

ارزیابی لرزه‌های ساختمان‌های جداسازی شده تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل با استفاده از تحلیل‌های بارافزون

سپیده حاصلی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
sepideh.haseli@yahoo.com

مهدی پورشاء

استاد بار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
poursha@sut.ac.ir

کلید واژه‌ها: جداسازی پایه، زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک گسل، تحلیل بارافزون، اثر پرتابی (Fling-Step)، جهت‌پذیری رو به جلو (Forward-Directivity)

چکیده

جداسازی پایه‌ی لرزه‌ای یک سیستم استهلاک انرژی است که پاسخ‌های لرزه‌ای یک سازه از قبیل شتاب‌ها و تغییر مکان‌های نسبی طبقه را کاهش می‌دهد. جداساز لرزه‌ای با دور کردن زمان تناوب سازه از زمان تناوب غالب زمین‌لرزه‌ها، پاسخ سازه و در نتیجه خسارات وارده را کاهش می‌دهد. از طرفی تاریخچه‌ی زمانی شتاب زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک گسل، محتوای فرکانسی بالایی دارد. حرکت‌های شدید زلزله‌های نزدیک گسل که با دامنه‌ی بزرگ، پریود بلند و تحریکات پالس‌گونه مشخص می‌شوند، تمایل به ایجاد جابه‌جایی‌های بزرگ در جداساز دارند. در این مطالعه سعی می‌شود که رفتار قاب‌های خمشی جداسازی شده‌ی پایه با سه سطح حفاظتی مختلف شامل جداسازهای سخت، متوسط و نرم تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل با استفاده از تحلیل‌های بارافزون، مورد مطالعه قرار گیرد و دقت این نوع تحلیل‌ها در مقایسه با تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی غیرخطی بررسی شود. به منظور انجام تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی از ۴ گروه ۷ تایی شتاب‌نگاشت استفاده می‌شود. یک گروه شامل ۷ رکورد زلزله‌ی حوزه‌ی دور از گسل است. ۳ گروه دیگر، رکوردهای نزدیک گسل هستند که نماینده‌ی ۳ ویژگی مهم رکوردهای نزدیک گسل شامل مشخصه‌ی جهت‌پذیری رو به جلو (Forward Directivity)، حرکت پرتابی (Fling-Step)، و زلزله‌های نزدیک گسل فاقد پالس (No Pulse) می‌باشند. بعد از آن، سازه‌های جداسازی شده تحت تحلیل‌های بارافزون با استفاده از دو نوع توزیع بار متناسب با شکل مود اول و PSC (Protective System Committee) قرار می‌گیرند. همچنین به منظور در نظرگیری اثر مودهای بالاتر در سازه‌های جداسازی شده با ارتفاع متوسط روش تحلیل بارافزون مودال (MPA) برای این سازه‌ها انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش MPA برای حالت جداسازی سخت (H) و برای مجموعه رکوردهای دارای پالس به علت در نظرگیری اثرات مودهای بالاتر تطابق بهتری را با نتایج تغییر مکان نسبی طبقات به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی غیرخطی نشان می‌دهد.

مقدمه

جداسازی لرزه‌ای یک ایده طراحی قدیمی است که مبتنی بر جداسازی یک سازه یا بخشی از آن، یا حتی تجهیزات قرار گرفته در سازه، از اثرات مخرب شتاب‌های زمین است. یکی از اهداف جداسازی لرزه‌ای انتقال فرکانس اصلی یک سازه به خارج از محدوده‌ی فرکانس غالب زلزله‌ها و فرکانس اصلی سازه با پای ثابت است. بنابراین، جداسازی پایه یک ابزار موثر برای حفاظت لرزه‌ای در سازه‌های ساختمانی با ارتفاع کوتاه و متوسط می‌باشد، چون این نوع ساختمان‌ها دارای فرکانس بالا می‌باشند. هدف دیگر سیستم جداسازی ارائه یک مفهوم متفاوت از استهلاک انرژی، از طریق کاهش شتاب‌های انتقال یافته به روسازه است (Cheng et al., 2008).

از طرف دیگر، در مجاورت یک سیستم گسل فعال، حرکات زمین به میزان قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر مکانیزم گسلش، جهت انتشار شکست نسبت به ساختمان (جهت رو به جلو) و نیز تغییر شکل استاتیکی محتمل سطح زمین همراه با اثر پرتابی (Fling-Step) قرار می‌گیرند. زلزله‌شناسان تأثیرات پرتابی (Fling-Step) و جهت‌پذیری رو به جلو (Forward-Directivity) را به عنوان مشخصات اصلی حرکات زمین در حوزه نزدیک گسل شناسایی کرده‌اند. نزدیکی به منبع لرزه‌زا موجب می‌شود بیشتر انرژی لرزه‌ای حاصل از گسلش در یک تک پالس با پریود بلند وارد



شود (بادآوری می‌شود که رکوردهای با جهت رو به عقب معمولاً حرکت‌های پالس‌گونه ایجاد نمی‌کنند). حرکت‌های زمین با چنین مشخصه‌ی متمایز پالس‌گونه‌ای، به طور کلی در شروع منحنی‌های ترسیم شده به وسیله زلزله‌نگار به وجود می‌آیند و این پالس‌های قوی به ویژه در رکوردهای جابه‌جایی و سرعت مربوط به امتداد عمود بر گسل به وضوح قابل مشاهده می‌باشند و اثرات آنها تمایل به افزایش طیف پاسخ شتاب در محدوده پریودهای بلند دارد. این نوع از حرکات زمین ممکن است نیازهای بالایی را تولید کنند که سازه‌ها را با تغییر مکان‌های بزرگ به استهلاک این انرژی وامی‌دارد. در نتیجه، خطر شکست ترد برای سیستم‌های با جزئیات ضعیف به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (Kalkan & Kunnath, 2006).

