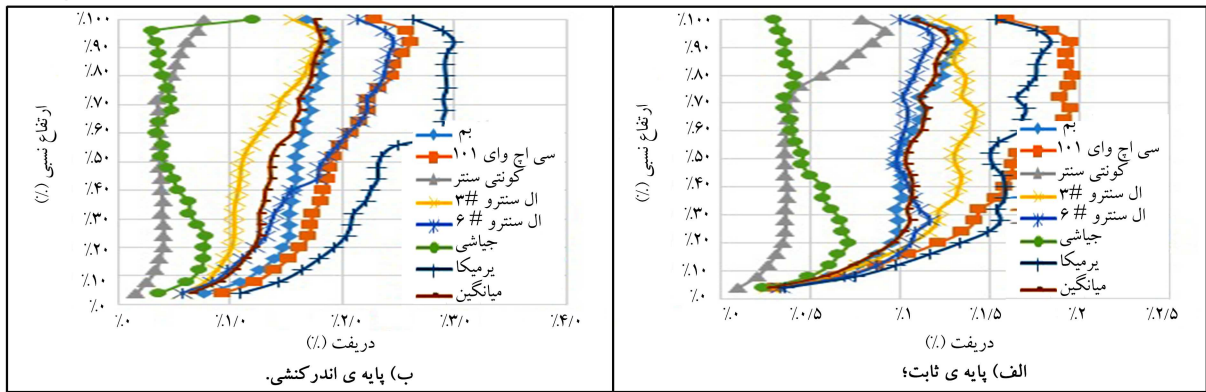
شکل ۲۵. مقادیر بیشینه دررفت طبقات سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۴.



شکل ۲۶. مقادیر بیشینه دررفت طبقات سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.



شکل ۲۷. مقادیر بیشینه دررفت طبقات سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.



شکل ۲۸. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.

جدول ۹. مقایسه‌ی بیشینه‌ی نسبت دررفت سازه‌ها درحالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۳.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)
CHI-CHI-TAP ۰۹۵	افزایش ۰٫۳۶	افزایش ۰٫۶۴	افزایش ۲٫۲۳	افزایش ۲٫۰۵	کاهش ۵٫۱۲	کاهش ۱٫۶۴
CHI-CHI-CHY ۰۶۵	افزایش ۰٫۰۳	افزایش ۰٫۳۸	افزایش ۰٫۱۸	افزایش ۰٫۲۲	افزایش ۴٫۱۸	افزایش ۱۱٫۲۳
Imperial valley-Niland	افزایش ۰٫۵۷	افزایش ۰٫۵۱	کاهش ۰٫۶۶	افزایش ۰٫۷۱	افزایش ۶٫۳۲	افزایش ۲٫۶۵
Loma prieta-Alameda	افزایش ۰٫۸۳	افزایش ۰٫۹۱	کاهش ۰٫۱۸	کاهش ۱٫۳۷	افزایش ۸٫۰۹	افزایش ۱۱٫۶۱
Loma prieta-Oakland	افزایش ۰٫۵۳	افزایش ۰٫۸۸	کاهش ۱٫۳۴	افزایش ۰٫۳۴	افزایش ۴٫۴۱	افزایش ۰٫۵۶
Manjil-Qazvin	افزایش ۰٫۱۵	کاهش ۰٫۰۳	افزایش ۱٫۴۵	افزایش ۱٫۷۶	افزایش ۱۲٫۴۶	افزایش ۱۰٫۰۸
Tabas-Ferdows	کاهش ۱٫۳۵	کاهش ۱٫۷۱	افزایش ۴٫۸۸	افزایش ۲٫۷۸	افزایش ۲٫۷۸	کاهش ۵٫۴۲
میانگین زلزله‌ها	افزایش ۰٫۳۹	افزایش ۰٫۵۶	افزایش ۰٫۴۳	افزایش ۰٫۸۹	افزایش ۵٫۷۹	افزایش ۳٫۱۴

