

ارایه یک الگوی بار جدید جهت تحلیل پوش آور سازه‌های جداسازی شده در پایه

کاظم شاکری^{۱*} و محسن جعفری^۲

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|---|---|
| <p>واژگان کلیدی: جداساز پایه، تحلیل استاتیکی، غیرخطی، الگوی بار.</p> | <p>در این مقاله، به‌منظور بهبود دقت روش تحلیل پوش آور در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه یک الگوی بار جدید بر اساس برش مودال طبقات سازه با پای ثابت ارایه شده است. دقت الگوی بار پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوهای بار رایج در دستورالعمل‌های بهسازی و آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور الگوی بار پیشنهادی و سایر الگوهای بار مورد مطالعه بر روی دو ساختمان نمونه ۵ و ۱۰ طبقه بتنی با سیستم قاب مقاوم خمشی جداسازی شده در پایه با جداسازهای لاستیکی-سربی، تحت اثر هفت رکورد زلزله دور از گسل و هفت رکورد زلزله نزدیک گسل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه، نقطه کنترل یک‌بار در تراز بام و بار دیگر در تراز جداساز انتخاب شده است. نتایج نشان می‌دهد که تحلیل استاتیکی غیرخطی با الگوی بار پیشنهادی نسبت به سایر الگوهای بار مورد مطالعه از دقت بالاتری در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه برخوردار می‌باشد. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد برخلاف توصیه‌ی صورت گرفته در دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای در خصوص سازه‌های جداسازی شده در پایه، انتخاب تراز جداساز به‌عنوان نقطه کنترل در تشکیل منحنی طیف ظرفیت منجر به نتایج با دقت کم‌تری نسبت به حالت انتخاب نقطه کنترل در تراز بام می‌گردد.</p> |

۱- مقدمه

می‌باشد. به‌طوری‌که بخش عمده‌ای از انرژی ناشی از حرکت زمین در پای سازه توسط این سیستم جذب و مستهلک می‌شود. استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه علاوه بر استهلاک انرژی زمین لرزه در پای سازه، منجر به افزایش دوره تناوب اصلی سازه نیز می‌گردد. در نتیجه بر اساس طیف طراحی، نیروهای زلزله وارد بر سازه کاهش می‌یابد. البته این افزایش دوره تناوب، منجر به افزایش تغییرمکان جانبی سازه و سیستم جداساز می‌شود [۱ و ۲]. برای طرح اولیه ساختمان‌های جداسازی شده در پایه، اکثر آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای استفاده از یک سازه الاستیک معادل با زمان تناوب موثر و میرایی ویسکوز معادل را برای محاسبه استهلاک انرژی در جداسازها

جداسازی لرزه‌ای پایه ساختمان‌ها یکی از روش‌های کنترل غیرفعال سازه‌ها در برابر زلزله می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. ایده اصلی مورد استفاده در جداسازهای لرزه‌ای استفاده از یک صفحه انعطاف پذیر افقی در پای سازه (نصب تکیه گاه‌هایی با سختی جانبی نسبتاً پایین، اما سختی قائم بالا) همراه با مستهلک کننده‌های انرژی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: shakeri@uma.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه محقق اردبیلی

جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه جداسازی شده در پایه پیشنهاد شده است که نقطه کنترل در تراز بام انتخاب شود؛ به طوری که اثرات تشکیل مفاصل پلاستیک در روسازه نیز در تشکیل طیف ظرفیت کلی سیستم لحاظ می‌گردد.

مطالعات عددی صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که روش پوش‌آور پیشنهادی در این مقاله نسبت به سایر روش‌های پوش‌آور موجود از دقت بالاتری در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه برخوردار می‌باشد. همچنین انتخاب تراز جداساز به عنوان نقطه کنترل جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت منجر به تخمین دست پایین و با دقت کمتر نسبت به حالت انتخاب نقطه کنترل در تراز بام می‌گردد.

در این مطالعه از جداگرهای لاستیکی - سربی Lead Rubber Bearing (LRB) که برخلاف سایر جداگرهای الاستومری نیاز به میراگرهای اضافی ندارند، استفاده شده است.

۲- مدل‌سازی جداسازهای لاستیکی -

سربی (LRB)

نشیمن‌های LRB، مشابه نشیمن‌های لاستیکی با میرایی پایین هستند که دارای یک یا چند هسته سربی در درون خود مطابق شکل ۱ می‌باشند. هسته‌های سربی در تنش‌های برشی حدود 8-10 MPa تسلیم شده و تغییرشکل‌های برشی زیادی را از خود نشان می‌دهند. به طوری که منحنی رفتاری نیرو-جابجایی نشیمن‌های LRB به صورت دو خطی در می‌آید و در نتیجه منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت استهلاک انرژی این نوع نشیمن‌ها می‌گردد. همچنین صفحات فولادی به کاررفته در این سیستم از تغییرشکل جانبی لاستیک جلوگیری کرده و سختی قائم سیستم را به مقدار زیادی افزایش می‌دهند، اما صفحات فولادی هیچ تاثیری بر سختی جانبی سیستم جداساز ندارند. از اینرو، جداسازهای LRB قادرند علاوه بر نگهداری قائم ساختمان‌ها، شکل‌پذیری افقی و میرایی هیستریسیس مورد نیاز را فراهم آورند. برای انجام تحلیل غیرخطی، جداسازهای LRB اغلب به صورت دو خطی مدل می‌شوند که شامل سختی الاستیک K_e ، سختی پلاستیک K_p ، و مقاومت

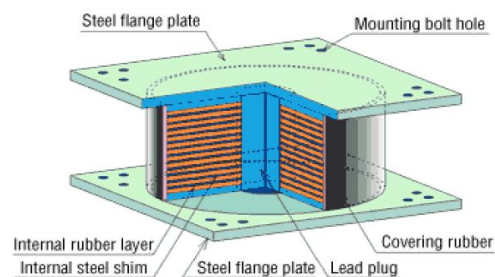
توصیه می‌کنند. برای بررسی عملکرد جداسازهای طرح شده و ارزیابی رفتار روسازه (که بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای بایستی تحت اثر زلزله طرح الاستیک بماند ولی تحت اثر حداکثر زلزله ممکن Maximum Credible Earthquake می‌تواند مقداری آسیب را تجربه کند) از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده می‌شود [۳]. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی، دقیق‌ترین روش جهت ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها تحت اثر یک زلزله مشخص می‌باشد اما به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در انتخاب رکورد زلزله مناسب همچنین پیچیدگی تفسیر نتایج حاصل، تحلیل استاتیکی غیرخطی به عنوان یک گزینه کارآمد برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای روسازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که در تحلیل استاتیکی غیرخطی با مشخص شدن محل تشکیل مفاصل پلاستیک در روسازه در طول تحلیل درک بهتری از رفتار روسازه در برابر زلزله‌های شدید در مقایسه با تحلیل‌های خطی به دست می‌آید. در حالیکه تحلیل استاتیکی غیرخطی پیچیدگی‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی را ندارد [۴].

در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود [۵] همچنین دستورالعمل FEMA356 [۶] جهت تحلیل پوش‌آور سازه‌های جداسازی شده در پایه استفاده از دو الگوی بار متفاوت تحت عناوین: (۱) الگوی بار یکنواخت و (۲) الگوی بار مود اول سازه‌ی جداسازی شده در پایه پیشنهاد شده است. همچنین جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه‌های جداسازی شده در پایه پیشنهاد شده است که نقطه کنترل در تراز جداسازی انتخاب شود.