پریود اصلی یک ساختمان با ارتفاع معمولی، معمولاً در محدوده‌ی پریود غالب زلزله است. این منجر به تقویت دینامیکی بالا تقریباً در محدوده‌ی نزدیک به تشدید می‌شود و به این ترتیب، انتظار می‌رود که نیروهای داخلی قابل توجه، در اعضای سازه بوجود آید. این مشکل می‌تواند با استفاده از سیستم جداسازی پایه در تراز پی ساختمان‌ها برطرف شود. اما حرکات شدید زمین در نزدیک گسل که با دامنه‌ی بزرگ، پریود بلند و تحریکات پالس‌گونه مشخص می‌شوند، تمایل به ایجاد جابه‌جایی‌های بزرگ در جداساز دارند. این قابلیت تغییر مکانی در جداسازها، نیاز به این دارد که اندازه‌ی آنها قابل توجه باشد. این اندازه پرهزینه‌ی جداسازها با هدف اصلی کاربرد آنها به عنوان یک راه‌حل طراحی مقرون به صرفه‌تر (به علت کاهش نیروهای منتقل شده به روسازه) در تناقض است (providakis, 2008).

بنابراین، به علت تاثیرات نگران کننده زلزله‌ها روی ساختمان‌های قرار گرفته در مناطق نزدیک گسل در این مطالعه سعی می‌شود که پاسخ‌های لرزه‌ای قاب‌های ساختمانی جداسازی شده تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل با استفاده از تحلیل‌های بارافزون با الگوی بار متناسب با شکل مود اول و توزیع بار PSC (Protective System Committee) و تحلیل بارافزون مودال (MPA) محاسبه شود و دقت این تحلیل‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور نتایج به دست آمده از تحلیل‌های پوش‌آور با نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

مدلسازی و فرضیات

در این تحقیق ۲ سازه‌ی قاب خمشی فولادی ۳ و ۹ طبقه با شکل‌پذیری متوسط استفاده شده است. شکل ۱ پیکربندی این قاب‌ها را نشان می‌دهد. هر قاب دارای عرض ۲۰ متر با چهار دهانه‌ی ۵ متری می‌باشد. ارتفاع تمامی طبقات ۳/۲ متر در نظر گرفته شده است. برای هر مدل سازه‌ای سه نوع مختلف جداساز برای سه سطح حفاظتی مختلف طراحی و در نظر گرفته شده است. سپس این سازه‌ها با قرار دادن جداسازها در پای هر ستون، در پایه جداسازی شده‌اند. در مجموع ۶ سازه‌ی جداسازی شده در پایه به دست آمد. به منظور بررسی رفتار واقعی سازه‌های جداسازی شده، سازه‌ها تحت تحلیل تاریخچه‌زمانی با استفاده از ۴ دسته رکورد قرار گرفتند.

تحلیل و طراحی سیستم روسازه

برای انجام تحلیل لرزه‌ای از آیین‌نامه ASCE7-10 و برای طراحی از آیین‌نامه AISC341-10 استفاده شده است. بار مرده و بار زنده تمامی طبقات به ترتیب برابر با kg/m^2 و kg/m^2 فرض شده است. عرض بارگیر قاب‌ها ۵ متر و جرم لرزه‌ای طبقات برابر با بار مرده بعلاوه ۲۰٪ بار زنده در نظر گرفته شد. فولاد استفاده شده از نوع St37 با مشخصات مدول الاستیسیته kg/cm^2 × / ، ضریب پواسون ۰/۳ و تنش تسلیم kg/cm^2 می‌باشد. برای طراحی سازه‌ها از روش LRFD استفاده شده است. به منظور بارگذاری لرزه‌ای، منطقه‌ای با مشخصات زیر از روی نقشه‌های شتاب طیفی ASCE7-10 انتخاب شد:

نوع زمین: خاک سخت (Site Class D)

$$S_s = 1.5g, S_1 = 0.579g \quad (1)$$

که S_s و S_1 پارامترهای شتاب پاسخ طیفی حداکثر زلزله‌ی در نظر گرفته شده برای سطح خطر هدف (MCE_R) به ترتیب در پریودهای کوتاه و در پریود 1 ثانیه می‌باشند. مشخصات اصلی سازه‌های طراحی شده با پای ثابت و زمان تناوب سه مود ارتعاشی اول آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

مدل‌های سیستم جداسازی

یکی از رایج‌ترین نوع نشیمن‌ها، نشیمن لاستیکی با هسته سربی (LRB) می‌باشد که برای جداسازی پایه سازه‌های قابی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. جرم لرزه‌ای در تراز فونداسیون برابر با جرم لرزه‌ای سایر طبقات در نظر گرفته شده است (جدول ۱). برای هر مدل سازه‌ای از سه نوع جداساز مختلف، شامل جداساز سخت (H)، متوسط (N) و نرم (S) استفاده شده است. جداسازها طوری طراحی شده‌اند که محدوده وسیعی از دوره تناوب سیستم جداسازی را پوشش دهند. مفهوم جداسازی پایه با قرارگیری نشیمن‌ها در پای هر ستون برآورده شده است.

