

Investigating the seismic response of RC structures under pushover analysis considering the effect of high vibration modes based on Iran's 2800 code

Dana Darvishi¹, Reza Aghayari^{2*}, Nima Shahbazi³

1- M.Sc. Student, Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Ph.D., Associate Professor, Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Ph.D. Candidate, Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran

ABSTRACT

In the traditional pushover method, which is the focus of seismic design regulations, only the first mode of the structure is considered. Seismic regulations have provided special criteria to solve the issue of the effect of higher modes, among which, Iran's 2800 standard has considered stricter criteria. According to this regulation, if the effect of higher modes prevailed on the structure, we cannot use pushover analysis and inelastic dynamic time history analysis should be used. This is despite the fact that regulations such as ASCE41-23, FEMA356 and Iran's 360 Rehabilitation publication have stated that if the effect of higher modes prevailed on the structure, we can use inelastic static analysis, but a spectrum dynamic analysis must also be performed. In this article, in order to examine the rules of regulations in the discussion of higher modes, three irregular buildings (15 to 21 floors) with a special RC-Moment resisting frame system were selected and modeled by ETABS program. Linear static and spectral dynamic analyzes were performed. After the design, the structures were inelastically modeled in the SeismoStruct program and inelastic dynamic analysis was performed under six pairs of records. Inelastic static analysis (Pushover) was also performed under three lateral load patterns of the first mode, triangular and spectral. The structural displacement responses were extracted and used to check the criteria. The first mode lateral load pattern, in estimating the maximum ratio of inter-story displacement of structures, has better accuracy than other and is closer to the results of inelastic dynamic analysis, although there are differences. However, it is concluded that the criteria of standard 2800 are justified in the discussion of pushover analysis and the effect of higher modes, and it is better to use inelastic dynamic analysis if the effect of higher modes dominates the structure.

ARTICLE INFO

Receive Date: 13 June 2024

Revise Date: 10 October 2024

Accept Date: 08 November 2024

Keywords:

Pushover analysis

Standard 2800

Higher modes

Inelastic dynamic analysis

Reinforced concrete moment-resisting frame

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.462087.3435](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.462087.3435)

*Corresponding author: Reza Aghayari.

Email address: reza_agh@razi.ac.ir

بررسی پاسخ لرزه‌های سازه‌های بتن آرمه تحت تحلیل‌های پوش‌آور با در نظر گرفتن اثر

مودهای ارتعاشی بالا بر پایه ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران

دانا درویشی^۱، رضا آقایی^{۲*}، نیما شهبازی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشیار مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- دانشجوی دکتری تخصصی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده

در روش سنتی پوش‌آور که تاکنون مورد توجه آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای بوده، صرفاً اثر مود ارتعاشی اول سازه در نظر گرفته می‌شود. آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای صرف‌نظر از اثر مودهای بالاتر در تحلیل پوش‌آور، ضوابط خاصی را ارائه کرده‌اند که در این میان، استاندارد ۲۸۰۰ ایران ضوابط سختگیرانه‌تری دارد. بر این اساس چنانچه اثر مودهای ارتعاشی بالاتر بر سازه حاکم بود، بجای تحلیل پوش‌آور بایستی از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده شود. این درحالیست که براساس آیین‌نامه‌هایی همچون FEMA356، ASCE 41-23 و نشریه ۳۶۰ بهسازی ایران، در صورت موثر بودن مودهای ارتعاشی بالاتر، می‌توانیم از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده کنیم اما باید یک تحلیل دینامیکی طیفی نیز انجام شود. برای ارزیابی ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی در این مورد یادشده، ۳ ساختمان قاب خمشی بتن آرمه ویژه با تعداد طبقات ۱۵، ۱۸ و ۲۱ انتخاب شدند. تحلیل‌های استاتیکی معادل، دینامیکی طیفی، استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی تحت ۶ زوج شتابنگاشت و ۳ الگوی بار جانبی، توسط نرم‌افزارهای ETABS و SeismoStruct انجام شد. از پاسخ تغییرمکانی سازه‌ها برای مقایسه، بررسی و ارزیابی ضوابط آیین‌نامه‌ها استفاده و مشاهده شد که نتایج الگوی بار جانبی مود اول، تشابه بهتری نسبت به سایر الگوهای بار جانبی مورد بررسی در این مقاله با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی دارند. ضوابط سختگیرانه استاندارد ۲۸۰۰ در بحث مودهای بالاتر، قابل توجیه است. کمترین اختلاف میان پاسخ‌ها در حدود ۱ درصد بوده که توسط الگوی بار مود اول ایجاد و بیشترین اختلاف میان پاسخ‌ها، ۱۵۴ درصد بوده که توسط الگوی بار مثلثی ایجاد شد.

کلمات کلیدی: تحلیل پوش‌آور، استاندارد ۲۸۰۰، مودهای بالاتر، تحلیل دینامیکی غیرخطی، قاب خمشی بتن آرمه.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2024.462087.3435	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	۱۴۰۳/۰۸/۱۸	۱۴۰۳/۰۸/۱۸	۱۴۰۳/۰۷/۱۹	۱۴۰۳/۰۳/۲۴
			*نویسنده مسئول:		
			رضا آقایی		
			reza_agh@razi.ac.ir		
			پست الکترونیکی:		

هر طراحی دقیق و بهینه نیازمند یک آنالیز^۱ یا تحلیل دقیق است. روش‌های تحلیل لرزه‌ای به دو روش خطی و غیرخطی طبقه‌بندی می‌شوند که هر کدام به روش‌های استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شوند. روش تحلیل استاتیکی خطی به دلیل سرعت بالا و سهولت انجام، به صورت پایه توسط آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که روش دینامیکی خطی، پاسخ‌های بهتری نسبت به روش استاتیکی خطی ارائه می‌کند و وابسته به زمان است. با این وجود هر دو روش ذکر شده، به دلیل خطی در نظر گرفتن رفتار مصالح و استفاده از فرضیات ساده کننده، نمی‌توانند رفتار واقعی سازه‌ها بخصوص در بحث سازه‌های پیچیده یا بلند را محاسبه کنند [۱، ۲]. از روش‌های نسبتاً دقیق برای تعیین پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها، تولید منحنی‌های شکنندگی و ارزیابی اثر پس‌لرزه‌ها، می‌توان به تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی^۲ و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی فزاینده (IDA)^۳ اشاره کرد [۳، ۴]. با توجه به زمانبر بودن این نوع تحلیل‌ها، حجم محاسبات زیاد و نیازمند بودن به دانش مهندسی لرزه‌ای [۵]، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)^۴، مورد توجه مهندسين عمران قرار گرفته است [۶، ۷]. تحلیل پوش‌آور برای دستیابی به اهداف مختلف از جمله ارزیابی و ابداع راه‌حل‌های مقاوم سازی لرزه‌ای برای ساختمان‌های موجود و طراحی مبتنی بر عملکرد استفاده می‌شود [۸، ۹]. به طور کلی روش تحلیل پوش‌آور را می‌توان به دو دسته تحلیل پوش‌آور مرسوم (سنتی) و پیشرفته دسته‌بندی کرد. در روش پوش‌آور سنتی که مورد توجه آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای قرار دارد، تنها مود اول سازه در نظر گرفته می‌شود. این موضوع دقت روش پوش‌آور سنتی را در بحث ارزیابی سازه‌های بلند مرتبه و یا سازه‌های پیچیده که تحت اثر مودهای ارتعاشی بالا هستند، تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی استفاده از روش‌های پوش‌آور پیشرفته نیازمند نرم‌افزارهای پیشرفته و محاسبات سنگین‌تر است [۱۰-۱۶]. براساس مطالعات انجام شده، تحلیل‌های پوش‌آور متداول (سنتی) ارائه شده در آیین‌نامه‌ها، محدودیت مهمی دارند. بدین صورت که این روش تحلیل، نمی‌تواند اثر مودهای ارتعاشی بالا را در پاسخ سازه در نظر بگیرد و همچنین از تغییرات در مشخصات دینامیکی سازه که می‌تواند منجر به یک الگوی بار متغیر شود، صرف نظر می‌شود [۷، ۸]. نتایج مطالعات روش‌شناس بر روی سه ساختمان ۱۵، ۲۰ و ۲۵ طبقه نشان داد که تحلیل‌های پوش‌آور سنتی و پیشرفته، نسبت به تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی دارای خطا هستند که در این میان روش پوش‌آور سنتی، خطای بیشتری دارد. همچنین الگوی بار جانبی یکنواخت بیشترین خطا را در نتایج ارائه کرد [۱۷]. مطالعات دایمی و پورشا نشان داد که از میان روش‌های پوش‌آور موجود، روش‌های MPA، EN2 و SMP از دقت بالاتری برخوردار بوده و نتایج آن به تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نزدیک‌تر است [۱۸].

آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای صرف‌نظر از اثر مودهای بالاتر در تحلیل پوش‌آور ضوابط خاصی را ارائه کرده‌اند. مطابق بند ۲.۴.۲.۱ آیین‌نامه‌های FEMA 356 و ASCE 41-06، بند ۷.۳.۲.۱ آیین‌نامه‌های ASCE 41-13، ASCE 41-17 و ASCE 41-23 و بندهای ۲.۳.۲ نشریه ۳۶۰ ویرایش سال ۱۳۸۵ و ۱.۴.۳ نشریه ۳۶۰ ویرایش سال ۱۳۹۲ [۱۹-۲۵]، اگر اثر مودهای بالاتر بر سازه حاکم باشد، تحلیل پوش‌آور را باید به همراه یک تحلیل طیفی مودال^۵ انجام داد. در این حالت باید معیارهای پذیرش نهایی هر دو تحلیل کنترل شود. با این حال می‌توان در معیار کنترل تحلیل طیفی، تخفیف ۳۳ درصدی لحاظ نمود. این موضوع در پیش‌نویس اول استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم نیز به چشم می‌خورد؛ با این تفاوت که به جای تخفیف ۳۳ درصدی، از تخفیف ۱۵ درصدی استفاده شده بود. در نسخه نهایی منتشر شده ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، این موضوع به طور کامل حذف و آیین‌نامه بیان نموده که اگر اثر مودهای بالاتر در سازه حاکم باشد، امکان استفاده از تحلیل پوش‌آور وجود نداشته و باید تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شود. همانطور که ذکر شد، اگر چه که تحلیل دینامیکی غیرخطی دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌های تحلیل مرسوم دارد، اما نیازمند صرف زمان بیشتر، دقت بیشتر و دانش مهندسی بیشتری است. همچنین تفسیر نتایج در برخی موارد دشوار است. با توجه به اینکه استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به سایر آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای مورد بررسی در این مقاله ضوابط سختگیرانه‌تری در بحث اثر مودهای بالاتر ارائه کرده و از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای مستقیماً بر روی این موضوع انجام نشده، از این رو در این مقاله، به بررسی و مقایسه ضوابط این آیین‌نامه‌ها در بحث اثر مودهای بالاتر پرداخته می‌شود.

