



University Of Qom



## Evaluation of the Effect of Pulse Period and Seismic Intensity on the Pattern of Lateral Displacement Distribution in the Height of RC-Moment Resisting Frames

Nima Shahbazi<sup>1</sup>, Reza Aghayari<sup>2</sup>✉, Iman Ashayeri<sup>3</sup>

1. Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [n.shahbazi@stu.razi.ac.ir](mailto:n.shahbazi@stu.razi.ac.ir)
2. Corresponding author, Associate Professor, Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [reza\\_agh@razi.ac.ir](mailto:reza_agh@razi.ac.ir)
3. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: [i.ashayeri@razi.ac.ir](mailto:i.ashayeri@razi.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received 28 May 2022  
Revised 04 Sep 2022  
Accepted 04 Sep 2022

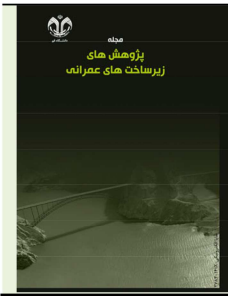
**Keywords:**  
Relative Displacement  
Pattern,  
Pulse Period, Seismic  
Intensity,  
Near-Field Earthquakes,  
Reinforced Concrete  
Moment-Resisting  
Frame.

### ABSTRACT

*Determining the pattern of lateral displacement distribution in the height of structures and the factors affecting it, has an important role in increasing the accuracy of optimal design and functional design against various seismic loads. In this paper, the pattern of lateral displacement distribution between floors at the height of flexural reinforced concrete frames is investigated and the effect of seismic intensity and pulse period on this issue is investigated. The studied frames are three structures of 3, 9 and 15 floors of RC Moment-resisting frames. The middle frames of the structures were non-linearly modeled in 2D in the SeismoStruct 2021 program, and nonlinear analysis was performed under the set of records and at different seismic intensities. The displacement response of the structures was compared. The results showed that in orderly short-term reinforced concrete bending frames without any irregularity under the set of selected accelerometers in this research, the effect of all records is almost equal and displacement occurs in the upper floors. As the height of the structures increases and the effect of higher modes increases, the effect of the pulse period of stagnation and seismic intensity is felt.*

**Cite this article:** Shahbazi, Nima., Aghayari, Reza., & Ashayeri, Iman. (2023). Evaluation of the Effect of Pulse Period and Seismic Intensity on the Pattern of Lateral Displacement Distribution in the Height of RC-Moment Resisting Frames. *Civil Infrastructure Researches*, 9(1), 47-58. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8244.1398>





## ارزیابی تأثیر پرپود پالس و شدت لرزه‌ای بر الگوی توزیع تغییر مکان جانبی در ارتفاع قاب‌های خمشی بتن آرمه

نیما شهبازی<sup>۱</sup>، رضا آقایی<sup>۲</sup>، ایمان عشایری<sup>۳</sup>

۱. دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [n.shahbazi@stu.razi.ac.ir](mailto:n.shahbazi@stu.razi.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [reza\\_agh@razi.ac.ir](mailto:reza_agh@razi.ac.ir)

۳. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [i.ashayeri@razi.ac.ir](mailto:i.ashayeri@razi.ac.ir)

### چکیده

تعیین الگوی توزیع تغییر مکان جانبی در ارتفاع سازه‌ها، نقش مهمی در افزایش دقت طراحی بهینه و طراحی عملکردی در مقابل انواع بارهای لرزه‌ای دارد. در این مقاله، الگوی توزیع تغییر مکان جانبی در طبقات قاب‌های خمشی بتن آرمه با در نظر گرفتن اثر شدت لرزه‌ای و پرپود پالس بررسی شد. سازه‌های مورد بررسی شامل سه سازه با تعداد طبقات ۳، ۹ و ۱۵ و با سیستم قاب خمشی بتن آرمه ویژه بوده که براساس ضوابط مبحث ۹ مقررات ملی و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با در نظر گرفتن منطقه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد و خاک نوع ۳ توسط نرم‌افزار ETABS به صورت استاتیکی معادل تحلیل و طراحی شدند. قاب‌های میانی سازه‌ها با نرم‌افزار SeismoStruct مدل‌سازی غیرخطی شده و تحت اثر مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای در شدت‌های لرزه‌ای متفاوت، تحلیل غیرخطی شدند. شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مورد استفاده شامل ۲۱ شتاب‌نگاشت لرزه‌ای پالسی حوزه نزدیک و دارای اثر جهت‌داری پیش‌رونده بوده که براساس پرپود پالس به سه دسته پالس کوتاه، متوسط و بلند تقسیم شده بودند. در این بررسی همچنین از ۷ شتاب‌نگاشت لرزه‌ای حوزه دور از گسل فاقد اثر پالسی نیز استفاده شد. پاسخ‌های تغییر مکان سازه‌ها بر پایه تحلیل‌های غیرخطی با یکدیگر مقایسه شدند که در این مقایسه طیف تغییر مکان اصلاح شده به کار رفت. نتایج نشان داد در قاب‌های خمشی بتن آرمه کوتاه‌مرتبه بدون هیچ‌گونه نامنظمی و بر یک بستر سنگی، تحت مجموعه شتاب‌نگاشت لرزه‌ای انتخابی در این تحقیق، تأثیر تمامی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای تقریباً برابر بوده و حداکثر تغییر مکان‌ها در طبقات فوقانی رخ می‌دهد. با افزایش ارتفاع این قاب‌ها و افزایش تأثیر مودهای بالاتر، تأثیر پرپود پالس رکودها و شدت لرزه‌ای محسوس می‌شود.

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

### کلیدواژه‌ها:

الگوی جابه‌جایی نسبی، پرپود پالس، شدت لرزه‌ای، قاب خمشی بتن آرمه، زلزله‌های حوزه دور و نزدیک.

استناد: شهبازی، نیما؛ آقایی، رضا؛ و عشایری، ایمان. (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر پرپود پالس و شدت لرزه‌ای بر الگوی توزیع تغییر مکان جانبی در ارتفاع قاب‌های خمشی بتن آرمه. پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی. ۹(۱)، ۴۷-۵۸. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8244.1398>



## ۱- مقدمه

بیشتر آنها می‌شود. زمانی که نسبت پریود پالس اصلی به پریود اصلی ارتعاش سازه ( $T_p/T$ ) در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ قرار بگیرد، خاصیت پالسی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای بر پاسخ سازه تأثیر دارد [۷]. هرچند با ورود سازه به ناحیه غیرخطی و تغییر مشخصات مودال (تغییر زمان تناوب به دلیل ترک‌خوردگی)، این مطلب چندان قابل اعتماد نیست.

نتایج مطالعات زمانی و همکاران نشان داد که در ساختمان‌های بلندمرتبه با سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه، آسیب‌پذیری لرزه‌ای در تمام سطوح خطر تحت زلزله‌های با پریود بلند، بیشتر از آسیب‌پذیری آنها تحت زلزله‌های پریود کوتاه است [۸].

