

P. Hosseini*

Faculty of Engineering,
Mahallat Institute of Higher
Education, Mahallat.

e-mail: p.hosseini@mahallat.ac.ir

M. Hosseini

Structural Engineering
Research Center, International
Institute of Earthquake
Engineering and Seismology
(IIEES).

e-mail: hosseini@iiees.ac.ir

S. M. Omranizadeh

Faculty of Technical and
Engineering, South Tehran
Branch, Islamic Azad
University.

e-mail:
mohammad.omrani68@gmail.com

The Effect of Height of Structure on the Accuracy of Non-linear Static Analysis Methods in Steel Structures with Lead Rubber Bearing (LRB) Base Isolators

In this study, a comparative study of non-linear static methods with time history method for Chevron braced structures (with LRB seismic base isolator at the base level) is performed. To find out the effect of the building's height on seismic responses of isolated structures, in this study 3 isolated building structures by LRB isolators with 3 different number of stories of 4, 7 and 10, located in a high seismicity area have been modeled in 3D by assuming the soil type C. Pushover non-linear static analysis procedures, with target displacements according to ASCE41-13 code and using three lateral load patterns, including structure's first mode, uniform and triangular have been analyzed using spectral dynamic, PSC and the results have been compared with those of non-linear dynamic analysis subjected to selected far-field earthquakes. The results show that in the estimation of maximum displacement of LRB isolators and also the amount of base shear, ASCE41-13 has a high degree of accuracy in structures with different heights. In estimating the displacement of maximum floors, first mode methods, uniform, spectral dynamic have had enough accuracy in all discussed heights. In estimating the relative displacement of structures' floors, by increasing the height of the structure, the accuracy of the triangular load's pattern reduces significantly. In contrast with it, the PSC method has high accuracy.

Keywords: Isolated structures, Lead rubber bearing (LRB), Nonlinear static and dynamic analysis procedures, Effect of height in accuracy of nonlinear static analysis of pushover.

* Corresponding author

Received 01 September 2019, Revised 02 October 2019, Accepted 04 October 2019.

DOI: 10.22091/cer.2019.4899.1180

بررسی اثر ارتفاع سازه در دقت روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌های فولادی همراه با جداسازهای لاستیکی با هسته سربی

در این تحقیق، بررسی مقایسه‌ای بین روش‌های استاتیکی غیرخطی با روش تاریخچه زمانی برای سازه‌های مهاربندی شده از نوع شورون (به‌همراه جداساز لرزه‌ای لاستیکی با هسته سربی در تراز پایه) انجام شده است. با توجه به تأثیر ارتفاع در پاسخ‌های لرزه‌ای سازه جداسازی شده در این مقاله، ۳ سازه ساختمانی جداسازی شده با جداساز لاستیکی با هسته سربی در ۳ تراز ارتفاعی مختلف ۴، ۷ و ۱۰ طبقه، در منطقه‌ای با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد با فرض نوع خاک C به‌صورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده است. روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون، با تغییرمکان هدف آیین‌نامه ASCE41-13 و با الگوهایی بار جانبی مود اول سازه، یکنواخت، مثلثی، دینامیکی طیفی و PSC به‌همراه تحلیل تاریخچه زمانی برای رکورد زلزله‌های حوزه دوره انتخابی، بر روی مدل‌های مورد نظر اعمال گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که برآورد جابه‌جایی حداکثر این جداساز و برش پایه در روش‌های بار افزون ASCE41-13، دارای دقت بالایی در سازه‌های با تراز ارتفاعی مختلف بوده‌اند. در برآورد جابه‌جایی حداکثر طبقات، روش‌های مود اول، یکنواخت، دینامیکی طیفی، PSC دارای دقت کافی در تمام ترازهای ارتفاعی مورد بحث بوده و با افزایش ارتفاع سازه، دقت الگوی بار مثلثی کاهش پیدا کرده است و در مقایسه با آن، روش PSC دارای دقت بالایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: سازه جداسازی شده، جداساز لاستیکی با هسته سربی (LRB)، روش‌های تحلیل غیرخطی، تأثیر ارتفاع در دقت تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون.

برابر زلزله از خود مقاومت نشان می‌دهد. اما در روش‌های جدید و مدرن طراحی سازه‌ها، به‌منظور ایمنی و مقاومت عناصر سازه‌ای در برابر زلزله و از سوی دیگر، اقتصادی نمودن طراحی اعضای سازه‌ای، از سیستم‌های کنترلی بهره می‌برند. امروزه استفاده از سیستم‌های کنترل به‌منظور جلوگیری از ارتعاشات سازه‌ها در مقابل زلزله بسیار گسترش یافته است. استفاده از سیستم‌های کنترلی در سازه‌ها باعث می‌شود که اعضای سازه‌ای در زمان وقوع زلزله در محدوده ارتجاعی باقی بمانند و از بروز آسیب و تخریب در آن‌ها جلوگیری شود [۱].

۱- مقدمه

همواره یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مهندسين عمران، یافتن راه‌حلی مناسب به‌منظور مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله بوده است. در روش‌های معمول و مرسوم طراحی، ساختمان با کاربرد ترکیبی از سختی، قابلیت شکل‌پذیری و اتلاف انرژی در اجزای اصلی سازه‌ای، در

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۰۶/۱۰، بازنگری ۱۳۹۸/۰۷/۱۰، پذیرش ۱۳۹۸/۰۷/۱۲.
DOI: 10.22091/cer.2019.4899.1180 شناسه دیجیتال

پدرام حسینی*

استادیار، دانشکده مهندسی، مرکز آموزش عالی محلات.

پست الکترونیک:

p.hosseini@mahallat.ac.ir

محمود حسینی

دانشیار، پژوهشکده زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهران.

پست الکترونیک:

hosseini@iiees.ac.ir

سید محمد عمرانی‌زاده

کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

پست الکترونیک:

mohammad.omrani68@gmail.com

جداسازهای ارتعاشی استفاده می‌شود، می‌تواند به حدود ۱ متر برسد اما وجود میرایی می‌تواند این تغییرمکان را به ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر کاهش دهد. علی‌رغم وجود روش‌های متفاوت برای طراحان، همه روش‌ها چنین تغییرمکانی را (تغییرمکان حدود ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر) منطقی می‌دانند. این مقادیر در صورت تحریکات شدید زلزله تا حدود ۲ برابر نیز معقول خواهد بود. این نکته نیز حائز اهمیت است که برای تمام سازه‌هایی که دارای سامانه جداساز ارتعاشی می‌باشند، باید درز زلزله مناسبی تعبیه شود تا تغییرمکان‌های بزرگ را در طول زلزله امکان‌پذیر نماید. از اینرو سیستم‌های جداساز، روشی برای محافظت ساختمان‌ها در برابر خسارات ناشی از زلزله بوده و این عمل با محدود ساختن اثر تخریبی زلزله و نه مقاوم کردن سازه در مقابل زلزله انجام می‌پذیرد [۵].

نهایتاً به‌طور خلاصه می‌توان نحوه عملکرد سازه جداسازی شده را بدین شرح عنوان نمود که در اثر افزایش انعطاف‌پذیری بر سازه، با افزایش زمان تناوب و میرایی، شتاب پاسخ لرزه‌ای کم می‌شود. همچنین افزایش زمان تناوب، تغییرمکان کلی سازه جداسازی شده را افزایش می‌دهد؛ اما افزایش میرایی تا حد زیادی این موضوع را جبران می‌کند [۶].

افزایش ارتفاع ساختمان در حالت کلی متناظر با افزایش دوره تناوب طبیعی آن است. باید توجه نمود که در جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها با نزدیک شدن دوره تناوب موده‌های ارتعاشی در سازه بدون جداساز لرزه‌ای به مود ارتعاشی سازه جداسازی شده، تأثیر روش جداسازی لرزه‌ای کاهش می‌یابد [۷].