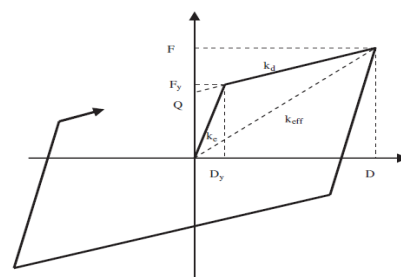
در مطالعه حاضر، دقت روش‌های مختلف پوش‌آور با الگوهای بار متفاوت و با انتخاب نقطه کنترل در تراز پایه و بار دیگر در تراز بام جهت تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین به منظور افزایش دقت روش تحلیل پوش‌آور در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه، یک روش پوش‌آور ابتکاری جدید ارائه شده است که در آن الگوی بار اعمالی از روی پروفیل برش مودال طبقات سازه با پای ثابت تعیین می‌شود؛ به طوری که اثرات مودهای بالاتر و اندرکنش بین آن‌ها و مشخصات طیف شتاب زلزله وارده در الگوی بار اعمالی لحاظ می‌شود. همچنین در روش پوش‌آور پیشنهادی در این پژوهش،

می‌گیرد [۵، ۶ و ۱۰]. در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی بر روی کارائی و دقت این روش در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های متداول صورت گرفته و به‌منظور بهبود دقت آن روش‌های پوش‌آور پیشرفته متعددی با لحاظ کردن اثرات موده‌های بالاتر و موده‌های پیچشی توسط محققین مختلف ارائه شده است [۱۱-۱۴]. اما کاربرد آن در خصوص سازه‌های جداسازی شده در پایه کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۶ Doudoumis و Kotanidis [۱۵] کاربرد روش تحلیل پوش‌آور در سازه‌های جداسازی شده در پایه را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نتایج حاصل از روش‌های تحلیل پوش‌آور را با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی در سازه‌های جداسازی شده در پایه مقایسه کردند. بنا به ادعای آن‌ها این بررسی اولین مطالعه در خصوص کاربرد تحلیل پوش‌آور در سازه‌های جداسازی شده در پایه می‌باشد. آن‌ها در مطالعه خود پاسخ‌های حاصل از روش تحلیل پوش‌آور را در دو حالت زیر با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی مقایسه نمودند. (۱) وقتی که برش پایه حاصل از تحلیل پوش‌آور برابر با برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌باشد و (۲) حالتی که تغییرمکان بام حاصل از تحلیل پوش‌آور برابر با تغییرمکان بام حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌باشد. آن‌ها سازگاری مناسبی بین نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی و تحلیل پوش‌آور در این دو حالت مقایسه مشاهده نمودند؛ ولی در مطالعه آن‌ها هیچ روشی جهت تعیین تغییرمکان هدف در تحلیل استاتیکی غیرخطی ارائه نشده است. در سال ۲۰۰۸ Provdakis [۱۶] جهت ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مرکب فولادی-بتنی (کامپوزیت) مجهز شده به سیستم‌های جداساز لرزه‌ای تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل از روش تحلیل پوش‌آور با محدودیت‌های موجود در FEMA356 استفاده نمود. در سال ۲۰۰۹ Kilar و Koren [۳] کاربرد روش تحلیل پوش‌آور موسوم به روش N2 [۱۷] را جهت ارزیابی و طراحی لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه توسعه دادند. آن‌ها جهت تعیین تغییرمکان هدف از یک منحنی ظرفیت ایده‌آل سه خطی استفاده نمودند. در سال ۲۰۱۱ Koren و Kilar [18] کاربرد روش N2 را جهت تخمین اثرات پیچش در ساختمان‌های نامنظم در پلان جداسازی شده در پایه توسعه دادند. همچنین Kilar و همکارانش

مشخصه Q می‌باشند (شکل ۲). مقاومت مشخصه Q در تکیه‌گاه‌های LRB به‌وسیله مقاومت برشی هسته سربی کنترل می‌شود [۱، ۲ و ۷]. در این نوع جداگرها، تکیه‌گاه‌های سربی به‌دلیل ساختار کریستالی خویش تحت اثر تغییرمکان‌های وارده تغییر شکل داده اما بلافاصله با برگشت تغییرمکان وارده، به حالت اولیه بازگشته و به این ترتیب تسلیم‌های متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث بوجود آمدن پدیده خستگی در آن نمی‌شود و رفتار هیستریسیس این نوع تکیه‌گاه‌ها حتی موقعی که تحت چرخه‌های بارگذاری مختلف قرار می‌گیرند، پایدار می‌ماند. در شکل ۲ تنها یک حلقه از حلقه‌های هیستریسیس بی‌شمار که در آزمایش بر روی این نوع از جداسازها انجام شده است به‌صورت ایده‌آل نشان داده شده است. در این شکل مساحت حلقه هیستریسیس نمایانگر اتلاف انرژی در هر چرخه حرکت سیستم جداساز LRB می‌باشد.



شکل ۱- جداساز لاستیکی-سربی [۸].



شکل ۲- منحنی دو خطی نیرو-جاب‌جایی جداساز لاستیکی-سربی [۹].

۳- کاربرد تحلیل پوش‌آور در سازه‌های جداسازی شده در پایه

امروزه روش تحلیل پوش‌آور به‌طور گسترده‌ای جهت طراحی و ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار

جذر مجموع مربعات (SRSS) طبق رابطه (۳) با هم ترکیب شده و برش مودال ترکیبی طبقات در ترازهای مختلف حاصل می‌شود.

$$F_i = \Gamma_i \phi_{ij} S_{aj} m_i \quad (1)$$

$$SS_{ij} = \sum_{k=i}^n F_{kj} \quad (2)$$

$$SS_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n SS_{ij}^2} \quad (3)$$

در این روابط، i شماره طبقه، j شماره مود، ϕ_{ij} مولفه i ام بردار مود j ام، m_i جرم طبقه i ام، S_{aj} مقدار شتاب طیفی متناسب با مود j ام، Γ_i ضریب مشارکت مود j ام، SS_{ij} برش طبقه در تراز طبقه i ام از مود j ام و SS_i برش مودال ترکیبی طبقه i ام حاصل از ترکیب تمامی مودهای لحاظ شده می‌باشد.

پس از تعیین پروفیل برش مودال ترکیبی طبقات، شکل الگوی بار اعمالی از روی پروفیل برش مودال ترکیبی طبقات و با استفاده از رابطه (۴) تعیین می‌شود. الگوی بار حاصل از روابط (۴) و (۵) از طریق رابطه (۶) نسبت به مجموع مولفه‌های آن نرمال می‌شود.

$$F_i = SS_i - SS_{i+1} \quad i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (4)$$

$$F_n = SS_n \quad (5)$$

$$\bar{F}_i = \frac{F_i}{\sum F_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

که در این جا F_i مولفه i ام بردار الگوی بار و \bar{F}_i مولفه i ام بردار الگوی بار نرمال می‌باشد.

همان‌طوری که در روند تعیین الگوی بار پیشنهادی براساس روابط (۱) تا (۶) مشاهده می‌شود: اثرات مودهای بالاتر، طیف شتاب زلزله ورودی و اندرکنش بین مودها در قالب یک الگوی بار واحد لحاظ می‌گردد.

۴-۲- سایر الگوهای بار مورد مطالعه

به منظور بررسی دقت و کارایی الگوی بار پیشنهادی، نتایج حاصل از این الگوی بار با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی و سایر الگوهای بار رایج مورد بررسی قرار گرفته است. الگوهای بار مورد مطالعه در این تحقیق عبارت از: (۱) الگوی بار یکنواخت (Uniform)، (۲) الگوی بار براساس مود اول سازه جداسازی شده (Model)، (۳)

[19] در سال ۲۰۱۳ به منظور مطالعه اثرات استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در محافظت لرزه‌ای سازه‌های صنعتی فولادی بادبندی شده موجود از روش تحلیل پوش آور استفاده نموده‌اند. در ادامه کار این محققان در این مقاله یک روش پوش آور ابتکاری جدید با دقت مناسب جهت تخمین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه ارائه گردیده است.