¹ Analysis

² Nonlinear time-history analysis

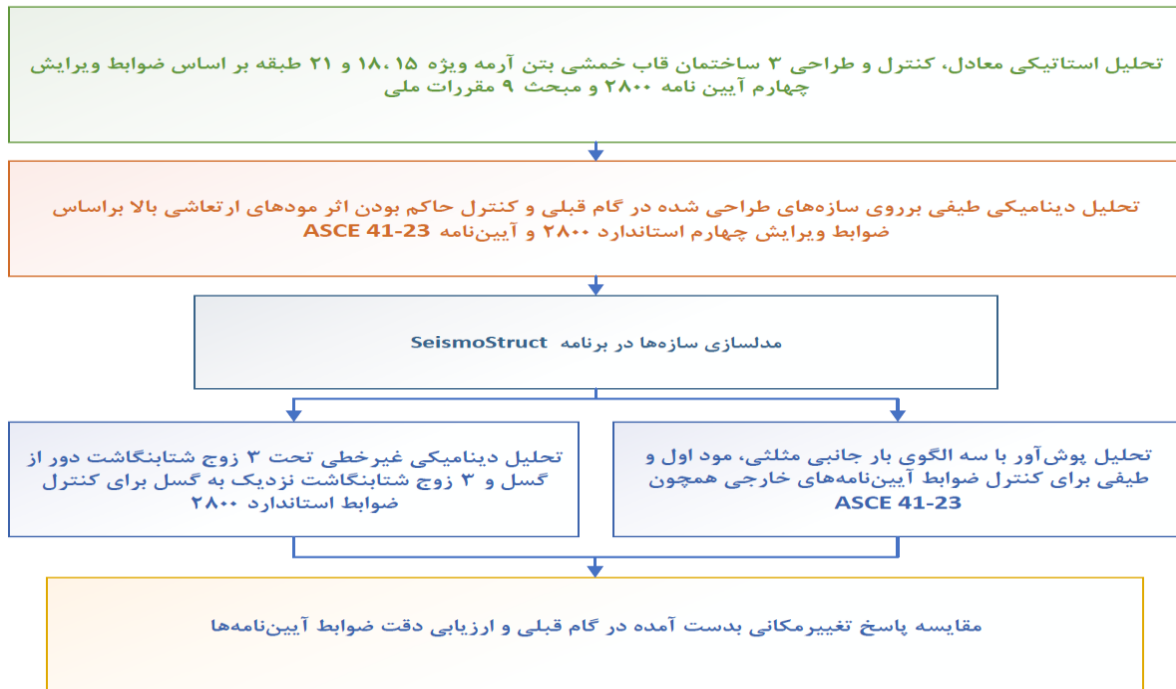
³ Incremental dynamic analysis

⁴ Nonlinear static pushover analysis

⁵ Modal Response Spectrum analysis

برای تعیین موضوع حاکم بودن اثر مودهای بالاتر، آیین‌نامه‌ها بیان کرده‌اند که سازه دو بار با استفاده از روش دینامیکی طیفی تحلیل شود. در مرحله اول تنها مود اول سازه و سپس تمام مودهای نوسانی که مجموع جرم مؤثر آن‌ها حداقل ۹۰٪ جرم کل سازه است بایستی لحاظ شود. در صورتی که نتایج تحلیل دوم نشان دهد نیروی برشی در یک طبقه بیش از ۳۰٪ از نیروی برشی حاصل از تحلیل اول در همان طبقه بیشتر است، این امر به معنی قابل ملاحظه بودن اثرات مودهای بالای سازه است.

در این تحقیق از نتایج تحلیل‌های عددی برای بررسی اثر مودهای بالاتر در تحلیل پوش‌آور بر پایه ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران استفاده شد. ابتدا سه ساختمان قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه ۱۵، ۱۸ و ۲۱ طبقه نامنظم در پلان انتخاب و در نرم افزار ETABS برای تحلیل استاتیکی خطی و طراحی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان مدلسازی شدند. تحلیل دینامیکی خطی طیفی بر روی سازه‌ها انجام و کنترل اثرات مودهای بالاتر بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ها صورت گرفت. پس از طراحی و مشخص شدن ابعاد و مقدار میلگردهای مورد نیاز سازه‌ها، برای ارزیابی ضوابط مودهای بالاتر در تحلیل پوش‌آور، سازه‌ها به صورت سه‌بعدی و غیرخطی در محیط نرم افزار SeismoStruct ۲۰۲۱ [۲۶] نیز مدل‌سازی شدند. علاوه بر این، تحلیل مقادیر ویژه، تحلیل دینامیکی غیرخطی و تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور) نیز بر روی سازه‌ها انجام و پاسخ سازه‌ها بر حسب تغییر مکان‌های گره‌ای استخراج شد. در نهایت برای ارزیابی دقت ضوابط ارائه شده، نسبت دریافت^۶ سازه‌ها تحت تحلیل‌های پوش‌آور سنتی با الگوهای بار جانبی متفاوت، با نسبت دریافت بین طبقه‌ای تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مقایسه شد. در شکل ۱، روند کلی انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۱: روند کلی انجام تحقیق

۲- مدلسازی و تحلیل

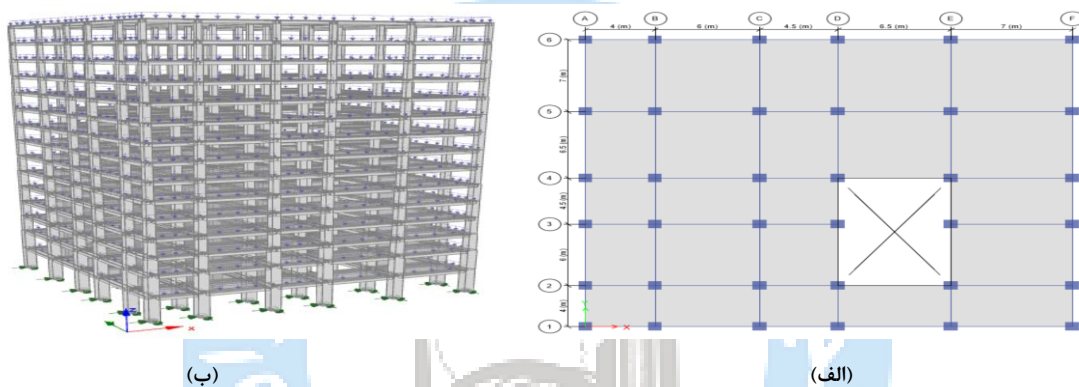
نکته‌ی بسیار مهم در انتخاب ساختمان‌های مورد مطالعه در این تحقیق، حاکم بودن اثر مودهای بالاتر بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ها است. در نتیجه ساختمان‌های انتخاب شده، دارای پلان نامنظم هستند. ارتفاع طبقه همکف برابر ۴/۵ متر، طبقه اول برابر ۴ متر و سایر طبقات برابر ۳/۳ متر است. در قسمتی از این ساختمان‌ها، بازشو وجود دارد. بار مرده کف برابر ۵۷۰ کیلوگرم بر مترمربع، بار زنده کف برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع، بار تیغه بندی ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار دیوارهای پیرامونی در طبقات تیپ برابر ۷۲۶ کیلوگرم بر متر طول

⁶ Drift ratio

دیوار بوده و از سایر بارهای ثقلی صرف نظر شد. سقف طبقات از نوع دال دوطرفه بوده و وزن المان‌های تیر و ستون توسط نرم افزار به جرم لرزه‌ای اضافه شد.

با توجه به نامتقارن بودن پلان، برای انجام تحلیل‌ها باید از مدلسازی سه‌بعدی استفاده نمود. سازه‌ها بر اساس ضوابط مبحث ۹ مقررات ملی و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با فرض ساختگاه نوع ۳ و خطر لرزه‌ای زیاد، تحلیل استاتیکی معادل، کنترل و طراحی شدند. برای بررسی وجود اثر مودهای بالاتر، سازه‌ها تحلیل دینامیکی ارتجاعی طیفی نیز شدند. در نتیجه یکی از ضابطه‌های آیین‌نامه‌های خارجی و ۳۶۰ بهسازی مبنی بر استفاده از تحلیل طیفی و کنترل نسبت تقاضا به ظرفیت، در این مرحله کنترل و بررسی شد.

برای مدلسازی غیرخطی از المانهای فایبر (FBPH) [۲۷] با فرض میرایی رایلی^۷، برای مدلسازی رفتار بتن، از مدل مندر [۲۸] و برای مدلسازی رفتار فولاد از مدل منگوتو-پینتو [۲۹] استفاده شد. تمامی اتصالات از نوع گیردار بوده و از اثرات اندرکنش خاک-سازه صرف نظر شد. در مدلسازی شرایط مرزی تکیه گاهی از روش پنالتی^۸ استفاده و انتگرال گیری نیز با استفاده از الگوریتم هیلبرت-هیوز^۹ انجام گرفت. بتن مصرفی از نوع C25 و فولاد مصرفی از نوع S400 است. در شکل ۲، پلان تیپ طبقات سازه‌ها و نمای سه‌بعدی سازه ۱۵ طبقه تحت بارگذاری ثقلی بر روی تیرها و بارگذاری لرزه‌ای در تکیه‌گاه ارائه شده است.