دوره تناوب طبیعی سازه روی سامانه جداساز با فرض پایه گیردار تابعی از ارتفاع، جنس سازه، سیستم سازه‌ای و شکل سازه است. از نظر مفهومی، در حالت ایده‌آل، سازه جداسازی شده، یک سامانه یک درجه آزاد با یک جرم صلب بر روی یک فنر در نظر گرفته می‌شود [۸].

وسایل جاذب انرژی به‌صورت‌های مختلفی یافت می‌شود و موجب اتلاف انرژی به‌صورت مکانیزم‌های مختلفی شامل جاری شدن فولاد، عملکرد ویسکوالاستیک در مواد لاستیک‌گونه، ایجاد برش در مایع ویسکوز، اصطکاک و غیره می‌شود. این سیستم‌ها احتیاج به وسایلی با مشخصات ویژه (سختی، مقاومت، رفتار چرخه‌ای یا هیستریزس و غیره) دارند، به‌طوری‌که می‌توان این وسایل را به دو گروه جداسازها و میراگرها تقسیم نمود [۲].

در طول سال‌های گذشته، تکنولوژی ساخت و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، پیشرفت زیادی کرده است. جداسازی لرزه‌ای در واقع نصب سیستمی است که سازه و یا ملحقات آن را از حرکات لرزه‌ای مخرب زمین و یا تکیه‌گاه جدا می‌سازد. این جداسازی با افزایش انعطاف‌پذیری سیستم و نیز تأثیر میرایی مناسب به‌دست می‌آید [۳].

سازه‌های جداسازی شده به سازه‌هایی گفته می‌شود که از سطح زمین یا سطح زیرین به‌وسیله جداساز جدا شده‌اند [۴].

از نظر تحلیلی، شتاب حداکثر زلزله‌ها معمولاً دارای زمان تناوب غالبی حدود ۰/۱ تا ۱ ثانیه بوده و حداکثر شدت آن در محدوده ۰/۲ تا ۰/۶ ثانیه می‌باشد. بنابراین چون امکان تشدید پاسخ‌هایی که زمان تناوب طبیعی آنها در محدوده ۰/۱ تا ۱ ثانیه است در مقابل زلزله وجود دارد؛ این سازه‌ها در محدوده‌های تناوبی فوق، آسیب‌پذیرترند. بهترین امتیاز جداسازهای ارتعاشی در این است که با انعطاف‌پذیری زیاد خود زمان تناوب طبیعی سازه را افزایش می‌دهند. این پدیده یعنی افزایش زمان تناوب سازه، موجب می‌گردد که از تشدید سازه و یا نزدیک شدن به حالت تشدید اجتناب شود و در نهایت پاسخ سازه کاهش یابد. افزایش تناوب سبب کاهش میزان شتاب پاسخ سازه می‌گردد. از طرفی، افزایش زمان تناوب و در نتیجه افزایش انعطاف‌پذیری بر میزان تغییرمکان افقی اثر می‌گذارد. در زلزله‌های بزرگ، مقدار حداکثر تغییرمکان یک سازه بدون میرایی که در آن از

در بخش پیش‌رو مقدمه ارائه شده است. در بخش بعدی، مدل‌سازی سازه جداسازی شده بیان شده است. در بخش سوم، مثال‌های عددی و در آخرین بخش، بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مدل‌سازی سازه جداسازی شده

در روش طراحی براساس عملکرد برای تعیین عملکرد و ارزیابی سازه و اجزای آن نیاز به تعیین ظرفیت و نیاز لرزه‌ای سازه می‌باشد. برای دستیابی به این هدف باید از روش‌های تحلیلی استفاده شود که بتوانند رفتار سازه و اجزای آن و همچنین حرکات ناشی از زمین‌لرزه را به خوبی مدل کنند. روش‌های تحلیلی که پیشنهاد شده‌اند به‌طور کلی به دو دسته خطی و غیرخطی که هر کدام به صورت استاتیکی یا دینامیکی انجام می‌گیرند، تقسیم می‌شوند. در روش تحلیل استاتیکی خطی رفتار مصالح خطی است و برخلاف آنکه نیروهای ناشی از زلزله دینامیکی است؛ اما اثر آن بر روی سازه با اعمال بار معادل استاتیکی برآورد می‌گردد [۱۲].

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون، یک سازه تحت بار جانبی قرار می‌گیرد و این بار به‌طور افزایشی به سازه اعمال می‌شود، تا سازه در نقطه کنترل (که معمولاً بام می‌باشد) به تغییرمکان از پیش تعیین شده‌ای که به آن تغییرمکان هدف گفته می‌شود برسد. سپس در این تغییرمکان، پاسخ‌های سازه از جمله تغییرمکان حداکثر طبقات، نسبت تغییرمکان نسبی طبقات، تنش‌های اعضا و معیار خرابی، ثبت می‌شود [۱۳].

در تحلیل‌های غیرخطی، تحلیل سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی اجزای سازه، به کمک تعریف رفتار غیرخطی مصالح، انجام می‌شود. در روش‌های تحلیل غیرخطی، مفصل پلاستیک در نقاط حداکثر لنگرهای ناشی از بارهای ثقلی و جانبی پیش‌بینی شده و تحلیل مدل سازه بر این اساس انجام می‌شود. یکی از روش‌های

سیستم جداساز لرزه ای LRB^1 شامل یک هسته سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است. جداسازهای لاستیکی به تنهایی قادر به تأمین میرایی زیاد و جذب انرژی مناسب نیستند. هسته سربی در جداسازهای لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداسازهای لاستیکی به چیزی حدود بیش از ۱۰ درصد افزایش می‌دهند. همچنین هسته سربی با تأمین سختی اولیه کافی، سازه جداسازی شده را در برابر بارهای جانبی ضعیف مانند باد یا زلزله‌های ضعیف مقاوم می‌کند [۹].

جداساز لاستیکی با هسته سربی با نمایش رفتاری دو خطی با نرم‌شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه‌ای، عملکرد مطلوبی در زمینه کنترل توأم لرزه‌های خفیف و شدید از خود نشان داده‌اند [۱۰]. لازم به ذکر است تغییر جابه‌جایی و سرعت زیاد پالس‌های رکورد زلزله در حوزه نزدیک در رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده بسیار مهم است [۱۱].

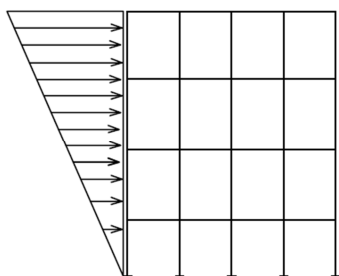
ارتفاع از جمله پارامترهای تأثیرگذار در عملکرد رفتاری سازه جداسازی شده می‌باشد و طبق بررسی‌های انجام گرفته در پژوهش‌های پیشین، با تحقیقی مشابه در زمینه تأثیر ارتفاع، در تعیین دقت روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌های جداسازی شده با جداسازهای لاستیکی با هسته سربی برخورد نشده است. لذا با توجه به جدید بودن موضوع، در این مطالعه با استفاده از مطالعات پیشین که از نظر ماهوی در چارچوب این مطالعه قرار دارند و با نگاهی تازه، از زاویه جدیدی به موضوع نگریسته شده است. با بررسی جامعی در مورد روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی و نوآوری‌های جدید به وجود آمده در این روش‌ها، به ارزیابی تأثیر ارتفاع در تعیین دقت روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌های جداسازی شده با جداسازهای LRB پرداخته شده است.

