

Direct Displacement Based Design of RC Frame With Based Isolation

Emad Azimi¹, Pasha Javadi^{2*}, Masoud Nekouei²

1- Master Student of Earthquake Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

From long time ago, various solutions have been proposed to reduce earthquake damages, including increasing ductility and reducing structural mass. New methods are based on separating the structure from the foundation, to reduce the shear force of the base of the structure. In other words, seismic isolation is a new method for designing buildings against earthquakes, which is based on reducing the forces entering the structure due to earthquakes, instead of increasing the capacity of the structure to withstand lateral loads. This paper is a focused on the study of the effect of the placement of rubber separators with lead cores in the behavior of reinforced concrete structures under the influence of remote earthquakes. Therefore, for rubber separators with lead core in two samples of concrete structures of 3 and 5 floors, a double damping of 10 and 15% has been considered. Separating structures and fixed base structures were modeled in "Opensees" software. Afterwards, under the influence of distant earthquakes, a time history analysis was performed on them. Finally, the results of time history analysis for designs by force and direct displacement method are exposed, which include, maximum drift of floors, maximum shear of base and period of structures. Results obtained from the analysis of time history show that with the increase of the rotation time, the shear of the bases and the maximum drift in the buildings with isolators designed by direct displacement method are more than the buildings designed by force method. Buildings with separators designed by direct displacement method have sections with less capacity than buildings designed by force method.

ARTICLE INFO

Receive Date: 29 October 2021

Revise Date: 25 November 2022

Accept Date: 18 February 2022

Keywords:

Base Isolation

Lead Rubber Base Isolation

Design Based on Direct Displacement

Design Based on Force

Time History Analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.304605.2572>

*Corresponding author: Pasha Javadi.

Email address: javadi@srbiau.ac.ir

طراحی بر اساس جابجایی مستقیم در قاب های بتن آرمه همراه جداساز لرزه ای

عماد عظیمی^۱، پاشا جوادی^{۲*}، مسعود نکویی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

از دیر باز برای کاهش خسارت های ناشی از زلزله راه کار های متفاوتی بیان شده است، از جمله افزایش شکل پذیری و کاهش جرم سازه. روش های نوین بر اساس جدا کردن سازه از پی بوده تا نیروی برش پایه ی سازه کاهش یابد. به عبارت دیگر جداسازی لرزه ای یک روش نوین برای طراحی ساختمان ها در برابر زلزله است که مبنای آن کاهش نیروهای وارد به سازه در اثر زمین لرزه، به جای افزایش ظرفیت سازه برای تحمل بارهای جانبی می باشد. در این مقاله قرار دادن جداساز لاستیکی با هسته سربی در رفتار سازه های بتن آرمه تحت اثر زلزله های حوزه دور مورد بررسی قرار گرفته شده است. از این رو برای جداساز های لاستیکی با هسته سربی در دو نمونه سازه های بتنی^۳ و ۵ طبقه، دو میرایی ۱۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. سازه های دارای جداساز و سازه های پایه ثابت در نرم افزار *Opensees* مدل گردیده و تحت اثر زلزله های دور، تحلیل تاریخچه زمانی روی آن ها انجام گرفته شده است. در نهایت نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی برای طراحی به روش نیرویی و جابجایی مستقیم، قرار داده شده که شامل، ماکزیمم دررفت طبقات، ماکزیمم برش پایه و پیوند سازه ها می باشد. نتایج بدست آمده از تحلیل های تاریخچه زمانی، نشان داده با افزایش زمان تناوب، برش پایه ها و ماکزیمم دررفت در ساختمان های دارای جداساز طراحی شده به روش جابجایی مستقیم بیشتر از ساختمان های طراحی شده به روش نیرویی هستند. ساختمان های دارای جداساز طراحی شده به روش جابجایی مستقیم دارای مقاطع با ظرفیت کمتری نسبت به ساختمان های طراحی شده به روش نیرویی هستند.

کلمات کلیدی: جداساز لرزه ای، جداساز لاستیکی سربی، طراحی بر اساس جابجایی مستقیم، طراحی بر اساس نیرو، تحلیل تاریخچه زمانی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.304605.2572	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2022.304605.2572	۱۴۰۱/۱۰/۳۰	۱۴۰۰/۱۱/۲۹	۱۴۰۰/۱۱/۲۹	۱۴۰۰/۰۹/۰۴	۱۴۰۰/۰۸/۰۷
				*نویسنده مسئول:		
				پست الکترونیکی:		
				پاشا جوادی		
				javadi@srbiau.ac.ir		

۱- مقدمه

به طور کلی جدا کننده های لرزه ای به سیستم هایی اطلاق می شوند که بتوانند سازه مورد نظر را از حرکات زمین مجزا نمایند. اساساً با جدا کردن کامل سازه و قرار دادن آن روی تعدادی غلتک بدون اصطکاک می توان از انتقال حرکات افقی زلزله به سازه جلوگیری نمود. اما در این حالت هیچ کنترلی روی حرکات افقی سازه به صورت جسم صلب در اثر نیروهای جانبی کوچک نظیر باد وجود ندارد. اساس این روش کاهش پاسخ ها به وسیله افزایش زمان تناوب و میرایی در سازه است. بنابراین هدف از جداسازی، کاهش موثر شتاب و تغییر مکان سازه می باشد. تکیه گاه لاستیکی طبیعی برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ جهت محافظت از ساختمان مدرسه هایی در کوبجه^۱ مورد استفاده قرار گرفت. تکیه گاه فوق از تعدادی بلوک لاستیکی بدون صفحات فلزی تشکیل شده است، که تحت اثر وزن سازه چیزی در حدود ۲۵ درصد متراکم می گردد. تکیه گاه دارای سختی قائمی است که این سختی ضریب کوچکی از سختی افقی می باشد. لاستیک ها نیز نسبتاً بدون میرایی هستند. هر چند تکنولوژی جداگرهای ارتعاشی نسبتاً جدید می باشند، اما بررسی و مطالعات فراوانی در این زمینه انجام گرفته که به عنوان نمونه میتوان به تحقیقات زیر اشاره نمود.