دانشجو و بدرلو به بررسی رفتار غیرارتجاعی قاب‌های برون محور فولادی تحت شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نزدیک و دور از گسل پرداختند. برای این مطالعه از مجموع ۴ زوج شتاب‌نگاشت لرزه‌ای نزدیک و دور از گسل استفاده کردند. نتایج نشان داد که سازه‌های مورد بررسی آنها، پاسخ‌های تغییرمکانی متفاوتی را تحت شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نزدیک‌گسل ایجاد کرده‌اند و مشخصات هندسی سازه‌ها و شرایط ساختگاهی از عوامل تأثیرگذار بر این موضوع هستند [۹].

منفردی به بررسی تأثیر موقعیت سازه‌ها نسبت به گسل تحت زلزله‌های نزدیک پرداخت. براساس مطالعات ایشان، در سازه ۲۰ طبقه تحت شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالسی، تفاوت میان تغییرمکان بین‌طبقه‌ای در طبقات زیرین و بالایی سازه بسیار زیاد بود؛ به صورتی که طبقات تحتانی تا آستانه فروریزش پیشروی کردند، اما در طبقات یک چهارم بالایی مقدار حداکثر تغییرمکان بین‌طبقه‌ای کمتر از ۰/۰۲ بود. این وضعیت در سازه‌های ۳ و ۹ طبقه مشاهده نشد [۱۰].

صابری و همکاران به ارزیابی الگوی توزیع خرابی در سازه‌های قاب خمشی فولادی ویژه پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که با افزایش زمان تناوب پالس زلزله، تجمع خرابی به سمت طبقات پایینی سازه حرکت

ارزیابی محل تجمع خرابی‌ها و برآورد دقیق از میزان خطرپذیری سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای احتمالی، از موضوعات مهمی است که در اتخاذ تصمیمات مقاوم‌سازی و تقویت سازه‌ها اهمیت شایانی دارد. همچنین در بحث طراحی عملکردی، تخمین الگوی توزیع نیازهای تغییرمکانی در ارتفاع سازه اهمیت بالایی دارد. هدف این مقاله، ارزیابی و محاسبه محل ایجاد حداکثر تغییرمکان بین‌طبقه‌ای، در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه ویژه بدون هیچ نامنظمی و بر روی یک بستر سنگی، تحت زلزله‌های پالسی شکل حوزه نزدیک‌گسل است. برای این منظور، سه پارامتر مهم پریود پالس، شدت لرزه‌ای و ارتفاع سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه می‌تواند در زمینه افزایش دقت در تعیین نقاط آسیب‌پذیر این سازه‌ها، تحت ۲۱ شتاب‌نگاشت لرزه‌ای پالسی حوزه نزدیک‌گسل مورد استفاده در این مقاله کاربرد داشته باشد. یکی از ویژگی‌های زلزله‌های نزدیک به گسل، تمرکز خرابی در تعداد محدودی از طبقات و اعضای سازه‌ای است [۱]. محققین با انجام مطالعات متعدد بر روی سازه‌ها روابطی را جهت تخمین الگوی توزیع نیازهای تغییرمکانی در ارتفاع سازه‌ها ارائه نموده‌اند [۲ و ۳]. براساس مطالعات پیشین، علاوه بر مشخصات هندسی و مکانیکی سازه‌ها، محتوای فرکانسی موج زلزله و شدت لرزه‌ای نیز بر الگوی توزیع تغییرمکان در ارتفاع سازه‌ها تأثیر دارد [۴ و ۵]. کاراواسیلیس<sup>۱</sup> نشان داد که توزیع نیازهای لرزه‌ای سازه متأثر از میزان پاسخ غیرخطی و سطح عملکرد سازه است [۶]. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که نسبت پریود پالس به پریود اصلی سازه، معیار مناسبی جهت بررسی تأثیر پریود پالس بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها است به طوری که هرچه قدر این مقدار کمتر باشد پریود پالس زلزله به پریود موده‌های بالاتر نزدیک‌تر شده و موجب تحریک

<sup>۱</sup>- Karavasilis

خمشی بتن‌آرمه ویژه ۳، ۹ و ۱۵ طبقه است که همگی براساس ضوابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و مبحث نه مقررات ملی طراحی شده بودند. شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مورد استفاده شامل ۲۱ شتاب‌نگاشت لرزه‌ای پالسی حوزه نزدیک گسل حاوی اثر جهت‌داری پیش‌رونده بوده که همگی بر روی خاک نوع سه ثبت شده‌اند [۱۴] و [۱۵]. از هفت شتاب‌نگاشت لرزه‌ای حوزه دور از گسل و فاقد اثر جهت‌داری پیش‌رونده نیز استفاده شد. ابتدا مشخصات طیف فوریه، پریود غالب، پریود پالس و حداکثر پاسخ زمین شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای استخراج شده، سپس قاب‌های میانی توسط نرم‌افزار SeismoStruct تحت شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای انتخابی، تحلیل غیرخطی شدند [۱۶]. پاسخ تغییرمکانی سازه‌ها تحت شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مختلف استخراج گردید. در این مطالعه از پارامتر حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای ( $MIDR^2$ ) جهت بررسی الگوی توزیع تغییرمکان در ارتفاع استفاده شده است. جهت بررسی تأثیر شدت لرزه‌ای، از سه سطح خطر نسبی  $0.05g$  (معادل حالت ارتجاعی)،  $0.35g$  (معادل سطح خطر زلزله طرح) و  $0.53g$  (معادل سطح خطر زلزله‌های خیلی شدید) استفاده شده است. براساس مطالعات انجام شده، این فرض که میان شتاب طیفی زلزله نادر و طرح یک نسبت  $1/5$  برابری وجود دارد از نظر علم تحلیل خطر احتمالاتی صرفاً یک تخمین بوده و نادقیقی آن در بسیاری از مناطق جهان (بویژه در ایران) اثبات شده است [۱۷]. در این مقاله، جهت ساده‌سازی از این فرض  $1/5$  برابری استفاده شده و بررسی اثر این فرض می‌تواند در مطالعه جداگانه‌ای انجام شود. جهت تعیین تابع شکل توزیع تغییرمکان نسبی در ارتفاع سازه‌ها، مقادیر تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای در هر طبقه از سازه‌های نمونه و در هر شدت لرزه‌ای، تحت مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای محاسبه

می‌کند، در حالی که با کاهش زمان تناوب پالس زلزله و هم‌نوایی با موده‌های بالاتر رفتار سازه، محل تجمع حداکثر خرابی در طبقات بالایی سازه ایجاد می‌شود [۱۱].

براساس مطالعات سیاه‌پلو و همکاران، توسعه و بهبود الگوی باری که در عین سادگی بتواند روند توزیع نیازهای غیرارتجاعی سازه در ارتفاع (اعم از تغییرمکان کلی و بین طبقه‌ای) تحت زلزله‌های حوزه نزدیک پالسی را به درستی تخمین بزند، حائز اهمیت است. برای این منظور از پنج الگوی بار جانبی برای تخمین نیازهای غیرارتجاعی قاب‌های منظم دوبعدی استفاده کردند و نتایج را با نتایج تحلیل‌های تاریخیچه زمانی مقایسه کردند [۱۲].