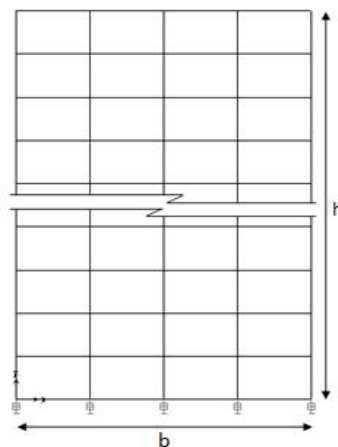


سختی جداسازها برای سه سطح حفاظتی مختلف زیر انتخاب شده‌اند:

- (۱) جداسازهای سخت که نمی‌توانند روسازه را به اندازه کافی محافظت کنند و برای زلزله‌های شدید سازه را تا آستانه فرو ریزش محدود می‌کنند.
- (۲) جداسازهای متوسط که برای ترکیبات بار طراحی ذکر شده، روسازه را دقیقاً در محدوده خطی نگه می‌دارند و حداکثر ضریب شکل پذیری دورانی تیرها و ستون‌ها را به کوچک‌تر از ۱ یا برابر آن محدود می‌کنند.
- (۳) جداسازهای نرم که برای شدت‌های مختلف، روسازه را در حد الاستیک نگه می‌دارند (Kilar & Koren, 2009).

جدول ۱: مشخصات سازه‌های طراحی شده با پای ثابت و زمان تناوب سه مود اول ارتعاشی آنها

تعداد طبقات	جرم لرزه ای		زمان تناوب			
	h (m)	b (m)	طبقات (kg.s ^۲ /m)	T _۱ (s)	T _۲ (s)	T _۳ (s)
۳	۹/۶	۲۰	۷۰۳۶	۰/۶۹۲	۰/۲۲۸	۰/۱۳۴
۹	۲۸/۸	۲۰	۷۰۳۶	۱/۶۸	۰/۶۵۳	۰/۳۷۸



شکل ۱: پیکربندی قاب‌های استفاده شده

برای سطح حفاظتی (۲)، سختی افقی جداسازها با دقت به وسیله تحلیل الاستیک با استفاده از طیف پاسخ ASCE7-10 برای سطح زلزله‌ی طرح، خاک گروه D و با فرض ضریب رفتار $R_1 = 1$ طراحی شدند. دو سطح حفاظتی دیگر به طور مصنوعی با افزایش و کاهش قابل توجه سختی جداساز، بدون تغییر در مشخصه‌های اصلی جداساز (Q و γ) به دست آمدند که در آن γ سختی الاستیک، ρ سختی پس از تسلیم و Q مقاومت مشخصه جداساز می‌باشد. برای جداسازهای نوع سخت (H)، سختی جداسازها طوری در نظر گرفته شدند که برای قویترین رکورد زلزله روسازه حدوداً به آستانه فروریزش برسد. برای جداسازهای نوع نرم نیز، سختی جداسازها طوری در نظر گرفته شدند که برای قویترین رکورد زلزله روسازه تا حد امکان در حد الاستیک خود باقی بماند.

مشخصات جداسازهای طراحی شده در جدول ۲ ارائه شده‌اند که در آن K_{eff} سختی موثر جداساز، T_{eff} میرایی موثر جداساز، F_y نیروی تسلیم در تغییر مکان تسلیم و D_D تغییر مکان طرح می‌باشد. زمان تناوب سه مود ارتعاشی اول سازه‌های جداسازی شده پایه در جدول ۳ آمده است.

مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده

به منظور انجام تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی از ۴ گروه ۷ تایی شتاب‌نگاشت استفاده شد. یک گروه شامل ۷ رکورد زلزله‌ی حوزه‌ی دور از گسل بود که فاصله‌ی آنها تا نزدیک‌ترین گسل بیش از ۱۵ کیلومتر بوده است. ۳ گروه دیگر، رکوردهای نزدیک گسل با حداکثر فاصله‌ی ۱۵ کیلومتر تا گسل بودند که نماینده‌ی ۳ ویژگی رکوردهای نزدیک گسل هستند. یک گروه هفت‌تایی رکوردهای نزدیک گسل با مشخصه‌ی جهت‌پذیری رو به جلو (Forward Directivity)، یک گروه هفت‌تایی با مشخصه‌ی حرکت پرتابی (Fling-Step)، و گروه هفت‌تایی دیگر زلزله‌های نزدیک گسل فاقد پالس متمایز هستند. تحلیل‌های غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 (V16) انجام گرفته‌است. جرم لرزه‌ای هر طبقه به-

صورت جرم متمرکز در مرکز جرم آن طبقه (گره میانی) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که کف هر طبقه به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است.