جدول ۱۰. مقایسه‌ی بیشینه‌ی نسبت دررفت سازه‌ها درحالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۳.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	بیشینه‌ی دررفت میانگین دررفت‌ها (%)	دررفت میانگین دررفت‌ها (%)
Bam-Iran-Bam	افزایش ۲٫۴۷	افزایش ۱٫۷۵	افزایش ۱۰٫۷۱	افزایش ۱۱٫۹۵	افزایش ۴٫۰۵	افزایش ۵٫۱۱
CHI-CHI-CHY ۱۰۱	کاهش ۰٫۶۵	کاهش ۰٫۳۶	افزایش ۱٫۲۵	افزایش ۱٫۷۸	افزایش ۰٫۸۸	افزایش ۲٫۲۴
Imperial valley-County	افزایش ۰٫۷۷	افزایش ۰٫۹۵	کاهش ۰٫۴۹	افزایش ۰٫۶۱	افزایش ۰٫۵۳	کاهش ۰٫۰۱
Imperial valley-El Centro #۳	کاهش ۰٫۶۸	کاهش ۰٫۵۱	کاهش ۵٫۴۱	افزایش ۰٫۰۶	افزایش ۷٫۲۵	افزایش ۱٫۸
Imperial valley-El Centro #۶	کاهش ۰٫۰۷	کاهش ۰٫۰۲	افزایش ۲٫۲۹	افزایش ۲٫۹	افزایش ۰٫۲۳	افزایش ۱٫۱۹
Northwest China-Jiashi	کاهش ۰٫۰۵	کاهش ۰٫۳۷	کاهش ۱۰٫۳۲	کاهش ۰٫۹۸	افزایش ۱٫۸۷	افزایش ۲٫۵۲
Kocaeli-Yermica	-	-	افزایش ۲٫۵۱	افزایش ۱٫۷۸	افزایش ۴٫۹۴	افزایش ۳٫۵
میانگین زلزله‌ها	کاهش ۰٫۱۱	کاهش ۰٫۰۳	افزایش ۲٫۷۶	افزایش ۴٫۹۲	افزایش ۳٫۱۵	افزایش ۲٫۹۳

مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت دررفت برای سازه‌ی ۶ طبقه، کاهش ناچیز دارد، اما برای سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه با افزایش همراه است که مقدار آن برای سازه‌ی ۲۵ طبقه به مراتب بیش از سازه‌ی ۱۲ طبقه است.

شکل‌های ۲۶ الی ۲۸، مقادیر بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های نزدیک گسل در خاک تپ ۴ نشان می‌دهد. در جدول ۱۲، تغییرات نسبت دررفت برای سازه‌های

مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت دررفت طبقات برای سازه‌ی ۶ طبقه به مقدار ناچیز با کاهش روبه‌رو است، ولی در سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه با افزایش همراه است.

شکل‌های ۲۳ الی ۲۵، مقادیر بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های دور از گسل در خاک تپ ۴ نشان می‌دهد. در جدول ۱۱، تغییرات نسبت دررفت برای سازه‌های

جدول ۱۱. مقایسه‌ی بیشینه‌ی نسبت دررفت سازه‌ها در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپ ۴.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)
CHI-CHI-TAP ۰۹۵	۰٫۶	افزایش	۱۶٫۲۶	کاهش	۴۰٫۹۴	کاهش
CHI-CHI-CHY ۰۶۵	۱۴٫۶۷	کاهش	۷۲٫۶	افزایش	۳۲۲٫۲۴	افزایش
Imperial valley-Niland	۰٫۰۷	کاهش	۱۸٫۹۷	افزایش	۱۰۷٫۶۷	افزایش
Loma prieta-Alameda	۰٫۹۳	کاهش	۱۷٫۳۸	کاهش	۳۸٫۲۷	افزایش
Loma prieta-Oakland	۸٫۸۴	افزایش	۷٫۰۱	کاهش	۳۲٫۰۱	افزایش
Manjil-Qazvin	۰٫۱۷	افزایش	۵۸٫۱	افزایش	۱۲۲٫۴۴	افزایش
Tabas-Ferdows	۰٫۱۲	کاهش	۲۴٫۷۹	کاهش	۳۹٫۹۵	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۰٫۸۸	کاهش	۵٫۹۳	افزایش	۵۱٫۶۸	افزایش