۴- مطالعات عددی

در این مطالعه، به منظور توسعه کاربرد روش پوش آور و بهبود دقت آن در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده در پایه یک روش پوش آور جدید با الگوی بار ابتکاری بر اساس برش مودال طبقات سازه با پای ثابت پیشنهاد شده است. دقت الگوی بار پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوهای بار رایج در دستورالعمل‌های بهسازی و آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور دو ساختمان نمونه ۵ و ۱۰ طبقه بتنی با سیستم قاب مقاوم خمشی در نظر گرفته شده است. پاسخ‌های حاصل از تحلیل پوش آور با الگوی بار پیشنهادی و سایر الگوهای بار با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی تحت اثر زلزله‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. الگوی بار پیشنهادی و سایر الگوهای بار مورد مطالعه و نحوه تشکیل طیف ظرفیت و تعیین تغییر مکان هدف در مطالعه حاضر در بخش‌های بعدی به ترتیب توضیح داده شده است.

۴-۱- الگوی بار پیشنهادی

از آنجایی که جابه‌جایی نسبی بین طبقات به عنوان شاخص تعیین کننده در خسارت سازه‌ای ارتباط مستقیمی با برش طبقه دارد. لذا الگوی بار پیشنهادی در این تحقیق از روی برش مودال طبقات سازه با پای ثابت تعیین شده است به‌طوری‌که پروفیل برش حاصل از الگوی بار پیشنهادی در طبقات مختلف برابر با پروفیل برش مودال طبقات باشد. برای این منظور ابتدا نیروهای وارد بر طبقات در هر مود طبق رابطه (۱) محاسبه شده سپس با استفاده از رابطه (۲) برش طبقات مختلف برای هر مود تعیین می‌شود. با استفاده از قوانین ترکیب مودال، مانند

۴-۲-۴- الگوی بار معرفی شده توسط کمیته سیستم‌های محافظ (PSC)

کمیته سیستم‌های محافظ (PSC) [۲۰] جهت تحلیل پوش‌آور سازه‌های جداسازی شده در پایه، یک الگوی بار به‌صورت مثلث معکوس همراه با یک بار متمرکز در تراز جداساز را پیشنهاد می‌کند. در این الگوی بار مقدار بار متمرکز وارده در تراز جداساز متناسب با جرم موجود در این تراز انتخاب می‌شود. شکل توزیع بار در طبقات مختلف براساس این الگوی بار با استفاده رابطه (۹) تا (۱۱) تعیین می‌شود.

$$F_i = \frac{(V_b - F_b)}{R} \times \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} \quad (9)$$

$$F_b = \frac{V_b}{W} W_b \quad (10)$$

$$V_b = K_{eff} D_b \quad (11)$$

در اینجا V_b برش پایه، W وزن کل سازه، W_i وزن طبقه i ام، W_b وزن طبقه روی سیستم جداساز، D_b تغییرمکان طرح سیستم جداساز، h_i ارتفاع طبقه i ام، n تعداد طبقات سازه، K_{eff} سختی موثر سیستم جداساز، R ضریب رفتار ساختمان جداسازی شده، F_b بار متمرکز در طبقه واقع روی سیستم جداساز و F_i بار وارد در طبقه i ام می‌باشد.

۴-۳- نحوه تشکیل منحنی طیف ظرفیت

در روش‌های تحلیل پوش‌آور مرسوم برای سازه‌ها با پای ثابت جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه، تراز بام به‌عنوان نقطه کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و دستورالعمل FEMA356 [۵] و [۶] جهت تحلیل پوش‌آور سازه‌های جداسازی شده در پایه، انتخاب نقطه کنترل در تراز جداساز توصیه شده است. در این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات محل نقطه کنترل انتخابی، در روش‌های مختلف پوش‌آور با الگوهای بار متفاوت جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه یک‌بار نقطه کنترل در تراز جداساز و بار دیگر در تراز بام انتخاب گردیده است. جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت، منحنی برش پایه - جابه‌جایی حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه چند درجه آزادی با توجه به نقطه کنترل

الگوی بار مثلثی (Triangular)، (۴) الگوی بار معرفی شده توسط کمیته سیستم‌های محافظ [20] (Protective Systems Committee (PSC)، (۵) الگوی بار پیشنهادی حاصل از برش مودال طبقات سازه با پای ثابت Story Shear-Fixed Based (SS-FB) و الگوی بار حاصل از برش مودال طبقات سازه جداسازی شده Story Shear-Base Isolated (SS-BI) می‌باشند. هر یک از الگوهای بار مورد مطالعه در بخش بعدی به‌طور مختصر توضیح داده شده است.

۴-۲-۱- الگوی بار یکنواخت

در الگوی بار یکنواخت، بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود. چنانچه وزن تمام طبقات یکسان باشد الگوی بار اعمالی به‌صورت مستطیل در می‌آید.

۴-۲-۲- الگوی بار براساس مود اول سازه جداسازی

شده در پایه

در این روش پس از تعیین شکل مود اول سازه جداسازی شده در پایه، الگوی بار با استفاده از رابطه (۷) تعیین می‌شود.

$$\{f\} = [m] \times \{\phi\} \quad (7)$$

که در آن $[m]$: ماتریس جرم سیستم چند درجه آزادی، $\{\phi\}$: بردار شکل مود اول و $\{f\}$: بردار الگوی بار جانبی می‌باشد.

۴-۲-۳- الگوی بار مثلثی

الگوی بار مثلثی در واقع همان الگوی بار مورد استفاده در روش تحلیل استاتیکی معادل می‌باشد که بر اساس رابطه (۸) بیان می‌شود.

$$F_i = \frac{m_i h_i}{\sum_{i=1}^n m_i h_i} \quad (8)$$

که در آن F_i نیروی اعمال شده در تراز هر طبقه، m_i وزن طبقه i ام، h_i ارتفاع طبقه i ام از تراز پایه و n تعداد طبقات سازه می‌باشد.

سختی ثانویه، K_V سختی قائم، F_V نیروی تسلیم، Damping میرایی هیستریسیس، D تغییرمکان طرح و T_D دوره تناوب طرح سیستم جداساز می‌باشد.

در این مطالعه سیستم‌های جداساز پایه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که سازه‌ها تحت اثر زلزله طرح به مرز الاستیک-پلاستیک خود برسند. طراحی جداسازهای لاستیکی-سربی (LRB) با استفاده از روش تکراری و توسط نرم‌افزار SAP 2000 [22] صورت پذیرفته است.

در جداول (۳) و (۴) مشخصات هفت رکورد زمین لرزه دور از گسل و هفت رکورد زمین لرزه نزدیک گسل مورد استفاده در این مطالعه ارایه شده است. تمامی زلزله‌ها از سایت مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوسیه (PEER) <http://peer.berkeley.edu> انتخاب شده‌اند.

۵- نتایج تحلیل‌های انجام گرفته

از آنجایی که رفتار سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های مختلف متفاوت بوده و پاسخ‌ها وابسته به زلزله وارده می‌باشند. لذا تنها بر اساس نتایج حاصل از یک رکورد زلزله نمی‌توان در خصوص دقت و کارایی روش‌های مختلف تحلیل پوش آور قضاوت نمود. بنابراین در این مطالعه به جای استفاده از نتایج حاصل از تک تک زلزله‌ها، مطالعات بر روی متوسط پاسخ‌های حاصل از زلزله‌های مختلف در دو مجموعه زلزله جداگانه (هفت زلزله دور از گسل و هفت زلزله نزدیک گسل) صورت گرفته و کلیه نمودارها بر اساس مقادیر متوسط پاسخ‌های حاصل از زلزله‌های مورد مطالعه ارایه گردیده است.