برای انجام ارزیابی پاسخ‌های سازه کلیه رکودها با روش مقیاس SIa (Michaud & Leger, 2013) برای سازه ۹ طبقه نسبت به طیف طرح و برای سازه ۳ طبقه نسبت به طیف MCE_R مقیاس شدند. در این روش ابتدا مساحت زیر نمودار طیف پاسخ شبه شتاب هر رکورد در بازه پریودهای مورد نظر محاسبه می‌شود. سپس حرکت‌های زمین طوری مقیاس می‌شوند که این مساحت برابر با مساحت زیر نمودار طیف مورد نظر بین همان دو پریود باشد. در این مطالعه بازه‌های پریودی 0-2.5 و 0-4.5 ثانیه به ترتیب برای سازه‌های ۳ و ۹ طبقه در نظر گرفته شدند. انتخاب پریود 0 ثانیه این اطمینان را می‌دهد که پریودهای کوتاه ارتعاش که روی پاسخ سازه تاثیر دارند همگی در نظر گرفته می‌شوند. حد بالای پریودها هم طوری انتخاب شد که تا 1.25 برابر T_M حدودی فرض شده برای جداسازهای نرم را در هر یک از قاب‌ها پوشش دهد که T_M پریود موثر سازه‌ی جداسازی شده در تغییرمکان حداکثر، در جهت مورد بررسی است. مشخصات رکوردهای مورد استفاده در جدول ۴ ذکر شده است. همچنین رکوردهای انتخابی منطبق بر خاک گروه D آیین‌نامه ASCE7-10 می‌باشند.

جدول ۲: مشخصات جداسازهای طراحی شده

سازه	نوع جداساز	$K_{eff} (\frac{kg}{m})$	$\frac{kg}{m}$ eff	$T_{eff} (s)$	$K_1 (\frac{kg}{m})$	$F_y (kg)$	$\gamma_1 \quad \gamma_2$	$D_D (m)$	Q
طبقه ۳	H	۱۶۰۰۰۰	۱۴/۶۲	۱/۱۷۸۵	۷۸۶۳۷۷	۵۷۶۱	۶/۵	۰/۱۲۴۳	۴۸۵۰
	N	۱۲۷۱۰۰	۱۷/۰۱	۱/۳۲۲۳	۵۸۷۸۶۷	۵۷۶۱	۶/۵	۰/۱۳۲۳	۴۸۵۰
	S	۶۹۰۰۰	۲۴/۳۴	۱/۷۹۴۶	۲۴۷۱۸۹	۵۷۶۱	۶/۵	۰/۱۵۶۶	۴۸۵۰
طبقه ۹	H	۱۵۰۰۰۰	۱۶/۰۸	۱/۹۲۴۵	۱۱۰۵۴۰۰	۸۶۱۲	۱۰	۰/۱۹۶۴	۷۷۵۰
	N	۸۹۰۰۰	۲۳/۱۴	۲/۴۹۸۴	۵۴۱۶۹۰	۸۶۱۲	۱۰	۰/۲۲۲۵	۷۷۵۰
	S	۴۴۰۰۰	۳۲/۸۰	۳/۵۵۳۳	۱۵۵۲۸۰	۸۶۱۲	۱۰	۰/۲۷۲۲	۷۷۵۰

جدول ۳: زمان تناوب سه مود ارتعاشی اول سازه‌های جداسازی شده

سازه	نوع سیستم جداسازی	زمان تناوب		
		$T_1 (s)$	$T_2 (s)$	$T_3 (s)$
طبقه ۳	H	۱/۳۱۸	۰/۳۸۵	۰/۱۹۳
	N	۱/۴۴۵	۰/۳۹۲	۰/۱۹۴
	S	۱/۸۸۴	۰/۴۰۶	۰/۱۹۵
طبقه ۹	H	۲/۴۴۵	۰/۸۸۶	۰/۴۹۷
	N	۲/۹۰۱	۰/۹۳۵	۰/۵۰۸
	S	۳/۸۳۴	۰/۹۸۰	۰/۵۱۶

پس از آن، تحلیل‌های بارافزون جهت بررسی دقت آنها و مقایسه با تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی انجام شدند. واضح است که توزیع مثلی به دلیل اینکه در آن از وجود نیروهای اینرسی در سطح جداسازی صرف نظر می‌شود برای سازه‌های جداسازی شده مناسب نمی‌باشد. تا کنون توزیع بارهای متفاوتی برای سازه‌های جداسازی شده پیشنهاد شده است. یکی از این توزیع بارها توزیع PSC می‌باشد که توسط کمیته‌ی سیستم‌های حفاظتی SEAOC (PSC) پیشنهاد شده است. این توزیع بار شامل توزیع نیروی مثلی (F_i) در ارتفاع روسازه و یک نیروی متمرکز (F_b) در سطح جداسازی می‌باشد (Kilar & Koren, 2009):

$$F_b = \frac{V_b}{W} W_b \quad , \quad V_b = K_{eff} D_b$$

$$F_i = \frac{V_b - F_b}{R_I} \frac{W_i h_i}{\sum_n W_n h_n} \quad (2)$$

برای سازه‌ی با ارتفاع کوتاه (۳ طبقه) تحلیل‌های بارافزون با استفاده از توزیع‌های بار مود اول و PSC و برای سازه‌ی با ارتفاع متوسط (سازه ۹ طبقه) علاوه بر تحلیل‌های بارافزون قبلی، تحلیل بارافزون مودال (MPA) نیز برای در نظرگیری اثرات موده‌های بالاتر انجام شد. در آخر نیازهای

لرزه‌ای حاصل از تحلیل‌های بارافزون، شامل تغییرمکان جانبی کف و تغییرمکان جانبی نسبی طبقات با مقادیر متناظر میانگین تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی غیرخطی به عنوان تحلیل مبنا مورد مقایسه قرار گرفتند.