دیوید لی (سال ۱۹۸۰)، تاثیر جداساز لرزه ای پایه در کاهش پیچش سازه های نامتقارن تحت بار زلزله را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان می دهد که سیستم جداساز، موجب کاهش لنگر و نیروهای برشی ساختمان نامتقارن جداسازی شده می شود [۱].

چانگ و همکاران (سال ۱۹۹۰)، به بررسی اثر جداسازی بر روی سازه ها توسط آزمایشات میز لرزه توجه داشته اند و استفاده از آن را بیشتر در سازه هایی که بر روی خاک سخت بنا می شوند، توصیه نموده اند [۲].

آلهان و آلتون (سال ۲۰۰۹)، به بررسی عملکرد رفتار غیر خطی سیستم های جداسازی لرزه ای پرداخته اند. نتایج نشان می دهد، استفاده از سیستم های جداساز لرزه ای باعث کاهش شتاب طبقات، جابجایی نسبی طبقات و برش پایه به واسطه افزایش پیوند سازه می شوند [۳].

کاردون و همکاران (سال ۲۰۱۰)، به بررسی طراحی جابجایی مستقیم در سیستم های جداسازی لرزه ای پرداخته اند. نتایج نشان می دهد، استفاده از سیستم های جداساز لرزه ای طراحی شده به روش جابجایی مستقیم، باعث کاهش شتاب بیشتر طبقات نسبت به روش نیرویی و برش پایه به واسطه افزایش پیوند سازه می شوند [۴].

کومور (سال ۲۰۱۵)، به بررسی اثرات طبقه نرم بر روی پاسخ جداساز لاستیکی با هسته سربی پرداخته، که نشان داد اثرات طبقه نرم بر روی سازه جداسازی شده بسیار ناچیز است [۵].

آرتی و همکاران (سال ۲۰۱۶)، به مقایسه پاسخ های دو جداساز متفاوت نسبت به هم پرداخته اند. جداساز های مورد بررسی آنها جداساز لاستیکی با هسته سربی و جداساز لرزه ای پاندولی اصطکاکی بوده اند. نتایج آن ها نشان داده که جداساز لاستیکی با هسته سربی نسبت به جداساز لرزه ای پاندولی اصطکاکی، برش پایه و دررفت کمتری را ایجاد می نماید [۶].

در این مقاله تاثیر جداساز های لاستیکی با هسته سربی، در قاب های بتن آرمه طراحی شده به روش جابجایی مستقیم و نیرویی، تحت اثر زلزله های حوزه دور مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته شده است. برای جداسازها، دو نمونه سازه های ۳ و ۵ طبقه جداسازی شده با میرایی های ۱۰ و ۱۵ درصد و همچنین سازه های با پایه ثابت انتخاب شده است. با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی، زلزله های مقیاس شده به سازه ها اعمال گردیده است. در نهایت با دریافت پاسخ های مربوطه و دسته بندی و ارائه مطلوب بر روی منحنی های تحلیل تاریخچه زمانی، این پاسخ ها مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفته تا رفتار این گونه سازه ها هر چه بیشتر و عمیق تر روشن شود.

۲- روش جابجایی مستقیم در قاب های دارای جداساز

روش طراحی جابجایی مستقیم یکی از جدیدترین روش های طراحی براساس تغییر مکان می باشد که توسط پرستلی [۷] پیشنهاد شده است. این روش به عنوان یک روش طراحی لرزه ای در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این روش از سختی