مطالعات راضی و همکاران نشان داد که محتوای فرکانسی زلزله، عاملی بسیار تأثیرگذار بر الگوی توزیع تغییرمکان نسبی در ارتفاع قاب‌های خمشی فولادی ویژه بدون هیچ‌گونه نامنظمی و بر روی یک بستر سنگی ثابت است. شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس کوتاه حداکثر تغییرمکان‌های بین طبقه‌ای را در طبقات بالایی قاب‌ها ایجاد نموده‌اند، در حالی که شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط و پالس بلند، محل حداکثر تغییرمکان‌های بین طبقه‌ای را به طبقات پایینی این قاب‌ها منتقل کردند [۱۳].

براساس توضیحات ارائه شده، در این مقاله به بررسی الگوی توزیع نیازهای تغییرمکانی در ارتفاع سازه‌های قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه پرداخته شده و اثر شدت لرزه‌ای و پریود پالس بر آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

## ۲- روش تحقیق

در این مقاله از نتایج تحلیل‌های عددی جهت بررسی الگوی توزیع نیاز تغییرمکانی در ارتفاع قاب‌های خمشی بتن‌آرمه و تأثیر پریود پالس و شدت لرزه‌ای بر این موضوع استفاده شد. سازه‌های مورد بررسی سه قاب

<sup>2</sup>- Maximum Inter-story Drift Ratio

### ۳- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مورد استفاده

معیارهای مختلفی توسط محققین جهت تشخیص شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نزدیک به گسل ارائه شده است که معتبرترین آنها، معیار سه گانه بیکر می‌باشد. شاهی و بیکر روشی را براساس تئوری موجک برای تعیین پریود پالس اصلی شتاب‌نگاشت لرزه‌ای ارائه نمودند [۱۸]. در این تحقیق با توجه به تأثیر بسیار زیاد پالس شتاب‌نگاشت لرزه‌ای بر توان تخریبی زلزله، دسته‌بندی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای حوزه نزدیک براساس مقدار پریود پالس و برپایه معیار سه گانه بیکر و شاهی انجام شد. براساس تحقیقات کومار و همکاران، شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای زلزله را می‌توان به سه دسته پریود کوتاه، پریود متوسط و پریود بلند تقسیم‌بندی نمود [۱۹]. با توجه به اینکه تأثیر پریود پالس به میزان پاسخ غیرخطی سازه نیز بستگی دارد، بنابراین مرز دقیقی برای این دسته‌بندی ارائه نشده است. در این مقاله، شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نزدیک به گسل به صورت زیر به سه دسته تقسیم‌بندی شده‌اند:

- ۱- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس کوتاه (SP) با پریود پالس کوچک‌تر از دو ثانیه
  - ۲- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط (MP) با پریود پالس برابر یا کوچک‌تر از چهار ثانیه و برابر یا بزرگتر از دو ثانیه
  - ۳- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس بلند (LP) با پریود پالس بزرگتر از چهار ثانیه.
- در جداول ۱ و ۲، شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مورد استفاده ارائه شده است.

### ۴- سازه‌های مورد مطالعه

در این مقاله از سه قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه (سه، نه و ۱۵ طبقه) سه دهانه با ارتفاع هر طبقه برابر ۳/۲ متر و طول هر دهانه برابر شش متر برای بررسی الگوی توزیع نیاز تغییرمکانی در ارتفاع سازه‌ها استفاده شد.

شد. سپس مقدار میانگین تغییرمکان بین طبقه‌ای در هر طبقه تحت مجموعه‌های ۷ عددی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای محاسبه شد. با محاسبه نسبت میانگین پاسخ تغییرمکان بین طبقه‌ای هر طبقه به میانگین حداکثر پاسخ تغییرمکان بین طبقه‌ای در هر شدت لرزه‌ای، الگوی توزیع تغییرمکان بین طبقه‌ای اصلاح شده رسم شد که با پارامتر  $NIDR^3$  (با مقدار حداکثر یک) نمایش داده شد. همچنین مقدار میانگین حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای ایجاد شده توسط دسته شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مختلف جهت مقایسه و بررسی ترسیم شد. در گام بعدی، جهت بررسی پارامتریک و دقیق‌تر الگوی توزیع تغییرمکان و عوامل مؤثر بر آن، دو پارامتر  $D_1$  و  $D_2$  محاسبه شد. پارامتر  $D_1$  برابر نسبت حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای (MIDR) به تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای بام (MDR) و پارامتر  $D_2$  برابر نسبت میانگین نیاز تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای در طبقات یک سوم بالایی سازه به میانگین تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای در کل طبقات فرض شد.  $D_1$  متوسط، تحت هر کدام از مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای محاسبه شد. سپس نمودار تغییرات  $D_1$  متوسط به ازای هر کدام از PGAها ترسیم و منحنی‌های به دست آمده برای ارزیابی پاسخ غیرخطی سازه در الگوی توزیع تغییرمکان استفاده شد. به منظور بررسی نحوه تأثیر پریود پالس بر الگوی توزیع تغییرمکان در ارتفاع قاب‌ها، تغییرات پارامتر  $D_2$  برحسب پارامتر  $T_p/T$  به‌طور جداگانه برای هر کدام از سطوح خطر نسبی حالت ارتجاعی معادل  $0.05g$  و حالت خیلی شدید معادل  $0.53g$  محاسبه و ارزیابی شد. با توجه به تفاوت رفتار غیرخطی سیستم‌های سازه‌ای، نتایج این تحقیق محدود به قاب‌های خمشی بتن‌آرمه ویژه بدون هیچگونه نامنظمی و بر یک بستر سنگی، تحت مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای انتخابی در این تحقیق می‌باشد.

<sup>3</sup>- Normalized Inter-story Drift Ratio

جدول ۱- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نزدیک به گسل مورد استفاده