شکل ۲: الف) پلان تیپ طبقات سازه‌ها، ب) نمای سه‌بعدی سازه ۱۵ طبقه

۱-۲- تحلیل پوش‌آور

الگوهای بار جانبی^{۱۰} استفاده شده شامل الگوی بار نوع اول استاندارد ۲۸۰۰ (طیفی)، الگوی بار نوع اول نشریه ۳۶۰ و آیین‌نامه ASCE 41-23 (مود اول) و الگوی بار مثلثی بودند. بر اساس ضوابط نشریه ۳۶۰ چنانچه سازه براساس یکی از نسخه‌های استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده بود، نیازی به استفاده از الگوی بار جانبی یکنواخت (Uniform) نیست. در نتیجه در این تحقیق از این الگوی بار استفاده نشد. بارهای جانبی در محل مرکز جرم گره‌ها اعمال شدند. در همه مدل‌ها ضمن رعایت ضابطه ۱۰۰-۳۰، مقادیر بار جانبی برای الگوی مود اول و الگوی طیفی، بترتیب از تحلیل‌های مقادیر ویژه و دینامیکی طیفی محاسبه و سپس سازه‌های مورد مطالعه تحت هرکدام از الگوهای بار جانبی، در جهت‌های مثبت و منفی تحلیل پوش‌آور شدند و حداکثر نتایج بدست آمد.

برای بار ثقلی از ترکیب $1.2W_D + W_L$ و $0.9W_D$ استفاده شد. نقطه کنترل سازه مرکز جرم طبقه بام فرض شد. بر اساس ضوابط بند ۱-۱ استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش چهارم ساختمان‌های دارای اهمیت متوسط در اثر زلزله طرح، آسیب عمده سازه‌ای و غیرسازه‌ای ندیده و تلفات جانی در آنها حداقل باشد. به عبارت بهتر، متناظر با سطح عملکرد آستانه فروریزش اجزای سازه‌ای^{۱۱} (۵) و سطح عملکرد ایمنی

⁷ Rayleigh Damping

⁸ Penalty approach

⁹ Hilbert-Hughes

¹⁰ Lateral Load Patterns

¹¹ Collapse threshold of structural components

جانی محدود اجزای غیر سازه‌ای^{۱۲} (D) مندرج در نشریه ۳۶۰ است. لذا در محاسبه تغییرمکان هدف، سطح عملکرد آستانه فروریزش (5-D) در نظر گرفته شد.

۲-۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی

برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، از ۳ زوج شتابنگاشت^{۱۳} دور از گسل و ۳ زوج شتابنگاشت نزدیک به گسل استفاده شد. نگاشت‌ها بر روی خاک نوع ۳ ثبت شده و مکانیزم^{۱۴} آنها از نوع معکوس^{۱۵} است. مقیاس سازی براساس ضوابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام شد. در جداول ۱ و ۲ مشخصات نگاشت‌های دور از گسل و نزدیک به گسل مورد استفاده ارائه شده است. هر دو مولفه افقی زلزله، به صورت همزمان به تکیه‌گاه سازه‌ها اعمال شد. گام زمانی مورد استفاده برای اعمال نگاشت‌ها ۰/۰۱ ثانیه در نظر گرفته شد.

جدول ۱: مشخصات نگاشت‌های دور از گسل مورد استفاده

شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	Mw	R(km)	Vs۳۰(m/s)	Tm(s)	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Tabas ۱۹۷۸, Boshrooyeh	۷/۳۵	۲۸/۷۹	۳۲۴	۰/۷۱	۱۵/۴۳	۰/۱۹
۲	Taiwan SMART۱(۴۵), ۱۹۸۶, SMART۱ C۰۰	۷/۳	۵۶	۳۰۹	۰/۹۶	۲۸/۳۳	۰/۱۹
۳	San Fernando, ۱۹۷۱, LA - Hollywood Stor FF	۶/۶۱	۲۲/۷۷	۳۱۶	۰/۵۸	۲۱/۷۲	۰/۱۰

جدول ۲: مشخصات نگاشت‌های نزدیک به گسل مورد استفاده

شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	Mw	R(km)	Vs۳۰(m/s)	Tm(s)	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Sarpolezhab Station ۲۰۱۷, SPZ	۷/۳	۱۸		۰/۴۰	۵۸/۱۰	۰/۰۹
۲	Loma Prieta ۱۹۸۹, Gilroy array #۱	۶/۹۳	۱۱/۰۷	۲۷۰	۰/۷۶۶	۴۰/۳۷	۰/۱۲۷۵
۳	Northridge-01 1994, Jensen Filter Plant	۶/۶۹	۵/۴۳	۳۷۳	۱	۹۷/۳۶	۰/۱۶

۳- صحت سنجی مدل‌های غیرخطی و بررسی آنالیزهای حساسیت

برای صحت سنجی نتایج نرم افزار SeismoStruct، بررسی مدلسازی و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی، قاب خمشی بتن آرمه دو بعدی چهارطبقه که در آزمایشگاه ELSA (مرکز تحقیقات ISPra) با مقیاس واقعی ساخته شده و تحت بارگذاری شبه دینامیکی با دوره‌های بازگشت ۴۷۵ ساله قرار گرفته [۳۰]، مدلسازی و تحلیل شد. نتایج حداکثر تغییرمکان بام محاسبه شده توسط نرم افزار SeismoStruct با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. در شکل‌های ۳ و ۴ نمودار تغییرات حداکثر تغییرمکان بام بدست آمده از نمونه آزمایشگاهی و محاسبه شده توسط نرم افزار SeismoStruct تحت نگاشت با دوره بازگشت ۴۷۵ سال در بازه ۱۵ ثانیه‌ای مشاهده می‌شود. در جدول ۳ نیز مقادیر حداکثر جابه‌جایی‌های ثبت شده در نمونه آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی ارائه شده است. با توجه به شکل‌ها و جدول، نتایج بدست آمده توسط برنامه SeismoStruct سازگاری خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد و در بحث مقدار حداکثر تغییرمکان ثبت شده، اختلاف نتایج مدل‌های تحلیلی با مقادیر متناظر آزمایشگاهی در حدود ۴ درصد است. لذا میتوان با اطمینان کافی از این برنامه برای مدلسازی و تحلیل قاب‌های خمشی استفاده نمود. همچنین آنالیزهای حساسیت نشان می‌دهند که تغییر تعداد فایبرها، تاثیر چندانی در نتایج عددی نداشته و در هر

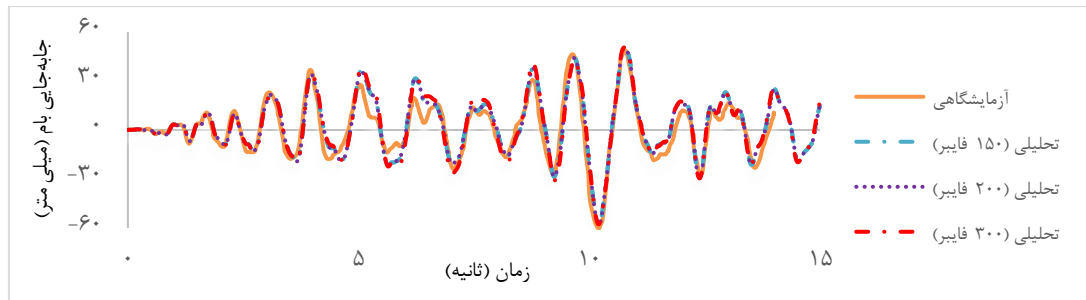
¹² Limited life safety performance level of non-structural components

¹³ Accelerogram

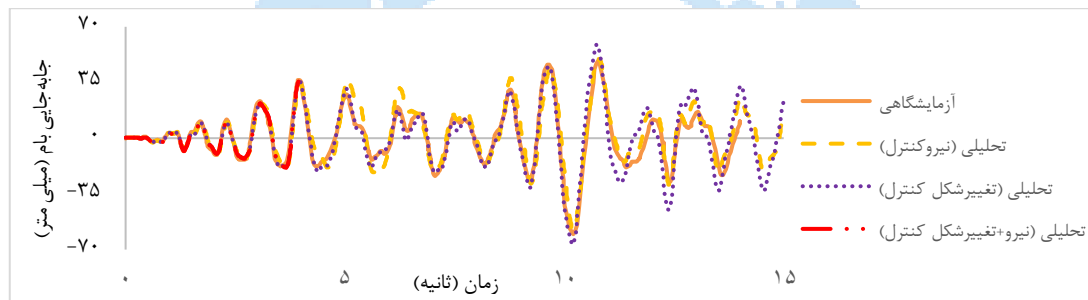
¹⁴ Focal mechanism

¹⁵ Reverse

سه حالت با تعداد فایبر های ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ اختلاف میان بیشترین پاسخ آزمایشگاهی و تحلیلی در حدود ۴ درصد است. نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم افزاری با ۳ حالت رفتار نیرو-کنترل^{۱۶}، تغییرشکل-کنترل^{۱۷} و ترکیبی از این دو حالت نشان می‌دهد که استفاده از حالت رفتاری نیروکنترل نسبت به سایر رفتارها در بحث تخمین جابه‌جایی، دقت بیشتری داشته و حداکثر اختلاف نتایج تحلیلی با آزمایشگاهی در حدود ۴ درصد است این اختلاف برای حالت رفتاری تغییر شکل کنترل برابر ۲۰ درصد است. با توجه به عدم همگرایی شدن تحلیل با حالت رفتاری ترکیبی، مقادیر نتایج آن در جدول ۳ ارائه نشد. بنابراین با توجه به نتایج آنالیزهای حساسیت و به پیشنهاد راهنمای برنامه از مدل رفتاری نیرو کنترل با تعداد ۲۰۰ فایبر در هر مقطع برای تمامی المانها استفاده شد.



