

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

مجید قلعه‌کی* (دانشیار)

سینا بلول (کارشناس ارشد)

امید رضایی‌فر (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

مهندسی عمران شریف، (تابستان ۱۳۹۸)
دور ۲ - ۳۵، شماره ۲/۲، ص. ۹۵-۸۱

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.

mgholhaki@semnan.ac.ir
sinabalool@semnan.ac.ir
orezayfar@semnan.ac.ir

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 همگی سیستم‌های مهاربندی را از نقطه‌نظر ذکر شده دارد.

خسارت‌های ایجاد شده در سازه‌ها در اثر زلزله‌های نورث‌ریج (۱۹۹۴)، کوبه (۱۹۹۵)، زمین‌لرزه 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 تغییر مکانی 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

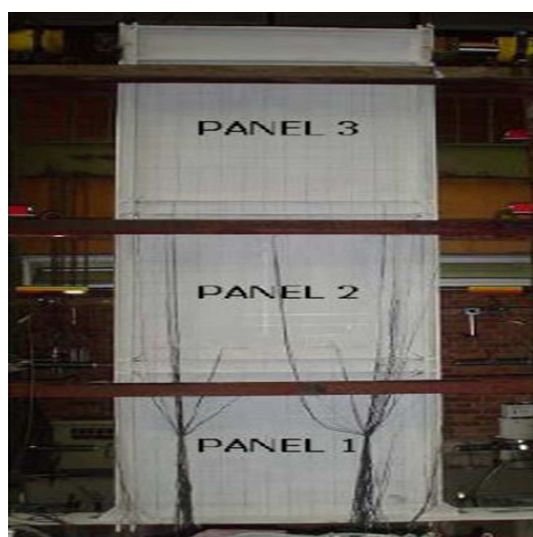
۲. بررسی مطالعات پیشین

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 تغییر شکل‌های 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]

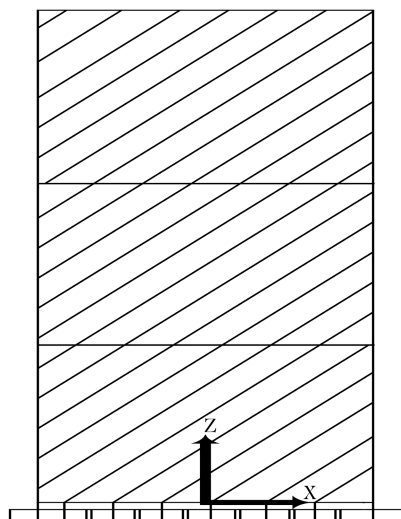
در سال ۲۰۱۲، در بررسی توزیع تغییر مکان جانبی در ارتفاع سازه، نشان

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 طبقه‌ای 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 چرخه‌ی جابه‌جایی طبقه‌ی اول به عنوان مبنا 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 چرخه‌ی 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



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



شکل ۲. مدل‌سازی دیوار برشی فولادی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰.

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 حوزه‌ی 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 حوزه‌ی نزدیک با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده، مودهای بالاتر سازه را تحریک می‌کند؛ در حالی که حوزه‌ی 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 لرزه‌ی 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 حوزه‌ی 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 حوزه‌ی نزدیک استفاده شود، توجه به آثار حرکات شدید حوزه‌ی دور برای سازه‌ی طرح شده به همان اندازه اهمیت دارد.^[۹] در سال ۲۰۱۶، نیز از روش شبیه‌سازی احتمالی و با فرض چشمه‌ی نقطه‌ی 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 دوره‌ی آزمایش شدند. دیوارهای مذکور دو نوع اتصال تیر به ستون صلب (SPSW-R) و ساده (SPSW-S) داشتند و در ورق پائل‌ها 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 لرزه‌ی سیستم دیوار برشی فولادی با چند بازشوی دایره‌ی 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]

۴. طراحی دیوار برشی فولادی با ورق نازک به روش

نواری

آیین نامه های فولاد کانادا (CAN/CSA S ۱۶-۱۴)^[۱۴] و فولاد آمریکا (AISC)^[۱۵]، دیوار برشی فولادی را به عنوان یک سیستم باربر جانبی پذیرفته اند. در آیین نامه های ذکر شده، به منظور طراحی دیوار برشی فولادی با ورق نازک، ابتدا طراحی اولیه ی مقاطع تیر، ستون و ورق های دیوارها مشابه یک خرپای قائم با مهاربند فقط کششی انجام می شود.

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

$$t = \frac{2A_b \cdot \sin \theta \cdot \sin^2 \alpha}{L \cdot \sin^2 \alpha} \quad (۱)$$

که در آن، θ زاویه ی بین مهاربند و ستون، L عرض دهانه ی قاب، A_b سطح مقطع مهاربند معادل و α زاویه ی تشکیل میدان کشش قطری در ورق فولادی است که از رابطه ی ۲ به دست می آید:

$$\tan^2 \alpha = \frac{1 + \frac{t \cdot L}{2A_c}}{1 + t \cdot h_s \cdot \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h_s^2}{46 \times I_c \cdot L} \right)} \quad (۲)$$

که در آن، A_c و I_c به ترتیب سطح مقطع و ممان اینرسی ستون های کناری، h_s ارتفاع طبقه و A_b سطح مقطع تیر است. پس از تعیین ضخامت، هر ورق به تعدادی نوار مورب تبدیل می شود که سطح مقطع هر نوار از رابطه ی ۳ به دست می آید:

$$A_s = \frac{L \cdot \cos \alpha + h_s \cdot \sin \alpha}{n} \cdot t \quad (۳)$$

که در آن، n تعداد نوارهاست. مطالعات متعددی در زمینه ی تعیین تعداد نوار مورد نیاز انجام شده است، که نتایج آن ها نشان دهنده ی کفایت ۱۰ عدد نوار مورب برای آنالیز یک دیوار برشی فولادی با ورق نازک است. با توجه به اینکه ستون ها ممکن است تحت تأثیر میدان کشش قطری دچار کمانش شوند، لذا سختی ستون های کناری باید از رابطه ی ۴ تبعیت کند.

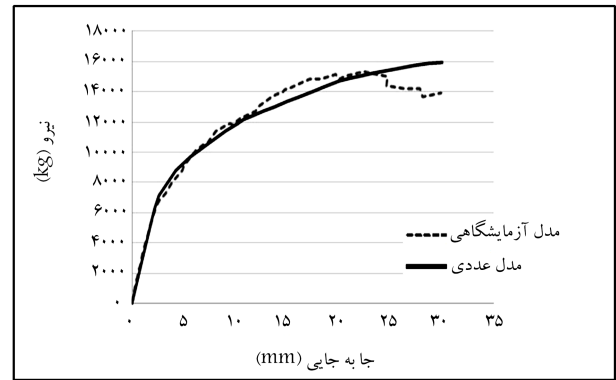
$$I_c \geq \frac{0.0037 t \cdot h_s^3}{L} \quad (۴)$$

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

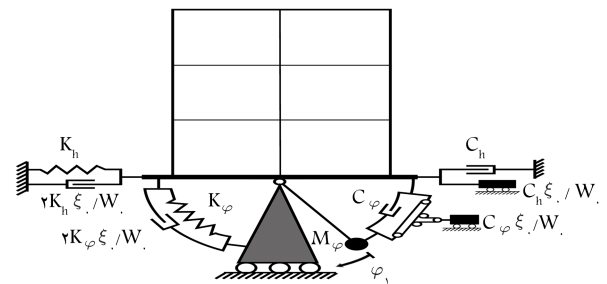
$$M_{fpb} = \frac{\sigma_{ty} t L^2}{8} \cdot \sin^2 \alpha \quad (۵)$$

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

$$M_{fpb} = \frac{\sigma_{ty} t h^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha \quad (۶)$$



شکل ۳. مقایسه ی نتایج عددی و آزمایشگاهی نمونه ی ۳ طبقه ی قلهکی و صبور.