SP							
شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	$M_w$	R(km)	$T_m(s)$	$T_p(s)$	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Loma Prieta 1989, Gilroy array #2	۶/۹۳	۱۱/۰۷	۰/۷۷	۱/۷	۴۰/۳۷	۰/۱۳
۲	Kobe, Japan 1995, Takarazuka	۶/۹	۰/۲۷	۰/۸۰	۱	۶۸/۴۱	۰/۱۰
۳	Kobe, Japan 1995, Takatori	۶/۹	۱/۴۷	۰/۹۹	۱/۶	۱۲۲/۹۶	۰/۱۹
۴	Northridge-01 1994, Rinaldi Receiving Sta	۶/۶۹	۶/۵	۰/۷۶	۱/۲	۱۴۸/۰۰	۰/۱۷
۵	Northwest China-03 1997, Jiashi	۶/۱	۹/۹۸	۰/۵۴	۱/۳	۳۵/۲۵	۰/۱۳
۶	N.Palm Springs 1986, North Palm Spring	۶/۰۶	۴/۰۴	۰/۶۲	۱/۴	۶۵/۹۹	۰/۱۰
۷	Coalinga05 1986, Oil City	۵/۷۷	۸/۴۶	۰/۳۱	۰/۷	۳۹/۹۹	۰/۰۵
MP							
شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	$M_w$	R(km)	$T_m(s)$	$T_p(s)$	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Cape Mendocino 1992, Petrolia	۷/۰۱	۸/۱۸	۰/۶۸	۳	۸۸/۵۱	۰/۱۴
۲	Irpinia, Italy-01 1980, Sturmo	۶/۹	۱۰/۸۴	۰/۸۷	۳/۱	۷۱/۹۶	۰/۲۳
۳	Northridge-01 1994, Jensen Filter Plant	۶/۶۹	۵/۴۳	۱/۰۰	۳/۵	۹۷/۳۶	۰/۱۶
۴	Northridge-01 1994 Sylmar - Converter Sta	۶/۶۹	۵/۳۵	۱/۱۶	۳	۱۱۶/۲۵	۰/۱۹
۵	Northridge-01 1994, Newhall - W Pico Canyon Rd	۶/۶۹	۵/۴۸	۱/۲۵	۲/۴	۵۹/۲۳	۰/۱۷
۶	Superstition Hills-02 1987, Parachute test site	۶/۵۴	۰/۹۵	۱/۱۱	۲/۳	۱۳۴/۲۹	۰/۳۲
۷	Imperial Valley-06 1979, El Centro array #6	۶/۵۳	۱/۳۵	۱/۲۸	۳/۸	۱۱۳/۵۵	۰/۲۶
LP							
شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	$M_w$	R(km)	$T_m(s)$	$T_p(s)$	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Chi-Chi, Taiwan 1999, TCU101	۷/۶۲	۲/۱۱	۰/۷۲	۱۰/۳	۷۶/۸۱	۰/۳۷
۲	Chi-Chi, Taiwan 1999 TCU136	۷/۶۲	۸/۳	۱/۰۵	۸/۸۸	۵۱/۴۷	۰/۳۰
۳	Chi-Chi, Taiwan 1999, CHY101	۷/۶۲	۹/۹۴	۱/۰۵	۴/۸	۶۵/۰۰	۰/۲۰
۴	Landers 1992, Yermo Fire Station	۷/۲۸	۲۳/۶۲	۰/۹۱	۷/۵	۵۱/۱۲	۰/۲۱
۵	Loma Prieta 1989, Saratoga - Aloha Ave	۶/۹۳	۸/۵	۰/۶۴	۴/۵	۴۱/۵۸	۰/۰۸
۶	Imperial Valley-06 1979, El Centro array #7	۶/۵۳	۰/۵۶	۱/۳۲	۴/۳	۱۱۳/۱۴	۰/۲۵
۷	Imperial Valley-06 1979, El Centro differential array	۶/۵۳	۵/۰۹	۰/۵۰	۵/۹	۷۵/۵۸	۰/۲۲

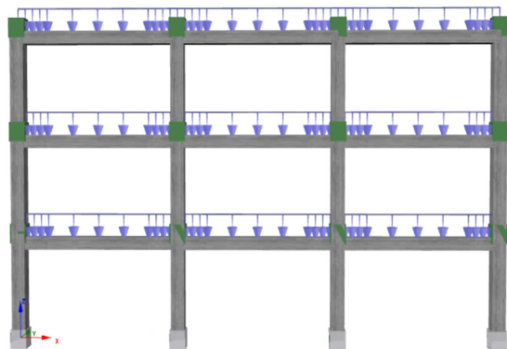
جدول ۲- شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای دور از گسل مورد استفاده.

شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	$M_w$	R(km)	$T_m(s)$	$T_p(s)$	PGV(cm/s)	PGV/PGA(s)
۱	Kocaeli 1999, Duzce	۷/۵۱	۱۵/۳۷	۰/۹۹	۰/۳۸	۵۸/۸۷	۰/۱۹
۲	Manjil 1990, Rudсар	۷/۳۷	۶۴/۴۷	۰/۵۳	۰/۲۸	۱۱/۵۶	۰/۱۲
۳	Tabas 1978, Boshrooyeh	۷/۳۵	۲۸/۷۹	۰/۷۱	۰/۳۶	۱۵/۴۳	۰/۱۹
۴	Landers 1992, Coolwater	۷/۲۸	۱۹/۷۴	۰/۵۶	۰/۳۴	۴۳/۴۲	۰/۱۱
۵	Duzce Turkey 1992, Bolu	۷/۱۴	۱۲/۰۴	۰/۵۵	۰/۳۲	۵۵/۹۳	۰/۰۸
۶	Loma Prieta 1989, Gilroy Array #2	۶/۹۳	۱۱/۰۷	۰/۷۷	۰/۳	۴۰/۳۷	۰/۱۳
۷	Kobe 1995, HIK	۶/۹	۹۵/۷۲	۰/۷۷	۰/۶	۱۵/۱۴	۰/۱۱

مقررات ملی ساختمان و ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، توسط برنامه ETABS ۲۰۱۷ و با فرض بتن C۲۵

تمامی سازه‌ها در منطقه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد و بر روی زمین نوع سه، براساس ضوابط مبحث نه

روش مدل نیومارک<sup>۷</sup> از سرعت عمل بالاتری برخوردار است. در بارگذاری قاب‌های دوبعدی، بارهای متمرکزی برابر ۱۲۶۰۰ کیلوگرم به ستون‌های کناری و ۱۸۰۰۰ کیلوگرم به ستون‌های میانی اعمال شد. در شکل ۱ الگوی توزیع بارهای ثقلی برای قاب ۳ طبقه مشاهده می‌شود.



شکل ۱- الگوی توزیع بارهای ثقلی در قاب ۳ طبقه

## ۵- راستی آزمایی و حساسیت‌سنجی

به منظور صحت‌سنجی و بررسی مدل‌سازی، نتایج به‌دست آمده از تحلیل (برای تغییرمکان بام) توسط نرم‌افزار SeismoStruct با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج آزمایشگاهی مربوط به قاب خمشی سه دهانه بتن‌آرمه دوبعدی چهار طبقه بوده که برای بارهای ثقلی و بار جانبی اسمی برابر هشت درصد وزن خود طراحی شده بود. این قاب در آزمایشگاه ELSA (مرکز تحقیقات ISPrA) با مقیاس واقعی ساخته شده و تحت بارگذاری شبه دینامیکی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال آزمایش شده بود [۲۲]. با توجه به شکل ۲، نتایج به‌دست آمده توسط برنامه SeismoStruct مشابهت مطلوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. در شکل ۲- الف، نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزاری با تعداد فایبرهای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ عدد ارائه شده است. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد استفاده از ۲۰۰ فایبر مناسب بوده و نتایج حاصل به واقعیت نزدیک‌تر است. بنابراین در این مقاله از تعداد ۲۰۰ فایبر در هر مقطع استفاده شد.