شکل ۳: تاثیر تعداد فایبر بر نتایج تحلیلی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی



شکل ۴: تاثیر نوع رفتاری المانها بر نتایج تحلیلی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

جدول ۳: مقادیر حداکثر جابه‌جایی ثبت شده در نمونه آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی

حداکثر جابه‌جایی ثبت شده مثبت	حداکثر جابه‌جایی ثبت شده منفی	حداکثر اختلاف با نتایج آزمایشگاهی (%)
(میلی متر)	(میلی متر)	
۴۸/۸۳	-۶۰/۳۳	-
۵۰/۴۹	-۵۷/۸۹	-۴/۰۴
۵۰/۳۰	-۵۷/۸۵	-۴/۱۰
۵۰/۲۸	-۵۷/۷۸	-۴/۲۳
۵۰/۳۰	-۵۷/۸۵	-۴/۱۰
۵۹/۰۴	-۶۶/۸۱	۲۰/۹۰
-	-	-

¹⁶ Force-based control

¹⁷ Displacement-based control

۴- نتایج و بحث

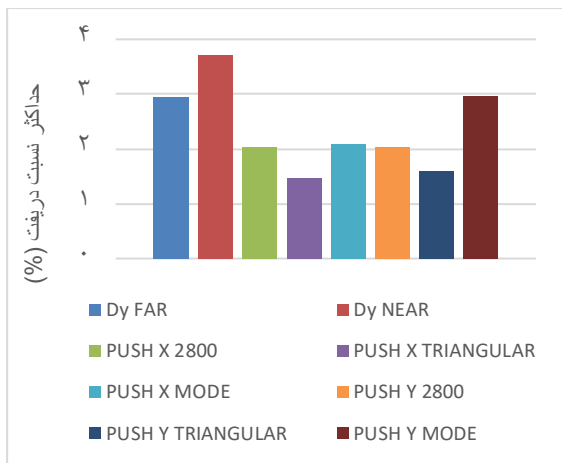
۴-۱- ارزیابی و مقایسه حداکثر دریفت ایجاد شده

در این بخش، مقدار حداکثر نسبت دریفت^{۱۸} ایجاد شده در سازه توسط تحلیل‌های پوش‌آور و دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته و میزان اختلاف پاسخ‌ها ارزیابی شد. در شکل ۵ نمودار مقدار حداکثر دریفت نسبی ایجاد شده در سازه‌ها ارائه شده و در جداول ۴ و ۵، میزان اختلاف حداکثر نسبت دریفت تحت تحلیل‌های پوش‌آور با مقادیر متناظر تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی ارائه شده است. لازم به ذکر است که اختلاف‌های محاسبه شده در این قسمت، مربوط به حداکثر نسبت دریفت ایجاد شده در کل سازه بوده و محاسبه اختلاف نسبت دریفت ایجاد شده در طبقات متناظر، در بخش ۴-۳ این مقاله ارائه شده است.

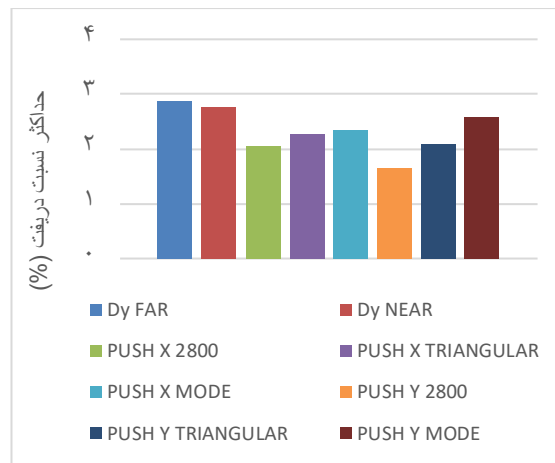
در این نمودارها، منظور از Dy FAR و Dy NEAR بترتیب پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نسبت به نگاشت‌های دور از گسل و نگاشت‌های نزدیک به گسل است. از آنجایی که از ۳ زوج شتابنگاشت دور از گسل و ۳ زوج شتابنگاشت نزدیک گسل استفاده شد، لذا حداکثر پاسخ هر دسته از نگاشت‌ها انتخاب شده و در نمودار ارائه شد. منظور از PUSH 2800، پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰، PUSH MODE پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از الگوی بار جانبی مود اول و PUSH TRIANGULAR نیز پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از الگوی بار جانبی مثلثی است. X و Y، جهت اعمال بار جانبی است.



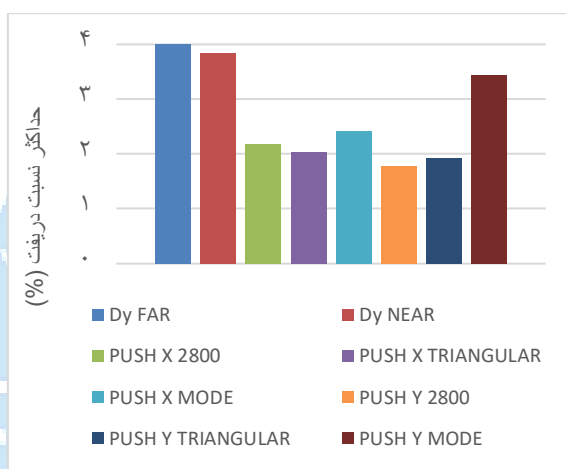
¹⁸ Maximum Drift ratio



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۵: نمودار حداکثر نسبت تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای در سازه: الف) ۱۵ طبقه، ب) ۱۸ طبقه و ج) ۲۱ طبقه

جدول ۴: میزان اختلاف با مقادیر پاسخ نگراشت‌های دور از گسل (%).

PUSH Y MODE	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y 2800	PUSH X MODE	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X 2800	
۱۰/۴۱	۳۶/۹۵	۷۳/۲۰	۲۲/۲۷	۲۶/۳۴	۳۹/۷۵	۱۵ طبقه
-۰/۶۴	۸۶/۰۰	۴۵/۶۲	۴۰/۹۳	۱۰۲/۹۳	۴۵/۴۳	۱۸ طبقه
۱۶/۰۶	۱۰۷/۸۷	۱۲۴/۵۲	۶۶/۰۴	۹۶/۱۴	۸۳/۹۰	۲۱ طبقه

PUSH Y MODE	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y 2800	PUSH X MODE	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X 2800	
۷/۴۹	۳۲/۰۸	۷۷/۰۴	۱۷/۹۲	۲۱/۸۵	۳۴/۷۸	۱۵ طبقه
۲۴/۴۷	۱۳۳/۰۰	۸۲/۴۲	۷۶/۵۳	۱۵۴/۲۰	۸۲/۱۷	۱۸ طبقه
۱۱/۳۰	۹۹/۳۴	۱۱۵/۳۱	۵۹/۲۳	۸۸/۰۹	۷۶/۳۵	۲۱ طبقه

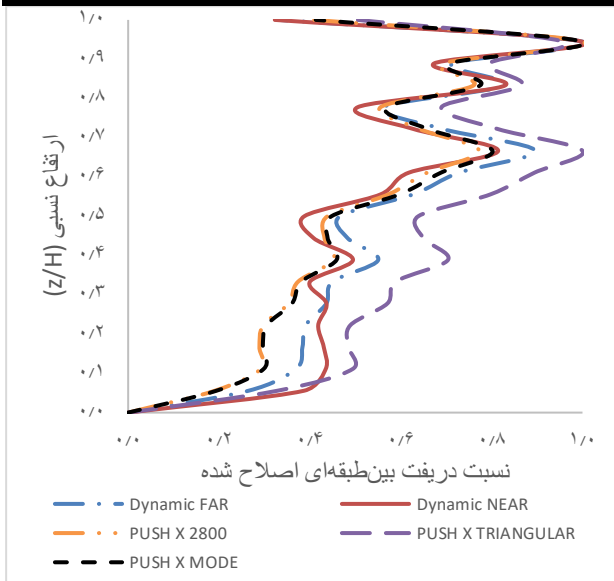
جدول ۵: میزان اختلاف با مقادیر پاسخ نگاشت‌های نزدیک به گسل (%)

بر اساس شکل ۵، مشاهده می‌شود که در تمامی سازه‌ها، حداکثر پاسخ ایجاد شده توسط الگوی بار جانبی مود اول، بیشتر از حداکثر پاسخ ایجاد شده توسط سایر الگوهای بار جانبی هست (مخصوصاً در مورد پاسخ سازه‌ها در جهت Y). برای مثال در سازه ۱۵ طبقه و در جهت Y، نتایج الگوی بار جانبی مود اول، در حدود مثبت ۵۶ درصد با نتایج متناظر تحت الگوی بار مثلثی اختلاف دارد.

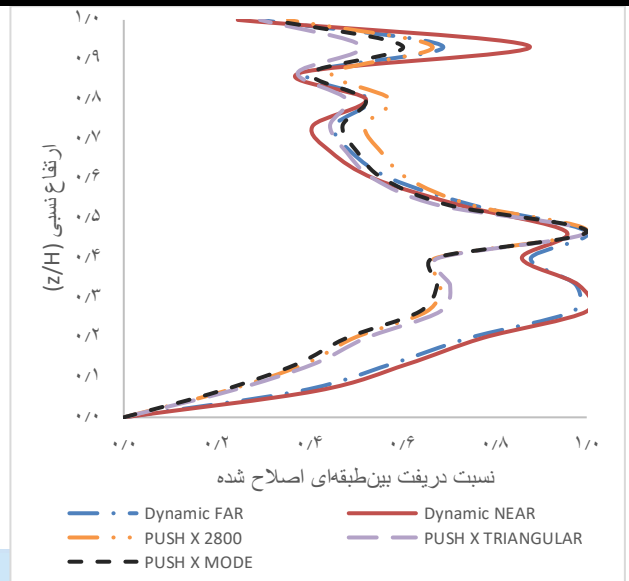
بر اساس جدول ۴، حداقل اختلاف میان پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل‌های پوش‌آور و تحلیل دینامیکی غیراتجاعی (تحت نگاشت‌های دور از گسل)، در الگوی بار جانبی مود اول شکل گرفته است و مقدار آن در بیشترین حالت برای ساختمان ۲۱ طبقه برابر با ۶۶ درصد و در کمترین حالت برای ساختمان ۱۸ طبقه برابر با ۰/۶۴- درصد است که این نشان از دقت بالاتر این الگوی بار جانبی نسبت به سایر الگوهای بار جانبی مورد بررسی در این مقاله دارد. هرچند که همین اختلاف نیز چشمگیر بوده و این الگوی بار جانبی نمی‌تواند برآورد دقیقی از رفتار ساختمان ارائه دهد. این موضوع در حالی است که استاندارد ۲۸۰۰، از الگوی بار جانبی نیروهای حاصل از تحلیل طیفی استفاده می‌کند که پاسخ‌های آن، در کمترین حالت برابر با ۳۹ درصد و در بیشترین حالت برابر با ۱۲۴ درصد با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی اختلاف دارد. در جدول ۵ نیز حداقل اختلاف میان پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل‌های پوش‌آور و تحلیل دینامیکی غیراتجاعی (تحت نگاشت‌های نزدیک به گسل)، در الگوی بار جانبی مود اول شکل گرفته که اختلاف آن با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی در بازه ۶ درصد الی ۷۶ درصد است. این موضوع در حالی است که نتایج الگوی بار جانبی مثلثی، بین ۳۲ درصد الی ۱۵۴ درصد با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی اختلاف دارد. در جهت Y و تحت نگاشت‌های نزدیک گسل، الگوی بار جانبی مود اول در حدود ۱۱/۳ درصد با مقادیر تحلیل دینامیکی غیرخطی تفاوت دارد، در حالی که مقادیر تحت الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰ در حدود ۱۱۵ درصد با نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تفاوت دارد. به طور خلاصه، در محاسبه حداکثر مقدار دررفت بین‌طبقه‌ای، الگوی بار جانبی مود اول، با وجود آنکه با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی اختلاف دارد، ولی در مقایسه با سایر الگوها نتایج بهتری ارائه می‌کند.