در گراف‌های ارائه شده، همچنین در متن مقاله از این پس هر یک از روش‌های تحلیل پوش آور مورد مطالعه با عبارات اختصاری انگلیسی مشخص شده‌اند. عبارت اختصاری مربوط به هر یک از الگوهای بار با توجه به در نظر گرفتن نقطه کنترل در دو حالت: (۱) تراز بام یا (۲) تراز جداساز، به ترتیب با حروف T و B دنبال می‌شوند. حرف T به معنای در نظر گرفتن نقطه کنترل در تراز بام و حرف B به معنای در نظر گرفتن نقطه کنترل در تراز جداساز می‌باشد

انتخابی و با استفاده از روابط زیر به منحنی طیف شتاب - جابه‌جایی سیستم یک درجه آزادی معادل با جرم واحد تبدیل می‌شود.

$$S_a = \frac{V_b}{M^*} \quad (12)$$

$$S_d = \frac{u}{\Gamma \theta_i} \quad (13)$$

که در آن V_b برش پایه، u جابه‌جایی نقطه کنترل مورد نظر، θ_i مولفه مربوط به تراز نقطه کنترل در شکل مود فرضی حاکم، $\Gamma = \frac{\{\phi\}^T [m] \{1\}}{\{\phi\}^T [m] \{\phi\}}$ ضریب مشارکت مودی، $M^* = \Gamma \times L$ جرم موثر مودی، $L = \{\phi\}^T [m] \{1\}$ و $\{\phi\}$ شکل مود فرضی که منطبق بر الگوی بار جانبی اعمالی می‌باشد.

۴-۴- نحوه تعیین تغییرمکان هدف

حداکثر جابه‌جایی سازه چند درجه آزادی از روی حداکثر جابه‌جایی سیستم یک درجه آزادی معادل تخمین زده می‌شود. برای این منظور منحنی طیف ظرفیت سازه به صورت دو خطی ایده‌آل شده و حداکثر جابه‌جایی سیستم یک درجه آزادی معادل تحت اثر زلزله مورد نظر مستقیماً از تحلیل دینامیکی غیرخطی مدل سیستم یک درجه آزادی معادل تعیین می‌گردد.

۴-۵- ساختمان‌ها و رکوردهای زلزله مورد مطالعه

با توجه به عملکرد مناسب و کاربرد فراوان سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در سازه‌ها با زمان تناوب کوتاه، در این مطالعه دو ساختمان منظم ۵ و ۱۰ طبقه بتنی با سیستم قاب مقاوم خمشی مجهز به سیستم جداساز لاستیکی-سربی در نظر گرفته شده است. ساختمان‌های مورد مطالعه بر اساس آیین‌نامه IBC2009 [21] طراحی شده‌اند. کف هر طبقه به صورت دیافراگم صلب مدل شده است. ارتفاع طبقه اول ۳/۲ متر و ارتفاع سایر طبقات ۳/۴ متر می‌باشد. مشخصات سازه‌ای این ساختمان‌ها در حالت پای ثابت در جدول (۱) ارائه شده است.

همچنین مشخصات جداسازهای لاستیکی-سربی (LRB) طراحی شده در این مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. در جدول (۲)، K_{eff} سختی موثر، K_1 سختی اولیه، K_2

جدول (۱) مشخصات سازه‌های ساختمان‌های مورد مطالعه در حالت پای ثابت

| دوره تناوب اصلی در جهت Y (Sec) | دوره تناوب اصلی در جهت X (ecS) | جرم ساختمان (Kg) | ارتفاع (m) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------|
| ۰/۶۱۲۵ | ۰/۶۱۲۵ | ۲۱۶۴۸۶۱ | ۱۷/۵ |
| ۱/۱۲۸۳ | ۱/۱۲۸۳ | ۴۰۹۵۵۳۵ | ۳۴/۵ |

جدول (۲) مشخصات جداساز استفاده شده برای ساختمان‌های ۵ و ۱۰ طبقه

| T_D (S) | D (m) | Damping (%) | F_y (Kg) | K_V ($\frac{Kg}{m^2}$) | K_2 ($\frac{Kg}{m^2}$) | K_1 ($\frac{Kg}{m^2}$) | K_{eff} ($\frac{Kg}{m^2}$) |
|-----------|---------|-------------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| ۱/۹۷ | ۰/۱۱ | ۲۶/۵ | ۵۴۰۰ | ۱/۰۸ × ۱۰۸ | ۴۷۸۹۴/۷۴ | ۴۳۱۰۵۲/۶ | ۹۰۰۰۰ |
| ۲/۵۷ | ۰/۱۵ | ۲۴/۹ | ۷۳۱۲/۳ | ۱/۲ × ۱۰۸ | ۵۶۶۶۶/۶۷ | ۵۱۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰ |

جدول (۳) : مشخصات هفت زمین لرزه دور از گسل مورد مطالعه

| ردیف | محل وقوع | ایستگاه | سال وقوع | نوع خاک | فاصله | حداکثر شتاب زمین |
|------|-----------------|--------------------|------------|---------|-------|------------------|
| ۱ | Imperial valley | Cerro prieta | ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ | C | ۲۶/۵ | ۰/۱۶۹ |
| ۲ | Landers | Coolwater | ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ | C | ۲۱/۲ | ۰/۲۸۳ |
| ۳ | Loma prieta | Anderson Dam | ۱۹۸۹/۱۰/۱۸ | C | ۲۱/۴ | ۰/۲۴۴ |
| ۴ | Palm springs | San Jacinto Soboba | ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ | C | ۳۲ | ۰/۲۵ |
| ۵ | San fernando | Lake Hughes | ۱۹۷۱/۰۲/۰۹ | C | ۲۰/۳ | ۰/۳۶۶ |
| ۶ | Victoria | Cerro prieta | ۱۹۸۰/۰۶/۰۹ | C | ۳۴/۸ | ۰/۶۲۱ |
| ۷ | Wittier Narrows | LA-116th School | ۱۹۸۷/۱۰/۰۱ | C | ۲۲/۵ | ۰/۲۹۴ |

جدول (۴) : مشخصات هفت زمین لرزه نزدیک گسل مورد مطالعه

| ردیف | محل وقوع | ایستگاه | سال وقوع | نوع خاک | فاصله | حداکثر شتاب زمین |
|------|----------------|------------------|------------|---------|-------|------------------|
| ۱ | Coyote Lake | Gilroy Array | ۱۹۷۹/۰۸/۰۶ | C | ۳/۱ | ۰/۴۳۴ |
| ۲ | Duzce | Lamont | ۱۹۹۹/۱۱/۱۲ | C | ۰/۹ | ۰/۱۱۱ |
| ۳ | Kocaeli | Sakarya | ۱۹۹۹/۰۸/۱۷ | C | ۳/۱ | ۰/۳۷۶ |
| ۴ | Livermore | Morgan Terr Park | ۱۹۸۰/۰۱/۲۷ | C | ۱۰/۱ | ۰/۱۹۸ |
| ۵ | Loma prieta | Gavilan Coll | ۱۹۸۹/۱۰/۱۸ | C | ۱۱/۶ | ۰/۳۵۷ |
| ۶ | Northridge | Newhall-W.pico | ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ | C | ۷/۱ | ۰/۴۵۵ |
| ۷ | Wittier Narrow | Alhambra,Fremont | ۱۹۸۷/۱۰/۰۱ | C | ۱۳/۲ | ۰/۳۳۳ |