شکل ۴. اعمال روش مخروطی خاک زیر سازه در تحلیل ها.

جدول ۱. مقایسه ی دوره ی تناوب اصلی سازه ی به دست آمده از نرم افزار SAP۲۰۰۰ و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ی ایران.

سازه	خاک نمونه ی ۱		خاک نمونه ی ۲	
	$T_{SAP2000}$	$T_{آیین نامه}$	$T_{SAP2000}$	$T_{آیین نامه}$
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 مدل سازی شکست، بارگی و غیره ی اجزاء نمی توانند بار نهایی مدل را به خوبی به دست آورند که در شکل ۳ نیز مشاهده می شود و نیز به علت استفاده از المان های یک بعدی، بحث ابعاد مش بندی مطرح نبوده است.

پس از بحث صحت سنجی دیوار برشی به روش نواری در نرم افزار SAP۲۰۰۰، نوبت به صحت سنجی نرم افزار مذکور در بحث اندرکنش خاک - سازه است. بعد از به دست آمدن توابع امیدانس نمونه های خاک، برای اعمال روش مخروطی (مطابق شکل ۴)، ضرایب مذکور برای نرم افزار SAP۲۰۰۰، تعریف و سپس به سازه اختصاص داده شد و زمان تناوب اصلی سازه ها از نرم افزار، با زمان تناوب اصلی مؤثر سازه (که در پیوست پنجم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ی 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.

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود، زمان تناوب اصلی سازه با استفاده از روش مخروطی در نرم افزار SAP۲۰۰۰ با روش زیر سازه در آیین نامه تفاوت چندانی نداشته و قابل قبول است و می توان به این نتیجه رسید که توابع امیدانس نرم افزار CONAN و نحوه ی مدل سازی خاک روش مخروطی در نرم افزار 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 $۱۰^۶ \times ۲/۱$ 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 تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی صورت پذیرفت. ساختمان‌ها براساس می‌ب‌ششم مقررات ملی ساختمان^[۱۶] بارگذاری ثقلی و براساس استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران^[۲] 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 می‌ب‌ششم 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 ۱۲، ۶ 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 ۱۲، ۶ و ۲۵ طبقه را در حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی برای زلزله‌های نزدیک 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 ۱۲ طبقه، نسبت (v/w) با افزایش ناچیز همراه بوده است. در شکل‌های ۱۱ الی ۱۳، مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌های ۱۲، ۶ 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 $0.2T$ و $1.5T$ با طیف طرح استاندارد مقایسه شدند.

۷. تحلیل مدل‌ها و ارزیابی تأثیر حضور خاک در رفتار

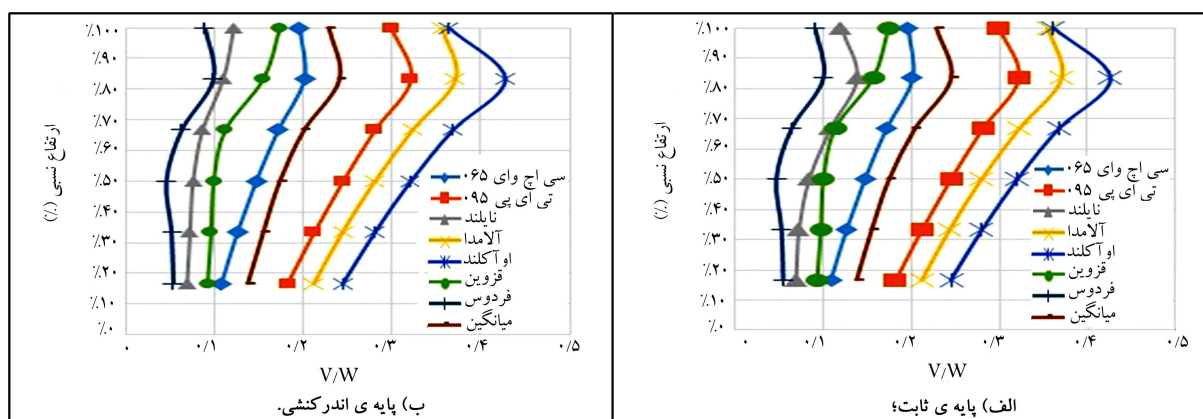
سیستم دیوار برشی فولادی با ورق نازک

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.

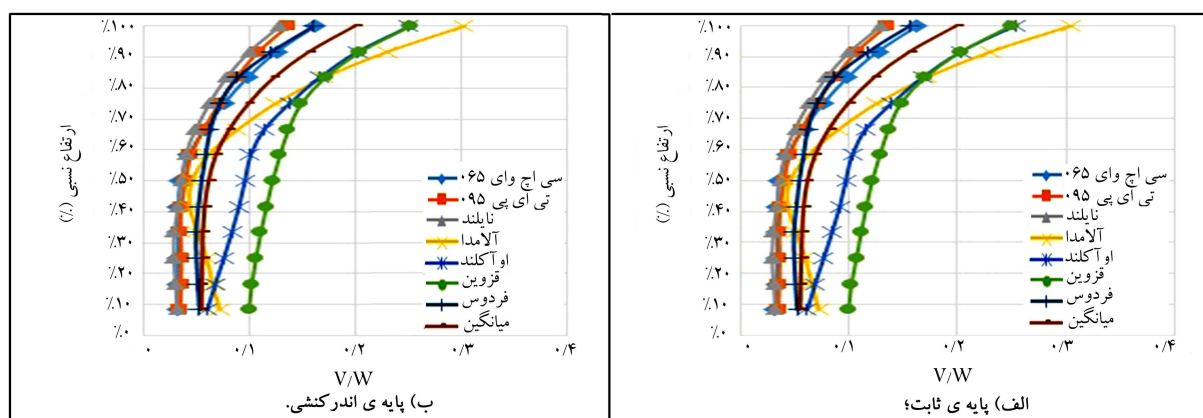
۸. نسبت برش به وزن تجمعی مؤثر طبقات مدل‌ها در دو

حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی

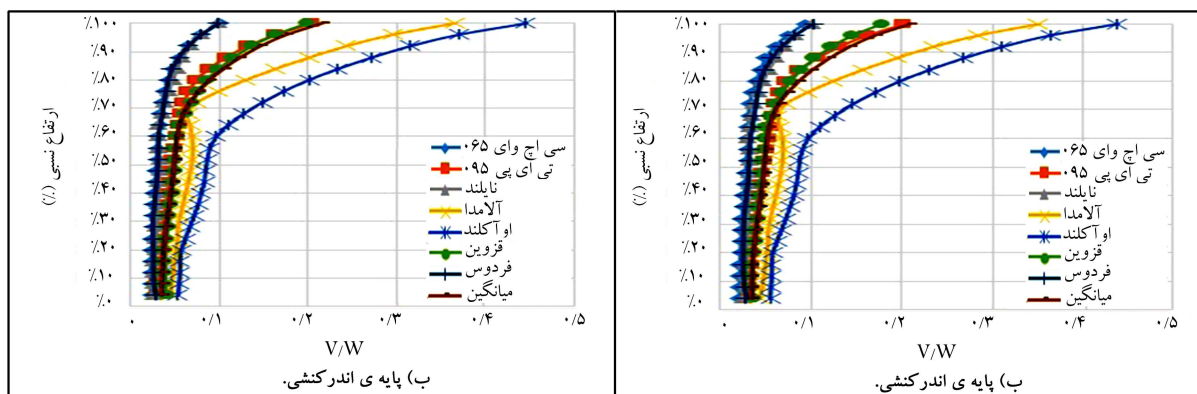
در بخش حاضر از نسبت (V/W) که بیانگر نسبت برش طبقات به وزن مؤثر تجمعی سازه است، به عنوان نمادی شبیه به ضریب زلزله (c) که پارامتری بی بعد است، در ارائه‌ی نتایج استفاده شده است. منظور از بار مؤثر سازه، بار مرده‌ی طبقات و 0.2



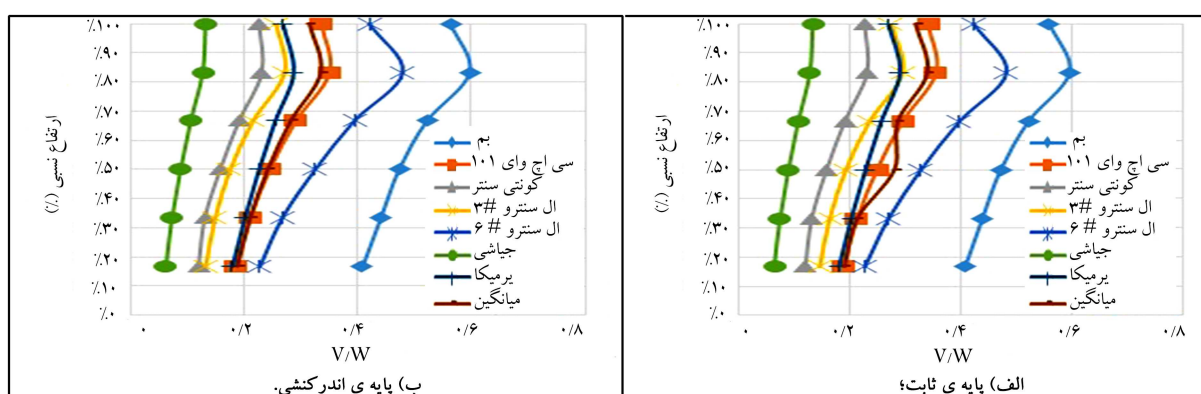
شکل ۵. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.



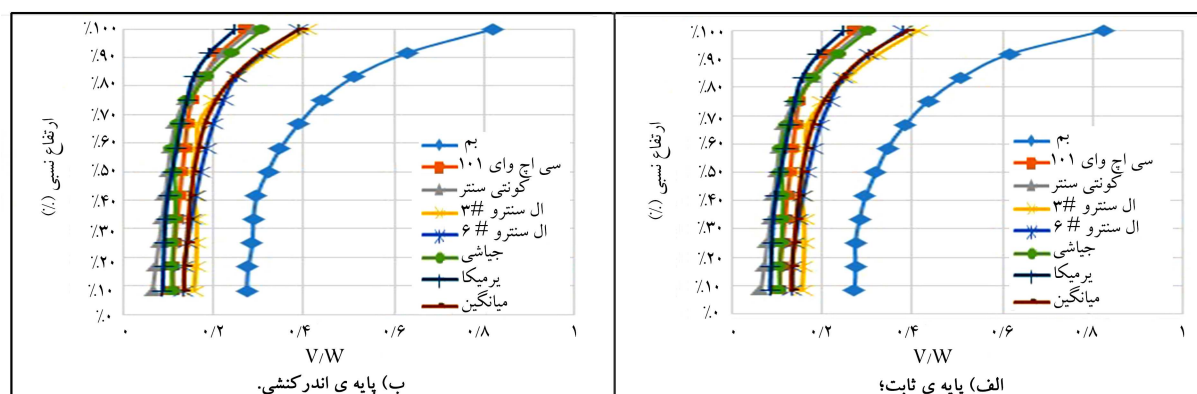
شکل ۶. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.



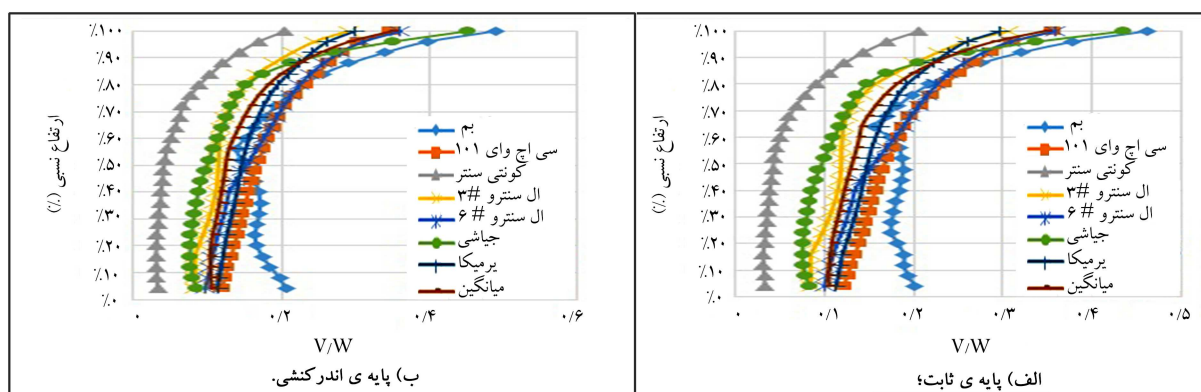
شکل ۷. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.



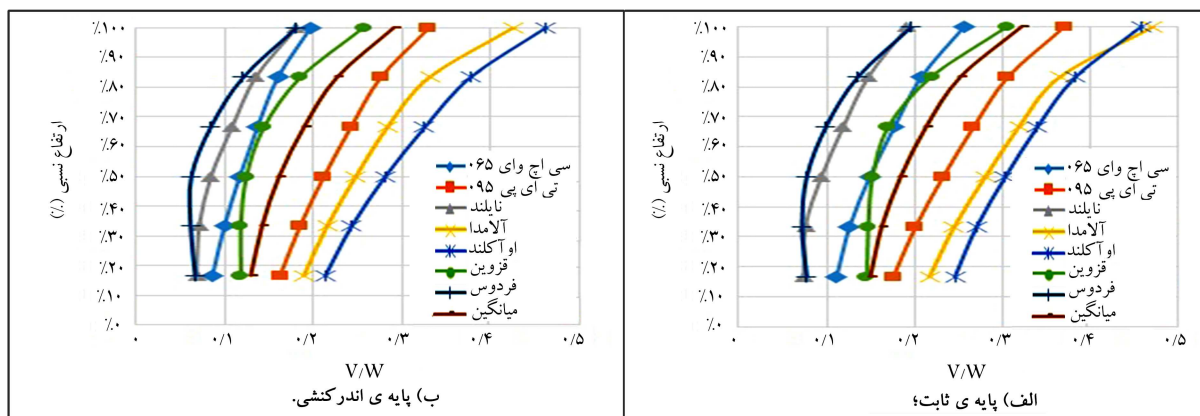
شکل ۸. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تیپ ۳.