¹- Lead Rubber Bearing

$$T > 2/5s \Rightarrow k = 2/0 \quad (2)$$

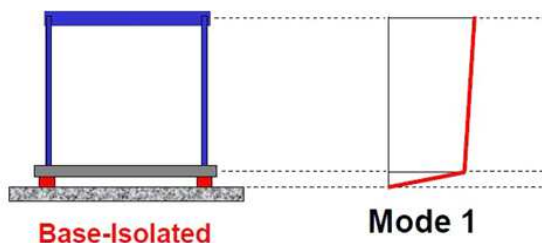
$$T \leq 2/5s \Rightarrow k = 1/0$$

در مورد سازه‌ی جداسازی شده براساس FEMA273، ضریب k برابر یک در نظر گرفته شده است [۱۵].



شکل ۱- توزیع بار جانبی متناسب با تحلیل استاتیکی خطی سازه

۲- توزیع بار جانبی متناسب با شکل مود اصلی: این الگوی بار، زمانی استفاده می‌شود که بیشتر از ۷۵٪ جرم مجموع در مود اصلی مشارکت دارند. تصویر این توزیع در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- توزیع بار جانبی متناسب با مود اصلی سازه جداسازی شده

۳- توزیع بار جانبی یکنواخت: شامل نیروهای جانبی در هر طبقه متناسب با جرم مجموع در هر طبقه سازه مطابق رابطه (۳) می‌باشد.

$$F_x = \frac{W_x}{\sum W_x} V \quad (3)$$

۴- توزیع بار جانبی متناسب با بار جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی (شامل مودهای کافی که جمع جرم مؤثر آنها بیش از ۹۰٪ جرم کل سازه است).

تحلیل دینامیکی غیرخطی، روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی است که دارای دقت بالایی می‌باشد. با این حال، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی بسیار وقت‌گیر بوده که نیاز به در نظر گرفتن مجموعه‌ای از تحریک‌های زمین می‌باشد و در مجموع پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. در مقابل، روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌توانند گزینه مناسبی جهت ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها محسوب شوند. این روش‌ها به‌عنوان ابزاری مناسب و کاربردی در تحلیل سازه‌ها در علوم مهندسی سازه و زلزله، توسعه فراوانی پیدا کرده‌اند.

۲-۱- الگوهای توزیع بار جانبی

نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون به‌طور قابل‌توجهی به توزیع بار جانبی بستگی دارد. الگوهای توزیع بار جانبی متفاوت برای به‌دست آوردن منحنی ظرفیت سازه در دو نوع به شرح زیر است:

(الف) توزیع نوع اول بار جانبی

به‌عنوان توزیع نوع اول، باید بار جانبی با یکی از چهار روش زیر مطابق تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون براساس آیین‌نامه ASCE41-13 و دستورالعمل FEMA-356 محاسبه و بر مدل سازه اعمال شود [۱۴]:

۱- توزیع بار جانبی متناسب با روش استاتیکی خطی: این الگوی بار، زمانی استفاده می‌شود که بیشتر از ۷۵٪ جرم مجموع در مود اصلی مشارکت دارند. تصویر این توزیع مطابق رابطه (۱) در شکل ۱ ارائه شده است.

$$FV_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{x=1}^n w_x h_x^k} V \quad (1)$$

در رابطه فوق h_x ارتفاع سازه در طبقه x ام و w_x وزن طبقه در تراز x می‌باشد. ضریب k به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد. لازم به ذکر است در رابطه زیر، T ، زمان تناوب تجربی سازه می‌باشد.

(کف اول روی سامانه جداساز) که متناسب با وزن مؤثر لرزه‌ای کف اول که تغییرمکان یکسان با سامانه جداساز را دارد، می‌باشند. این نیرو به صورت جداگانه از رابطه (۴) در تحلیل PSC به کف اول سازه اعمال می‌شود.

۲-۲- انتخاب زمان تناوب مؤثر ساختمان جداسازی شده

جهت طراحی ساختمان در حالت جداسازی شده با سیستم جداساز لرزه‌ای، ابتدا یک زمان تناوب مؤثر برای ساختمان فرض شده است. زمان تناوب فرض شده برای ساختمان جداسازی شده باید رابطه (۷) را فراهم کند.

$$\text{Max}(3T_{\text{Fix}}, 1.5) < T_D < 3\text{sec} \quad (7)$$

در رابطه (۷)، پارامتر T_D برابر با زمان تناوب مؤثر ساختمان جداسازی شده در تغییرمکان طرح (زمان تناوب طبیعی هدف) می‌باشد.

۲-۳- محاسبه تغییرمکان طرح ساختمان جداسازی شده

سامانه جداساز برای تحمل حداقل تغییرمکان جانبی زلزله در دو امتداد اصلی سازه طبق رابطه (۸) طراحی و ساخته می‌شود.

$$D_D = \frac{gS_{D_1}T_D}{4\pi^2B_D} \quad (8)$$

در رابطه فوق، D_D تغییرمکان طرح، S_{D_1} شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله طرح آیین‌نامه، B_D ضریب میرایی برای سامانه جداسازی شده و g شتاب گرانش زمین در واحد متریک در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۴- محاسبه تغییرمکان هدف ساختمان جداسازی شده

در مورد سازه‌های جداسازی شده، تغییرمکان هدف براساس استاندارد های FEMA-273 و FEMA-356 و همچنین آیین‌نامه ASCE 41-13 (نسخه سال ۲۰۱۴)

(ب) الگوی توزیع بار جانبی نوع دوم به روش PSC در حالی که توزیع بار مثلثی وارون، یک توزیع عمومی مورد استفاده در کلیه سازه‌ها است؛ این توزیع برای سازه‌ها با جداساز لرزه‌ای مناسب نیست. دلیل اصلی این موضوع آن است که نیروی جانبی در تراز پایه برابر صفر است، در حالی که به دلیل وجود همیشگی اینرسی در تراز پایه در سازه‌هایی با جداساز لرزه‌ای، باید نیروی جانبی غیر صفر در این تراز، در نظر گرفته شود [۱۶].

با توجه به مسأله در نظر گرفتن اینرسی در تراز پایه، کمیته سازمان حمایتی (PSC^۱) جامعه مهندسين سازه کالیفرنیا (SEAONC^۲)، یک توزیع بار جانبی مثلثی معکوسی در راستای ارتفاع سازه برای رو سازه به همراه یک بار متمرکز جانبی در تراز پایه پیشنهاد داده است [۱۶].

برای اعمال توزیع بار جانبی به روش PSC، ضریب k طبق آیین‌نامه ASCE7-05 در روابط (۴) تا (۶) ارائه شده است [۱۷].

$$F_i = \frac{(V_b - F_b)}{R} \frac{W_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (4)$$

$$V_b = K_{\text{eff}} D_b \quad (5)$$

$$F_b = \frac{V_b}{W} W_b \quad (6)$$

در روابط فوق، W برابر با وزن مؤثر لرزه‌ای کل ساختمان، W_b وزن کف اول روی سامانه جداساز، R ضریب رفتار سازه جداسازی شده، K_{eff} برابر سختی مؤثر سامانه جداسازی شده (مجموع سختی جداسازها)، D_b تغییرمکان طراحی سامانه جداساز، F_i نیروی جانبی وارد بر طبقات سازه جداسازی شده در تحلیل استاتیکی غیرخطی PSC و F_b یک بار متمرکز جانبی در تراز پایه

¹ - Protective Systems Committee

² - Structural Engineers Association of Northern California

طرح، C ضریب نیروی زلزله، V_s نیروی جانبی لرزه‌ای ساختمان و V_b نیروی جانبی لرزه‌ای قابل تحمل برای سامانه جداساز می‌باشند. لازم به ذکر است V_s در ارتفاع سازه واقع در بالای سامانه جداساز طبق رابطه (۱) توزیع شده است.