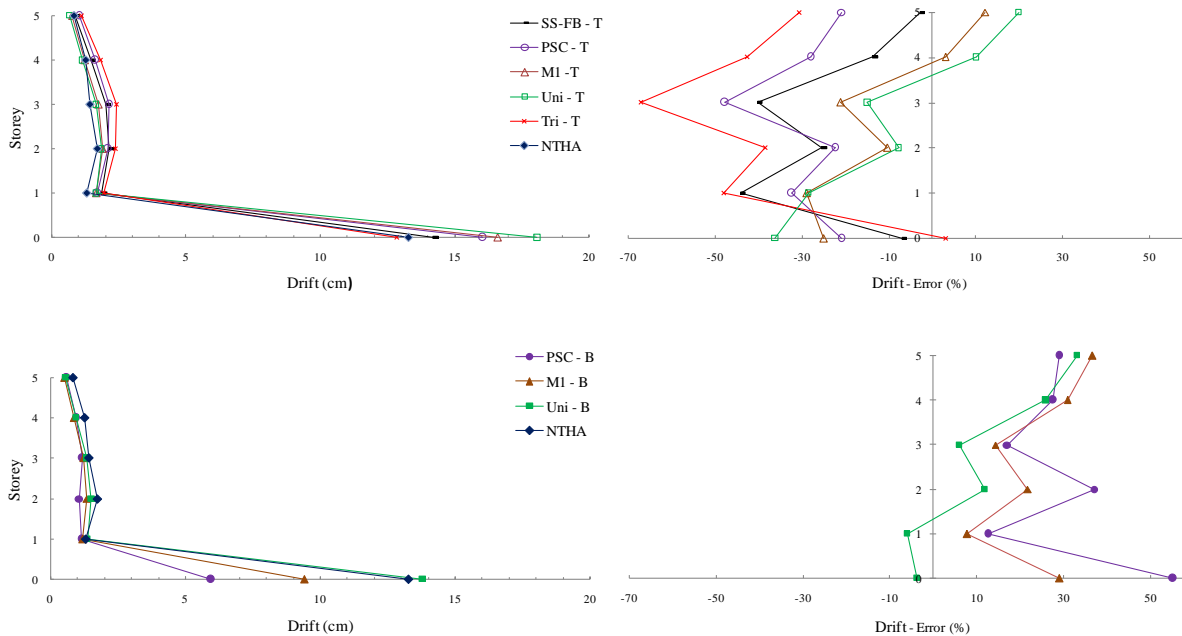
الگوی بار مثلثی (۸) SS-BI-T مربوط به الگوی بار حاصل از برش مودال طبقات سازه‌ی جداسازی شده و (۹) SS-FB-T مربوط به الگوی بار حاصل از برش مودال طبقات سازه با پای ثابت.

در الگوی بار مثلثی Tri و الگوی بار پیشنهادی در این تحقیق SS-FB به دلیل صفر بودن مقدار مربوط به مولفه تراز پایه و محدودیت استفاده از رابطه (۱۳)، نقطه کنترل

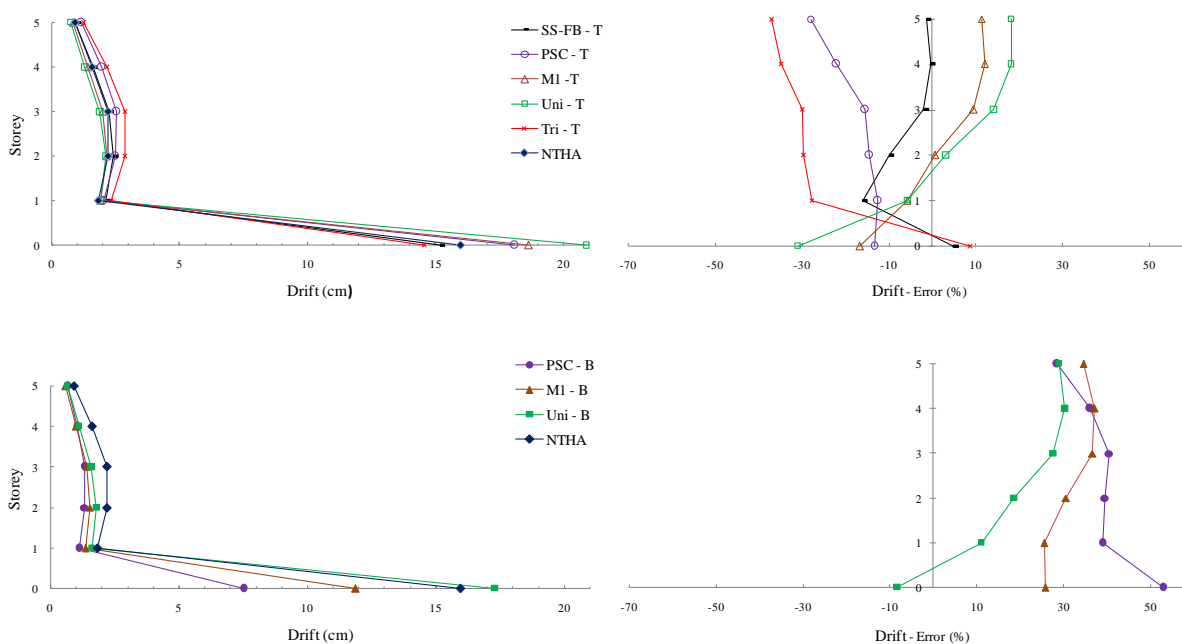
روش‌های پوش‌آور مختلف مورد مطالعه با توجه به الگوهای بار انتخابی و با توجه به در نظر گرفتن نقطه کنترل در تراز بام یا تراز پایه عبارتند از: (۱) Uni-T، (۲) Uni-B مربوط به الگوی بار یکنواخت (۳) M1-T، (۴) M1-B مربوط به الگوی بار مود اول سازه‌ی جداسازی شده (۵) PSC-T، (۶) PSC-B مربوط به الگوی بار معرفی شده توسط کمیته سیستم‌های محافظ (۷) Tri-T مربوط به

پروفیل‌های متوسط جابه‌جایی نسبی طبقات مربوط به دو سازه نمونه ۵ و ۱۰ تحت اثر دو مجموعه زلزله نزدیک گسل و دور از گسل، حاصل از روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور و تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان داده شده است.

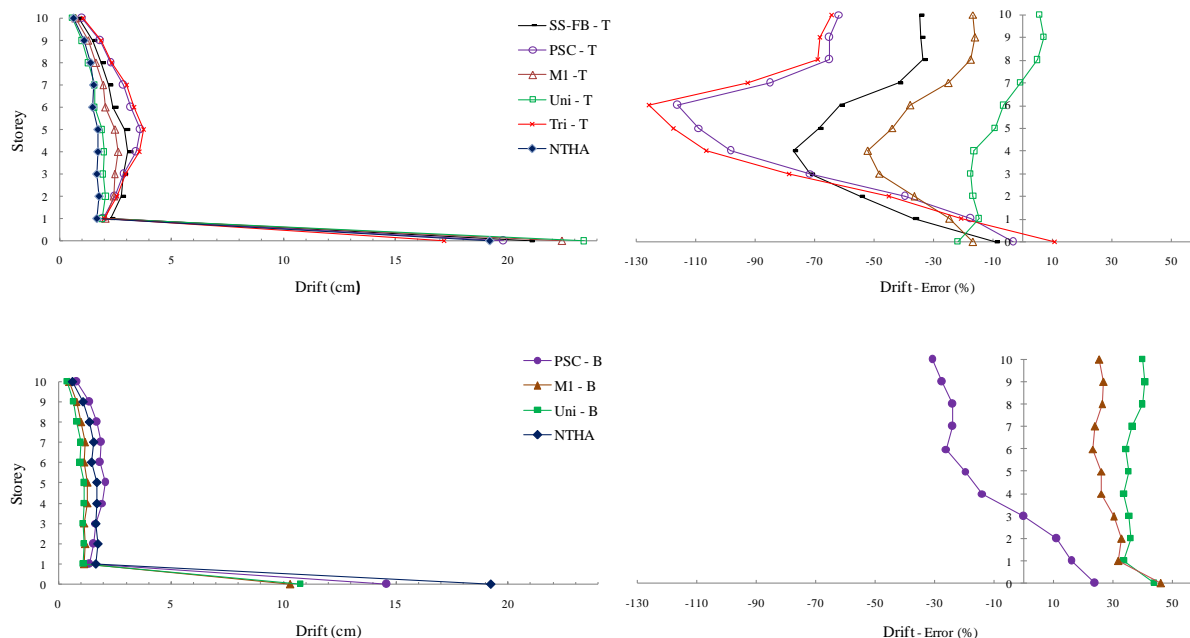
فقط در تراز بام در نظر گرفته شده است. همچنین به دلیل خطای بسیار زیاد الگوی بار SS-BI در حالت انتخاب نقطه کنترل در تراز پایه، این الگوی بار از مطالعات حذف شده و در نمودارها نشان داده نشده است. در شکل‌های ۳ تا ۶