¹ Skopje, in North Macedonia

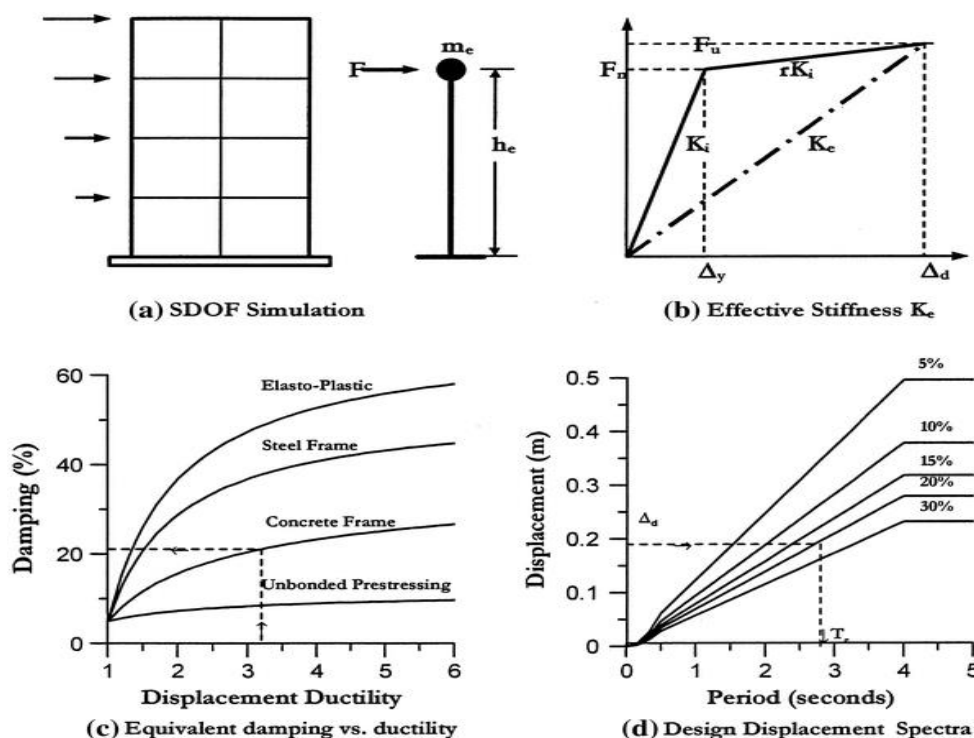
سکانتی برای به دست آوردن تغییر مکان ماکزیم استفاده شده و مطالعات گسترده ای به منظور بهبود ضوابط این روش و نحوه اعمال آن بر روی انواع مختلف سازه ها انجام شده است [۸] و [۹]. روش جابجایی مستقیم DDBD^۲ در ابتدا برای طراحی ستون های پل، که به راحتی به صورت سازه های یک درجه آزادی مدل می شدند ارائه شده است. سپس این روش برای طراحی سیستم های چند درجه آزادی پل ها (پل های چند دهانه) و برای قاب های خمشی نیز گسترش یافته است. اساس روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان در شکل ۱ نشان داده شده است. در این روش از یک سازه یک درجه آزادی جایگزین به جای یک قاب ساختمان استفاده می شود. شکل ۱- a مشخصات این سازه یک درجه آزادی جایگزین که براساس پیشنهاد شیباتا و سوزن^۳ که در سال ۱۹۷۶ [۱۰] ارائه شده است، در نظر می گیرد. پوش دو خطی نیروی جانبی و تغییر مکان سازه یک درجه آزادی جایگزین SDOF^۴ در شکل ۱- b نشان داده شده است. K_i سختی الاستیک اولیه و K_i سختی پس از تسلیم می باشد. در طراحی لرزه ای بر اساس نیرو از خصوصیات سازه در حالت الاستیک و پیش از تسلیم (سختی اولیه K_i میرایی الاستیک) استفاده می شود، در حالی که روش طراحی مستقیم براساس تغییر مکان (DDBD) از سختی ثانویه K_e در تغییر مکان ماکزیم Δd (شکل ۱- b) از میرایی ویسکوز معادل ξ که نشان دهنده ترکیبی از میرایی الاستیک و انرژی هستیرتیک جذب شده می باشد در طی پاسخ دهی غیرالاستیک سازه است، استفاده می کند. با توجه به شکل ۱- c برای یک سطح معین از شکل پذیری، سازه های فولادی با مقاطع فشرده، میرایی ویسکوز معادل بیشتری نسبت به سازه های بتن مسلح خواهند داشت [۱۱]. بعد از به دست آوردن تغییر مکان معادل و میرایی متناسب با آن، پریود موثر T_e در تغییر مکان معادل، از روی نمودارهای طیف پاسخ تغییر مکان که برای سطوح مختلف میرایی ترسیم شده اند و در شکل ۱- d نشان داده شده است قرائت می شود. مفاهیم طراحی ساده می باشد و پیچیدگی های موجود مربوط به دست آوردن مشخصات سازه جایگزین و به دست آوردن تغییر مکان طراحی و طیف تغییر مکان طراحی می باشد. موارد دیگری که باید به دقت مورد توجه قرار بگیرند عبارتند از نحوه توزیع نیروی برش پایه VBase و تحلیل سازه با توجه به نیروهای لرزه ای توزیع شده است. یک تفاوت قابل توجه روش جابجایی مستقیم نسبت به روش طراحی براساس نیرو، این است که روش طراحی مستقیم براساس تغییر مکان یک سری طیف پاسخ لرزه ای برای سطوح مختلف میرایی ویسکوز را به کار می گیرد، (شکل ۱- d) در حالی که در اکثر آیین نامه ها طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵ درصد پذیرفته شده و به کار گرفته می شود.

تغییر مکان طراحی طبقات مختلف قاب های بتن آرمه و سازه های دارای جداساز، در روابط زیر آمده است. $i=1$ تا n نشان دهنده شماره طبقات قاب ها است. رابطه مورد استفاده برای محاسبه تغییر مکان طراحی قاب طبقات، رابطه ۱ و ۲ و برای سازه های دارای جداساز لرزه ای رابطه ۳ برقرار است. پس از تعیین تغییر مکان نسبی بحرانی (دریافت)، تغییر مکان طراحی Δi در طبقات مختلف i ام از روابط زیر قابل محاسبه هستند:

² Direct Displacement Based Design

³ Shibata and Sozen

⁴ Single degree of freedom



شکل ۱: کلیات روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان [۱۰]

• سازه قاب بتن آرمه [۱۲]

$$\Delta_i = \theta_d h_i \quad n \leq 4 \quad (۱)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \cdot \left(1 - \frac{0.25 h_i}{h_n}\right) \quad n \geq 4$$

• سازه دارای جداساز لرزه ای [۴]

$$\Delta_i = D_D + \theta_d \cdot C_1 \cdot \Phi_i \quad (۲)$$

$$\Phi_i = \text{Cos} \left[\left(\frac{1}{T_r} \right) \left(1 - \frac{h_i}{H} \right) \frac{\pi}{2} \right] - \text{Cos} \left[\left(\frac{1}{T_r} \right) \frac{\pi}{2} \right] \quad (۳)$$

در روابط فوق، Δ_i تغییر مکان طراحی، n تعداد طبقات، h_i ارتفاع طبقه i ام، h_n ارتفاع کلی ساختمان، D_D جابجایی جداساز، θ_d دررفت طراحی (تغییر مکان بحرانی) و Φ_i مود شکل سازه است. C_1 که ضریبی بر اساس نسبت ارتفاع و مود شکل است، به صورت زیر تعیین می شود:

$$C_1 = \frac{h_1}{100 \cdot \Phi_1}$$

با داشتن تغییر مکان طراحی در طبقات مختلف، برای قاب های بتن آرمه و قاب های دارای جداساز به کمک روابط ۱ و ۲، تغییر مکان طراحی (Δ_d)، برای سیستم یک درجه آزاد معادل به صورت زیر محاسبه میشود:

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (۴)$$

که در آن m_i جرم طبقه i ام می باشد.

با در نظر گرفتن مشارکت جرم در مد اصلی، جرم موثر سیستم یک درجه آزاد بصورت ذیر خواهد بود.

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \quad (5)$$

به دلیل اینکه شکل تغییر مکان غیر الاستیک مورد استفاده قرار گرفته، جرم بدست آمده از رابطه فوق، کمی با مشارکت جرم مد اول متفاوت است.