۷-۲- تعیین خصوصیات منحنی دو خطی نیرو -

تغییر مکان سامانه جداساز

خصوصیات منحنی نیرو - تغییر مکان سامانه جداساز با کمک روابط زیر به دست می‌آید.

$$Q = \frac{2 \times k_{\text{eff}} D_D^2 \times k_{\text{eff}}}{4(D_D - D_y)} \quad (12)$$

$$K_P = k_{\text{eff}} - \frac{Q}{D_D} \quad (13)$$

$$D_y = \frac{Q}{k_1 - k_2} \quad (14)$$

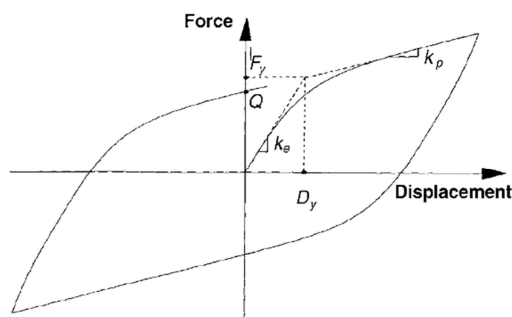
$$k_1 = 1.0 \cdot k_2 \quad (15)$$

$$k_2 \geq 1.5 \cdot k_{\text{eff}} \quad (16)$$

که در روابط فوق، k_{eff} سختی مؤثر سیستم جداساز، k_1 سختی اولیه سیستم جداساز، k_2 سختی پس از تسلیم، k_v سختی قائم سیستم جداساز، Q مقاومت مشخصه سیستم جداساز، F_y مقاومت تسلیم سیستم جداساز، D_y تغییر مکان حد تسلیم سیستم جداساز می‌باشند.

شکل ۳ منحنی رفتار دوخطی سامانه جداسازی

لرزه‌ای LRB را مطابق با آیین‌نامه ASCE41-13,2014 نمایش می‌دهد.



شکل ۳- منحنی رفتار دوخطی سامانه جداساز لرزه‌ای LRB

[۱۸] (ASCE41-13, 2014)

[۱۸] مطابق رابطه (۹) ارائه شده است. سطح عملکرد و پاسخ‌های سازه تا آن مقدار تغییر مکان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$D_D' = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left[\frac{T_e}{T_D} \right]^2}} \quad (9)$$

در رابطه (۹) مقدار D_D' تغییر مکان هدف در مرکز جرم اولین کف واقع روی سامانه جداساز در واحد متریک جهت تحلیل بار افزون بر اساس آیین‌نامه ASCE41-13 می‌باشد. همچنین مقدار T_e برابر با زمان تناوب اصلی مؤثر سازه فوقانی روی سامانه جداساز با فرض پایه‌گیردار می‌باشد.

۵-۲- محاسبه سختی مؤثر سامانه جداساز در

تغییر مکان طراحی

نحوه محاسبه سختی مؤثر مطابق رابطه (۱۰)

محاسبه می‌شود.

$$k_{\text{eff}} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (10)$$

$$\frac{k_{\text{eff}}}{n} = (k_{\text{eff}})_{\text{one Isolation}}$$

در رابطه فوق، n تعداد جداسازها در هر ساختمان در نظر گرفته شده است.

۶-۲- نیروی جانبی اجزای سازه‌ای واقع در بالای سامانه

جداساز

نیروی جانبی لرزه‌ای قابل تحمل برای سامانه جداساز مطابق رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد.

$$V_b = k_{\text{eff}} D_D$$

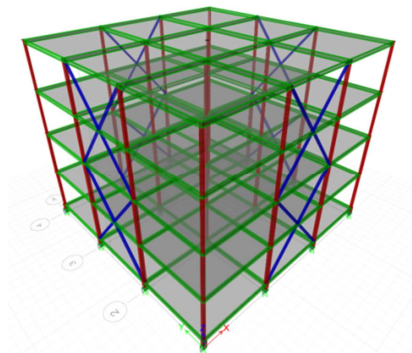
$$V_s = \frac{k_{\text{eff}} D_D}{R_I} \quad (11)$$

$$V_s = C.W$$

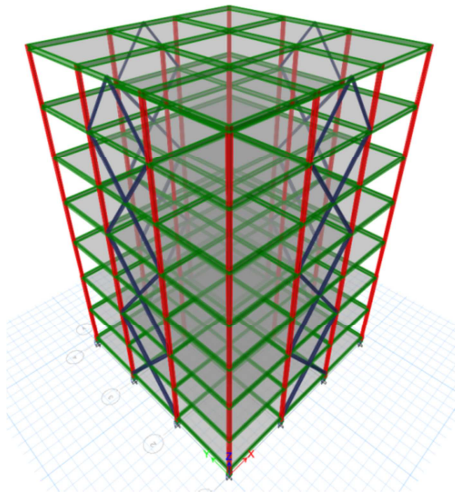
که در رابطه فوق، R_I ضریب رفتار ساختمان جداسازی شده، k_{eff} سختی مؤثر سیستم جداساز در تغییر مکان

جدول ۱- مشخصات مصالح

مقدار	مصالح
$2/0.3 \times 10^{10}$ kgf/m^2	مدول الاستیسیته
۰/۳	ضریب پواسون
7850 kgf/m^2	ورن واحد سطح
24000000 kgf/m^2	تنش تسلیم
37000000 kgf/m^2	تنش گسیختگی
۱/۵	نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به تنش تسلیم حداقل فولاد



شکل ۴- سازه ۴ طبقه



شکل ۵- سازه ۷ طبقه

طراحی اسکلت فلزی ساختمان‌های جداسازی شده با جداساز لرزه‌ای LRB، براساس آیین‌نامه AISC-360-10 و به روش LRFD^۴ انجام شده است. بارهای ثقلی اعمالی به

۳- مثال‌های عددی

ساختمان‌های مورد مطالعه در این پژوهش، ۳ ساختمان از نوع فولادی منظم، با پلان مربعی با سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی متوسط با مهاربند هم‌محور فولادی (شورون) ویژه در دو جهت است که توسط سیستم جداساز لرزه‌ای پایه LRB از سطح پی سازه جداسازی شده‌اند. ساختمان‌ها در سه تراز ۴ (شکل ۴) و ۷ (شکل ۵) و ۱۰ طبقه با تعداد ۳ دهانه قاب در دو جهت با طول دهانه ۵ متر (ابعاد پلان 15×15) و ارتفاع طبقات $3/2$ متر در نظر گرفته شده است. محل احداث سازه ساختمان‌ها در شهر سانفرانسیسکو ایالات متحده آمریکا با کاربری اداری می‌باشند. خاک منطقه از نوع C (خاک نوع II آیین‌نامه ۲۸۰۰) می‌باشد و در منطقه‌ای با خطر لرزه‌خیزی زیاد قرار دارند. قاب‌های پیرامونی سازه ساختمان‌ها از نوع سیستم دوگانه ذکر شده در فوق و قاب‌های داخلی، خمشی متوسط فولادی می‌باشد. در طراحی ستون‌ها و مهاربندها از مقاطع قوطی‌شکل و در تیرها از مقاطع IPE استفاده شده است. ابتدا سازه ساختمان‌ها در حالت پایه گیردار مدل‌سازی شده است و بعد از استخراج وزن مؤثر لرزه‌ای ساختمان‌ها، در حالت جداسازی شده با جداساز لرزه‌ای LRB و با ضریب رفتار جدید ($R=2$) که ضریب رفتار مناسب ساختمان جداسازی شده مطابق آیین‌نامه ASCE07-10 می‌باشد، طراحی شده است. لازم به ذکر است کف اول ساختمان دارای ارتفاع $0/8$ متر از تراز زمین ساختمان بوده و ارتفاع تمامی سیستم‌های جداسازی $0/4$ متر از تراز روی زمین در نظر گرفته شده است. مشخصات مصالح مطابق جدول ۱ می‌باشد. همچنین تمامی مقاطع مورد استفاده در جدول پیوست ارائه شده است.