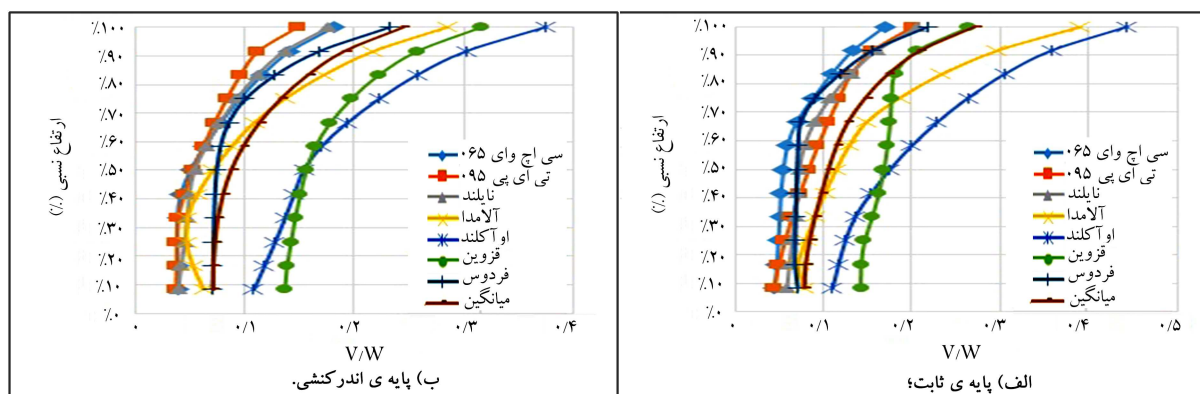
شکل ۹. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تیپ ۳.



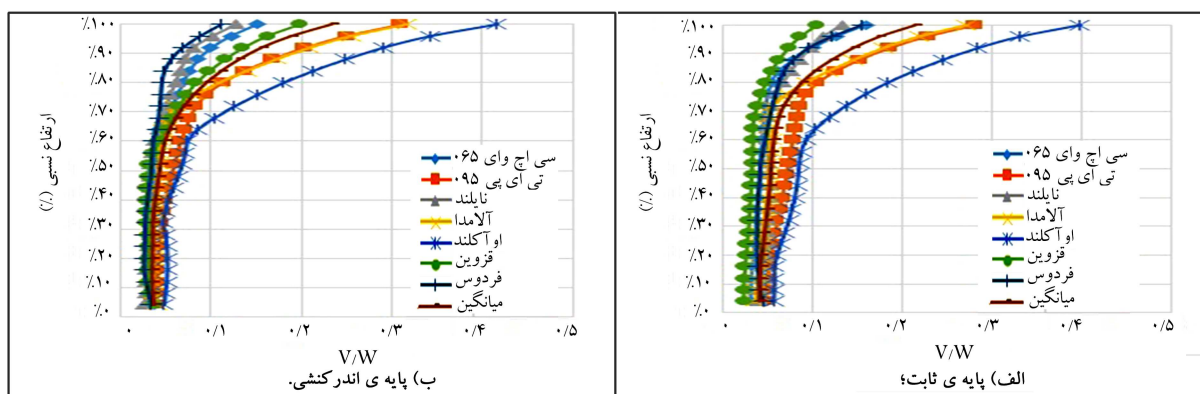
شکل ۱۰. مقادیر بیشینه‌ی (v/w) سازی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تیپ ۳.



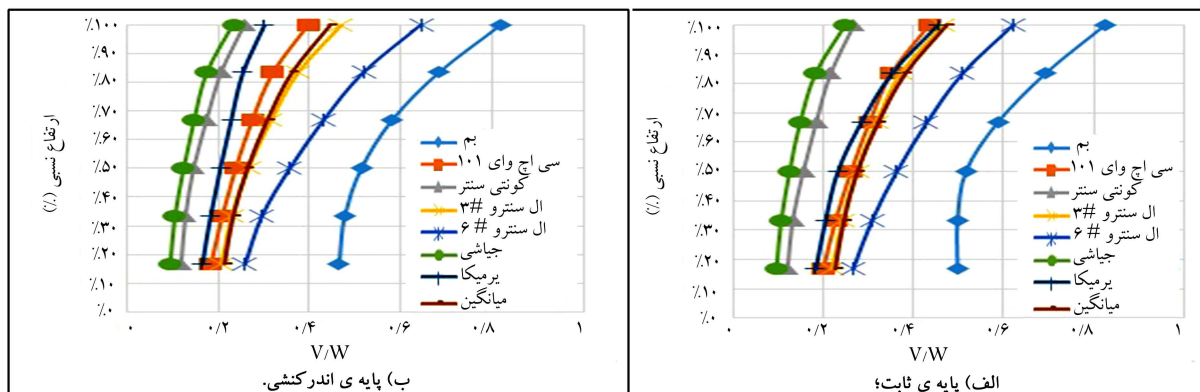
شکل ۱۱. مقادیر بیشینه ی (v/w) سازی ۶ طبقه، تحت زلزله های دور از گسل و خاک تیپ ۴.



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



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



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

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 طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)
Bam-Iran-Bam	۰/۳۹	افزایش	۵/۲۶	کاهش	۰/۲۶	افزایش
CHI-CHI-CHY ^{۱۰۱}	۰/۹۲	کاهش	۱/۱۱	کاهش	۱/۲۵	کاهش
Imperial valley-County	۰/۰۶	کاهش	۰/۰۸	افزایش	۱/۲۲	کاهش
Imperial valley-El Centro #۳	۸/۹۳	کاهش	۸/۱۷	کاهش	۳/۲۶	کاهش
Imperial valley-El Centro #۶	۰/۵۳	افزایش	۰/۴۹	کاهش	۲/۷۳	کاهش
Northwest China-Jiashi	۱/۲۸	کاهش	۰/۸۹	کاهش	۲/۵۶	کاهش
Kocaeli-Yermica	۰/۲۷	کاهش	۰/۴۷	کاهش	۰/۳۳	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۱	کاهش	۳/۲۲	کاهش	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 طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)
CHI-CHI-TAP ^{۰۹۵}	۷/۶۹	کاهش	۹/۱۸	کاهش	۱۵/۴۳	کاهش
CHI-CHI-CHY ^{۰۶۵}	۲۲/۶۳	کاهش	۲۲/۳۷	کاهش	۱۲/۶۲	کاهش
Imperial valley-Niland	۷/۵۹	کاهش	۷/۸۴	کاهش	۳۳/۵۸	کاهش
Loma prieta-Alameda	۱۲/۹۶	کاهش	۱۱/۲۷	کاهش	۱۹/۶	کاهش
Loma prieta-Oakland	۱۳/۳۳	کاهش	۶/۰۳	کاهش	۸/۹۹	کاهش
Manjil-Qazvin	۱۸/۸۴	کاهش	۱۷/۲۳	کاهش	۴/۱۶	کاهش
Tabas-Ferdows	۱۳/۷۹	کاهش	۱۳/۵۳	کاهش	۰/۰۱	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۱۳/۶۹	کاهش	۱۱/۶۷	کاهش	۱۰/۱	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 طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)	برش پایه به وزن موثر کل سازه (%)	میانگین برش طبقه‌ها به وزن موثر تجمعی (%)
Bam-Iran-Bam	۶/۶۳	کاهش	۲/۴۳	کاهش	۵/۷۴	کاهش
CHI-CHI-CHY ^{۱۰۱}	۸/۳۹	کاهش	۹/۰۴	کاهش	۶/۷۸	کاهش
Imperial valley-County	۲/۹۷	کاهش	۵/۰۲	کاهش	۴۲/۷۸	کاهش
Imperial valley-El Centro #۳	۶/۲۱	کاهش	۲/۵۷	کاهش	۲/۸۷	کاهش
Imperial valley-El Centro #۶	۲/۹۶	کاهش	۰/۷	کاهش	۱۴/۹۶	کاهش
Northwest China-Jiashi	۲/۹۷	کاهش	۳/۶۷	کاهش	۳۵/۶۵	افزایش
Kocaeli-Yermica	۱۰/۵	کاهش	۱۹/۳۴	کاهش	۳۲/۰۴	کاهش
میانگین زلزله‌ها	۶/۱۲	کاهش	۵/۵۲	کاهش	۹/۳۶	کاهش