شکل پذیری طراحی برای سازه های پایه ثابت و دارای جداساز از روابط زیر بدست می آید:

• سازه های بتن آرمه با پایه ثابت

$$\mu_e = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (6)$$

$$\Delta_y = \left(\frac{0.5 \cdot \varepsilon_y \cdot l_b}{h_b} \right) \cdot 0.6 h_e \quad (7)$$

• سازه های بتن آرمه با جداساز

$$\mu_e = \frac{\theta_d}{\theta_y} \quad (8)$$

$$\theta_y = \frac{0.5 \cdot \varepsilon_y \cdot l_b}{h_b} \quad (9)$$

در روابطه فوق Δ_y تغییر مکان تسلیم، h_e ارتفاع موثر سازه، θ_y تغییر مکان نسبی تسلیم، θ_d دریفت تسلیم سازه است. l_b و h_b به ترتیب طول دهانه و عمق تیر در هر طبقه و μ_e شکل پذیری سازه می باشد. در شکل ۱-۱ شکل پذیری انواع سازه ها مشخص شده است و با استفاده از آن نیز می توان میرایی سازه را تعیین نمود.

تغییر مکان تسلیم ارائه شده در روابط بالا، یک حالت ساده و بدون در نظر گرفتن شرایطی مانند بی نظمی در قاب ها و تغییرات عمق تیر ها می باشد.

ارتفاع موثر سازه ها از رابطه ی زیر تعیین می شود:

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i H_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (10)$$

در روش طراحی بر اساس جابجایی، نیاز به رابطه ای است که در آن میرایی معادل و شکل پذیری جابجایی به یکدیگر مربوط شوند. میرایی به صورت مجموع میرایی الاستیک و میرایی هیستریزس بیان می شود. معمولاً مقدار میرایی الاستیک برابر با ۵ درصد می باشد. برای اهداف عمومی طراحی مقادیر زیر که توسط پرستلی و بلاندون^۵ پیشنهاد شده، استفاده می شود [۱۱].

• سازه های بتن آرمه با پایه ثابت

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.565 \left[\frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right] \quad (11)$$

⁵ Priestly and Blandon

• سازه های بتن آرمه با جداساز

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.519 \left[\frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right] \quad (12)$$

در شکل ۱ طیف جابجایی طرح، برای سطوح مختلف میرایی ۵ تا ۳۰ درصد نشان داده شده است. این طیف اقتباس از طیف شتاب ۵ درصد طراحی برای خاک سخت و شتاب ماکزیمم $0.4g$ طبق آیین نامه یورو کد ۸ [۱۳] می باشد. مطابق شکل ۱-d برای زمان تناوب 0.5 تا 4 ثانیه طیف جابجایی ۵ درصد، خطی در نظر گرفته می شود. در ثانیه چهارم جابجایی ثابت شده و برای زمان تناوب های بالاتر جابجایی طرح برابر با مقدار طیف در ثانیه چهارم در نظر گرفته می شود. این ایده در ارتباط با این واقعیت بوده که جابجایی ماکزیمم در اکثر موارد بین $1/5$ تا 4 ثانیه اتفاق می افتد و در زمان تناوب های بالاتر کاهش می یابد. توجه شود که در آیین نامه یورو کد ۸ [۱۳] در ثانیه دوم، جابجایی ثابت فرض شده که در این حالت کاملاً غیر محافظه کارانه است. رابطه ی خطی بین جابجایی و زمان تناوب در زمان 0.5 تا 4 ثانیه در طیف جابجایی، رابطه معکوسی است که در تمامی کدها و آیین نامه ها برای طیف شتاب در مقابل زمان تناوب در نظر گرفته می شود. طیف جابجایی طرح را می توان با استفاده از رابطه زیر به صورت جداگانه برای این تحقیق از طیف شتاب استخراج نمود [۱۴].

$$\Delta(T, \xi) = \frac{S(T, \xi) \cdot T^2}{4\pi^2} \quad (13)$$

در این رابطه $\Delta(T, \xi)$ و $S(T, \xi)$ به ترتیب جابجایی و شتاب پاسخ برای میرایی ۵ درصد می باشند. جابجایی برای سطوح مختلف میرایی با استفاده از رابطه زیر از جابجایی برای میرایی ۵ درصد قابل استخراج است.

$$\Delta(T, \xi) = \Delta(T, 5) \cdot \left[\frac{0.07}{0.02 + \xi} \right]^{0.25} \quad (14)$$

این رابطه مطابق پیشنهاد پرستلی برای ایجاد طیف جابجایی در نواحی نزدیک گسل پیشنهاد شده است [۱۵].
پریود موثر T_e متناسب با تغییر مکان حداکثر از روی یک سری نمودار طیف پاسخ تغییر مکان، که برای سطح مختلف میرایی قابل رسم هست بدست می آید. با توجه به شکل ۱-b سختی موثر در تغییر مکان حداکثر، از رابطه زیر به دست می آید.

$$k_e = \frac{4\pi^2 \cdot m_e}{T_e^2} \quad (15)$$

برش پایه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F = V_{Base} = k_e \cdot \Delta_d \quad (16)$$

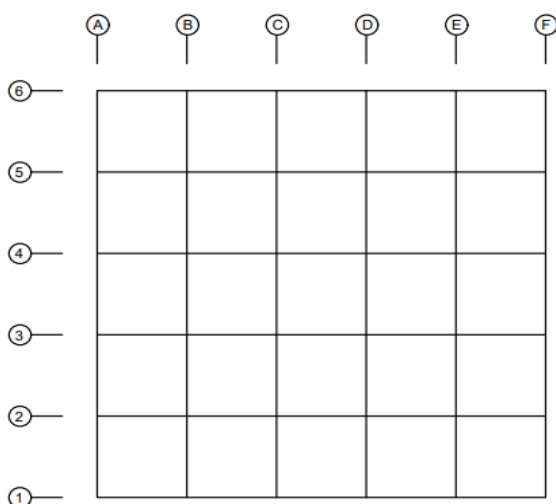
برش پایه بدست آمده از روش فوق بایستی بصورت زیر به نسبت جرم و پروفیل تغییر مکان، بین ترازهای مختلف توزیع شود:

$$F_i = V_B \cdot \frac{m_i \cdot \Delta_i}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (17)$$