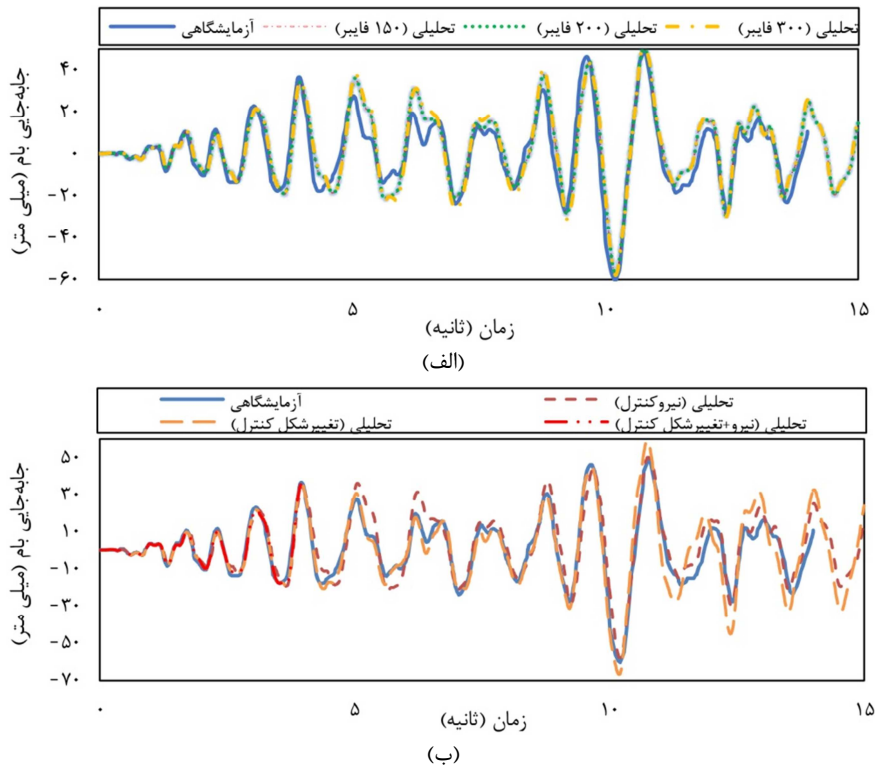
و فولاد مصرفی S۴۰۰ تحلیل، کنترل و طراحی شدند. بار مرده کف برابر ۵۰۰ و بار زنده کف برابر ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع فرض شد. بار دیوارهای پیرامونی نیز برابر ۵۰۰ کیلوگرم بر متر طول دیوار فرض و از اثر سایر بارهای ثقلی صرف‌نظر گردید. قاب‌های داخلی توسط برنامه SeismoStruct ۲۰۲۱ مدل‌سازی شد. به منظور کاهش خروجی برنامه و افزایش سرعت تحلیل‌ها از مدل دوبعدی و با فرض میرایی رایلی<sup>۴</sup> استفاده شد. برای مدل‌سازی غیرخطی، المان‌های فیبری با رفتار غیرخطی محدود به‌کار گرفته شد [۲۰]. در این المان‌ها رفتار غیرخطی به صورت گسترده در دو بخش انتهایی هر عضو با طول نسبی ۱۵ درصد فرض و اندرکنش لنگر خمشی و نیروی محوری به صورت لحظه‌ای و با دقت مناسب در نظر گرفته می‌شود. برای مدل‌سازی رفتار بتن، از مدل مندر استفاده شد [۲۱]. ضرایب محصورشدگی به صورت خودکار توسط نرم‌افزار برای هر مقطع بتنی با تعداد آرماتورهای طولی و عرضی متفاوت محاسبه می‌شود و در مقاومت بتن ضرب می‌شود. هر المان تیر و ستون به سه قسمت تقسیم می‌شود که دو قسمت شامل طول ناحیه بحرانی با بتن محصور شده و آرماتور عرضی متناسب با نتایج تحلیل‌های خطی براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و قسمت میانی شامل ناحیه غیربحرانی‌ها می‌باشد. در تمامی طبقات کف‌های سازه‌ای به صورت صلب و با استفاده از Rigid link به یکدیگر متصل شدند. تمامی اتصالات از نوع گیردار بوده و جابه‌جایی خارج از صفحه به دلیل استفاده از مدل‌های دوبعدی بسته شده است. همچنین اثرات اندرکنش خاک-سازه صرف‌نظر گردید. برای مدل‌سازی شرایط تکیه‌گاهی از روش پنالتی<sup>۵</sup> استفاده شده و انتگرال‌گیری نیز با استفاده از الگوریتم هیلبرت-هیوز<sup>۶</sup> انجام گرفت، این روش انتگرال‌گیری در مقایسه با

4- Rayleigh Damping

5- Penalty approach

6- Hilbert-Hughes

7- Newmark



شکل ۲- تأثیر (الف) تعداد فایبر و (ب) نوع رفتاری المان‌ها بر نتایج تحلیلی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی [۲۲] تحت شتاب‌نگاشت لرزه‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

بالاتر است که با افزایش ارتفاع سازه‌ها منجر به کاهش یکنواختی در الگوی توزیع تغییرمکان می‌شود. در قاب سه طبقه که تأثیر مودهای بالاتر کمتر است، اختلاف میان الگوی توزیع تغییرمکان تحت مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای نسبت به سازه‌های ۹ و ۱۵ طبقه کمتر است. در شدت‌های لرزه‌ای کم، حداکثر تغییرمکان سازه‌ها، در طبقات بالاتر ایجاد شده و با افزایش شدت لرزه‌ای، حداکثر تغییرمکان به سمت طبقات پایینی انتقال می‌یابد. در شدت لرزه‌ای معادل  $0.35g$  در سازه‌های کوتاه، حداکثر تغییرمکان توسط شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط ایجاد شده است و با افزایش ارتفاع سازه‌ها، حداکثر تغییرمکان توسط شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس بلند ایجاد می‌گردد. این روند در شدت لرزه‌ای  $0.53g$  نیز مشاهده شد. با افزایش شدت لرزه‌ای و افزایش ارتفاع سازه‌ها، شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط محل حداکثر تغییرمکان را به سمت طبقات پایین حرکت می‌دهند.

در شکل ۲- ب، نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزاری با سه حالت رفتار نیروکنترل<sup>۸</sup>، تغییرشکل کنترل<sup>۹</sup> و ترکیبی از این دو حالت ارائه شده است. نتایج هر سه حالت تقریباً مشابه به یکدیگر بوده، اما با توجه به پیشنهاد راهنمای برنامه، از مدل رفتاری نیروکنترل برای تمامی المان‌ها استفاده شد.