۲-۴- ارزیابی الگوی توزیع دررفت نرمال شده

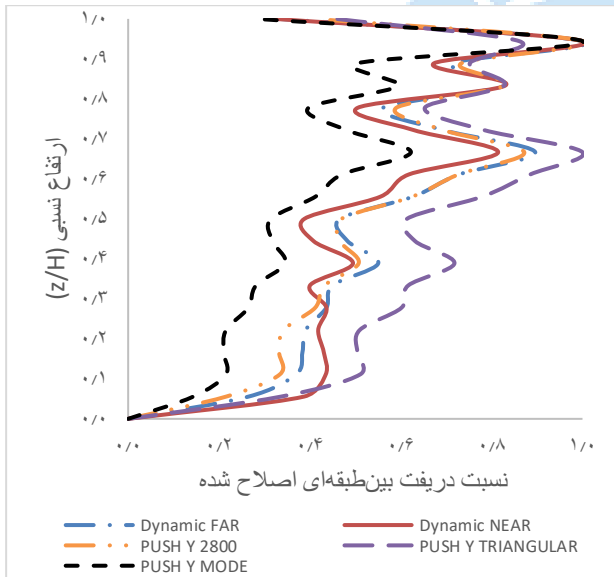
برای بررسی بهتر نحوه توزیع دررفت در طبقات، از نمودار الگوی توزیع نسبت دررفت (نسبت تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای) سازه‌ها، تحت تحلیل‌های پوش‌آور و دینامیکی غیرخطی استفاده شد. برای تعیین تابع شکل توزیع نسبت دررفت در ارتفاع سازه‌ها، مقادیر نسبت دررفت در هر طبقه بر مقدار حداکثر نسبت دررفت در کل سازه تقسیم شده و از عنوان "نسبت دررفت بین‌طبقه‌ای اصلاح شده" (با مقدار حداکثر یک) استفاده شد. ارتفاع هر طبقه نیز، بر ارتفاع بالاترین طبقه تقسیم شده و در نمودارها از عبارت ارتفاع نسبی (z/H) استفاده شد. منظور از z ارتفاع طبقه و منظور از H ، ارتفاع کل ساختمان است. در شکل ۶، نمودارهای توزیع دررفت نرمال شده سازه‌ها ارائه شده است.



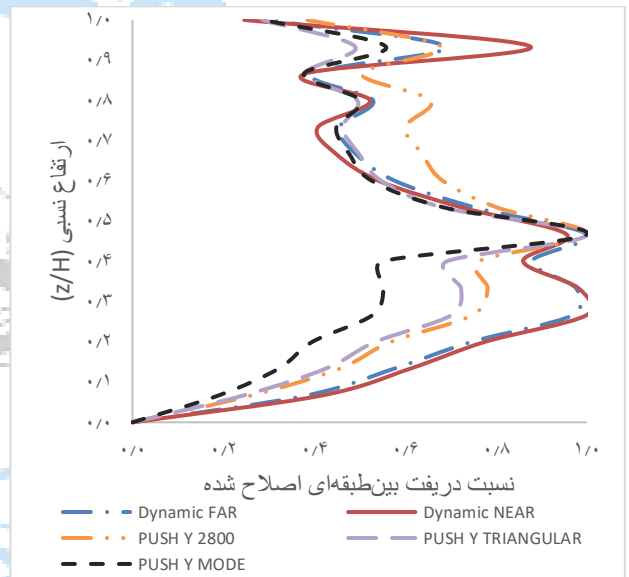
(ب)



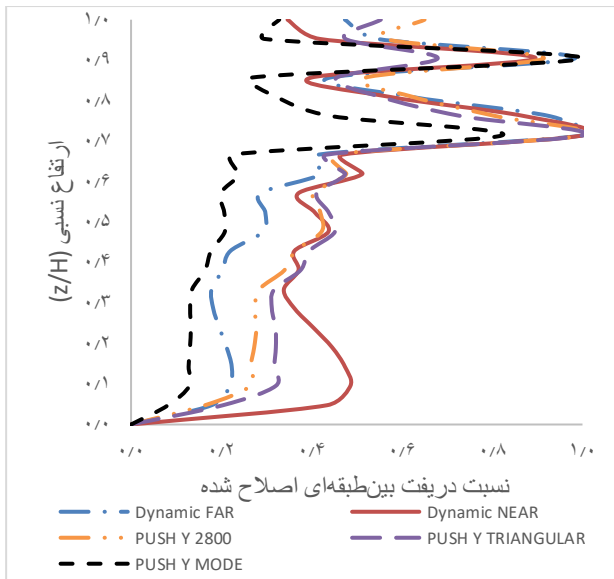
(الف)



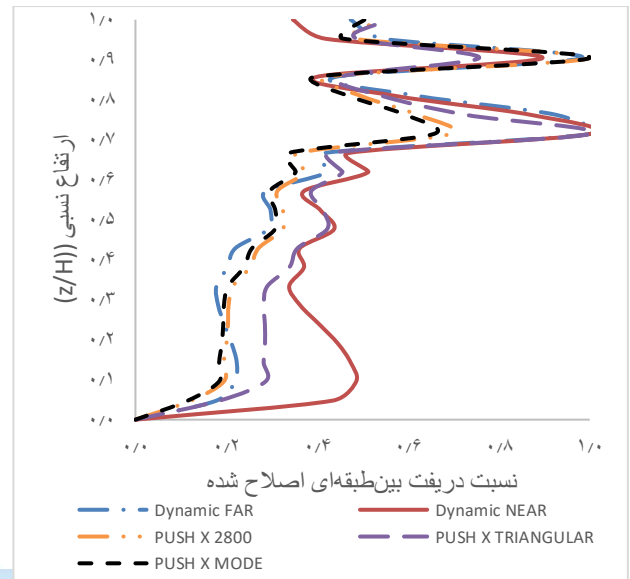
(ت)



(ب)



(ج)



(ث)

شکل ۶: نمودار توزیع تغییر مکان نسبی نرمال شده سازه: الف) ۱۵ طبقه در جهت X، ب) ۱۵ طبقه در جهت Y، پ) ۱۸ طبقه در جهت X، ت) ۱۸ طبقه در جهت Y، ث) ۲۱ طبقه در جهت X و ج) ۲۱ طبقه در جهت Y

در مورد الگوی توزیع دررفت در طبقات، تصمیم گیری سخت تر بوده و تحلیل ها نتایج متفاوتی ارائه کرده اند. بر اساس تحقیقات انجام شده در سازه های بلند با پیروید زیاد، تاثیر موده های بالاتر بر توزیع نیازهای لرزه ای بیشتر است. به صورتی که با افزایش ارتفاع سازه ها، الگوی توزیع کمیت هایی نظیر جابه جایی نسبی طبقات از شکل یکنواخت فاصله گرفته و در قسمت های خاصی از سازه متمرکز می شود. [۳۱]

در سازه ۱۵ طبقه و در جهت X، تقریباً تا طبقات میانی، الگوی توزیع دررفت تحلیل های پوش آور یکسان است. با این حال الگوی بار جانبی مود اول، بیشترین اختلاف را با نتایج تحلیل های غیرخطی داشته و این اختلاف برابر با منفی ۵۰ درصد (تا طبقه هفتم) است. در طبقات بالایی، نتایج تحت الگوهای بار جانبی مود اول و مثلثی، بیشتر با نتایج تحلیل های دینامیکی دور از گسل مطابقت دارند. در جهت Y هم تقریباً به همین صورت است. با این تفاوت که در طبقات پایینی تا میانی، میان الگوی توزیع دررفت^{۱۹} تحت تحلیل های پوش آور اختلاف وجود دارد و الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰، نتایج بهتری را ارائه کرده اند. به طور کلی، کمترین میانگین اختلاف میان تغییر مکان نسبی نرمال شده در طبقات سازه ۱۵ طبقه، توسط الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰ ثبت شده که در بازه ۲ تا منفی ۸ درصد است. این اختلاف برای الگوی بار جانبی مثلثی در بازه منفی ۱۲ تا منفی ۱۵ درصد و برای الگوی بار جانبی مود اول در بازه منفی ۱۲ تا منفی ۲۱ درصد است.