جدول ۱۲. مقایسه‌ی بیشینه‌ی نسبت دررفت سازه‌ها در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپ ۴.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)	بیشینه‌ی دررفت (%)	میانگین دررفت (%)
Bam-Iran-Bam	۱۰٫۸۷	افزایش	۱۶٫۹۳	افزایش	۴۶٫۵۳	افزایش
CHI-CHI-CHY ۱۰ ۱	۳٫۸۱	افزایش	۳۹٫۱۱	افزایش	۳۳٫۴۵	افزایش
Imperial valley-County	۴٫۸۴	افزایش	۲۶٫۹۷	کاهش	۲۲٫۴۶	کاهش
Imperial valley-El Centro #۳	۱۰٫۵۲	افزایش	۱۸٫۲۵	کاهش	۳۲٫۷۵	افزایش
Imperial valley-El Centro #۶	۱۲٫۹۲	افزایش	۱٫۸۷	کاهش	۱۰٫۸۶۴	افزایش
Northwest China-Jiashi	۳٫۵۸	کاهش	۱۳	افزایش	۴٫۵۱	کاهش
Kocaeli-Yermica	۴٫۸۱	کاهش	۵٫۱۳	کاهش	۶۳٫۰۳	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۶٫۹۵	افزایش	۲٫۴	افزایش	۴۵٫۵	افزایش

۱٫۳۵ و ۱٫۰۴ درصد افزایش همراه بوده است. در شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل نیز تغییرات ذکر شده ناچیز بوده و به طور میانگین برای سازه‌ی ۶ طبقه، ۱ و ۳٫۲۲ درصد کاهش؛ برای سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۰٫۵۸ و ۰٫۵۸ درصد افزایش؛ و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه با ۰٫۱۴ و ۱٫۴۵ درصد کاهش همراه بوده است.

- در سازه‌های واقع بر روی خاک نرم‌تر (تپ ۴) تحت شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل و نزدیک گسل، اثر اندرکنش خاک-سازه بیشتر به چشم می‌خورد و سبب کاهش مقادیر نسبت برش پایه به وزن مؤثر کل سازه و همچنین میانگین برش به وزن مؤثر تجمعی طبقات در سازه می‌شود. کاهش مذکور در شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل برای سازه‌ی ۶ طبقه، ۱۳٫۶۹ و ۱۱٫۶۷ درصد؛ برای سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۱۰٫۱ و ۱۲٫۴ درصد؛ و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه، ۶٫۷۷ و ۸٫۵۹ درصد بوده است. در شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل به ترتیب برای سازه‌ی ۶ طبقه، ۶٫۱۲ و ۵٫۲۵ درصد؛ برای سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۹٫۳۶ و ۱۱٫۹۹ درصد؛ و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه، ۱۴٫۱۶ و ۹٫۷۹ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

- در خاک سخت‌تر (تپ ۳)، نسبت دررفت طبقات در حالت اندرکنشی تحت شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل برای بیشینه‌ی دررفت سازه و همچنین میانگین دررفت طبقات در سازه‌های ۶ و ۱۲ طبقه با افزایش بسیار ناچیز همراه بوده

مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت دررفت برای تمامی سازه‌ها، افزایش داشته است، به طوری که در سازه‌ی ۲۵ طبقه به مراتب بیشتر از سازه‌های ۶ و ۱۲ طبقه بوده است.

۱۰. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، به بررسی اثر اندرکنش خاک - سازه در سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه دارای سیستم باربر دیوار برشی فولادی با ورق نازک، تحت ۷ شتاب‌نگاشت دور از گسل و ۷ شتاب‌نگاشت نزدیک گسل قرار گرفته بر روی خاک‌های تپ ۳ و ۴ پرداخته شده و این نتایج به دست آمده است:

- سازه‌های قرار گرفته بر روی خاک سخت‌تر (تپ ۳) تحت شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل با تغییرات ناچیز، هم در نسبت برش پایه به وزن مؤثر کل سازه و هم در میانگین مقادیر مذکور برای سازه‌ی ۶ طبقه، ۰٫۲۹ و ۰٫۷۳ درصد کاهش؛ برای سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۰٫۴۱ و ۰٫۱۹ درصد افزایش و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه با

است. در شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل، در تمام سازه‌ها افزایش نسبت دررفت مشاهده می‌شود، به گونه‌ایی که به ترتیب در سازه‌ی ۶ طبقه، ۶/۹۵ و ۹/۴۱ درصد؛ در سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۲/۴ و ۲۱/۸۱ درصد؛ و در سازه‌ی ۲۵ طبقه با ۴۵/۵ و ۴۲/۳۶ درصد افزایش همراه بوده است.