بحث روی نتایج

با توجه به اشکال ۲ و ۴ در تخمین تغییرمکان حداکثر کف‌ها برای هر دوسازه‌ی جداسازی شده‌ی ۳ و ۹ طبقه می‌توان گفت در تمام موارد جداسازی و مجموعه رکوردهای دارای پالس توزیع بار مود اول تطابق خوبی را با میانگین نتایج به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی (NLRHA) نشان می‌دهد. این توزیع بار برای مجموعه رکوردهای نزدیک گسل بدون پالس و دور از گسل، می‌توان گفت، پاسخ‌ها را با اندکی اختلاف دست بالا برآورد می‌کند.

توزیع PSC در سازه‌ی ۳ طبقه تطابق خوبی را با نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی نشان می‌دهد اما برای رکوردهای دارای پالس در سازه‌ی ۹ طبقه دارای خطای بیشتری بوده و معمولاً تمایل به تخمین کمتر از پاسخ‌های تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی را دارد که این گرایش در گذر از حالت جداسازی نوع سخت به نرم افزایش می‌یابد. پاسخ‌های ناشی از توزیع بار PSC، در زلزله‌های دور از گسل نسبت به گروه‌های رکورد نزدیک گسل (در همه‌ی گروه‌های جداسازی و برای هر دو سازه‌ی ۳ و ۹ طبقه) انطباق بیشتری را با نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی غیرخطی به دست می‌دهد. هر دو نوع توزیع در حالت جداسازی نوع سخت تطابق بهتری را با نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی نشان می‌دهند.

برای تحلیل بارافزون MPA با توجه به اینکه در بیشتر موارد تغییرمکان هدف برای این تحلیل بیشتر از تغییرمکان هدف محاسبه شده از میانگین نتایج تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی می‌باشد، بدیهی است که در اکثر حالت‌ها این روش تخمین محافظه‌کارانه‌ای را ارائه می‌دهد. جالب توجه است که در مواردی که تغییرمکان هدف به دست آمده از این روش تقریباً با تغییرمکان هدف به دست آمده از میانگین نتایج تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی یکی می‌باشد، نتایج این روش با نتایج تحلیل بارافزون با الگوی مود ۱ مطابقت می‌کند که دلیل این امر این است که حداکثر تغییرمکان طبقات توسط مود اول (غالب) کنترل می‌شود.

جدول ۴: مشخصات رکورد زلزله‌های مورد استفاده در این مطالعه

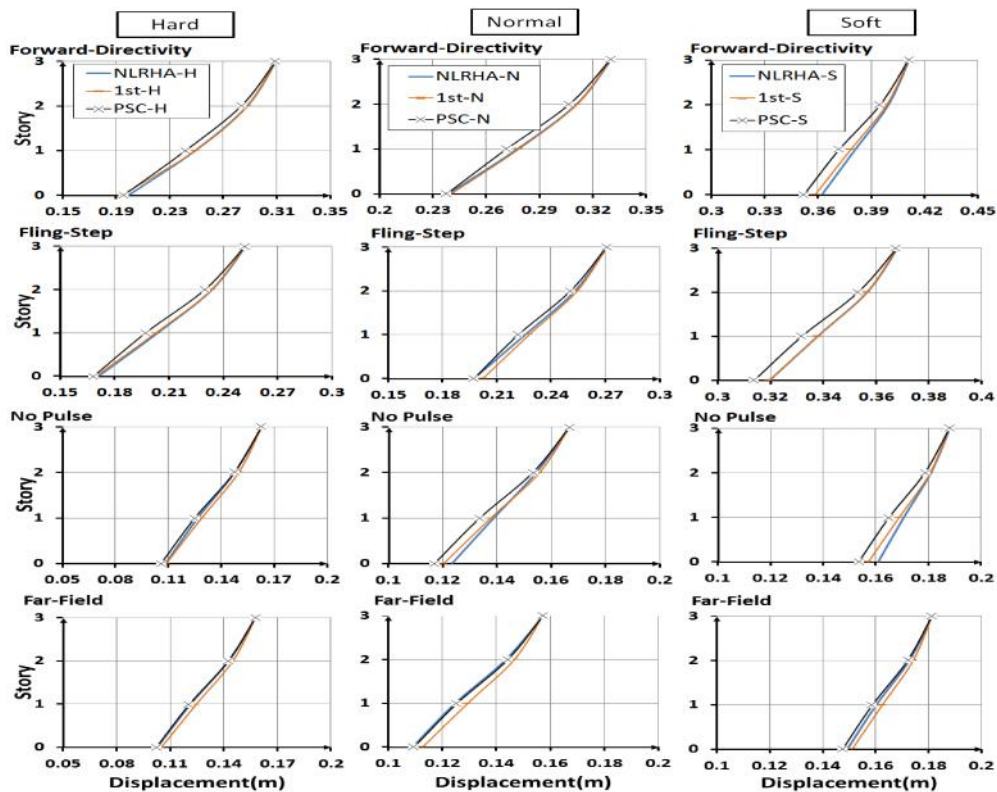
جزئیات رکورد زلزله‌های دور از گسل				جزئیات رکورد زلزله‌های نزدیک گسل بدون پالس متمایز			
NO.	Record name	Station	Distance	NO.	Record name	Station	Distance
1	Big Bear	Desert Hot Spr	40.1	1	Imperial Valley-06	Bonds Corner	2.7
2	Northridge	Moorpark	26.4	2	Imperial Valley-06	Chihuahua	7.3
3	Northridge	Statum Street School	26.9	3	Northridge-01	Northridge-Saticoy	12.1
4	Kern Country	Taft	36.2	4	Parkfield	Parkfield Cholame 8	6.8
5	Northridge	Montebello	42.2	5	Loma Prietta	Captolia	14.5
6	Northridge	Terminal Island Fire Stn. 111	57.5	6	Superstition Hills	Superstition Mtn	4.3
7	Kobe, Japan	Shin-Osaka	19.2	7	Northridge	Rinaldi	6.5
جزئیات رکورد زلزله‌های نزدیک گسل با تاثیر جهت رو به جلو (FD)				جزئیات رکورد زلزله‌های نزدیک گسل با اثر پرتابی (FS)			
NO.	Record name	Station	Distance	NO.	Chi-Chi	TCU068	3.0
1	Parkfield	Fault Zone 1	3.4	1	Chi-Chi	TCU074	13.8
2	Northridge	Jensen Filt. Plant	6.2	2	Chi-Chi	TCU079	11.0
3	Imperial-Valley	El Centro Imp. Co. Cent.	7.6	3	Chi-Chi	TCU067	1.1
4	Imperial-Valley	Holtville Post Office	8.8	4	Chi-Chi	TCU068	3.0
5	Northridge	Rinaldi Rec. Stn.	8.6	5	Chi-Chi	TCU076	3.2
6	Imperial-Valley	Brawley Airport	11.3	6	Chi-Chi	TCU065	2.5
7	Northridge	Sylmar Olive View Hospital	6.4	7	Chi-Chi	TCU068	3.0