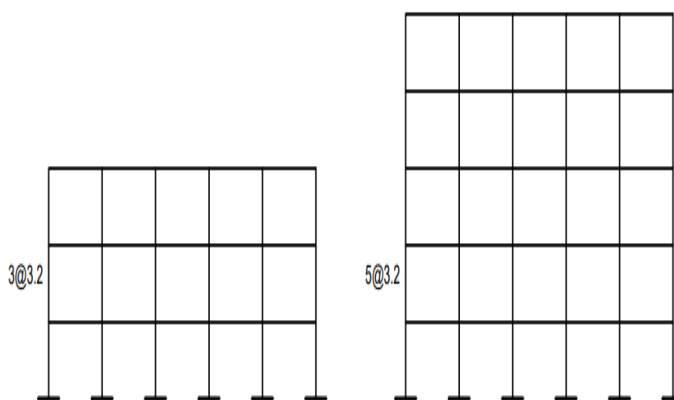
۳- مدل سازی و پارامتر های سیستم

در این تحقیق برای طراحی لرزه ای و ارزیابی عملکرد سیستم باربر جانبی، قاب خمشی در هر دو جهت همراه جداساز لرزه ای استفاده شده است. قاب های مورد مطالعه دو ساختمان بتن مسلح با پلان و ارتفاع طبقات یکسان می باشند. این ساختمان ها بصورت ۳ و ۵ طبقه می باشند که ارتفاع هر طبقه $3/2$ متر در نظر گرفته شده است. دهانه تمامی قاب ها ۵ دهانه به فاصله ۵ متر می باشد. اتصالات همگی صلب بوده و جداساز ها در نرم افزار Opensees مدل شده اند. این سازه ها در محل دارای خطر لرزه خیزی خیلی زیاد و نوع خاک D واقع در شهر کالیفرنیا آمریکا براساس آیین نامه بتن آمریکا ACI318-19 [۱۶] و ضوابط آیین نامه ASCE7-16 [۱۷] و نشریه ۵۲۳

[۱۸] ایران طراحی شده است. تغییر مکان های نسبی بین طبقه ای براساس ضوابط آیین نامه بوده و مقدار ۲ درصد برای سازه های جداسازی شده و ۲/۵ درصد (طبق آیین نامه) برای سازه های با پایه ثابت در نظر گرفته شده است. بارگذاری ثقلی سازه براساس آیین نامه آمریکا صورت گرفته و بارگذاری جانبی براساس آیین نامه زلزله آمریکا ASCE7-16 [۱۷] انجام گرفته است. جرم قاب برای محاسبه زلزله کل بار مرده +۲۰ درصد بار زنده می باشد. نحوه چیدمان پلان سازه و عملکرد قاب ها در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. قاب های A تا F صرفاً جهت باربری ثقلی در نظر گرفته شده اند. قاب ردیف ۴ قاب خمشی مورد مطالعه می باشد. مقاومت فشاری بتن برابر با ۳۵MPa و وزن واحد حجم آن 2500 Kg/m^3 و مدول الاستیسیته بتن 31799 MPa در نظر گرفته شده است. فولاد میلگرد های طولی و عرضی از جنس AIII با مقاوت ۴۰۰ مگاپاسکال فرض شده است. وزن مرده و زنده طبقات به ترتیب برابر با ۹۲۵ و ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع فرض شده است. پارامترهای لرزه خیزی سایت مورد نظر به ترتیب $S_1=0.532g$ و $S_s=1.447g$ می باشد. مقاطع بدست آمده از روش جابجایی مستقیم و نیرویی در جدول ۲ ذکر شده است. برای مدل سازی در نرم افزار Opensees از متریکال Concrete02 برای بتن و متریکال Steel02 برای فولاد استفاده شده است. وزن لرزه ای سازه ی سه طبقه با میرایی ۱۵ درصد به روش نیرویی 26477 KN و روش جابجایی مستقیم 24500 kN و جرم هر طبقه در روش نیرویی 97 ton و روش جابجایی مستقیم 91 ton بدست آمده است.



شکل ۳: قاب های مورد بررسی

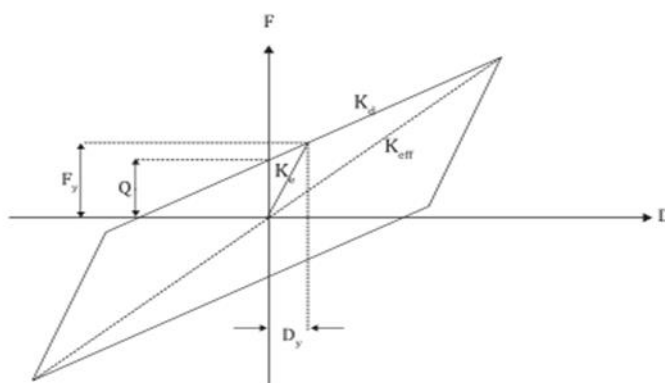


شکل ۲: پلان سازه های مدل شده

۴- جداساز لاستیکی سربی LRB^۶

تکیه گاه های لاستیکی با هسته ی سربی با نمایش رفتاری دوخطی با نرم شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه ای، عملکرد مطلوبی در زمینه ی کنترل توأم لرزه ای خفیف و شدید از خود نشان داده اند. هسته ی سربی این تکیه گاه ها به همراه سختی بخش لاستیکی که در مقایسه با سختی بخش سربی بسیار اندک است، تأمین کننده ی سختی اولیه ی مورد نیاز در نمودار نیرو - تغییرمکان این تکیه گاه ها می باشد. با افزایش میزان بارگذاری، این بخش به حد تسلیم رسیده و سختی بسیار کمی را در مقابل بار جانبی از خود نشان می دهد. این سختی به همراه سختی بخش لاستیکی تکیه گاه، سختی ثانویه را در نمودار نیرو - تغییرمکان از خود نشان می دهد. این رفتار در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۹].