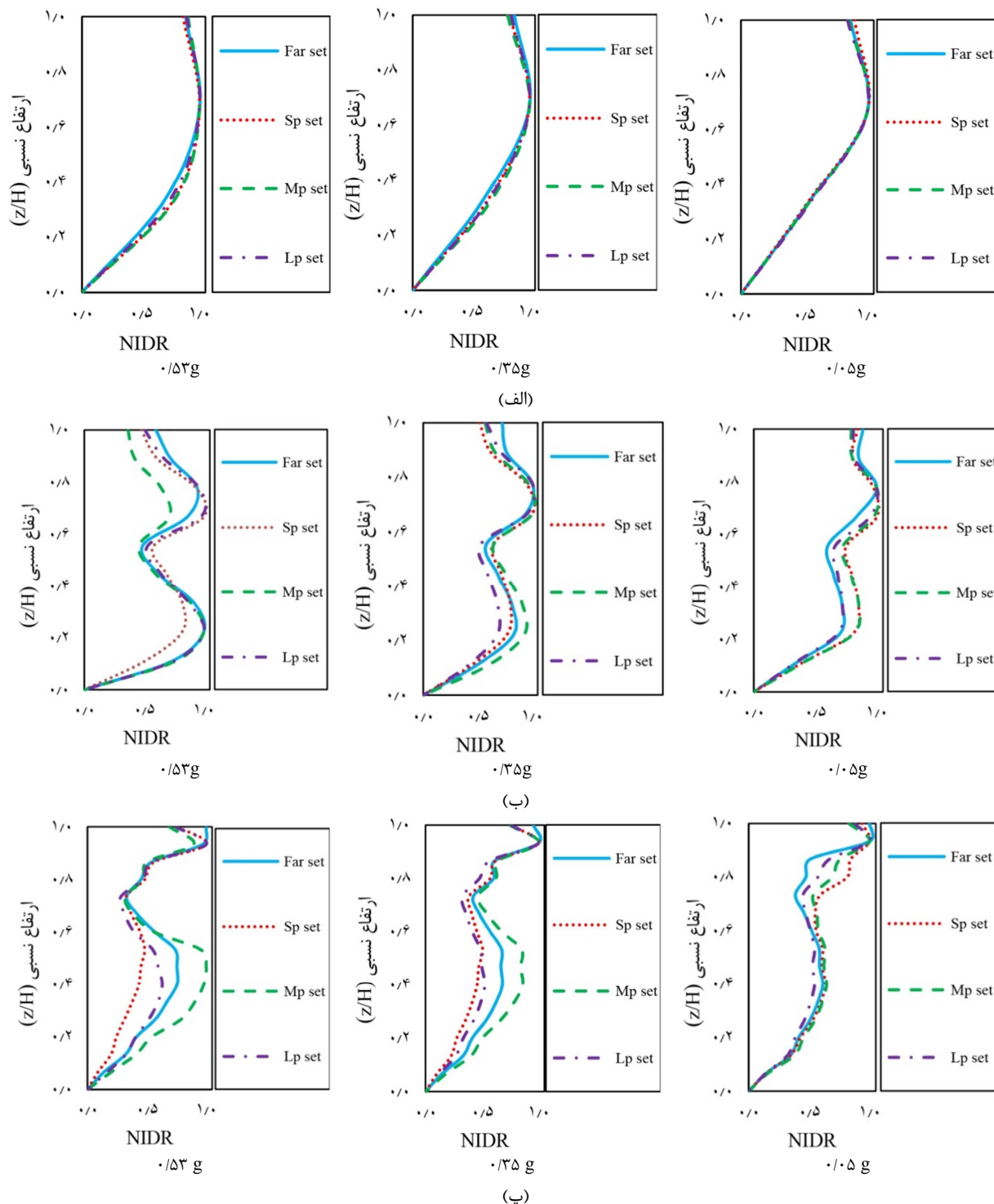
## ۶- بحث و نتایج

در شکل ۳، نمودار توزیع تغییرمکان نرمال شده سازه‌ها ارائه شده است. در این نمودارها منظور از  $Z$  ارتفاع هر طبقه و  $H$  ارتفاع کلی ساختمان است. در شکل ۴ نیز نمودار حداکثر تغییرمکان بین طبقه‌ای سازه‌ها ارائه شده است. براساس نمودارها، الگوی توزیع تغییرمکان در سازه‌های نمونه متفاوت بوده که بخشی به دلیل اختلاف در مشخصات هندسی سازه‌ها و درصد مشارکت مودهای

<sup>۸</sup>- Force Base Control

<sup>۹</sup>- Displacement Base Control



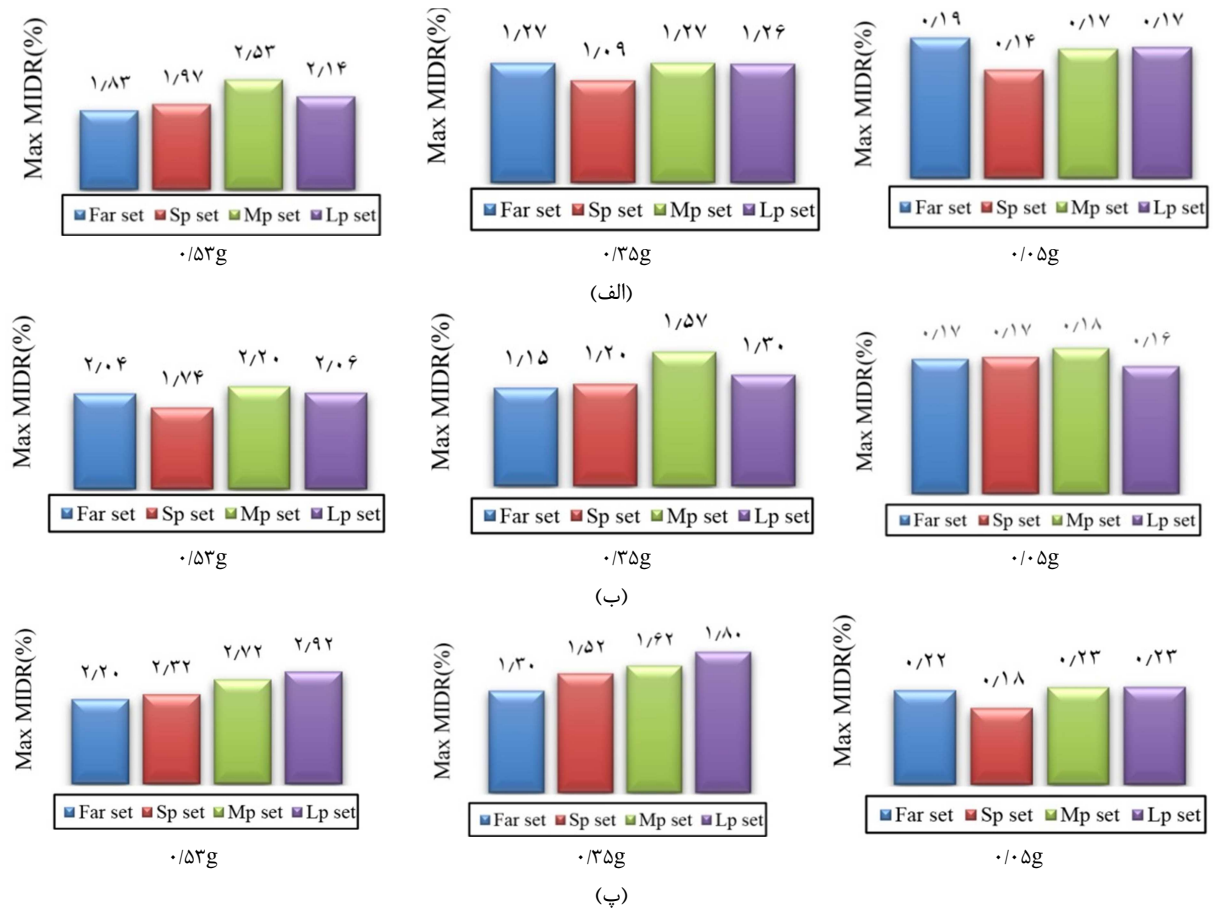


شکل ۳- نمودار توزیع تغییرمکان نرمال شده سازه (الف) ۳، (ب) ۹ و (پ) ۱۵ طبقه با حداکثر شدت لرزه‌ای‌های مختلف