شکل‌های ۳ و ۵ مقادیر حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات را که از میانگین نتایج تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی و همچنین تحلیل‌های بارافزون به دست آمده‌اند، به ترتیب برای سازه‌های جداسازی شده‌ی نرم (S)، متوسط (N) و سخت (H) نشان می‌دهند. تغییرمکان‌های نسبی بر حسب درصدی از ارتفاع طبقه نشان داده شده‌اند.

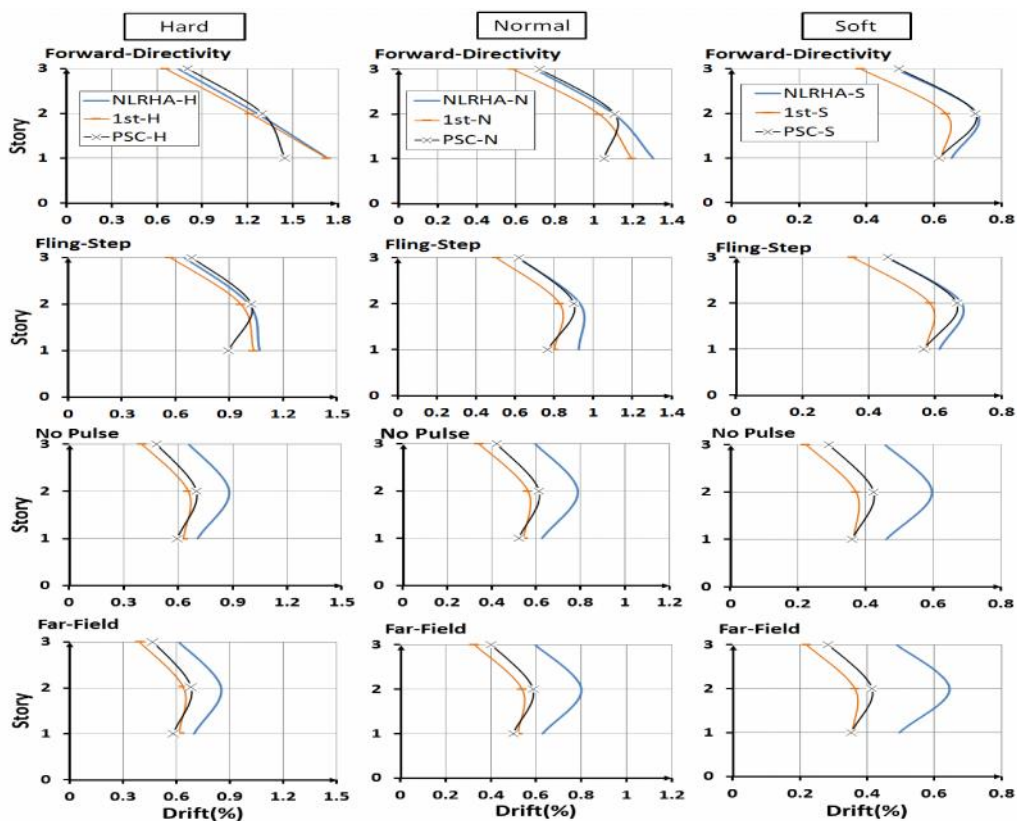
با توجه به شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد که در سازه‌ی ۳ طبقه الگوی توزیع بار مود اول برای تمامی حالت‌های جداسازی و برای گروه رکوردهای زلزله تخمین کمتری را نسبت به نتایج به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی نشان می‌دهند. این گرایش به تخمین کمتر در گذر از