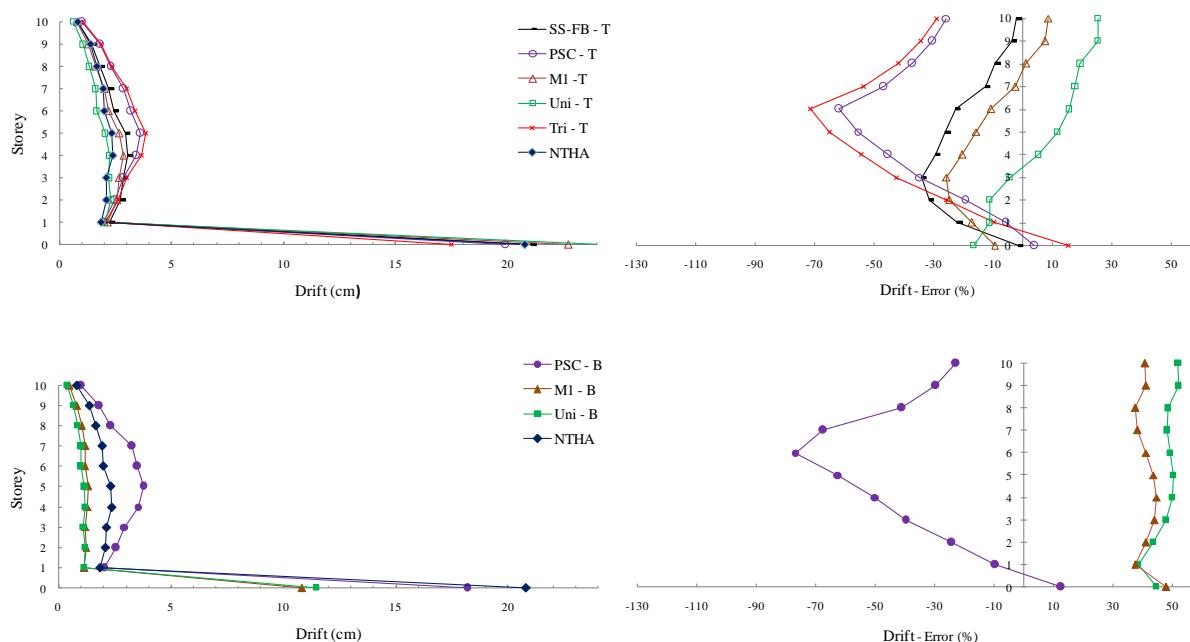
شکل ۳- پروفیل متوسط جابه‌جایی نسبی طبقات سازه ۵ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل، حاصل از روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور همراه با پروفیل شاخص خطا در طبقات مربوط به هر روش.



شکل ۴- پروفیل متوسط جابه‌جایی نسبی طبقات سازه ۵ طبقه تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل، حاصل از روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور همراه با پروفیل شاخص خطا در طبقات مربوط به هر روش.



شکل ۵- پروفیل متوسط جابه‌جایی نسبی طبقات سازه ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل، حاصل از روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور همراه با پروفیل شاخص خطا در طبقات مربوط به هر روش.



شکل ۶- پروفیل متوسط جابه‌جایی نسبی طبقات سازه ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل، حاصل از روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور همراه با پروفیل شاخص خطا در طبقات مربوط به هر روش.

به‌منظور مقایسه دقت و کارایی روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور در تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌های مورد مطالعه، خطای هر روش پوش‌آور در تخمین متوسط پاسخ هر طبقه در مقایسه با متوسط پاسخ حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده شاخص خطای تعریف شده طبق رابطه (۱۴) در هر طبقه محاسبه شده و در گراف‌هایی در مقابل پروفیل‌های مربوط به

$$\text{Error}(S_i) = 100 \times \left(\frac{\Delta_{i-NTHA} - \Delta_{i-P}}{\Delta_{i-NTHA}} \right) \quad (14)$$

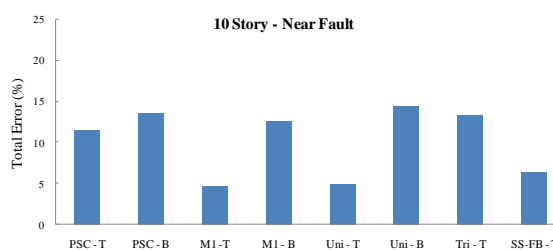
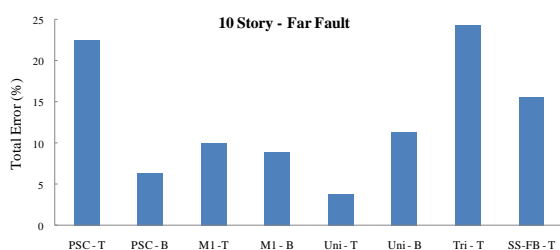
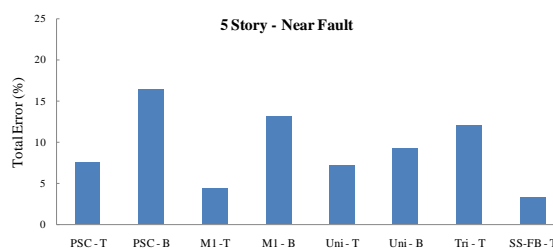
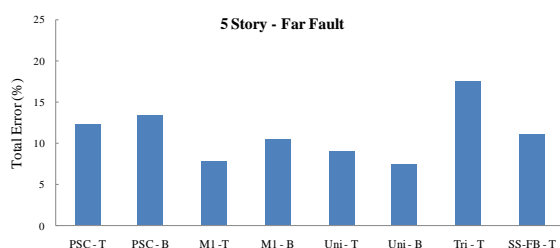
هر چقدر خطای نتایج الگوی بار مورد نظر به سمت صفر میل کند پاسخ‌های حاصل از الگوی بار مورد نظر نزدیک به نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی در طبقه مورد نظر می‌باشد. مقادیر شاخص خطای کل مربوط به روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور در تخمین متوسط جابه‌جایی نسبی سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه تحت اثر مجموعه زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل در شکل ۷ نشان داده شده است.

مقادیر شاخص خطای کل طبق رابطه (۱۵) همواره مثبت می‌باشد و هر چقدر مقدار حاصل از این رابطه به سمت صفر میل کند خطای نتایج الگوی بار مورد نظر نسبت به نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی کمتر می‌باشد.

$$Error_{Total} = 100 \times \frac{1}{n} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta_{i-NTHA} - \Delta_{i-P}}{\Delta_{i-NTHA}} \right)^2} \quad (15)$$

که در این روابط Δ_{i-NTHA} متوسط حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقه i م حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت اثر زلزله‌های مختلف، Δ_{i-P} متوسط حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقه i م حاصل از تحلیل پوش‌آور تحت اثر زلزله‌های مختلف و n تعداد طبقات می‌باشد.

مقادیر مثبت شاخص خطا در رابطه (۱۴) نشان دهنده پایین دست بودن نتایج حاصل از تحلیل پوش‌آور نسبت به تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌باشد. و مقادیر منفی نشان دهنده بالا دست بودن نتایج حاصل از تحلیل پوش‌آور می‌باشند. همچنین



شکل ۷- شاخص خطای کلی مربوط به روش‌های مختلف تحلیل پوش‌آور در تخمین متوسط جابه‌جایی نسبی سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه تحت اثر مجموعه زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل.