در سازه ۱۸ طبقه و در جهت X، از طبقات میانی به بالا (طبقه دهم به بالا)، الگوی بار جانبی مود اول میانگین اختلافی برابر با منفی ۱ درصد نسبت به پاسخ تحت نگاشت های دور از گسل مثبت و ۶ درصد نسبت به نگاشت های نزدیک گسل ارائه کرده است. این مقادیر برای الگوی بار جانبی طیفی ۲۸۰۰، بترتیب برابر با منفی ۳ و مثبت ۴ درصد است. در طبقات پایین (طبقه اول تا نهم) میانگین اختلاف میان پاسخ ها با نتایج دینامیکی غیرخطی بیشتر شده که مقدار آن برای الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰، در بازه منفی ۱۷ تا منفی ۱۸ درصد (نسبت به پاسخ تحت نگاشت های نزدیک گسل و دور از گسل)، برای الگوی بار جانبی مود اول در بازه منفی ۱۶ تا منفی ۱۷ درصد و برای الگوی بار جانبی مثلثی در بازه مثبت ۳۰ تا مثبت ۳۱ درصد است. لذا در این سازه الگوی بار مثلثی، پاسخ های بیشتری در طبقات پایینی و میانی سازه نسبت به نتایج تحلیل های دینامیکی ارائه کرده است. در جهت Y و در طبقات اول تا نهم، الگوی بار جانبی مود اول در حد منفی ۳۹ درصد، با نتایج تحلیل های دینامیکی به صورت میانگین اختلاف دارد و کمتر است. این در حالی است که الگوی بار

¹⁹ Drift distribution pattern

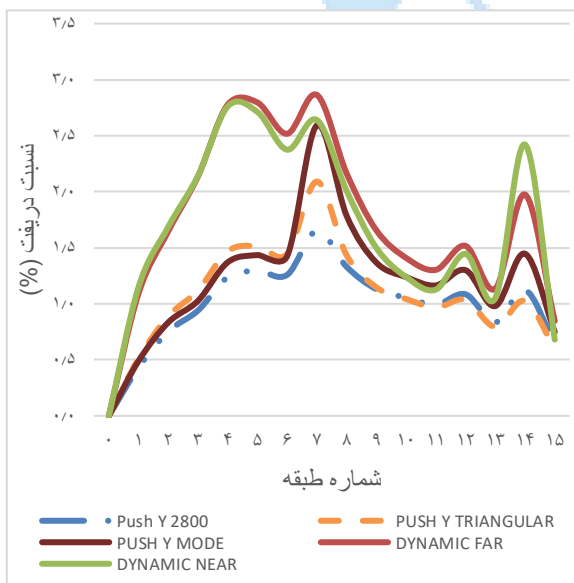
جانبی مثلثی نیز با نتایج تحلیل‌های دینامیکی، مثبت ۳۲ درصد به صورت میانگین اختلاف دارد و مشاهده می‌شود در این مورد، الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰ با مقدار منفی ۸ درصد اختلاف، پاسخ‌های بهتری ارائه کرده است.

در سازه ۲۱ طبقه و در جهت X، در طبقات پایینی تا میانی سازه (طبقه دهم)، الگوی بار جانبی مود اول اختلافی برابر با منفی ۲ درصد و الگوی بار جانبی طیفی استاندارد ۲۸۰۰، اختلافی برابر با مثبت ۳ درصد با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تحت نگاشت‌های دور از گسل به صورت میانگین ارائه کرده‌اند. در حالی که الگوی بار جانبی مثلثی، میانگین اختلافی برابر با ۴۳ درصد ارائه کرده است. این مقادیر اختلاف بترتیب برای الگوی بار جانبی مود اول، طیفی ۲۸۰۰ و مثلثی در جهت Y برابر با منفی ۳۸، مثبت ۳۲ و مثبت ۵۸ درصد است. در طبقات میانی به بالای سازه (۱۱ تا ۲۱) و در جهت X، الگوی بار جانبی مود اول میانگین اختلافی برابر با منفی ۱۱ درصد و الگوی بار جانبی طیفی میانگین اختلافی برابر با منفی ۷ درصد نسبت به پاسخ تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تحت نگاشت‌های دور از گسل ارائه کرده است. این مقادیر به ترتیب برابر با منفی ۳۴ درصد و مثبت ۱۵ درصد در جهت Y است. در مورد میانگین اختلاف پاسخ با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تحت نگاشت‌های نزدیک گسل نیز موضوع به همین صورت بوده و اختلاف میان پاسخ‌ها در طبقات پایینی سازه، بسیار بیشتر از مقادیر متناظر در طبقات بالایی است. این اختلاف برای الگوی بار مود اول، در طبقات بالایی به ترتیب در جهت X و Y برابر با منفی ۱۴ و منفی ۳۶ است در حالیکه برای طبقات پایینی سازه به ترتیب برابر با منفی ۴۸ و منفی ۶۴ درصد است. در مورد الگوی بار جانبی طیفی ۲۸۰۰ نیز به همین صورت بوده میزان میانگین اختلاف در طبقات بالایی به ترتیب در جهت X و Y برابر با منفی ۹ و مثبت ۱۰ درصد است. در حالیکه برای طبقات پایینی سازه به ترتیب برابر با منفی ۴۵ و منفی ۲۸ درصد است.

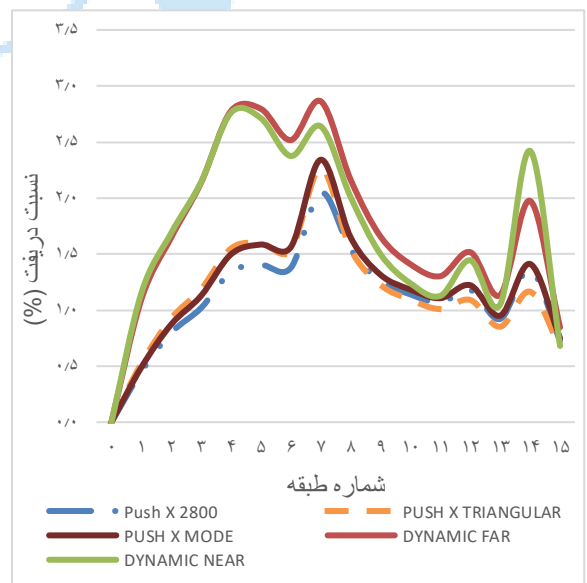
به طور کلی در مورد الگوی توزیع دررفت، مشکل اصلی و بیشترین اختلاف در طبقات پایینی سازه‌ها وجود دارد. با توجه به نمودارها، پاسخ تحلیل‌های پوش‌آور سنتی، به شدت وابسته به الگوی بار جانبی بوده و با تغییر الگو، پاسخ‌ها نیز تغییر می‌کنند.

۴-۳- نسبت دررفت

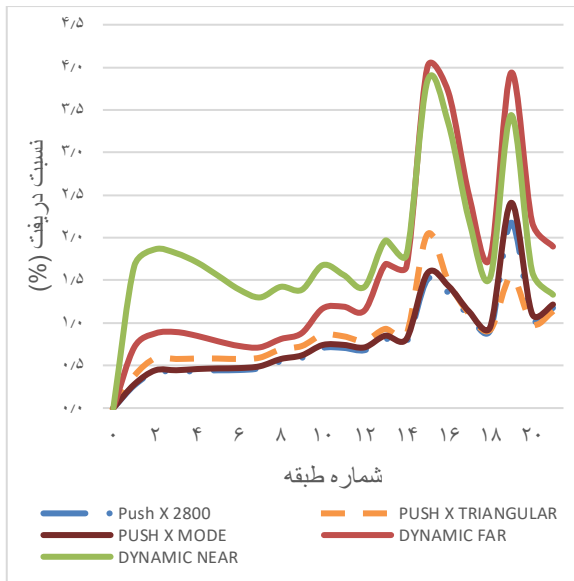
در این بخش، مقادیر نسبت دررفت برای تمامی سازه‌ها، تحت تحلیل‌های پوش‌آور و دینامیکی غیرخطی ارائه شده است. این موضوع در شکل ۷ قابل مشاهده است.



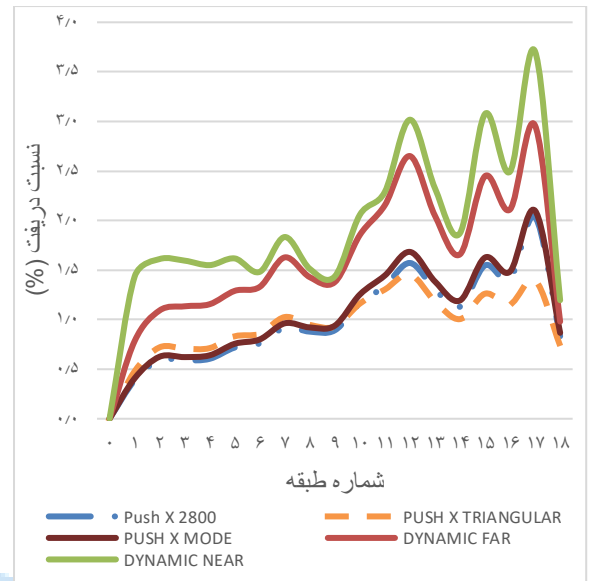
(ب)



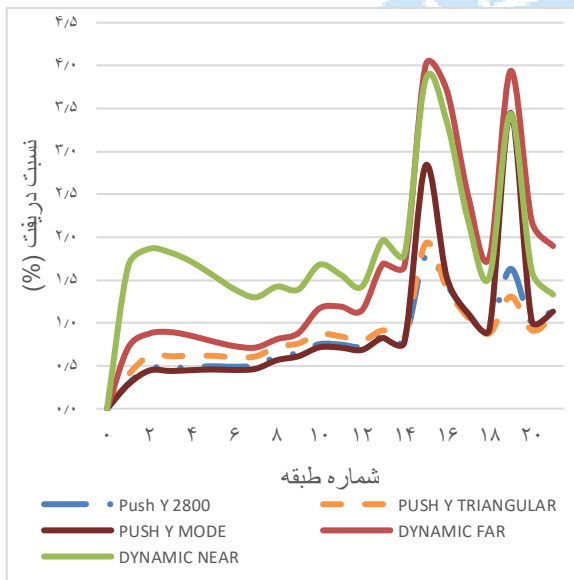
(الف)



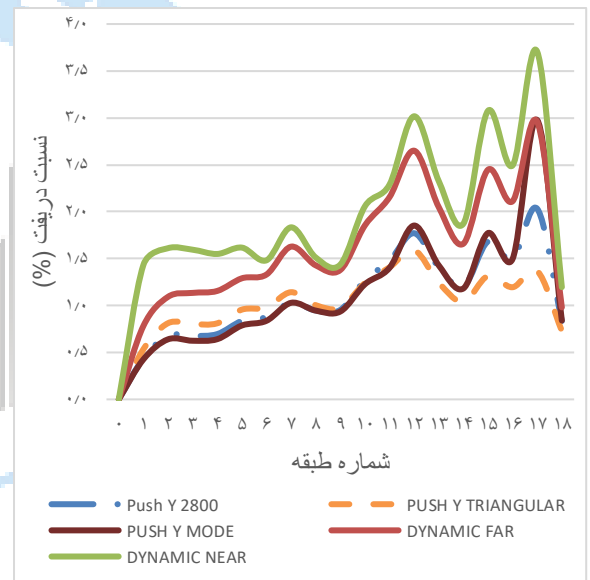
(ث)