بارگذاری ثقلی براساس آیین‌نامه ASCE07-10 انجام شده است. از طرفی، طراحی سیستم جداساز لرزه‌ای LRB براساس ضوابط مشترک در آیین‌نامه ASCE07-10 و FEMA-451 انجام شده است.

⁴- Load and Resistance Factor Design

جداسازی شده با توجه به آیین‌نامه ASCE07-10 می‌باشد.

ساختمان براساس آیین‌نامه ASCE07 مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۳- مشخصات سامانه جداساز

مقدار	نوع بار
٪۱۰۰	حداکثر تغییرشکل نسبی برشی سیستم جداسازی (γ_{max})
٪۱۵	میرایی مؤثر سیستم جداساز (ζ_{eff})
۱/۳۵	ضریب میرایی برای سیستم جداسازی شده (B_D)

جدول ۲- مشخصات مصالح

مقدار	نوع بار
۴۵۰ kgf/m ²	بار مرده طبقات
۲۴۰ kgf/m ²	بار زنده طبقات
۱۰۰ kgf/m ²	بار زنده تیغه جداکننده
۵۵۰ kgf/m ²	بار مرده پشت بام
۱۰۰ kgf/m ²	بار زنده پشت بام
۶۸۰ kgf/m	بار مرده دیوارهای پیرامونی پشت بام
۳۰۰ kgf/m	بار مرده دیوارهای جان‌پناه پشت بام

لازم به ذکر است، در این پژوهش با توجه به دستورالعمل FEMA-451، زمان تناوب مؤثر هدف سازه جداسازی شده ۲/۵ ثانیه فرض شده است. زمان تناوب تحلیلی به‌دست آمده از نرم‌افزار در سازه ساختمان‌های مورد پژوهش در حالت پایه ثابت (T_{Fix}) و جداسازی شده (T_{ETABS}) با فرض میرایی ۰/۰۵ ثانیه برای طراحی سامانه جداساز و زمان تناوب مؤثر در تغییرمکان طرح برابر با ۲/۵ ثانیه در جدول ۴ ارائه شده است.

بارگذاری لرزه‌ای سازه‌های مورد بررسی مطابق آیین‌نامه ASCE07-10 انجام شده است، با این فرض که ضریب اهمیت ساختمان و ضریب رفتار ساختمان در حالت پایه گیردار به ترتیب برابر با ۱ و ۶ باشند. مشخصات سامانه جداساز در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول، B_D ضریب میرایی برای سیستم

جدول ۴- زمان تناوب سازه‌های مورد پژوهش در حالت جداسازی شده و پایه ثابت

نوع	تعداد طبقات	ارتفاع ساختمان (m)	تعداد جداساز	W (kgf)	T_D (S)	T_{ETABS} (S)	T_{Fix} (S)	ξ (%)
LRB1	۴	۱۳/۶	۱۶	۹۲۶۱۴۴	۲/۵	۲/۵۱	۰/۶۵	۱۵
LRB2	۷	۲۳/۲	۱۶	۱۴۶۳۵۳۸	۲/۵	۲/۵۶	۱/۰۱۷	۱۵
LRB3	۱۰	۳۲/۸	۱۶	۲۰۳۴۹۱۷	۲/۵	۲/۷۷	۱/۴۷	۱۵

در جدول ۵ نیروی برش پایه و ضریب نیروی زلزله محاسبه شده برای سازه‌های جداسازی شده براساس روابط (۱۱) ارائه شده است.

همچنین مقدار تغییرمکان طرح (D_D) مطابق رابطه (۸) برابر ۰/۳۵۸ متر محاسبه شده است (مقدار S_{DI} برابر ۰/۷۸ در نظر گرفته شده است).

جدول ۵- نیروی جانبی لرزه‌ای (برش پایه) طراحی سازه ساختمان‌های مورد پژوهش

نوع	تعداد طبقات	ارتفاع ساختمان (m)	تعداد جداساز	W (kgf)	T_D (S)	V_b (kgf)	V_s (kgf)	C
LRB1	۴	۱۳/۶	۱۶	۹۲۶۱۴۴	۲/۵	۲۱۳۰۱۲	۱۰۶۵۰۶	۰/۱۱۵
LRB2	۷	۲۳/۲	۱۶	۱۴۶۳۵۳۸	۲/۵	۳۳۸۳۰۶	۱۶۸۳۰۶	۰/۱۱۵
LRB3	۱۰	۳۲/۸	۱۶	۲۰۳۴۹۱۷	۲/۵	۲۳۴۰۱۵	۲۳۴۰۱۵	۰/۱۱۵

پارامترهای منحنی دوخطی سامانه‌های جداساز در ساختمان‌های مورد پژوهش با کمک روابط (۱۰) و (۱۲) تا

(۱۶) در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶- پارامترهای منحنی دو خطی سامانه‌های جداساز در ساختمان‌های مورد پژوهش

تغییر مکان حد تسلیم جداساز D_v (m)	مقاومت تسلیم جداساز F_v (kgf)	مقاومت مشخصه جداساز Q (kgf)	سختی مؤثر یک جداساز $K_{eff}(\text{one LRB})$ (kgf/m)	سختی قائم جداساز k_v (kgf/m)	سختی مؤثر جداساز k_{eff} (kgf/m)	سختی ثانویه k_{PL} (kgf/m)	سختی اولیه k_{el} (kgf/m)	نوع
۰/۰۱۵	۳۷۰۳	۳۳۸۲	۳۸۴۴۳	۵۷۶۶۴۵۰	۶۱۵۰۸۸	۲۹۰۶۱	۲۹۰۶۱۹	LRB1
۰/۰۱۵	۵۶۳۶	۵۱۱۴	۵۱۱۲۳	۸۷۱۸۴۵۰	۹۲۹۹۶۸	۴۳۸۴۷	۴۳۸۴۷۷	LRB2
۰/۰۱۵	۸۰۱۰	۷۲۶۸	۸۲۵۹۷	۱۲۳۸۶۵۵۰	۱۳۲۱۵۵۲	۶۲۴۰۶	۶۲۴۰۶۶	LRB3

انتخاب شده مطابق با استاندارد ASCE07-10 مقیاس شده‌اند و سپس برای انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی به کار گرفته شده‌اند.

لازم به ذکر است که در سازه‌های جداسازی شده براساس استاندارد ASCE07-10 بجای محدوده زمان تناوب $0.7T$ تا $1.5T$ از محدوده $0.5TD$ تا $1.25TD$ استفاده شده است که T زمان تناوب تجربی ساختمان باتوجه به رابطه تجربی آیین‌نامه می‌باشد. ضریب مقیاس حاصل شده برای هر زلزله را در تمام مؤلفه‌های افقی زلزله ضرب نموده و زلزله‌های انتخاب شده مطابق با طیف طرح استاندارد ASCE07-10 برای خاک نوع C مقیاس شدند. در جدول ۷، نام و مشخصات هفت رکورد زلزله‌های انتخابی، آمده است. مدت زمان مؤثر زلزله در این جدول، مربوط به متوسط دو مؤلفه افقی هر زلزله می‌باشد. ضرایب مقیاس به دست آمده برای شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده در جدول ۸ ارائه شده است.

همان‌طور که در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است طیف‌های مقیاس شده زلزله‌های انتخاب شده در محدوده‌ی $0.5TD$ تا $1.25TD$ بالاتر از طیف طرح آیین‌نامه ASCE07-10 قرار گرفته‌اند.

در شکل ۷ یک نمونه از رفتار غیرخطی المان جداساز در تحلیل تاریخیچه زمانی در نرم‌افزار ETABS نمایش داده شده است.