زلزله‌های نزدیک گسل را با خطای بسیار زیاد در حدود ۷۰ درصد به صورت دست بالا برآورد می‌کند. درحالی‌که روش‌های Uni-T، M1-T و PSC-T مقادیر پاسخ سازه‌های نمونه را تحت اثر هر یک از مجموعه زلزله‌ها به طور دست بالا و با دقت بیشتری نسبت به روش‌های Uni-B، M1-B و PSC-B برآورد می‌کنند. به طوری‌که خطای کلی مربوط به روش Uni-T مطابق شکل ۷ در تمام حالت‌ها به غیر از سازه ۵ طبقه تحت اثر مجموعه زلزله‌های نزدیک گسل کم‌تر از روش Uni-B می‌باشد. همچنین خطای کلی مربوط به روش M1-T در تمام حالت‌ها کم‌تر از روش M1-B می‌باشد، به غیر از سازه ۱۰ طبقه تحت اثر مجموعه زلزله‌های نزدیک گسل که در

با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶ مشاهده می‌شود که پروفیل‌های خطای مربوط به روش‌های تحلیل پوش‌آور M1-B و Uni-B در هر دو سازه نمونه تحت اثر هر دو مجموعه زلزله‌های نزدیک گسل و دور از گسل در تمام طبقات به غیر از طبقه اول سازه ۵ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل تماماً با مقادیر مثبت در سمت راست محور قائم قرار داشته و در این دو روش پاسخ جابه‌جایی نسبی طبقات به طور دست پایین برآورد می‌شود. همچنین روش PSC-B پاسخ‌های مربوط به سازه ۵ طبقه را تحت اثر هر دو مجموعه زلزله و پاسخ‌های مربوط به طبقات پایین سازه ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل را به طور دست پایین برآورد می‌کند و پاسخ‌های سازه ۱۰ طبقه تحت اثر

روش Uni-T، M1-T، PSC-T و SS-FB-T می‌باشد. و این امر می‌تواند ناشی از این می‌باشد که در سازه‌های جداسازی شده در پایه برخلاف سازه‌ها با پای ثابت، الگوی بار مثلی Tri سازگار با شکل مود غالب سیستم سازه‌ای نمی‌باشد. همچنین مطابق شکل ۷ خطای کلی روش Uni-T در تمام حالت‌ها بیشتر از روش M1-T می‌باشد. به استثناء سازه ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل که در این حالت نیز با مراجعه به شکل ۵ مشاهده می‌شود روش Uni-T در طبقات بالا پاسخ‌ها را دست پایین برآورد می‌کند در حالی که روش M1-T در تمام حالت‌ها در مقایسه با روش Uni-T منجر به جواب‌های دست بالا و در جهت اطمینان می‌شود علاوه بر آن در تمام حالت‌ها دقت روش M1-T در تخمین جابه‌جایی تراز پایه بهتر از روش Uni-T می‌باشد. این برتری با توجه به این که در روش M1-T الگوی بار اعمالی سازگار با شکل مود اول سازه جداسازی شده در پایه می‌باشد قابل توجه است. بنابراین روش M1-T نسبت به روش Uni-T روش مطمئن‌تری می‌باشد و به‌طور کلی در بین روش‌هایی که در آن‌ها نقطه کنترل در تراز بام انتخاب می‌شود سه روش M1-T، PSC-T و SS-FB-T بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد. و در بین این سه روش، خطای کلی حاصل از روش PSC-T در تمام حالت‌ها بیشتر از دو روش M1-T و SS-FB-T می‌باشد. البته لازم به ذکر است همانطوریکه در شکل‌های ۳ تا ۶ مشاهده می‌شود روش PSC-T مانند روش SS-FB-T در تمام حالت‌ها در تمام طبقات پاسخ جابه‌جایی نسبی طبقات را به‌صورت دست بالا و در جهت اطمینان برآورد می‌کند ولی با اینحال دقت و کارایی آن کمتر از روش SS-FB-T می‌باشد. حال به مقایسه روش SS-FB-T و M1-T می‌پردازیم. مطابق شکل ۷ خطای کلی حاصل از روش M1-T در تمام حالت‌ها کمتر از روش SS-FB-T می‌باشد بجز در سازه ۵ طبقه تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل که در این حالت خطای روش M1-T اندکی بیشتر از روش SS-FB-T می‌باشد. در ضمن در تمام حالت‌های مورد بررسی خطای روش M1-T زیر ۸ درصد می‌باشد. با این حال با بررسی شکل‌های ۳ تا ۶ مشاهده می‌شود در برخی موارد روش M1-T پاسخ‌ها را به‌طور دست پایین برآورد می‌کند. همچنین این روش دقت خوبی در تخمین جابه‌جایی تراز پایه ندارد در حالیکه روش SS-FB-T جابه‌جایی تراز پایه را با دقت بسیار بالایی تخمین می‌زند

این حالت خطای مربوط به M1-T اندکی بیشتر از M1-B می‌باشد. ولی با این حال در این دو حالت استثناء نیز با مراجعه به شکل‌های ۴ و ۶ مشاهده می‌شود که روش‌های M1-T و Uni-T پاسخ سازه‌ها را نسبت به روش M1-B و Uni-B به‌طور دست بالا و با دقت مناسبی برآورد می‌کنند. همچنین با دقت در شکل ۷ مشاهده می‌شود خطای کلی مربوط به روش PSC-T در تمام حالت‌ها کمتر از روش PSC-B می‌باشد بجز در سازه ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله‌های دور از گسل که در این حالت نیز با مراجعه به شکل ۵ مشاهده می‌شود با وجود آنکه خطای روش PSC-T بیشتر می‌باشد ولی پاسخ‌ها به‌طور دست بالا در جهت اطمینان برآورده می‌شود. همچنین در این روش جابه‌جایی تراز پایه با دقت بسیار بالایی تخمین زده شده است. لذا به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت دقت و کارایی روش‌های M1-T، Uni-T و PSC-T جهت تخمین پاسخ لرزه‌ای روش‌های M1-B، Uni-B و PSC-B می‌باشد. به‌عبارت دیگر در تحلیل پش‌آور سازه‌های جداسازی شده در پایه بر خلاف توصیه‌های صورت گرفته در دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای، جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت بهتر است نقطه کنترل بجای تراز پایه در تراز بام انتخاب شود. دلیل این امر می‌تواند ناشی از این باشد که درحالتی که نقطه کنترل در تراز بام انتخاب می‌شود اثرات مفاصل پلاستیک تشکیل شده در روسازه نیز در تشکیل طیف ظرفیت کلی سیستم سازه جداسازی شده در پایه لحاظ می‌گردد. به‌خصوص زمانی که سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل قرار گرفته و مفاصل پلاستیک بیشتری در روسازه شکل گرفته باشند. همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در هر دو سازه نمونه تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل در تمام الگوهای بار، انتخاب نقطه کنترل در تراز بام منجر به خطای کلی کمتری نسبت به حالت انتخاب نقطه کنترل در تراز پایه شده است. حتی این قضیه در الگوی بار PSC پیشنهادی کمیته سیستم‌های محافظ که در آن انتخاب نقطه کنترل در تراز پایه توصیه شده است نیز صادق است.