⁶ Lead Rubber Bearing



شکل ۴: رفتار غیر خطی جداساز لاستیکی با هسته سربی [۱۹]

۴-۱ طراحی جداسازها

در این بخش ابتدا روش طراحی جداسازها نگاهشده و بر اساس آیین نامه ASCE7-16 [۱۷] و نشریه ۵۲۳ [۱۸] مشخصات هندسی جداسازهای طراحی شده ارائه می‌گردد. مراحل طراحی جداسازها به این صورت است که ابتدا پریود هدف برای سازه مورد نظر فرض می‌گردد، سپس سختی موثر با استفاده از رابطه ۱۸ به دست می‌آید.

$$k_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{g} \times \frac{W}{TD^2} \quad (18)$$

به طوری که W جمع بار مرده به اضافه ۲۰ درصد بار زنده، g شتاب گرانش زمین، TD همان پریود هدفی است که در ابتدا فرض شده. تغییر مکان طرح در مرکز سختی سیستم جداساز در طول زلزله طرح، با استفاده از رابطه ۱۹ به دست می‌آید.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{SD1 \times TD}{BD} \quad (19)$$

به طوری که $SD1$ ضریب طیفی و BD ضریب میرایی است که از آیین نامه‌های ذکر شده می‌توان این ضرایب را بدست آورد.

$$W_D = 2\pi K_{eff} D_D^2 \beta_{eff} \quad (20)$$

$$Q_D = \frac{W_D}{4D_D} \quad (21)$$

W_D انرژی مستهلک شده در هر سیکل و β_{eff} میرایی موثر جداساز می‌باشد. حال با به دست آمدن Q_D ، سختی الاستیک جداساز K_d را می‌توان با استفاده از رابطه ۲۲ تخمین زد.

$$k_d = k_{eff} - \frac{Q_d}{D_D} \quad (22)$$

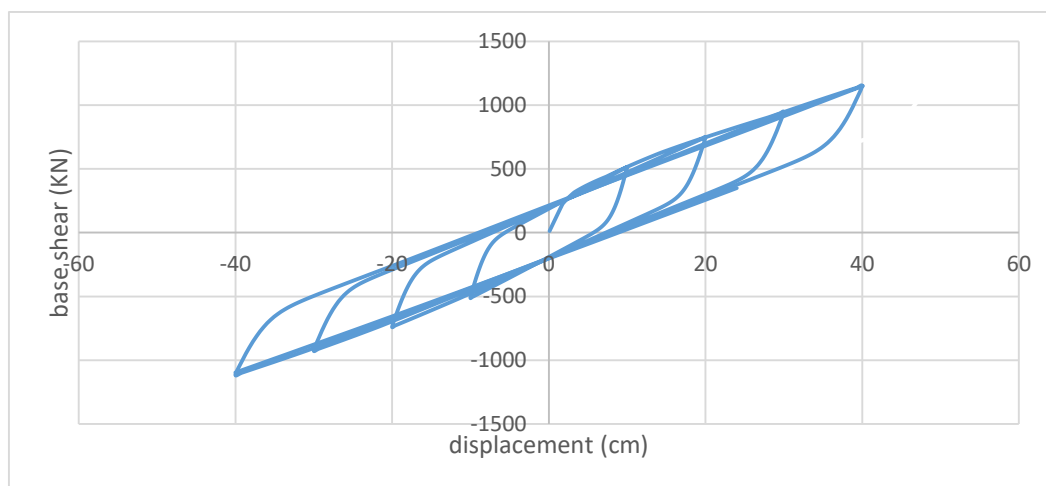
A_p با استفاده از تنش تسلیم و سختی الاستیک جداساز از رابطه ۲۳ به دست می‌آید.

$$Q_d = A_p \times F_{yp} \quad (23)$$

جدول ۱ خصوصیات مکانیکی جداسازهای لاستیکی با هسته سربی با توجه به طراحی انجام شده برای سازه‌ها را نشان می‌دهد. در نرم افزار اپنسیس برای معرفی مصالح جداساز لاستیکی با هسته سربی با توجه به دستور معرفی این مصالح، از مقادیر k_{Dmin} که سختی موثر هر جداگر، β معرف مقدار نسبت سختی الاستیک به سختی پس از تسلیم و DD جابجایی هدف جداساز می‌باشد.

جدول ۱: خصوصیات مکانیکی سیستم جداسازهای لاستیکی با هسته سربی

DD(m)	TD(s)	Qd(Kg)	Kd(Kg/m)	β	Keff(Kg/m)	انواع ساختمان
0/24	1/8	3589	80342	0/1	95681	سه طبقه میرایی ۱۰ درصد
0/22	1/9	4431	65733	0/1	85874	سه طبقه میرایی ۱۵ درصد
0/416	3/2	3392	43340	0/1	51495	پنج طبقه میرایی ۱۰ درصد
0/375	3/3	3392	40410	0/1	49457	پنج طبقه میرایی ۱۵ درصد