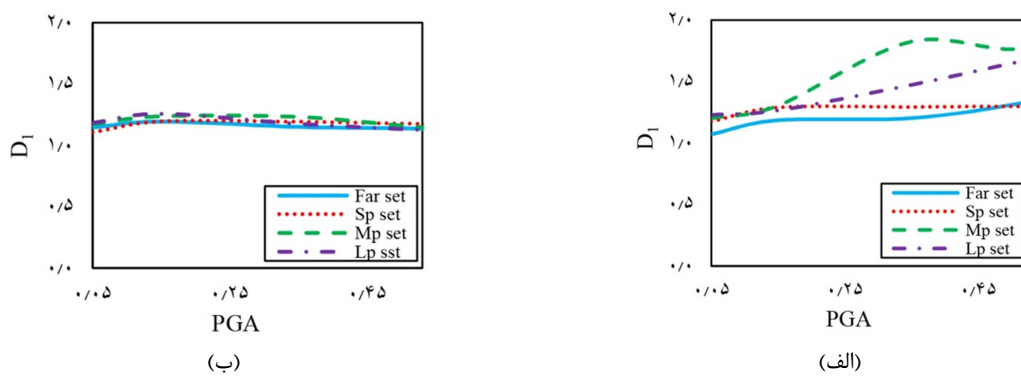
با افزایش ارتفاع سازه و افزایش تأثیر موده‌های بالاتر، در سازه ۱۵ طبقه روند تغییرات  $D_1$  افزایشی بوده و حداکثر مقدار آن توسط شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط ایجاد شده است. این درحالی است که در شدت‌های

در شکل ۵، نمودار پارامتر  $D_1$  برحسب شدت لرزه‌ای برای سازه‌های ۳ و ۱۵ طبقه ارائه شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش شدت لرزه‌ای نسبت حداکثر تغییرمکان بین طبقه‌ای به تغییرمکان بین طبقه‌ای بام در سازه سه طبقه تقریباً یکنواخت بوده، اما

لرزه‌ای کمتر از ۰/۲g، پاسخ سازه به تمامی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالسی شکل تقریباً یکسان است.



شکل ۴- نمودار حداکثر تغییر مکان بین طبقه‌های سازه (الف) ۳، (ب) ۹ و (پ) ۱۵ طبقه با حداکثر شدت لرزه‌ای‌های مختلف



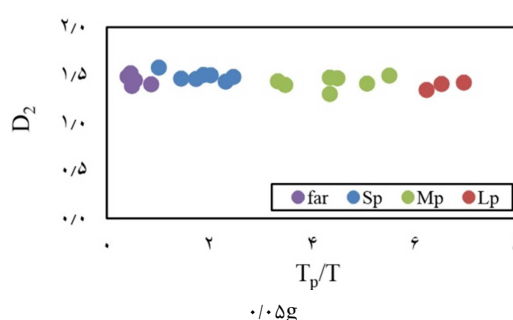
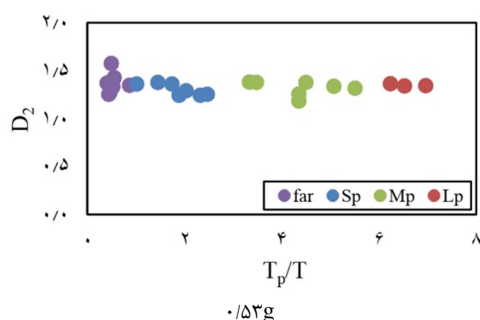
شکل ۵- نمودار پارامتر  $D_1$  بر حسب شدت لرزه‌ای در سازه (الف) ۱۵ و (ب) ۳ طبقه

در شکل ۶، نمودار پارامتر  $D_2$  بر حسب نسبت پریود پالس به پریود سازه‌ها برای سطح رفتار ارتجاعی و سطح خطر بسیار شدید رسم شده است. مشاهده می‌شود که در سطح ارتجاعی معادل ۰/۰۵g، در سازه‌های کوتاه میزان تأثیر شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای بر پارامتر  $D_2$  با افزایش نسبت  $T_p/T$  یکسان بوده و با افزایش ارتفاع سازه‌ها تأثیر

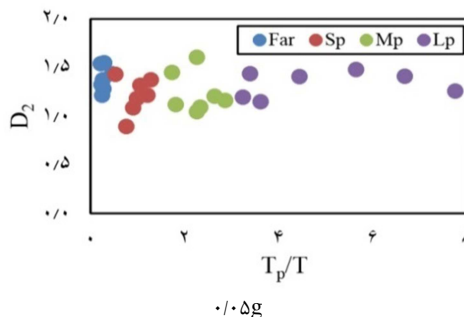
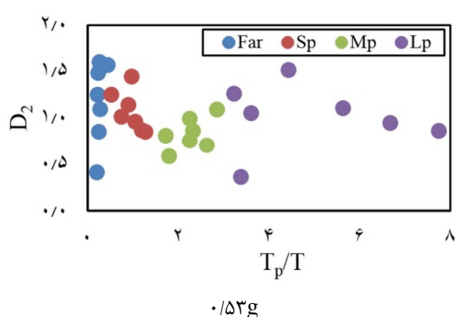
پریود پالس بر نحوه توزیع نیاز تغییر مکانی مشهودتر است. با افزایش شدت لرزه‌ای به ۰/۵۳g، پراکندگی پاسخ‌ها بیشتر شده و در بسیاری از شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پارامتر  $D_2$  به مقدار کمتر از یک تقلیل می‌یابد. شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس کوتاه و فاقد اثر پالسی در اکثر سازه‌ها مقادیری بیش از یک و یا برابر یک (که

اغلب حداکثر نیازهای تغییرمکانی را در طبقات بالایی سازه‌ها ایجاد می‌کنند.

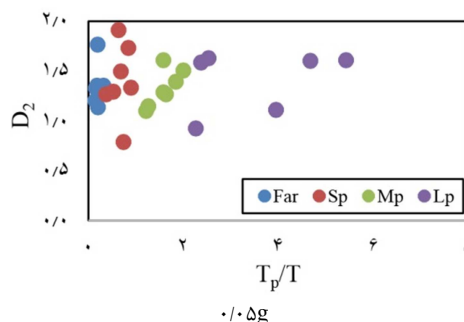
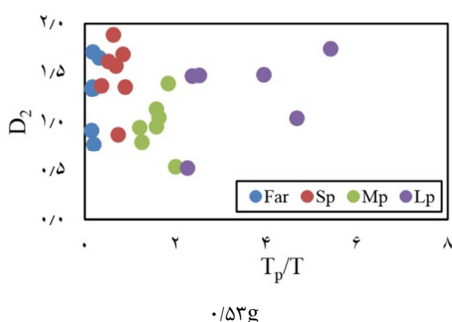
معادل توزیع یکسان نیاز تغییرمکانی در نیمه بالا و پایین سازه است) دارند که به این معنی می‌باشد شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس کوتاه و فاقد اثر پالسی



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۶- نمودار پارامتر  $D_2$  برحسب  $\frac{T_p}{T}$  در سازه (الف) ۳، (ب) ۹ و (پ) ۱۵ طبقه با حداکثر شدت لرزه‌ای های مختلف