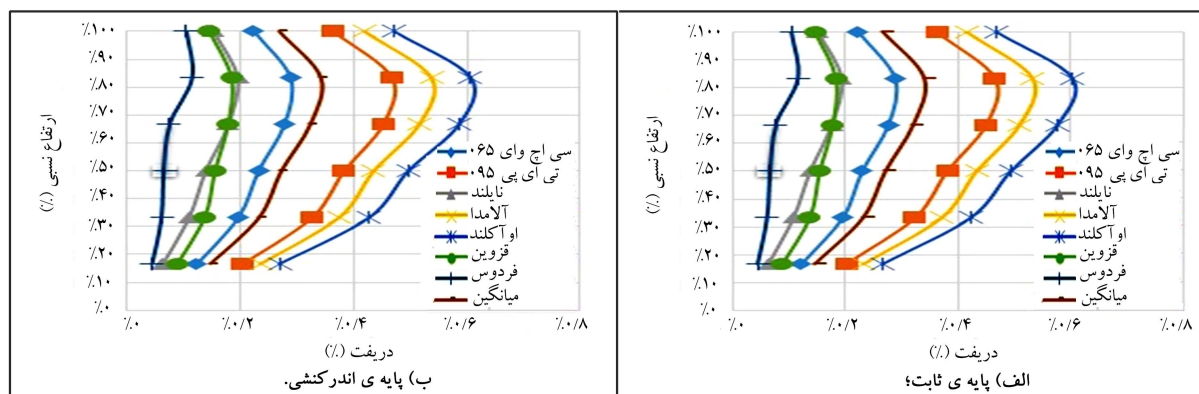
برای سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه بیش از سازه‌ی ۶ طبقه بوده است.

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

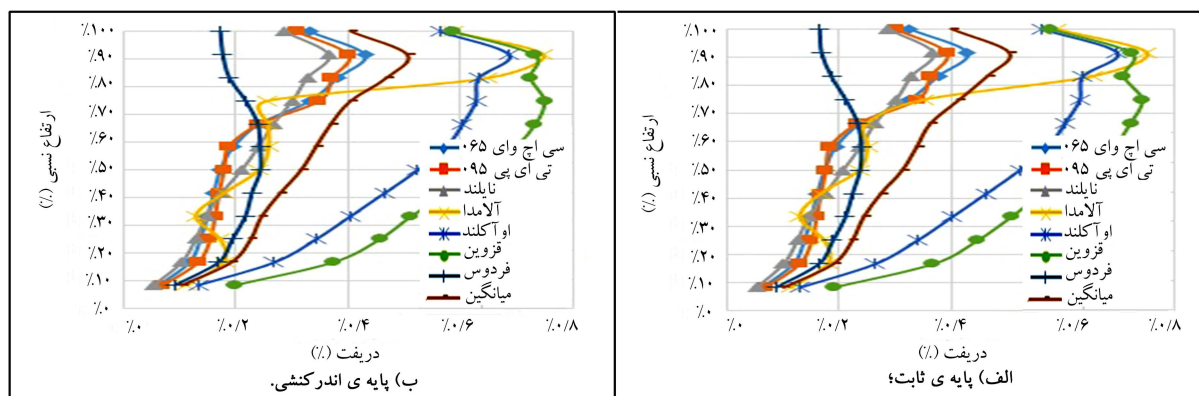
در جدول ۹، تغییرات نسبت دررفت برای سازه‌های مذکور در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت دررفت برای همه‌ی سازه‌ها، افزایش داشته و مقدار آن برای سازه‌ی ۲۵ طبقه محسوس‌تر از سازه‌های ۶ و ۱۲ طبقه (که مقدار ناچیزی است) بوده است. شکل‌های ۲۰ الی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

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

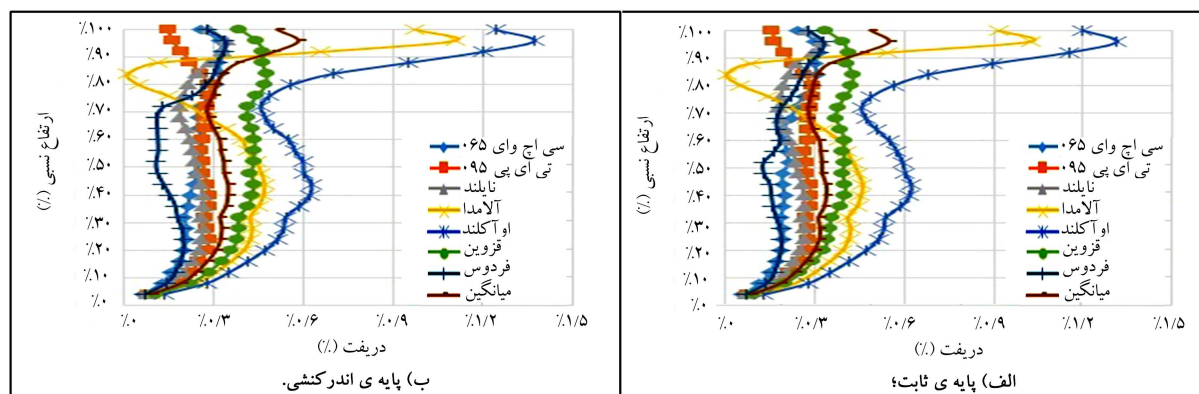
بیشینه‌ی نسبت دررفت طبقات سازه‌های ۶، ۱۲ و ۲۵ طبقه در دو حالت پایه‌ی ثابت و اندرکنشی تحت زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل با دو تیپ خاک ۳ و ۴ در شکل‌های ۱۷ الی ۲۸ بررسی و مقایسه شده‌اند. در شکل‌های ۱۷ الی ۱۹،