به‌منظور دریافت خصوصیات رفتاری و تعیین مقاطع سازه‌ای، باید یک ساختمان مورد مدل‌سازی، تحلیل و طراحی قرار گیرد. برای همین منظور در این پژوهش، از نرم‌افزار ETABS2015 استفاده شده است. جهت مدل‌سازی سامانه جداساز LRB از المان Link از نوع Rubber Isolator با رفتار دوخطی که مخصوص مدل‌سازی سامانه‌های جداساز در نرم‌افزار ETABS می‌باشد، استفاده شده است. به‌منظور تحلیل غیرخطی در نرم‌افزار ETABS، مفاصل پلاستیک تیرها و ستون‌ها و مهاربندها اختصاص داده شده است. با توجه به مجهز بودن نرم‌افزار ETABS در نسخه ۲۰۱۵ به آیین‌نامه بهسازی ASCE41-13 در تعریف شامل پلاستیک، از مفاصل خودکار استفاده شده است. در این پژوهش برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مورد نیاز برای تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی از ضمیمه A آیین‌نامه FEMA695 [۱۹] استفاده شده است. در نهایت، یک دسته رکورد در حوزه دور با توجه به معیارهای توضیح داده شده در FEMA695 انتخاب شده است. قابل ذکر است که در این آیین‌نامه، رکوردها براساس رکوردهای موجود در پایگاه داده مرسوم به PEER داده شده‌اند.

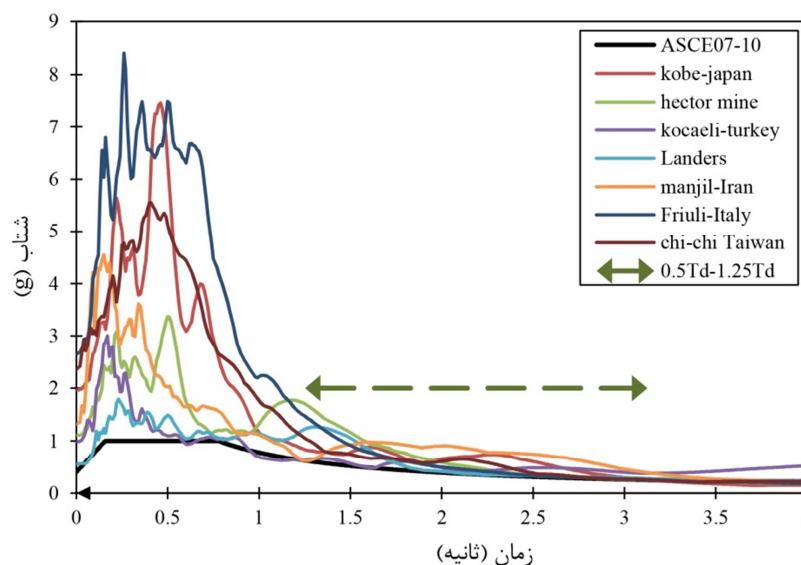
مقدار T_D زمان تناوب مؤثر طراحی جداساز لرزه‌ای در سطح خط ۱، براساس دستورالعمل FEMA-451 برابر $2/5$ ثانیه در نظر گرفته شده است. تمامی زلزله‌های

جدول ۷- مشخصه‌های زلزله‌های انتخاب شده در حوزه دور

ID	۱	۳	۳	۴	۵	۶	۷
نام	Kobe Japan	Kocaeli Turkey	Hector Mine	Manjil Iran	Chi-Chi Taiwan	Friuli Italy	Landers
RSN	۱۱۱۱	۱۱۴۸	۱۷۸۷	۱۶۳۳	۱۴۸۵	۱۲۵	۹۰۰
سال	۱۹۹۵	۱۹۹۹	۱۹۹۹	۱۹۹۰	۱۹۹۹	۱۹۷۶	۱۹۹۲
ایستگاه	Nishi-Akashi	Arcelik	Hector	Abbar	TCU045	Tolmezzoo	Yermo Fire
NEHRP	C	C	C	C	C	C	D
(Vs) 30	۶۰۹	۵۲۳	۶۸۵	۷۲۴	۷۰۵	۴۲۵	۳۵۴
Site source Distance	۷/۱	۱۳/۵	۱۱/۷	۱۲/۶	۲۶	۱۵/۸	۲۳/۶
PGA (g)	۰/۵۱	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۲۴
Magnitude	۶/۹	۷/۵	۷/۱	۷/۴	۷/۶	۶/۵	۷/۳
T Arias (s)	۱۰/۴۶	۹/۸۶۵	۱۰/۶۴	۲۸/۹	۱۱/۲۵	۴/۵۳	۱۸/۰۹

جدول ۸- ضرایب مقیاس به دست آمده برای شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده

ID	۱	۳	۳	۴	۵	۶	۷
نام	Kobe Japan	Kocaeli Turkey	Hector Mine	Manjil Iran	Chi-Chi Taiwan	Friuli Italy	Landers
ضریب مقیاس	۱/۳۸۷	۰/۶۹۷	۰/۷۲۸	۰/۹۳۶	۱/۶۶۲	۱/۸۶۶	۰/۳۹۴



شکل ۶- نمودار مقایسه طیف مقیاس شده زلزله‌های انتخاب شده با طیف طرح آیین‌نامه ASCE07-10

۳- الگوی بار جانبی متناسب با بار جانبی حاصل از

تحلیل دینامیکی خطی طیفی

۴- الگوی بار جانبی یکنواخت متناسب با وزن هر

طبقه ساختمان

۵- الگوی بار جانبی مثلثی معکوس با بار اضافی در

تراز کف اول سازه به روش PSC

در سازه‌های جداسازی شده مورد تحقیق، تحلیل

استاتیکی غیرخطی بار افزون براساس تغییرمکان هدف

آیین‌نامه ASCE41-13 با پنج الگوی بار جانبی متفاوت به

شرح زیر انجام شده است:

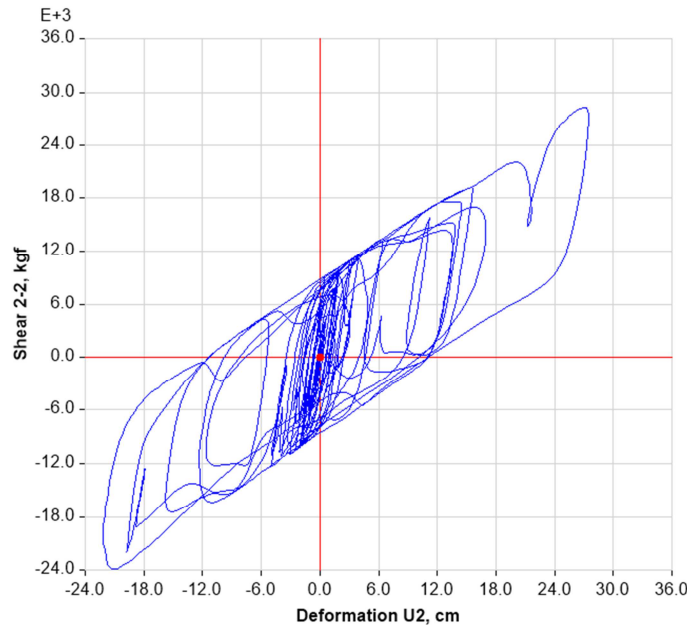
۱- الگوی بار جانبی مثلثی معکوس متناسب با بار

جانبی حاصل از تحلیل استاتیکی خطی معادل

۲- الگوی بار جانبی متناسب با شکل مود اصلی سازه

FEMA-356 و همچنین ASCE41-13 می‌باشد که در جدول ۹ ارائه شده است.