## ۷- نتیجه‌گیری

۲- در شدت لرزه‌ای  $0.5g$  حداکثر تغییرمکان در طبقات بالایی سازه‌ها ایجاد شده و با افزایش شدت لرزه‌ای موقعیت حداکثر تغییرمکان به سمت طبقات پایینی حرکت کرده است.  
 ۳- در شدت‌های لرزه‌ای کمتر از  $0.2g$ ، پاسخ سازه‌ها به مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای یکسان است. با افزایش شدت لرزه‌ای به مقادیری بیش از  $0.2g$ ، پاسخ سازه‌های متأثر از مودهای بالا به مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای متفاوت بوده و

۱- در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه کوتاه‌مرتبه بدون هیچگونه نامنظمی و بر یک بستر سنگی، تحت ۲۸ شتاب‌نگاشت لرزه‌ای انتخابی در این تحقیق، اختلاف میان الگوی توزیع تغییرمکان تحت مجموعه شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای ناچیز بوده و با افزایش ارتفاع و افزایش تأثیر مودهای بالاتر، اختلاف میان پاسخ قاب‌ها به شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای بیشتر می‌شود.

و حداکثر تغییرمکان‌ها در طبقات فوقانی رخ داده است. با افزایش ارتفاع این قاب‌ها و افزایش تأثیر موده‌های بالاتر، تأثیر پریود پالس رکودها و شدت لرزه‌ای محسوس می‌شود و شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مختلف، پاسخ‌های متفاوتی ایجاد می‌کنند؛ بنابراین در برآورد الگوی توزیع تغییرمکان در ارتفاع این قاب‌ها، علاوه بر مشخصات هندسی، مشخصات مصالح و مشخصات فرکانسی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای، شدت لرزه‌ای زمین نیز تأثیرگذار است.

تأثیر پالسی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای مشهودتر است.  
۴- در شدت لرزه‌ای  $0.53g$ ، پراکندگی پاسخ سازه‌ها به شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالسی زیاد است و شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای پالس متوسط موقعیت حداکثر تغییرمکان را به سمت طبقات میانی و پایین انتقال می‌دهند.  
۵- به طور کلی در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه کوتاه‌مرتبه مورد بررسی در این مقاله، تأثیر تمامی شتاب‌نگاشت‌های لرزه‌ای تقریباً برابر بوده

## References

- [1] Lin, K. C., Lin, C. C. J., Chen, J. Y., & Chang, H. Y. (2010). Seismic reliability of steel framed buildings. *Structural safety*, 32(3), 174-182. doi: 10.1016/j.strusafe.2009.11.001
- [2] Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). Direct displacement-based seismic design of structures. In *NZSEE conference*, 1-23.
- [3] Tzimas, A. S., Karavasilis, T. L., Bazeos, N., & Beskos, D. E. (2013). A hybrid force/displacement seismic design method for steel building frames. *Engineering Structures*, 56, 1452-1463. doi: 10.1016/j.engstruct.2013.07.014
- [4] Gupta, A., & Krawinkler, H. (2000). Estimation of seismic drift demands for frame structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 29(9), 1287-1305. doi: 10.1002/1096-9845(200009)29:9<1287::AID-EQE971>3.0.CO;2-B
- [5] Haddad Shargh, F., & Hosseini, M. (2011). An Optimal Distribution of Stiffness over the Height of Shear Buildings to Minimize the Seismic Input Energy. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 13(1), 25-32.
- [6] Karavasilis, T. L., Makris, N., Bazeos, N., & Beskos, D. E. (2010). Dimensional response analysis of multi-story regular steel MRF subjected to pulselike earthquake ground motions. *Journal of structural engineering*, 136(8), 921-932. doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000193
- [7] Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., & Cofer, W. F. (2011). Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. *Engineering Structures*, 33(3), 767-779. doi: 10.1016/j.engstruct.2010.11.032
- [8] Zamani, A. M., Pahlavan, H., Shamekhi Amiri, M., & Rafiee, F. (2022). Probabilistic Seismic Assessment of RC Tall Regular Buildings Having Special Moment Frames Subjected to Long-period Earthquakes. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(4), 270-291. doi: 10.22065/jsce.2021.281122.2421 [In Persian]
- [9] Daneshjo, F., & Badarloo, B. (2008). Nonlinear Dynamic Behavior of Off-Axis Steel Frames under the Influence of Near-Fault Earthquakes. *Structure and Steel*, 4(2), [In Persian]
- [10] Monfaredi, S. (2019). Investigating the Effect of the Location of the Building in Relation to the Fault on the Amount of Damage to the Structure in the Area Near the Fault, *Anoshirvan University*. [In Persian]
- [11] Goudarzi, F., Saberi, V., Saberi, H., & Sadeghi, A. (2020). Investigation the Pulse Period Effect on Seismic Damage Distribution Pattern in Special Steel Moment-Resisting Frame Structures. *Journal of Structure & Steel*, 14(30), 5-18. doi: 20.1001.1.1735515.1399.1399.30.2.3 [In Persian]
- [12] Siahpolo, N., Gerami, M., & VahdanI, R. (2022). Evaluation of the Inelastic Deformation Demands in Regular Steel Frames by Comparing the Results of the Pushover Method with the Nonlinear Time Histories Analysis Under the Near-Fault Pulse-type Earthquake. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 52(106), 93-108. doi: 10.22034/jcee.2019.9255 [In Persian]
- [13] Razi, M., Gerami, M., Vahdani, R., & Farrokhsahi, F. (2019). Seismic Fragility Assessment of Steel SMRF Structures under Various Types of Near and Far Fault Ground Motions. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 7(2), 86-100. doi: 10.22075/jrce.2018.11039.1179 [In Persian]
- [14] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). Available from: <https://ngawest2.berkeley.edu>.

- [15] Road, Housing and Urban Development Research Center. Available from: <https://www.bhrc.ac.ir>.
- [16] SeismoStruct (2021). A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, SeismoSoft's Ltd.
- [17] Leyendecker, E. V., Hunt, R. J., Frankel, A. D., & Rukstales, K. S. (2000). Development of maximum considered earthquake ground motion maps. *Earthquake Spectra*, 16(1), 21-40. doi: **10.1193/1.1586081**
- [18] Shahi, S. K., & Baker, J. W. (2014). An efficient algorithm to identify strong-velocity pulses in multicomponent ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(5), 2456-2466. doi: **10.1785/0120130191**
- [19] Kumar, M., Stafford, P. J., & Elghazouli, A. Y. (2013). Influence of ground motion characteristics on drift demands in steel moment frames designed to Eurocode 8. *Engineering structures*, 52, 502-517. doi: **10.1016/j.engstruct.2013.03.010**
- [20] Scott, M. H., & Fenves, G. L. (2006). Plastic hinge integration methods for force-based beam-column elements. *Journal of Structural Engineering*, 132(2), 244-252. doi: **10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:2(244)**
- [21] Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1804-1826. doi: **10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)**
- [22] Silva Moura Pinho, R. J., & Elnashai, A. S. (2000). Dynamic collapse testing of a full-scale four storey RC frame. *ISCT Journal of earthquake Technology*, 37, 143-164.