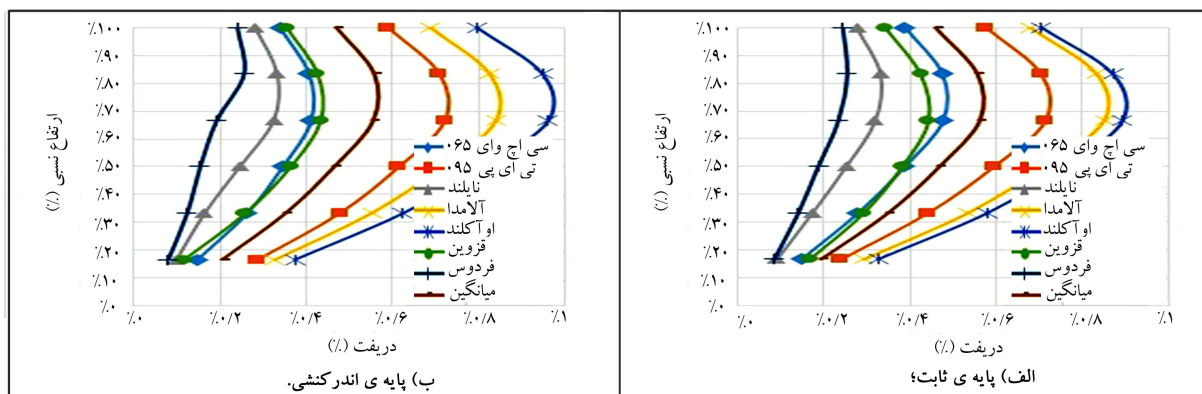
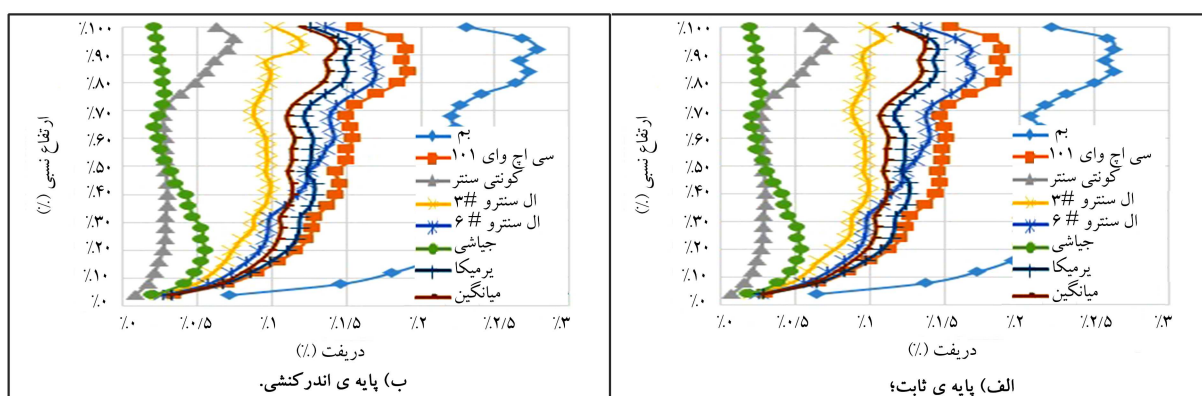
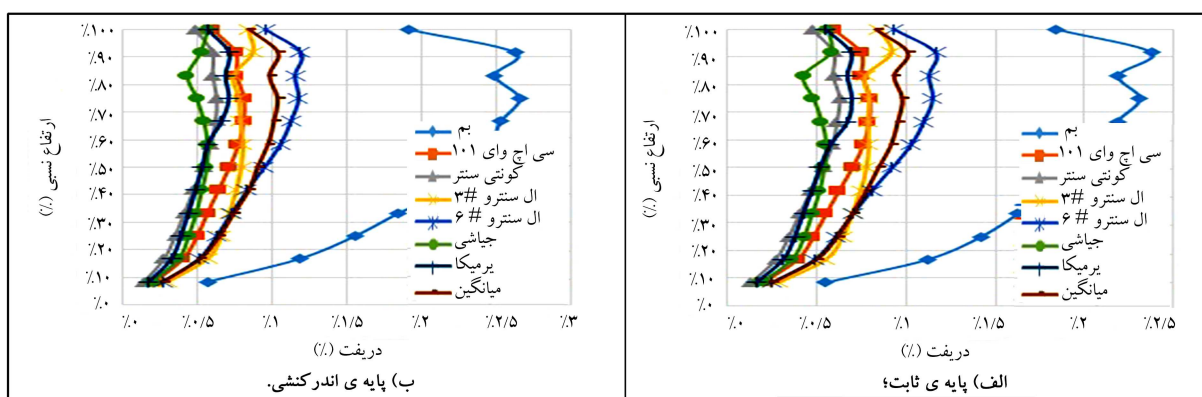
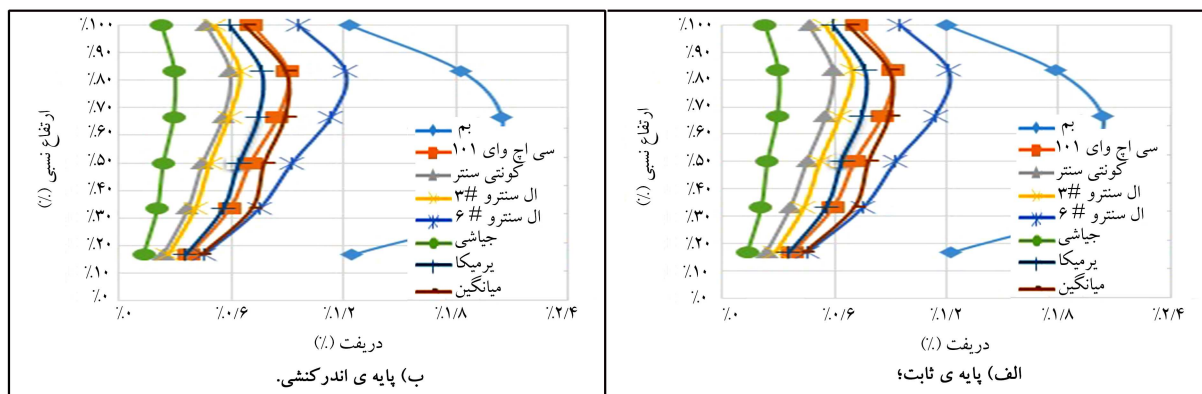
شکل ۱۷. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.

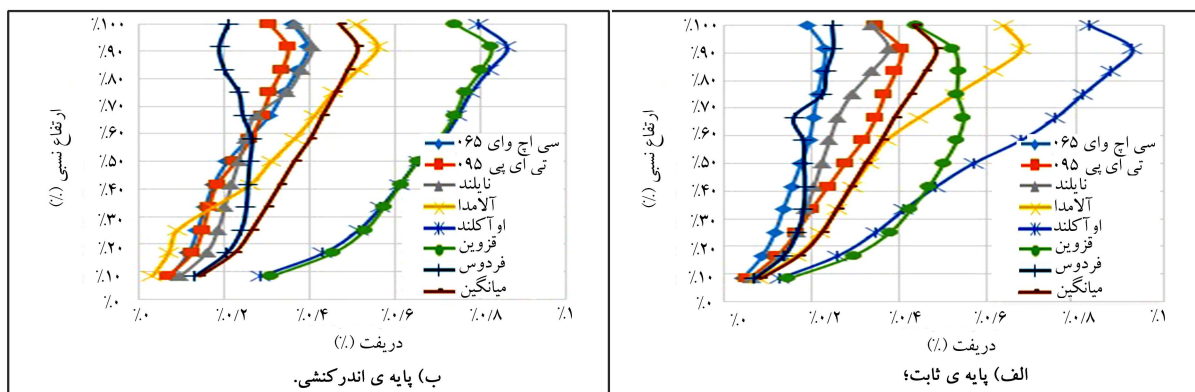


شکل ۱۸. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.