(پ)



(ج)



(ت)

شکل ۷: نمودار نسبت تغییرمکان نسبی بین طبقه‌های سازه: الف) ۱۵ طبقه در جهت X، ب) ۱۵ طبقه در جهت Y، پ) ۱۸ طبقه در جهت X، ت) ۱۸ طبقه در جهت Y، ث) ۲۱ طبقه در جهت X و ج) ۲۱ طبقه در جهت Y

همانطور که در بخش قبلی بررسی شد، نتایج تحلیل‌های پوش‌آور سنتی در بحث ارزیابی و برآورد الگوی نیاز تغییرمکانی طبقات پایینی سازه‌ها، با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی اختلاف قابل توجهی داشتند. این موضوع در بحث نسبت دریافت سازه‌ها نیز صادق بوده و در سازه ۱۵ طبقه در جهت Y، بیشترین اختلاف توسط الگوی بار طیفی استاندارد ۲۸۰۰ ثبت شده که برابر با منفی ۶۲ درصد در طبقه اول است. لازم به ذکر است که در همین طبقه و در همان جهت Y، کمترین میزان اختلاف برابر با منفی ۵۵ درصد و توسط الگوی بار مثلثی ثبت شده است. کمترین اختلاف میان پاسخ‌ها نیز توسط الگوی بار جانبی مود اول و در طبقه دهم ثبت شده که برابر با ۰ درصد است. برای بررسی بهتر، میزان اختلاف نتایج تحت الگوهای بار جانبی مختلف با نتایج تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی در هر طبقه، در جداول ۶ تا ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۶: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های دور از گسل در سازه ۱۵ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۵۹	-۵۲	-۵۵	-۶۰	-۵۳	-۵۵
۲	-۵۲	-۴۴	-۴۷	-۵۴	-۴۶	-۴۹
۳	-۵۲	-۴۴	-۴۷	-۵۶	-۴۸	-۵۲
۴	-۵۲	-۴۴	-۴۶	-۵۵	-۴۷	-۵۱
۵	-۵۰	-۴۳	-۴۳	-۵۴	-۴۶	-۴۹
۶	-۴۵	-۳۹	-۳۸	-۵۰	-۴۳	-۴۳
۷	-۲۸	-۲۱	-۱۸	-۴۲	-۲۷	-۹
۸	-۲۹	-۲۹	-۲۴	-۳۹	-۳۴	-۱۸
۹	-۲۴	-۲۶	-۲۱	-۳۲	-۳۱	-۱۷
۱۰	-۱۹	-۲۳	-۱۶	-۲۵	-۲۶	-۱۲
۱۱	-۱۸	-۲۳	-۱۵	-۲۴	-۲۶	-۱۱
۱۲	-۲۲	-۲۸	-۱۹	-۲۹	-۳۲	-۱۴
۱۳	-۱۹	-۲۵	-۱۶	-۲۷	-۳۰	-۱۴
۱۴	-۳۱	-۴۱	-۲۹	-۴۳	-۴۸	-۲۷
۱۵	-۱۴	-۲۱	-۱۱	-۲۵	-۲۹	-۱۲

جدول ۷: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های نزدیک به گسل در سازه ۱۵ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۶۱	-۵۵	-۵۷	-۶۲	-۵۶	-۵۷
۲	-۵۳	-۴۵	-۴۸	-۵۵	-۴۷	-۵۱
۳	-۵۲	-۴۵	-۴۷	-۵۶	-۴۸	-۵۲

۴	-۵۱	-۴۴	-۴۶	-۵۵	-۴۷	-۵۰
۵	-۴۸	-۴۱	-۴۲	-۵۲	-۴۴	-۴۷
۶	-۴۲	-۳۵	-۳۴	-۴۷	-۳۹	-۴۰
۷	-۲۲	-۱۴	-۱۱	-۳۷	-۲۱	-۲
۸	-۲۳	-۲۳	-۱۸	-۳۴	-۲۹	-۱۱
۹	-۱۶	-۱۸	-۱۲	-۲۵	-۲۳	-۹
۱۰	-۸	-۱۲	-۵	-۱۵	-۱۶	۰
۱۱	-۵	-۱۰	-۲	-۱۲	-۱۴	۳
۱۲	-۱۸	-۲۵	-۱۵	-۲۵	-۲۸	-۱۰
۱۳	-۱۲	-۱۹	-۱۰	-۲۱	-۲۴	-۷
۱۴	-۴۴	-۵۲	-۴۲	-۵۴	-۵۸	-۴۰
۱۵	۷	-۲	۱۰	-۶	-۱۲	۱۰

جدول ۸: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های دور از گسل در سازه ۱۸ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۵۰	-۳۹	-۴۸	-۴۴	-۳۲	-۴۶
۲	-۴۶	-۳۴	-۴۳	-۳۸	-۲۶	-۴۱
۳	-۴۸	-۳۸	-۴۵	-۴۰	-۲۹	-۴۵
۴	-۴۸	-۳۸	-۴۵	-۴۰	-۳۰	-۴۴
۵	-۴۴	-۳۶	-۴۱	-۳۵	-۲۶	-۳۹
۶	-۴۳	-۳۵	-۴۰	-۳۴	-۲۶	-۳۷
۷	-۴۴	-۳۷	-۴۱	-۳۷	-۳۰	-۳۷
۸	-۳۸	-۳۴	-۳۵	-۳۴	-۳۰	-۳۴
۹	-۳۵	-۳۲	-۳۲	-۳۱	-۲۹	-۳۲
۱۰	-۳۷	-۳۷	-۳۲	-۳۲	-۳۳	-۳۴
۱۱	-۳۸	-۴۰	-۳۳	-۳۱	-۳۵	-۳۵
۱۲	-۴۱	-۴۵	-۳۶	-۳۳	-۴۰	-۳۰
۱۳	-۳۶	-۴۲	-۳۲	-۳۱	-۳۹	-۳۰

۱۴	-۳۲	-۳۹	-۲۸	-۲۸	-۳۷	-۲۹
۱۵	-۳۷	-۴۸	-۳۴	-۳۱	-۴۶	-۲۸
۱۶	-۳۳	-۴۵	-۳۰	-۲۹	-۴۳	-۲۹
۱۷	-۳۱	-۵۳	-۲۹	-۳۱	-۵۴	۱
۱۸	-۱۵	-۲۵	-۱۲	-۱۵	-۲۶	-۱۴

جدول ۹: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های نزدیک به گسل در سازه ۱۸ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۷۳	-۶۷	-۷۲	-۶۹	-۶۳	-۷۰
۲	-۶۳	-۵۵	-۶۱	-۵۸	-۵۰	-۶۰
۳	-۶۳	-۵۶	-۶۱	-۵۸	-۵۰	-۶۱
۴	-۶۱	-۵۴	-۵۹	-۵۵	-۴۸	-۵۹
۵	-۵۶	-۴۹	-۵۳	-۴۸	-۴۱	-۵۱
۶	-۴۹	-۴۲	-۴۶	-۴۱	-۳۴	-۴۳
۷	-۵۰	-۴۴	-۴۷	-۴۴	-۳۸	-۴۴
۸	-۴۲	-۳۷	-۳۹	-۳۷	-۳۴	-۳۷
۹	-۳۸	-۳۵	-۳۵	-۳۴	-۳۲	-۳۵
۱۰	-۴۳	-۴۴	-۳۹	-۳۸	-۴۰	-۴۰
۱۱	-۴۲	-۴۳	-۳۷	-۳۵	-۳۹	-۳۹
۱۲	-۴۸	-۵۲	-۴۴	-۴۱	-۴۷	-۳۹
۱۳	-۴۴	-۴۹	-۴۰	-۴۰	-۴۶	-۳۹
۱۴	-۴۰	-۴۶	-۳۶	-۳۶	-۴۵	-۳۷
۱۵	-۵۰	-۵۹	-۴۷	-۴۵	-۵۷	-۴۲
۱۶	-۴۴	-۵۴	-۴۰	-۴۰	-۵۲	-۴۰
۱۷	-۴۵	-۶۲	-۴۳	-۴۵	-۶۳	-۲۰

۱۸ -۳۰ -۳۸ -۲۸ -۳۰ -۳۹ -۳۰

جدول ۱۰: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های دور از گسل در سازه ۲۱ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۶۳	-۴۷	-۶۱	-۵۹	-۴۵	-۶۰
۲	-۵۲	-۳۳	-۴۹	-۴۶	-۳۰	-۴۹
۳	-۵۳	-۳۵	-۵۰	-۴۷	-۳۱	-۵۱
۴	-۴۹	-۳۱	-۴۶	-۴۳	-۲۷	-۴۷
۵	-۴۳	-۲۶	-۴۱	-۳۷	-۲۱	-۴۲
۶	-۳۹	-۲۱	-۳۶	-۳۳	-۱۸	-۳۸
۷	-۳۴	-۱۷	-۳۱	-۲۹	-۱۴	-۳۵
۸	-۳۲	-۱۵	-۲۹	-۲۵	-۱۱	-۳۰
۹	-۳۳	-۱۷	-۳۰	-۲۶	-۱۴	-۳۱
۱۰	-۴۰	-۲۶	-۳۷	-۳۶	-۲۶	-۳۹
۱۱	-۴۱	-۲۹	-۳۸	-۳۷	-۲۹	-۴۰
۱۲	-۴۱	-۳۱	-۳۸	-۳۷	-۳۱	-۴۰
۱۳	-۵۲	-۴۵	-۵۰	-۵۰	-۴۶	-۵۱
۱۴	-۵۳	-۴۸	-۵۱	-۵۲	-۵۰	-۵۳
۱۵	-۶۲	-۴۹	-۶۰	-۵۵	-۵۲	-۲۹
۱۶	-۶۴	-۶۰	-۶۱	-۶۱	-۶۲	-۵۹
۱۷	-۵۷	-۵۵	-۵۴	-۵۵	-۵۷	-۵۵
۱۸	-۴۸	-۴۸	-۴۶	-۴۷	-۵۰	-۴۸
۱۹	-۴۵	-۶۱	-۳۹	-۵۹	-۶۷	-۱۲
۲۰	-۵۲	-۵۴	-۴۹	-۵۴	-۵۸	-۵۳
۲۱	-۳۸	-۴۰	-۳۶	-۳۹	-۴۴	-۴۰

جدول ۱۱: میزان اختلاف نسبت دریافت با مقادیر پاسخ نگاشت‌های نزدیک به گسل در سازه ۲۱ طبقه (%).