- نتایج در مجموع نشان می‌دهند که آثار اندرکنش خاک - سازه در سیستم دیوار برشی فولادی در خاک‌های نرم‌تر، قابل ملاحظه‌تر از خاک‌های سخت‌تر است و می‌توان در خاک‌های سخت، اثر آن را نادیده گرفت. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند که اثر زلزله‌های نزدیک گسل در سازه‌ها با لحاظ اثر اندرکنش خاک و سازه بیشتر است. نتایج همچنین نشان داد که تیپ خاک در برخی سازه‌ها در زلزله‌های دور از گسل یا نزدیک گسل می‌تواند تأثیرگذار باشد.

است. در سازه‌ی ۲۵ طبقه، افزایش ذکر شده به طور میانگین به ترتیب ۵/۷۹ و ۳/۱۴ درصد بوده است. در شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل، در سازه‌ی ۶ طبقه تغییر خاصی در نسبت دررفت رخ نداده و در سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۲/۷۶ و ۴/۹۲ درصد و در سازه‌ی ۲۵ طبقه، ۳/۱۵ و ۲/۹۳ درصد با افزایش روبه‌رو شده است.

- در خاک نرم‌تر (تیپ ۴)، تحت شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل برای سازه‌ی ۶ طبقه در نسبت دررفت، اتفاق خاصی رخ نداده است؛ ولی در سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه، با افزایش قابل ملاحظه روبه‌رو شده است. برای بیشینه‌ی دررفت سازه و میانگین دررفت طبقات به ترتیب در سازه‌ی ۱۲ طبقه، ۵/۹۳ و ۱۷/۵۲ درصد و برای سازه‌ی ۲۵ طبقه با ۵۱/۶۸ و ۲۵/۶۹ درصد افزایش همراه بوده

منابع (References)

- Akkar, S. and Gulkan, P. "A near-fault design spectrum and its drift limits", *4th International Conference of Earthquake Engineering and Seismology*, CD-ROM, p. BS-17 (2003).
- Earthquake Resistant Design of building Regulations: 2800, 4th edition. Building and housing Reseach Center (2015).
- Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. No.360, 1st Revision, Office of Deputy for Strategic Supervision. Department of Technical Affairs (2013).
- Iranian Seismic Design Code for Oil Industries, 2nd Edition., Pub. No.038-10 (2010).
- El Ganainy, H. and El Nagggar, M.H. "Seismic performance of three-dimensional frame structures with underground stories", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **29**(9), pp. 1249-1261 (2009).
- Abedi-Nik, F. "The effect of soil-structure interaction system degrees of freedom on dynamic response of structures", Doctoral dissertation, Amirkabir University of Technology (2012).
- Forooghi, H., Behnamfar, F. and Madani, B. "Case Study for evaluation of dynamic characteristics of adjacent buildings", *Journal AJSR Civil and Enviromental Engineering*, **48**(3), pp. 111-115 (2016).
- Yang, D., Pan, J. and Li, G. "Interstory drift ratio of building structures subjected to near-fault ground motions based on generalized drift spectral analysis", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **30**(11), pp. 1182-1197 (2010).
- Gerami, M. and Abdollahzadeh, D. "Estimation of forward directivity effect on design spectra in near field of fault", *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, **2**(9), pp. 8670-8686 (2012).
- Fanaei, N. and Bashiri, F. "Investigation into the pulse of directivity in near field records of iran using stochastic finite fault simulation", *Journal Civil and Engineering SHARIF*, **32-2**(1.1), pp. 131-139 (2016).
- Sabouri-Ghomi, S. and Gholhaki, M. "Experimental study of two three-story ductile steel plate shear walls", *Journal Amirkabir*, **19**, pp. 29-42 (2008).
- Bhowmick, A.K. "Seismic behavior of steel plate shear walls with centrally placed circular perforations", *Thin-Walled Structures*, **75**, pp. 30-42 (2014).
- Purba, R. and Bruneau, M. "Experimental investigation of steel plate shear walls with in-span plastification along horizontal boundary elements", *Engineering Structures*, **97**, pp. 68-79 (2015).
- Canadian Standard Association, "CAN/CSA-S16-01, Limit states design of steel structures", (Ontario, Canada): CSA (2014).
- American Institute of Steel Construction (AISC), "Seismic Provisions for structural steel building", Chicago (IL, USA), AISC (2010).
- 6th Topic the National Building Pervision., *Exerted Load on Building*, 3rd Edition (2013).
- 10th Topic the National Building Pervision., *Design and Construction of Steel Building*, 4th Edition (2013).