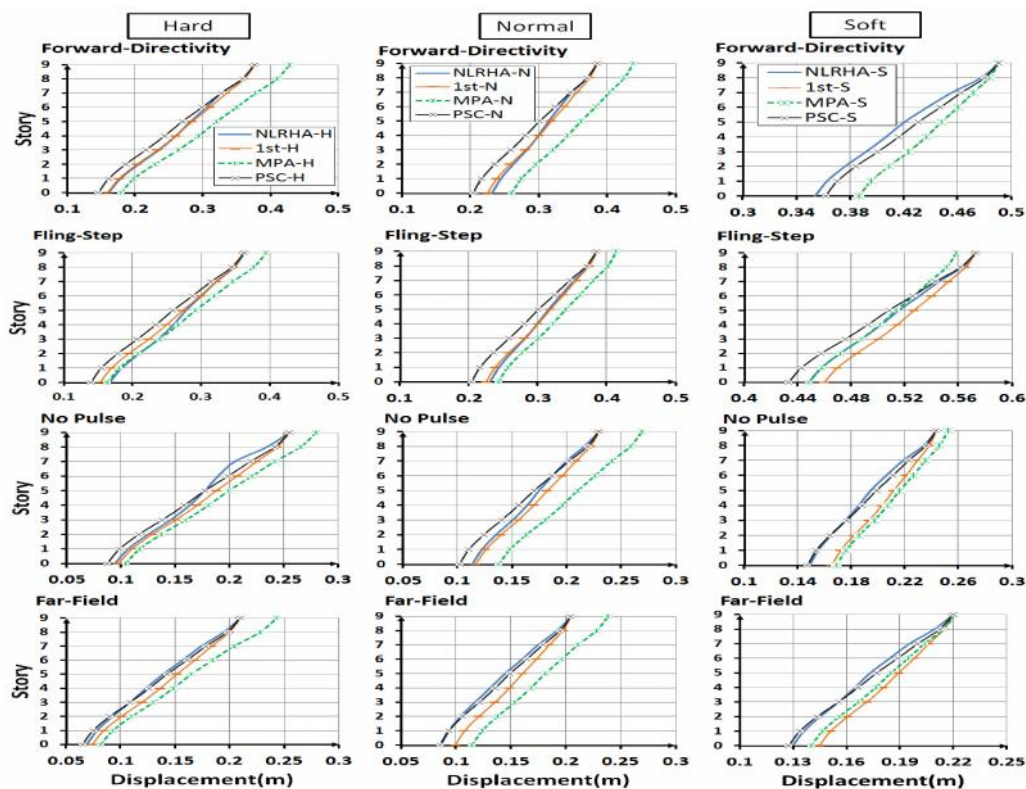
حالت جداسازی نوع سخت به نرم و از رکوردهای دارای پالس به رکوردهای بدون پالس افزایش می‌یابد (اختلاف بیشتر با تحلیل مینا در جداسازی نوع نرم و رکوردهای بدون پالس). می‌توان گفت که توزیع بار PSC کمتری را نسبت به تحلیل مینا ولی پاسخ‌های نسبتاً بهتری را در مقایسه با توزیع بار مود ۱ ارائه می‌دهد.



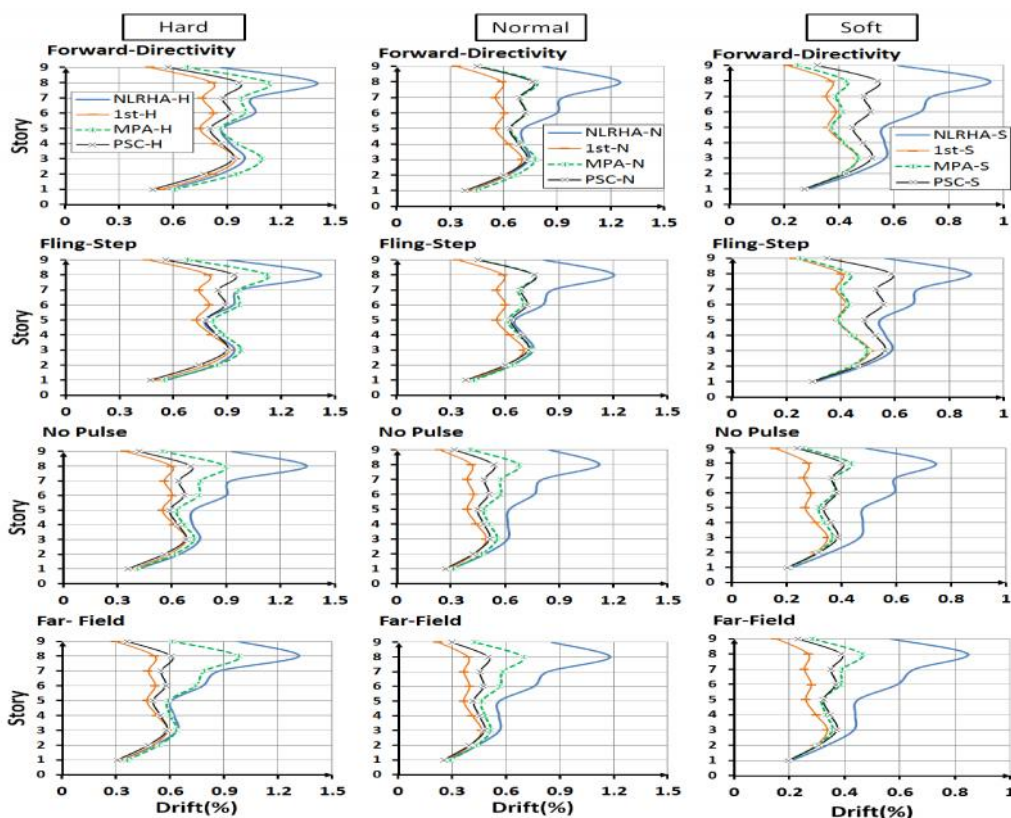
شکل ۲: حداکثر تغییر مکان کف طبقات برای قاب جداسازی شده ۳ طبقه