شکل ۵: نمودار رفت و برگشتی سازه با جداساز میرایی ۱۵ درصد

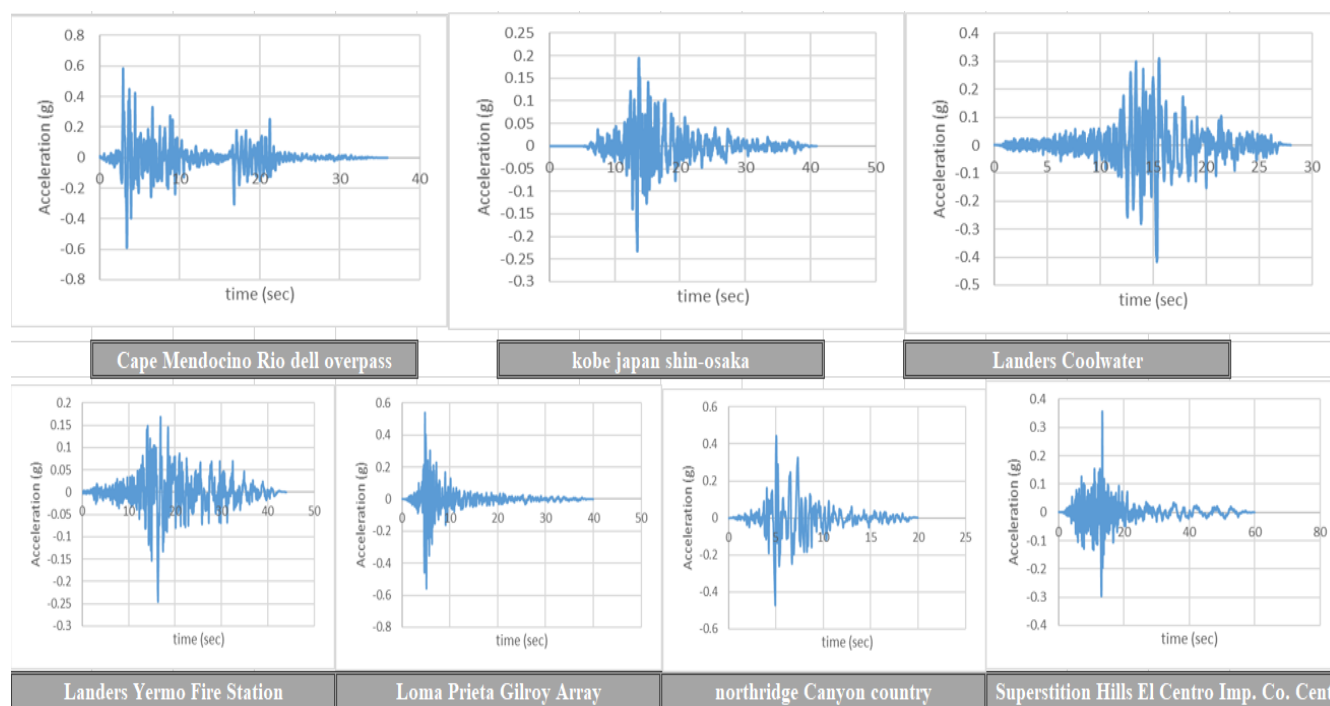
نمودار شکل ۵ مربوط به نمودار هسیتریزیس سازه سه طبقه با میرایی ۱۵ درصد می باشد. برای مدل سازی در نرم افزار Opensees از متریکال KikuchiAikenLRB برای جداسازها استفاده شده است.

جدول ۲: مشخصات مقاطع بدست آمده از روش نیرویی و جابجایی مستقیم

FBD 3 Story(Fix Base)				DDBD 3 Story(Fix Base)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۱	۲۴Φ۲۰	۶۵×۶۵	۵۰×۳۵	۱
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
FBD 3 Story(baseisolation $\xi=10\%$)				DDBD 3 Story(baseisolation $\xi=10\%$)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۲۰Φ۲۰	۶۰×۶۰	۵۰×۳۵	۱	۱۸Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۱
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
FBD 3 Story(baseisolation $\xi=15\%$)				DDBD 3 Story(Fix Base)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۱۸Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۱	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۱
۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲
۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
FBD 5 Story(Fix Base)				DDBD 5 Story(Fix Base)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۲۲Φ۲۰	۶۵×۶۵	۵۰×۳۵	۱	۲۰Φ۲۰	۶۰×۶۰	۵۰×۳۵	۱
۱۸Φ۲۰	۶۰×۶۰	۵۰×۳۵	۲	۱۸Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۲
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۵	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۵
FBD 5 Story(baseisolation $\xi=10\%$)				DDBD 5 Story(baseisolation $\xi=10\%$)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۱۸Φ۲۰	۶۰×۶۰	۵۰×۳۵	۱	۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۱
۱۶Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۲	۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴	۱۴Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۵	۱۶Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۵
FBD 5 Story(baseisolation $\xi=15\%$)				DDBD 5 Story(baseisolation $\xi=15\%$)			
ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه	ارتفاع ستون	ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	طبقه
۱۸Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۱	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۱
۱۶Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۲	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۲
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۳
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴	۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۴
۱۶Φ۲۰	۵۰×۵۰	۵۰×۳۵	۵	۱۶Φ۲۰	۵۵×۵۵	۵۰×۳۵	۵

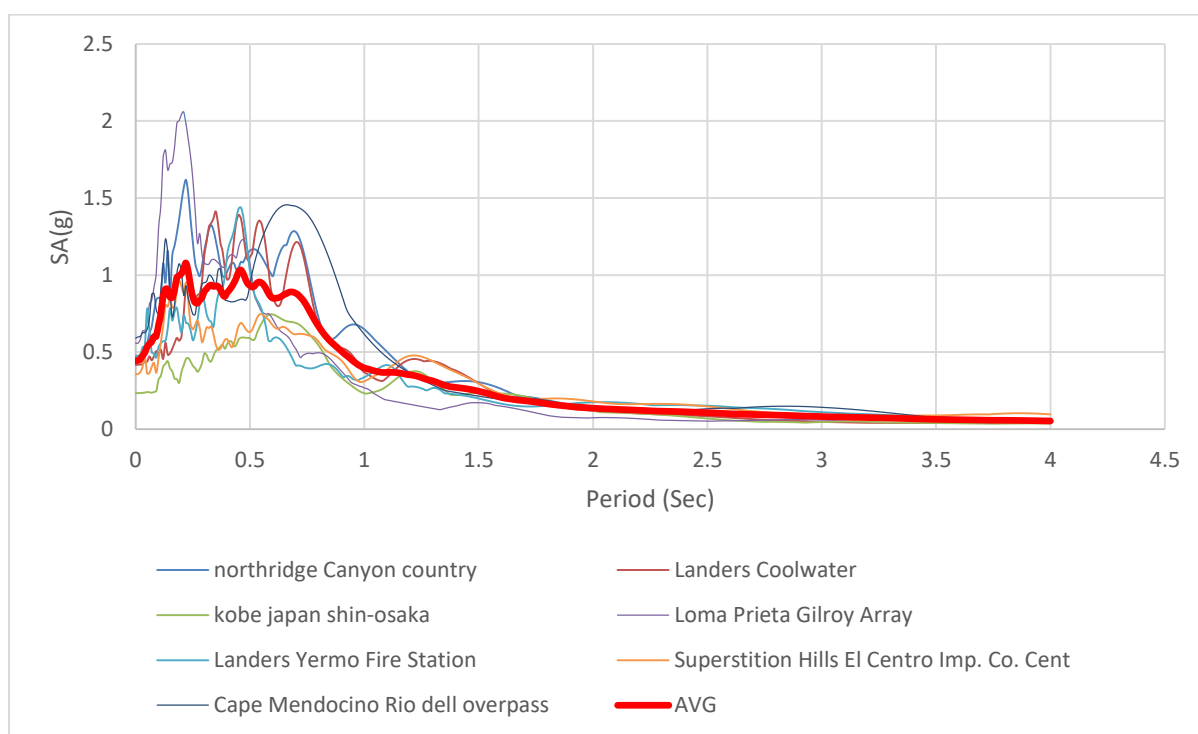
۳- تحلیل سیستم جداسازی شده با شتابنگاشت های حوزه دور