همان طور که در رابطه (۹) به آن اشاره شده است، تغییر مکان هدف در مرکز جرم اولین کف واقع بر روی سامانه جداساز براساس آیین‌نامه‌های FEMA-273.



شکل ۷- نمودار هیستریزیس المان جداساز LRB در نرم‌افزار در تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی زلزله Chi-chi

جدول ۹- محاسبه تغییر مکان هدف تحلیل‌های بار افزون براساس آیین‌نامه ASCE41-13

D_D (سانتیمتر)	D_D (سانتیمتر)	T_{Fix} (ثانیه)	T_D (ثانیه)	تعداد جداساز	ارتفاع ساختمان (متر)	تعداد دهانه	تعداد طبقات
۳۴/۸	۳۵/۸	۰/۶۵	۲/۵	۱۶	۱۳/۶	۳	۴
۳۳/۱	۳۵/۸	۱/۰۱	۲/۵	۱۶	۲۳/۲	۳	۷
۳۰/۸	۳۵/۸	۱/۴۷	۲/۵	۱۶	۳۲/۸	۳	۱۰

دینامیکی تاریخیچه زمانی غیرخطی معیار دقت سایر روش‌ها قرار گرفته است. در نمودارهای شکل ۸، حداکثر تغییر مکان طبقات و کف اول روی سامانه جداساز (جابه‌جایی جداساز LRB) برای سازه‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه ارائه شده است. لازم به ذکر است، منظور از طبقه صفر، همان کف اول روی جداساز می‌باشد.

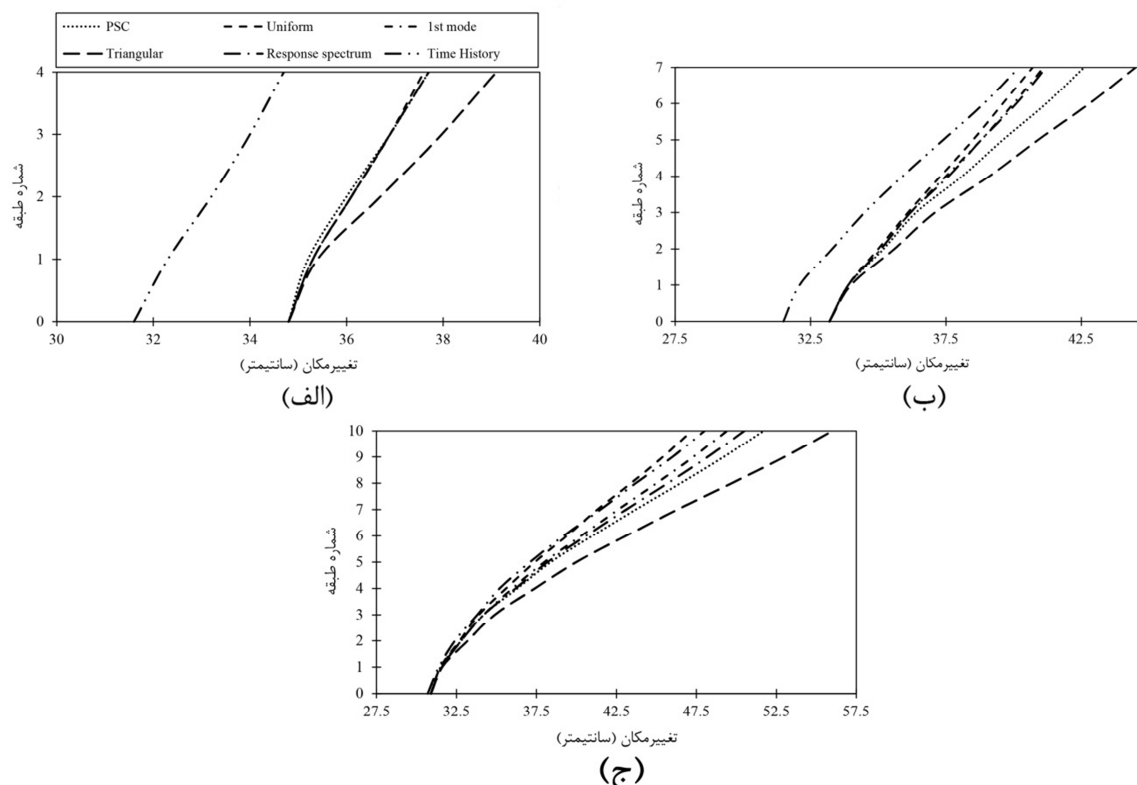
با توجه به شکل ۸، جابه‌جایی طبقات و سامانه جداساز لرزه‌ای در روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون مورد پژوهش و مقایسه آن با روش تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی برای سازه‌های ۴ و ۷ و ۱۰

۴- بحث و نتیجه‌گیری

پس از انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخیچه زمانی غیرخطی و تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی برای سازه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، به‌منظور بررسی تأثیر ارتفاع در تعیین دقت روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه جداسازی شده با جداساز LRB، به بررسی و نمایش نتایج حداکثر جابه‌جایی طبقات و سامانه‌های جداساز و جابه‌جایی نسبی طبقات و برش پایه ساختمان‌ها پرداخته شده است. در تمامی بررسی‌های انجام شده نتایج تحلیل

مراتب صحیحی را ارائه داده‌اند و از لحاظ مقداری، میزان درصد اختلاف آن‌ها، با روش تاریخچه زمانی غیرخطی بین ۷ تا ۱۰ درصد می‌باشد. همچنین با افزایش ارتفاع سازه در سازه ۷ طبقه این میزان اختلاف به حداکثر ۱۵ درصد رسیده است.

طبقه، می‌توان نتیجه گرفت که در برآورد جابه‌جایی حداکثر سامانه جداساز LRB، روش‌های بار افزون تغییرمکان هدف آیین‌نامه ASCE41-13 با پنج الگوی توزیع بار جانبی شامل: مود اول، مثلثی (استاتیکی معادل)، یکنواخت، دینامیکی طیفی و PSC پاسخ‌های به



شکل ۸- حداکثر تغییرمکان افقی طبقات و جداساز در تحلیل‌های مورد تحقیق در سازه‌های (الف) ۴ طبقه، (ب) ۷ طبقه و (ج) ۱۰ طبقه

روش PSC که روش اصلاح شده الگوی بار مثلثی است، بالاتر بوده است.

با افزایش ارتفاع سازه، دقت روش الگوی توزیع بار یکنواخت در برآورد جابه‌جایی حداکثری طبقات برخلاف روش الگوی بار مثلثی افزایش پیدا کرده است و بیشترین میزان دقت را در بین سایر روش‌های مورد پژوهش از خود نشان داده است.