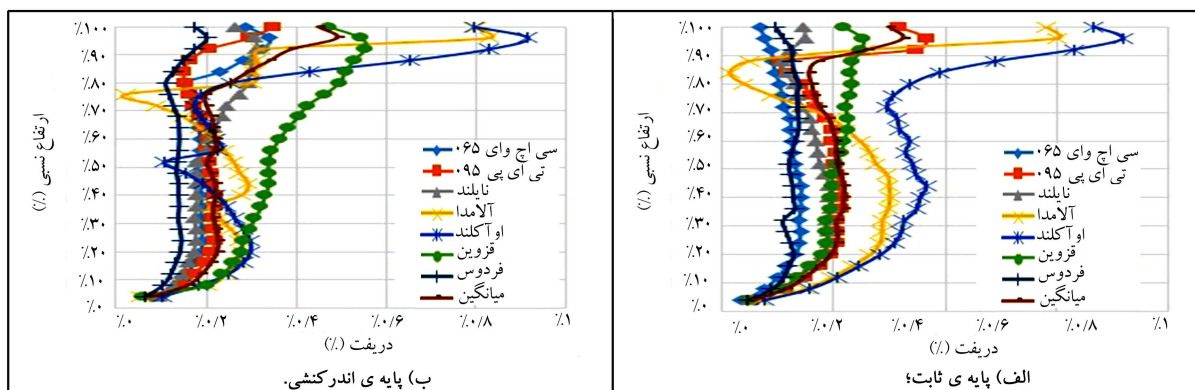


شکل ۱۹. مقادیر بیشینه‌ی دررفت طبقات سازه‌ی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۳.

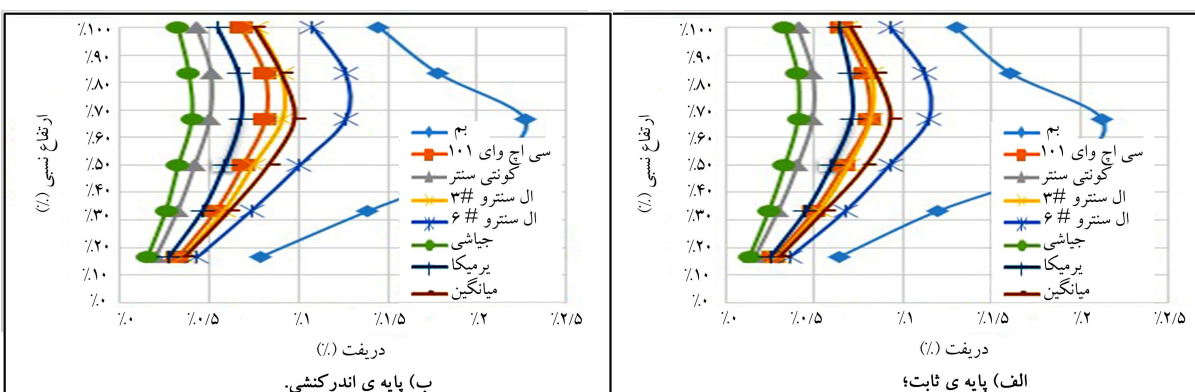




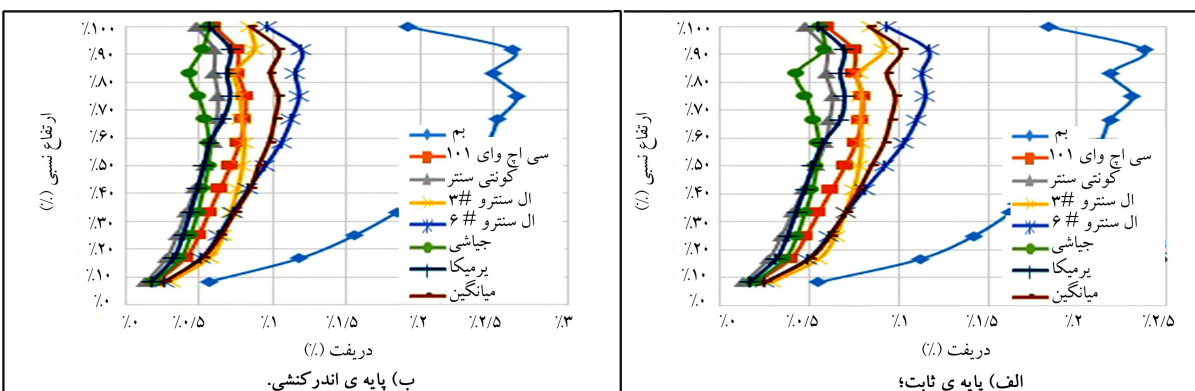
شکل ۲۴. مقادیر بیشینه‌ی دریافت طبقات سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپی ۴.



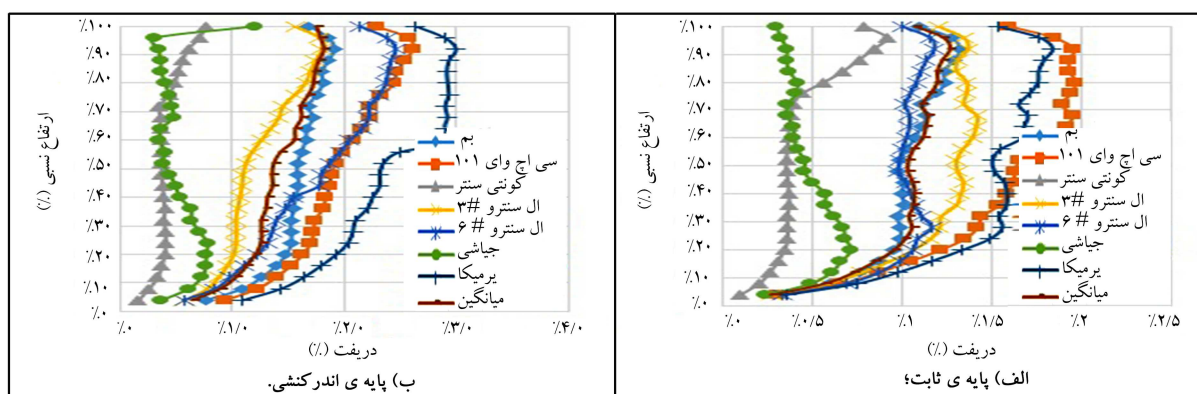
شکل ۲۵. مقادیر بیشینه‌ی دریافت طبقات سازه‌ی ۲۵ طبقه، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تپی ۴.



شکل ۲۶. مقادیر بیشینه‌ی دریافت طبقات سازه‌ی ۶ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپی ۴.



شکل ۲۷. مقادیر بیشینه‌ی دریفِت طبقات سازه‌ی ۱۲ طبقه، تحت زلزله‌های نزدیک گسل و خاک تپی ۴.