شکل ۳: حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات برای قاب جداسازی شده ۳ طبقه



شکل ۴: حداکثر تغییر مکان کف طبقات برای قاب جداسازی شده ۹ طبقه



شکل ۵: حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات برای قاب جداسازی شده ۹ طبقه

با توجه به شکل ۵ در تخمین تغییر مکان‌های نسبی ماکزیمم طبقات در سازه‌های جداسازی شده ۹ طبقه مشاهده می‌شود که روش‌های بارافزون مرسوم در تمامی حالت‌ها دارای خطای بیشتری در طبقات بالایی نسبت به طبقات پایینی می‌باشند. این خطاها با افزایش زمان تناوب اصلی و میرایی سازه (سازه‌های جداسازی شده با استفاده از جداسازهای متوسط و نرم در مقایسه با سخت و همچنین در رکوردهای بدون پالس

حالت الاستیک روسازه)) بیشتر می‌شود. از بین توزیع بارهای دیگر توزیع بار مود اول به مراتب خطای بیشتری را به ویژه در طبقات میانی و بالا ارائه می‌دهد که این امر برای سازه‌های با ارتفاع متوسط مورد انتظار است. در مورد سازه‌های جداسازی شده با اثرات غیرخطی و میرایی قابل توجه جداساز این توزیع بار به همراه توزیع بار PSC در تخمین تغییرمکان‌های نسبی ماکزیمم در طبقات بالاتر دچار مشکل می‌شوند. با این حال نتایج توزیع بار PSC وضعیت بهتری را نسبت به توزیع بار مود اول نشان می‌دهد.

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، روش MPA در مقایسه با سایر الگوهای توزیع بار مورد استفاده در تحلیل بارافزون، برای حالت جداسازی سخت (H) تطابق نسبتاً خوبی را با میانگین نتایج به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی نشان می‌دهد که علت این امر در نظرگیری اثرات مودهای بالاتر در این روش می‌باشد. می‌توان استنباط کرد که برای سازه‌های جداسازی شده با میرایی کمتر (جداسازهای نوع سخت) روش MPA تخمین مناسبی را از تغییرمکان نسبی طبقات ارائه می‌دهد. برای سازه‌های جداسازی شده با جداسازهای متوسط (N) و نرم (S)، مشاهده می‌شود که روش MPA در تخمین این نیازها ناکام می‌ماند. البته شاید بتوان گفت که یک علت تخمین دست پایین این روش در حالت‌های جداسازی متوسط و نرم، وارد شدن تقریب زیاد در تعیین شکل‌های مودی می‌باشد. برای سازه‌های با پای ثابت با توجه به اینکه میرایی ناچیز بوده (حدود ۰.۵٪) شکل‌های مودی را می‌توان بر اساس فرض ارتعاش آزاد به دست آورد. اما برای سازه‌های جداسازی شده با میرایی جداساز قابل توجه، تعیین شکل مودی بر اساس این فرض خطای زیادی در محاسبات وارد می‌کند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان گفت که توزیع بار متناسب با شکل مود اول در حالت عملی (جداسازی نوع نرم) می‌تواند جایگزین مناسبی برای تحلیل NLRHA، در برآورد نیاز حداکثر جابه‌جایی کف طبقات سازه‌های کوتاه (۳ طبقه) باشد که این توزیع برای رکوردهای بدون پالس اندکی محافظه‌کارانه‌تر نیز هست.

هیچ یک از الگوهای بار استفاده شده در تحلیل بارافزون، نمی‌توانند اثرات مودهای بالاتر را در تعیین ماکزیمم تغییرمکان نسبی طبقات سازه‌های جداسازی شده با ارتفاع متوسط (۹ طبقه) لحاظ کنند و در طبقات بالایی دارای خطای بیشتری نسبت به طبقات پایینی می‌باشند. این خطاها با افزایش زمان تناوب اصلی و میرایی سازه (سازه‌های جداسازی شده با استفاده از جداسازهای متوسط و نرم) و نیز در رکوردهای بدون پالس بیشتر می‌شود.

روش MPA برای حالت جداسازی سخت (H) و برای مجموعه رکوردهای دارای پالس به علت در نظرگیری اثرات مودهای بالاتر تطابق بهتری را با نتایج به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی نشان می‌دهد، اما در محاسبه‌ی نیاز تغییرمکان نسبی در سازه‌های جداسازی شده با استفاده از جداسازهای متوسط و نرم ناکام می‌ماند.

مراجع

AISC (2010) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago

American Society of Civil Engineers (ASCE) (2010) Seismic design requirements for seismically isolated structures, Section 17 in ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Reston, VA

Cheng F, Jiang H and Lou K (2008) *Smart Structures: Innovative systems for seismic response control*, CRC Press, Taylor and Francis Group

CSI. SAP (2013) Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-dimensional Structures. Computer and Structures, Inc.: Berkeley, CA, 2013

Kalkan E and Kunnath SK (2006) Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, Vol. 22, No. 2, pp. 367-390

Kilar V and Koren D (2009) Simplified inelastic seismic analysis of base-isolated structures using the N2 method. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 39(9): p. 9967-9989

Michaud D and Leger P (2013) Ground motions selection and scaling for nonlinear dynamic analysis of structures located in Eastern North America. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 41(3): p. 232-244

Providakis CP (2008) Pushover analysis of base-isolated steel-concrete composite structures under near-fault excitations. *Soil dynamics and earthquake Engineering*, 28(4): p. 293-304