حال به بررسی و مقایسه روش‌هایی که در آن‌ها نقطه کنترل در تراز بام انتخاب شده است می‌پردازیم. با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶ همچنین شکل ۷ مشاهده می‌شود که خطای روش Tri-T در تمام حالت‌ها بیشتر از هر چهار

این باشد که در صورت انتخاب نقطه کنترل در تراز جداساز، اثرات مفاصل پلاستیک تشکیل شده در روسازه در تشکیل طیف ظرفیت کلی سیستم سازه جداسازی شده در پایه لحاظ نمی‌گردد. به‌خصوص زمانی که سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های نزدیک گسل قرار گرفته و مفاصل پلاستیک بیشتری در روسازه شکل گرفته باشند انتخاب نقطه کنترل در تراز بام منجر به خطای بیشتری می‌شود.

- با توجه به این که در روش پوش‌آور پیشنهادی در این مقاله، اثرات مودهای بالاتر و اندرکنش بین آن‌ها و مشخصات طیف شتاب زلزله وارده در الگوی بار پیشنهادی لحاظ شده همچنین با انتخاب نقطه کنترل در تراز بام، اثرات مفاصل پلاستیک تشکیل شده در روسازه در طیف ظرفیت کلی سیستم سازه جداسازی شده لحاظ شده است لذا همانطوریکه در مطالعات عددی نیز مشاهده گردید روش پیشنهادی یک روش مطمئن و با دقت مناسب نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه می‌باشد البته روش پوش‌آور با الگوی بار بر اساس مود اول سازه جداسازی شده نیز به خاطر سازگاری الگوی بار با مود غالب سیستم سازه‌ای منجر به نتایج قابل قبول می‌گردد و شاید استفاده از میانگین حاصل از دو روش منجر به نتایج با دقت بیشتر و در جهت اطمینان شود.

- الگوی بار پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن نقطه کنترل در تراز بام مناسب‌ترین روش جهت تخمین جابه‌جایی تراز پایه می‌باشد.

- الگوی بار پیشنهادی در این مقاله و الگوی بار توصیه شده توسط کمیته سیستم‌های محافظ با در نظر گرفتن نقطه کنترل در تراز بام، در تمام نمونه‌های مورد بررسی پاسخ جابه‌جایی نسبی

علاوه بر آن در تمام حالت‌ها در تمام طبقات، جابه‌جایی نسبی بین طبقات را به‌طور دست بالا و در جهت اطمینان برآورد می‌کند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که دو روش M1-T و SS-FB-T دو روش مطمئن و با دقت مناسب نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه می‌باشند و شاید استفاده از میانگین حاصل از دو روش M1-T و SS-FB-T منجر به نتایج با دقت بیشتر و در جهت اطمینان شود. در ضمن روش SS-FB-T مناسب‌ترین روش جهت تخمین جابه‌جایی تراز پایه می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، یک الگوی بار جدید بر اساس برش مودال طبقات سازه با پای ثابت جهت تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌های جداسازی شده در پایه ارایه شده است. به‌طوری‌که اثرات مودهای بالاتر و اندرکنش بین آن‌ها و مشخصات طیف شتاب زلزله وارده در الگوی بار اعمالی لحاظ شده است. دقت الگوی بار پیشنهادی و سایر الگوهای بار رایج در مقایسه با نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته است. در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی با الگوهای بار متفاوت جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت سازه، نقطه کنترل یک‌بار در تراز بام و بار دیگر در تراز جداساز انتخاب شده است. بررسی‌ها بر روی دو ساختمان نمونه ۵ و ۱۰ طبقه بتنی با سیستم قاب مقاوم خمشی جداسازی شده در پایه با جداسازهای لاستیکی-سربی، تحت اثر هفت رکورد زلزله دور از گسل و هفت رکورد زلزله نزدیک گسل صورت گرفته و نتایج زیر حاصل شده است.

- در تحلیل پوش‌آور سازه‌های جداسازی شده در پایه بر خلاف توصیه‌های صورت گرفته در دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای، انتخاب نقطه کنترل در تراز بام جهت تشکیل منحنی طیف ظرفیت منجر به نتایج با دقت بیشتر و مطمئن‌تری نسبت به حالت انتخاب نقطه کنترل در تراز جداساز می‌گردد و انتخاب نقطه کنترل در تراز جداساز عموماً منجر به تخمین دست پایین پاسخ‌ها می‌گردد. این امر می‌تواند ناشی از

که در آنها نقطه کنترل در تراز بام انتخاب شده است خطای روش پوش‌آور با الگوی بار مثلثی در تمام حالت‌های مورد بررسی بیشتر از سایر الگوهای بار می‌باشد.

طبقات را در تمام طبقات به صورت دست بالا و در جهت اطمینان برآورد می‌کنند.

- با توجه به این که الگوی بار مثلثی در سازه‌های جداسازی شده در پایه سازگار با شکل مود غالب سیستم سازه‌ای نمی‌باشد لذا در بین روش‌هایی

۷- مراجع

- [1] Naeim, F., Kelly, J.M. (1999). "Design of seismic isolated structures; from theory to practice". John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [2] Cheng, F., Jiang, H., Lou, K. (2008). "Smart structures, Innovative Systems for Seismic Response Control". Taylor & Francis Group, New York, US.
- [3] Kilar, V., Koren, D. (2010). "Simplified inelastic seismic analysis of base – isolated structures using the N2 method". Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 39(9), pp. 967–989.
- [4] Kilar, V., Koren, D. (2009). "Seismic behaviour of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators". Engineering Structures, Vol. 31(4), pp. 910-921.
- [۵] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۵). "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود". نشریه شماره ۳۶۰، جمهوری اسلامی ایران.
- [6] American Society of Civil Engineers, (2005). "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings". FEMA356, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, US.
- [7] Higashino, M., Okamoto, S. (2006). "Response Control and Seismic Isolation of Buildings". Taylor & Francis Group, New York, US.
- [8] Chatzidaki, F., (2011). "Optimum design of base isolated RC structures". Institute of Structural Analysis and Anti-seismic Research, Athens, Greece.
- [9] Ozdemir, G., Constantinou, M. (2010). "Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacement". Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Vol. 30(10), pp. 1036-1042.
- [10] Applied Technology Council, (1996). "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings". ATC40, Redwood City, California, US.
- [11] Chopra, A.K., Goel, R.K., (2002). "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings". Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 31(3), pp. 561–582.
- [12] Shakeri, K., Shayanfar, M.A., Kabaeyasawa, T. (2010). "A story shear-based adaptive pushover for estimating seismic demands of buildings". Engineering Structures, Vol. 32(1), pp. 174–183.
- [13] Shakeri, K., Tarbali, K., Mohebbi, M. (2012). "An adaptive modal pushover procedure for asymmetric – plan buildings". Engineering Structures, Vol. 36, pp. 160-172.
- [14] Shakeri, K. (2013). "Optimum weighted mode combination for nonlinear static analysis of structures". 3(2), pp. 259-270.
- [15] Doudoumis, N.I., Kotanidis, C. (2006). "A comparative study on static push-over and time-history analysis methods in base isolated buildings". First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, September, paper No. 420.
- [16] Providakis, C.P. (2008). "Pushover analysis of base isolated steel–concrete composite structures under near-fault excitations". Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Vol. 28(4), pp. 293-304.
- [17] Fajfar, P. (2000). "A nonlinear analysis method for performance-based seismic design". Earthquake Spectra, Vol. 16(3), pp. 573–592.

- [18] Koren, D., Kilar, V. (2011). "The applicability of the N2 method to the estimation of torsional effects in asymmetric base-isolated buildings". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 40(8), pp. 867–886.
- [19] Kilar, V., Petrovčič, S., Koren, D., Šilih, S. (2013). "Cost viability of a base isolation system for the seismic protection of a steel high-rack structure". *International Journal of Steel Structures*, Vol. 13(2), pp. 253-263.
- [20] Structural Engineers Association of Northern California, (1986). "Tentative Seismic Isolation Design Requirements". San Francisco, California, US.
- [21] International Code Council, (2009). "International Building Code". Country Club Hills, US.
- [22] Computers and Structures Inc. (2011). "SAP 2000: Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-dimensional Structures". Berkeley, California, US.