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

جدول ۹. مقایسه‌ی پیشینه‌ی نسبت دررفت سازه‌ها در حالت 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 دررفت	بیشینه‌ی دررفت	میانگین دررفت	بیشینه‌ی دررفت	میانگین دررفت
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
CHI-CHI-TAP ۰۹۵	۰/۳۶	افزایش	۰/۶۴	افزایش	۱/۶۴	کاهش
CHI-CHI-CHY ۰۶۵	۰/۰۳	افزایش	۰/۳۸	افزایش	۱۱/۲۳	افزایش
Imperial valley-Niland	۰/۵۷	افزایش	۰/۵۱	افزایش	۲/۶۵	افزایش
Loma prieta-Alameda	۰/۸۳	افزایش	۰/۹۱	افزایش	۱۱/۶۱	افزایش
Loma prieta-Oakland	۰/۵۳	افزایش	۰/۸۸	افزایش	۰/۵۶	افزایش
Manjil-Qazvin	۰/۱۵	افزایش	۰/۰۳	کاهش	۱۰/۰۸	افزایش
Tabas-Ferdows	۱/۳۵	کاهش	۱/۷۱	کاهش	۵/۴۲	کاهش
میانگین زلزله‌ها	۰/۳۹	افزایش	۰/۵۶	افزایش	۳/۱۴	افزایش

جدول ۱۰. مقایسه‌ی پیشینه‌ی نسبت دررفت 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	
	بیشینه‌ی دررفت	میانگین دررفت	بیشینه‌ی دررفت	میانگین دررفت	بیشینه‌ی دررفت	میانگین دررفت
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Bam-Iran-Bam	۲/۴۷	افزایش	۱/۷۵	افزایش	۵/۱۱	افزایش
CHI-CHI-CHY ۱۰۱	۰/۶۵	کاهش	۰/۳۶	کاهش	۲/۲۴	افزایش
Imperial valley-County	۰/۷۷	افزایش	۰/۹۵	افزایش	۰/۰۱	کاهش
Imperial valley-El Centro #۳	۶/۸	کاهش	۶/۵۱	کاهش	۱/۸	افزایش
Imperial valley-El Centro #۶	۰/۰۷	کاهش	۰/۰۲	افزایش	۱/۱۹	افزایش
Northwest China-Jiashi	۰/۵	کاهش	۰/۳۷	کاهش	۲/۵۴	افزایش
Kocaeli-Yermica	-	-	۰/۲۴	افزایش	۳/۵	افزایش
میانگین زلزله‌ها	۰/۱۱	کاهش	۰/۰۳	کاهش	۲/۹۳	افزایش

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 که مقدار آن برای سازه‌ی ۲۵ طبقه به مراتب بیش از سازه‌ی ۱۲ طبقه است.

شکل‌های ۲۳ الی ۲۵، مقادیر پیشینه‌ی 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 دریافت سازه‌ها در حالت پایه‌ی اندرکنشی نسبت به پایه‌ی ثابت، تحت زلزله‌های دور از گسل و خاک تیپ ۴.

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
CHI-CHI-TAP ^{۰۹۵}	۰/۶	افزایش ۵/۶۳	افزایش ۱۶/۲۶	کاهش ۱۱/۶۹	کاهش ۴۰/۹۴	افزایش ۸/۲۹
CHI-CHI-CHY ^{۰۶۵}	کاهش ۱۴/۶۷	کاهش ۱۰/۰۹	افزایش ۷۲/۶	افزایش ۴۳/۴۲	افزایش ۳۲۲/۲۴	افزایش ۹۳/۴
Imperial valley-Niland	۰/۰۷	کاهش ۰/۱۹	افزایش ۱۸/۹۷	افزایش ۱۲/۲	افزایش ۱۰۷/۶۷	افزایش ۴۷/۰۹
Loma prieta-Alameda	۰/۹۳	کاهش ۲/۳۱	افزایش ۱۷/۳۸	کاهش ۲۵/۳۴	افزایش ۳۸/۲۷	افزایش ۱۳۳/۳۴
Loma prieta-Oakland	۸/۸۴	افزایش ۹/۷۱	کاهش ۷/۰۱	کاهش ۲۵/۱۹	افزایش ۳۲/۰۱	افزایش ۱۱/۸۴
Manjil-Qazvin	۰/۱۷	افزایش ۷/۸۸	کاهش ۵۸/۱	افزایش ۴۹/۳۵	افزایش ۱۲۲/۴۴	افزایش ۸۰/۷۲
Tabas-Ferdows	۰/۱۲	کاهش ۹/۹۹	کاهش ۲۴/۷۹	کاهش ۲۸/۲۴	افزایش ۳۹/۹۵	افزایش ۱۶/۵۵
میانگین زلزله‌ها	۰/۸۸	کاهش ۱/۵	کاهش ۵/۹۳	افزایش ۱۷/۵۲	افزایش ۵۱/۶۸	افزایش ۲۵/۶۹

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

نام زلزله و ایستگاه آن	سازه‌ی ۶ طبقه		سازه‌ی ۱۲ طبقه		سازه‌ی ۲۵ طبقه	
	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها	بیشینه‌ی دریافت	میانگین دریافت‌ها
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Bam-Iran-Bam	۱۰/۸۷	افزایش ۱۲/۵۴	افزایش ۱۶/۹۳	افزایش ۳۰/۶۶	افزایش ۴۶/۵۳	افزایش ۵۹/۵۳
CHI-CHI-CHY ^{۱۰۱}	۳/۸۱	افزایش ۷/۱۶	افزایش ۳۹/۱۱	افزایش ۳۸/۲۲	افزایش ۳۳/۴۵	افزایش ۳۴/۹۵
Imperial valley-County	۴/۸۴	افزایش ۹/۰۹	کاهش ۲۶/۹۷	کاهش ۱۱/۶۲	کاهش ۲۲/۴۶	افزایش ۳/۹۵
Imperial valley-El Centro #۳	۱۰/۵۲	افزایش ۱۲/۶۹	کاهش ۱۸/۲۵	کاهش ۶/۰۹	افزایش ۳۲/۷۵	افزایش ۸/۳۸
Imperial valley-El Centro #۶	۱۲/۹۲	افزایش ۱۳/۳۱	کاهش ۱/۸۷	کاهش ۲۲/۸۲	افزایش ۱۰۸/۶۴	افزایش ۷۴/۷۲
Northwest China-Jiashi	۳/۵۸	کاهش ۳/۴۵	افزایش ۱۳	افزایش ۱۰۶/۸۳	کاهش ۴/۵۱	افزایش ۱۸/۷۵
Kocaeli-Yermica	۴/۸۱	کاهش ۱/۹۵	کاهش ۵/۱۳	کاهش ۳	افزایش ۶۳/۰۳	افزایش ۶۶/۲۷
میانگین زلزله‌ها	۶/۹۵	افزایش ۹/۴۱	افزایش ۲/۴	افزایش ۲۱/۸۱	افزایش ۴۵/۵	افزایش ۴۱/۳۶

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 (تیپ 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 (تیپ ۳)، نسبت دریافت طبقات در حالت اندرکنشی تحت شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل برای بیشینه‌ی دریافت سازه و همچنین میانگین دریافت 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 دریافت برای تمامی سازه‌ها، افزایش داشته است، به‌طوری 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 تیپ ۳ و ۴ پرداخته شده و این نتایج به‌دست آمده است:

- سازه‌های قرار گرفته بر روی خاک سخت‌تر (تیپ 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 دریافت مشاهده می‌شود، به گونه‌ای 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 دریافت 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 دریافت، اتفاق خاصی رخ نداده است؛ ولی در سازه‌های ۱۲ و ۲۵ طبقه، با افزایش قابل ملاحظه روبه‌رو شده است. برای بیشینه دریافت سازه و میانگین دریافت 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)

- Akbar, 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 Research 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 Naggar, 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 Environmental 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).