Story N	PUSH X 2800	PUSH X TRIANGULAR	PUSH X MODE	PUSH Y 2800	PUSH Y TRIANGULAR	PUSH Y MODE
۱	-۸۴	-۷۷	-۸۳	-۸۲	-۷۶	-۸۳

۲	-۷۷	-۶۹	-۷۶	-۷۵	-۶۷	-۷۶
۳	-۷۷	-۶۸	-۷۶	-۷۴	-۶۶	-۷۶
۴	-۷۴	-۶۶	-۷۳	-۷۲	-۶۴	-۷۴
۵	-۷۱	-۶۳	-۷۰	-۶۸	-۶۰	-۷۱
۶	-۶۸	-۵۹	-۶۶	-۶۵	-۵۷	-۶۸
۷	-۶۴	-۵۴	-۶۲	-۶۱	-۵۳	-۶۴
۸	-۶۱	-۵۱	-۶۰	-۵۷	-۴۹	-۶۰
۹	-۵۸	-۴۸	-۵۵	-۵۳	-۴۵	-۵۶
۱۰	-۵۸	-۴۹	-۵۶	-۵۵	-۴۸	-۵۷
۱۱	-۵۵	-۴۶	-۵۳	-۵۲	-۴۶	-۵۴
۱۲	-۵۲	-۴۵	-۵۰	-۴۹	-۴۴	-۵۲
۱۳	-۵۹	-۵۳	-۵۷	-۵۷	-۵۴	-۵۸
۱۴	-۵۷	-۵۲	-۵۵	-۵۶	-۵۴	-۵۷
۱۵	-۶۱	-۴۷	-۵۹	-۵۴	-۵۰	-۲۶
۱۶	-۶۰	-۵۶	-۵۷	-۵۷	-۵۸	-۵۴
۱۷	-۵۱	-۵۰	-۴۹	-۴۹	-۵۲	-۵۰
۱۸	-۴۰	-۴۰	-۳۸	-۴۰	-۴۳	-۴۰
۱۹	-۳۷	-۵۵	-۳۰	-۵۳	-۶۲	۰
۲۰	-۳۵	-۳۸	-۳۱	-۳۸	-۴۳	-۳۶
۲۱	-۱۲	-۱۵	-۹	-۱۳	-۲۰	-۱۵

با توجه به جداول ۶ تا ۱۱، اختلاف میان نتایج تحلیل‌های پوش‌آور سنتی با سه الگوی بار جانبی مود اول، مثلثی و طیفی ۲۸۰۰ با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی در بحث نسبت دریافت طبقات چشمگیر بوده و نتیجه می‌شود که ضوابط سختگیرانه استاندارد ۲۸۰۰ در بحث اثر مودهای بالاتر، قابل توجیه بوده و بهتر است در صورت وجود اثر مودهای بالاتر، از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی استفاده شود. لازم به یادآوری است که نتایج این تحقیق، محدود به تحلیل‌های پوش‌آور سنتی است و تحلیل‌های پوش‌آور پیشرفته بررسی نشده‌اند.

۵- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق محدود به سازه‌های قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه نامنظم در پلان بر روی خاک نوع ۳، تحت ۶ زوج شتابنگاشت و ۳ الگوی بار جانبی انتخابی در این مقاله است. بدیهی است که با تغییر هر یک از این مشخصات، امکان تغییر نتایج وجود دارد. با این حال نتیجه می‌شود که:

- ۱- در بحث تخمین حداکثر نسبت تغییرمکان بین طبقه‌ای ایجاد شده، الگوی بار جانبی مود اول کمترین اختلاف را با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نسبت به سایر الگوهای بار جانبی داشته است. این موضوع درحالی است که بیشترین اختلاف ثبت شده توسط این الگوی بار جانبی با نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی در سازه ۱۸ طبقه و برابر با ۷۶ درصد است. لذا این اختلاف، ضوابط سختگیرانه استاندارد ۲۸۰۰ را توجیه می‌کند.
- ۲- در مورد الگوی توزیع نسبت تغییرمکان بین طبقه‌ای، بیشترین اختلاف میان پاسخ‌ها در طبقات پایینی سازه‌ها رخ داده است.
- ۳- پاسخ تحلیل‌های پوش‌آور سنتی، به شدت وابسته به الگوی بار جانبی بوده و با تغییر الگو، پاسخ‌ها نیز تغییر می‌کنند.
- ۴- ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در بحث تحلیل‌های پوش‌آور و اثر مودهای بالاتر قابل توجیه بوده و در صورت حاکم بودن اثر مودهای بالاتر بر سازه، باید از تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده شود.
- ۵- پیشنهاد می‌شود که در بحث ضوابط تحلیل‌های پوش‌آور استاندارد ۲۸۰۰، از الگوی بار جانبی مود اول نیز استفاده شود.

مراجع

1. Ferraioli M and Lavino A. (2020). Irregularity effects of masonry infills on nonlinear seismic behaviour of RC buildings. *Mathematical Problems in Engineering*.2020(1):4086320.
2. Abass HA and Jarallah HK. (2021). Comparative Study of the Seismic Assessment According to ATC-40, FEMA-356 and FEMA-440 for Existing Hospital Building Located at Baghdad City. *no June*.
3. moradiyan m, pachideh G and moshtagh A. (2022). Study of seismic behavior and development of fragility curves of divergent braced frames under successive earthquakes. *Journal of Structural and Construction Engineering*.8(Special Issue 4):156-75.
4. Kheyroddin A, Gholhaki M and Pachideh G. (2019). Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Moment Frames Retrofitted with Steel Braces Using IDA and Pushover Methods in the Near-Fault Field. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*.7(1):159-73.
5. Bektaş N and Kegyes-Brassai O. (2022). Conventional RVS methods for seismic risk assessment for estimating the current situation of existing buildings: A state-of-the-art review. *Sustainability*.14(5):2583.
6. Zameeruddin M and Sangle KK. (2021). Performance-based seismic assessment of reinforced concrete moment resisting frame. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.33(3):153-65.
7. Horrison MS, V DS and P MSKKR. (2023). Review on Pushover Analysis Procedures. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*.514-521.
8. Kuria KK and Kegyes-Brassai OK. (2023). Pushover Analysis in Seismic Engineering: A Detailed Chronology and Review of Techniques for Structural Assessment. *Applied Sciences*.14(1):151.
9. Bektaş N and Kegyes-Brassai O, (2022.) A comparative study of rapid visual screening methods to detailed seismic assessment of a reinforced concrete residential building. In: *Proceedings of the 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology, Bucharest, Romania; 2022*.
10. Lima C, Martinelli E and Faella C. (2017). Simplified nonlinear static procedures for seismic assessment of masonry infilled RC structures. *Ingegneria Sismica*.34(3-4):139-50.
11. Aşıkoğlu A, Vasconcelos G and Lourenço PB. (2021). Overview on the nonlinear static procedures and performance-based approach on modern unreinforced masonry buildings with structural irregularity. *Buildings*.11(4):147.

12. Kuria KK and Keyes-Brassai OK. (2023). Nonlinear static analysis for seismic evaluation of existing RC Hospital Building. *Applied Sciences*.13(21):11626.
13. Worku AM and Hsiao P-C. (2022). An improved first-mode-based pushover analytical procedure for assessing seismic performance of special moment resisting frame building structures. *Engineering Structures*.252:113587.
14. Jalilkhani M, Ghasemi SH and Danesh M. (2020). A multi-mode adaptive pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of RC moment-resisting frames. *Engineering Structures*.213:110528.
15. Rahmani AY, Badaoui M, Bourahla N and Bento R. (2022). Extension of the improved upper-bound pushover analysis for seismic assessment of steel moment resisting frames with setbacks. *Bulletin of Earthquake Engineering*.20(13):7609-40.
16. Habibi A, Izadpanah M and Namdar Y. (2022). A new modal lateral load pattern for improving pushover analysis to estimate nonlinear responses of structures. *Australian Journal of Structural Engineering*.23(4):289-302.
17. Rooshenas A, (2020.) Comparing pushover methods for irregular high-rise structures, partially infilled with masonry panels. In: *Structures; 2020*: Elsevier.
18. Daei A and Poursha M, (2021.) On the accuracy of enhanced pushover procedures for seismic performance evaluation of code-conforming RC moment-resisting frame buildings subjected to pulse-like and non-pulse-like excitations. In: *Structures; 2021*: Elsevier.
19. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, (2023). ASCE41-23.
20. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (2017). ASCE41-17.
21. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (2006). ASCE41-06.
22. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (2013). ASCE41-13.
23. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (2000). FEMA 356.
24. *Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, (2014). Code 360.
25. *Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, (2007). Code 360.
26. *SeismoStruct*. (2021). p. *A computer program for static and dynamic analysis for framed structures*.
27. Scott MH and Fenves GL. (2006). Plastic hinge integration methods for force-based beam-column elements. *Journal of Structural Engineering*.132(2):244-52.
28. Mander JB, Priestley MJ and Park R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*.114(8):1804-26.
29. Menegotto M, (1973.) Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. In: *Proc of IABSE symposium on resistance and ultimate deformability of structures acted on by well defined repeated loads; 1973*.
30. Pinho R and Elnashai A. (2000). Dynamic collapse testing of a full-scale four storey RC frame. *ASET Journal of earthquake Technology*.37(4):143-63.
31. Gerami M, Mashayekhi A and Siahpolo N. (2016). Assessment of higher modes effects in the steel moment resisting frames under the far and near fault earthquakes using the DAP method *Asian journal of CIVIL ENGINEERING (BHRC)*.17(8):1111-30.