در جدول ۱۰ نتایج برش پایه سازه‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه در تحلیل‌های مورد تحقیق ارائه شده است. مشاهده می‌شود که رفتار سازه جداسازی شده همانند یک جسم صلب بر روی فنری که همان سامانه جداساز است، عمل می‌کند. همچنین تغییرمکان سامانه جداساز عامل

در موضوع تغییرمکان طبقات سازه‌ها همانطور که در نمودار سازه‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه مشاهده شده است، با توجه به وابستگی این تغییرمکان‌ها به جابه‌جایی کف اول سازه یا همان جابه‌جایی سامانه جداساز لرزه‌ای همانند موضوع جابه‌جایی سامانه جداساز روش‌های بار افزون مود اول، مثلثی (استاتیکی معادل)، یکنواخت، دینامیکی طیفی، PSC نتایج صحیحی را از خود نشان داده‌اند، در بین این روش‌ها در طبقات اول و دوم تمامی روش‌ها مقادیری نزدیک به هم دارند؛ ولی روش الگوی بار مثلثی در طبقات سوم به بالا مقادیر بیشتری را از خود ارائه داده است، که نشان دهنده کاهش دقت در برآورد تغییرمکان طبقات می‌باشد. برخلاف آن، میزان دقت نتایج

تعیین‌کننده برش پایه ساختمان می‌باشد و در برآورد برش پایه سازه‌ها، روش‌های بار افزون با الگوی مود اول، دینامیکی طیفی، یکنواخت، مثلثی و PSC به دلیل یکسان بودن تغییرمکان هدف، براساس آیین‌نامه

جدول ۱۰ برش پایه (برحسب تن) برای سازه‌های ۴،۷ و ۱۰ طبقه در تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی و دینامیکی تاریخچه زمانی

تعداد طبقات	PSC	یکنواخت	بار افزون با الگوی مود اول	مثلثی	دینامیکی طیفی	تاریخچه زمانی
۴	۲۱۵/۴	۲۱۵/۹	۲۱۵	۲۱۵	۲۱۵	۲۰۰/۴
۷	۳۱۳/۶	۳۱۴/۵	۳۱۳	۳۱۳	۳۱۳	۳۰۵/۶
۱۰	۴۲۲	۴۲۲/۸	۴۱۰	۴۲۲	۴۲۲	۴۲۶/۲

۳- در روش بار افزون با الگوی بار مثلثی با افزایش ارتفاع سازه، دقت این روش در برآورد جابه‌جایی حداکثری طبقات سازه جداسازی شده کاهش دارد و مقادیری بیشتر و البته محافظه‌کارانه با خطای بالایی را نسبت به تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی گزارش می‌کند.

۴- روش اصلاح شده بار افزون با الگوی بار PSC در مقایسه با روش الگوی بار مثلثی، در برآورد حداکثر جابه‌جایی طبقات سازه‌های جداسازی شده در ارتفاع مختلف دارای دقت قابل قبول‌تری است.

۵- با توجه به رفتار سازه جداسازی شده و اینکه همانند یک جسم صلب بر روی فنری که همان سامانه جداساز است عمل می‌کند، و نیز منظم بودن ساختمان در پلان و ارتفاع، در برآورد برش پایه سازه‌ها روش‌های بار افزون با الگوی مود اول، دینامیکی طیفی، یکنواخت، مثلثی و PSC، با توجه به یکسان بودن تغییرمکان هدف براساس آیین‌نامه ASCE41-13 و با دقت در این موضوع که تغییرمکان سامانه جداساز، عامل تعیین‌کننده برش پایه ساختمان می‌باشد، تمامی روش‌های فوق، برش پایه تقریباً یکسانی را ارائه داده‌اند. نتایج روش‌های فوق‌الذکر با دقت بالایی نزدیک

بنابراین نتایج زیر از این تحقیق حاصل می‌گردد:

۱- در برآورد حداکثر جابه‌جایی سامانه جداساز LRB، که جزو پارامترهای اصلی در طراحی سامانه جداساز و همچنین برش پایه سازه محسوب می‌شود، روش‌های بار افزون آیین‌نامه ASCE41-13 با پنج الگوی توزیع بار جانبی شامل مود اول، مثلثی (استاتیکی معادل)، یکنواخت، دینامیکی طیفی و PSC پاسخ‌های مناسبی ارائه داده‌اند و درصد اختلاف مقادیر این روش‌ها با روش تاریخچه زمانی در حدود ۶ تا ۱۲ درصد بوده است.

۲- در برآورد جابه‌جایی حداکثری طبقات در تمامی سازه‌های مورد پژوهش با توجه به وابستگی این تغییرمکان‌ها به جابه‌جایی کف اول سازه یا همان جابه‌جایی سامانه جداساز لرزه‌ای همانند موضوع جابه‌جایی سامانه جداساز، روش‌های بار افزون مود اول، یکنواخت، دینامیکی طیفی و PSC نتایج مناسبی نسبت به روش بار افزون با الگوی مثلثی داشته‌اند. با افزایش ارتفاع سازه نتایج روش بار افزون با الگوی بار یکنواخت دقت بالاتری در مقایسه با سایر روش‌ها به‌خصوص در طبقات بالای سازه دارد.

به نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بوده است.

مراجع

- [1] Tanwer, M. T., Kazi, T. A., & Desai, M. (2019). "A Study on Different Types of Base Isolation System over Fixed Based", *In Information and Communication Technology for Intelligent Systems*, 725-734.
- [2] Cancellara, D., & De Angelis, F. (2016). "A base isolation system for structures subject to extreme seismic events characterized by anomalous values of intensity and frequency", *Composite Structures*, 157, 285-302
- [3] Tepes, O. F., & Ene, M. (2015). "Non-Linear Structural Analysis of Structures that Include Load-Bearing Walls Based on Performance Criteria", *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 61(2), 85.
- [4] Providakis, C. (2008). "Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations", *Engineering Structures*, 30(5), 1187-1198.
- [5] Fajfar, P. (2000). "A nonlinear analysis method for performance-based seismic design", *Earthquake spectra*, 16(3), 573-592.
- [6] Providakis, C. (2008). "Pushover analysis of base-isolated steel-concrete composite structures under near-fault excitations", *Soil dynamics and earthquake Engineering*, 28(4), 293-304.
- [7] Wenbin, Q. J. L. (2000). "Static Pushover Analysis-an Analytical Tool for Performance/Displacement-Based Seismic Design", *Building Structure*, 6.
- [8] Kilar, V., Petrovic, S., Koren, D., & Silih, S. (2011). "Seismic analysis of an asymmetric fixed base and base-isolated high-rack steel structure", *Engineering Structures*, 33(12), 3471-3482.
- [9] Bhandari, M., et al. (2018). "Assessment of proposed lateral load patterns in pushover analysis for base-isolated frames", *Engineering Structures*. 175, 531-548.
- [10] Ferraioli, M., & Mandara, A. (2017). "Base isolation for seismic retrofitting of a multiple building structure: design, construction, and assessment", *Mathematical Problems in Engineering*.
- [11] Sharbatdar, M. K., Vaez, S. H., Amiri, G. G., & Naderpour, H. (2011). "Seismic response of base-isolated structures with LRB and FPS under near fault ground motions", *Procedia Engineering*. 14, 3245-3251.
- [12] Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). "Design of seismic isolated structures: from theory to practice" *John Wiley & Sons*.
- [13] Bozorgnia, Y., & Bertero, V. V. (2004). "Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering", *CRC press*.
- [14] FEMA-356 (2000). Pre-Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, DC. Federal Emergency Management Agency.
- [15] FEMA-273/274 (1997). Guidelines and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Washington, DC. Federal Emergency Management Agency.
- [16] Kilar, V., & Koren, D. (2010). "Simplified inelastic seismic analysis of base-isolated structures using the N2 method." *Earthquake engineering & structural dynamics*, 39(9), 967-989.
- [17] American Society of Civil Engineers (2010). Seismic Design Requirements for Seismically Isolated Structures; Section 17 in ASCE 7-10; Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASC Reston, VA.
- [18] American Society of Civil Engineers (2014). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, VA.
- [19] FEMA-P695 (2009). Quantification of Building Seismic Performance Factors, Washington, DC. Federal Emergency Management Agency.

پیوست- مقاطع مورد استفاده در سازه‌های پژوهش

تیر	مهاربند	ستون
IPE220	TUBO100X100X12.5	TUBO140X140X14.2
IPE240	TUBO120X120X12.5	TUBO160X160X12.5
IPE270	TUBO140X140X12.5	TUBO160X160X14.2
IPE300	TUBO160X160X14.2	TUBO180X180X14.2
	TUBO180X180X16	TUBO180X180X16
		TUBO180X180X17.5
		TUBO200X200X14.2
		TUBO200X200X17.5
		TUBO220X220X20
		TUBO220X220X25
		TUBO220X220X30
		TUBO260X260X40