برای بررسی و ارزیابی روش طراحی مستقیم بر مبنای تغییر مکان، لازم است که نتایج این روش با روش هایی که می توانند به عنوان معیار تلقی شوند مورد ارزیابی قرار گیرند. در این صورت لازم است از تحلیل های تاریخچه زمانی غیر خطی تحت رکوردهای زلزله استفاده گردد. بنابراین لازم است که شتابنگاشت های مناسب و سازگار جهت تحلیل تاریخچه زمانی انتخاب شود. در مراجع مختلف از جمله آیین نامه های FEMA440 [۲۰] و FEMAP-695 [۲۱] مجموعه رکوردهای متفاوتی پیشنهاد شده است. از آنجا که هدف در این پروژه، ارزیابی روش طراحی مستقیم بر مبنای تغییر مکان است و این روش مستقل از نحوه انتخاب شتابنگاشت ها می باشد، طبیعتاً برای هر مجموعه از رکوردهای انتخابی، این روش طراحی نتایج مشابهی را خواهد داشت، که در این تحقیق از رکوردهای پیشنهادی آیین نامه FEMAP-695 [۲۱] استفاده شده است. این رکوردها شامل ۲۲ رکورد زلزله مناطق دور از گسل می باشد و ۲۸ رکورد زلزله برای نواحی نزدیک گسل توسط این آیین نامه پیشنهاد شده است. در شکل ۶ نمودارهای رکوردهای انتخابی حوزه دور آورده شده است. تمامی رکوردها براساس طبقه بندی NHRP [۲۱] در کلاس D بوده که متناسب با خاک آیین نامه می باشند. در شکل ۷ طیف پاسخ شتاب رکوردهای اشاره شده نشان داده شده است. با توجه به این که تحلیل به صورت دو بعدی صورت میگیرد از رکوردهای انتخابی مؤلفه افقی که PGA بیشتری دارند انتخاب شده است.



شکل ۶: نمودار های هفت رکورد حوزه دور

مقیاس کردن رکورد های زلزله بر اساس پیشنهادات آیین نامه های طراحی لرزه ای جهت تحلیل غیر خطی سازه ها انجام گرفته شده است. در آیین نامه ASCE7-16 [۱۷] در روش تاریخچه زمانی حداقل سه زوج شتاب نگاشت متناسب با منطقه لازم می باشد که کلیه این شتاب ها به مقدار حداکثر خود مقیاس می شوند. بدین معنی که شتاب حداکثر همه آنها g باشد. سپس پاسخ هر زوج شتابنگاشت با استفاده از روش \sqrt{SRSS} با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود. با توجه به این که تحلیل دو بعدی است بنابراین در این تحقیق از روش SRSS استفاده نشده است. در این حالت ضریب مقیاس (که در شتابنگاشت های مورد نظر ضرب می گردد) چنان انتخاب می شود که متوسط طیف های ترکیبی در محدوده $0.2T$ تا $1/5T$ باشد. بعد از مقیاس شتابنگاشت ها هر شتابنگاشت در امتداد سازه به آن اثر داده می شود و بازتاب های سازه به صورت تابعی از زمان تعیین می گردند. همچنین بر اساس آیین نامه می توان به جای سه شتابنگاشت از هفت شتابنگاشت جهت تحلیل تاریخچه زمانی استفاده کرد، در این صورت متوسط مقادیر بازتاب به عنوان بازتاب نهایی سازه در نظر گرفته خواهند شد. در تحقیق حاضر روش دوم یعنی استفاده از هفت شتاب نگاشت بکار گرفته شده است. مشخصات رکورد هایی که جهت تحلیل تاریخچه زمانی مقیاس شده اند قبلا ذکر گردیده است. ضریب مقیاس سازه سه طبقه با میرایی ۱۵ درصد $1/49$ بدست آمده است.



شکل ۷: طیف پاسخ میانگین مولفه افقی هفت رکورد زلزله منتخب حوزه دور

۴- بررسی و تفسیر نتایج

بعد از بررسی پارامتریک، مقادیر مورد نظر برای هر پارامتر انتخاب شده و نیروی برشی قاب های مورد مطالعه براساس مفاهیم مربوط به هر دو روش FBD^A و $DDBD$ به دست آمده است. در مرحله بعدی نیروی برش به دست آمده بر اساس ضوابط هر روش در ارتفاع قاب ها توزیع شده و قاب های مورد نظر تحلیل و طراحی شده اند. به منظور ارزیابی لرزه ای قاب های مورد مطالعه از آنالیز تحلیل تاریخچه زمانی

⁷ Square root of the sum of the squares

⁸ fix based design

استفاده شده و آنالیزها با نرم افزار Opensees انجام شده اند. این نرم افزار قابلیت مدل کردن مقطع به صورت Fiber را دارا می باشد. تمام مقاطع تیر ها و ستون ها با این نوع مقطع مدل شده اند. برای مدل سازی المان ها از المان غیرخطی تیرستون استفاده شده و در هر المان ۵ مقطع برای کنترل در نظر گرفته شده است. عملکرد سازه ها بر اساس مفهوم روش آنالیز تاریخیچه زمانی ارزیابی شده و نتایج حاصل از آنالیزها در بخش های مربوطه به تفصیل بررسی قرار گرفته.

۱-۴ بررسی پریود سازه

پریود یا دوره تناوب سازه یکی از عوامل مهم در سازه می باشد. همانطور که از جدول زیر دیده می شود، سازه های دارای جداساز پریود بالاتری دارند و با افزایش ارتفاع سازه نیز افزایش می یابد. در سازه های دارای پایه ثابت در روش نیرویی پریود سازه بیشتر از روش جابجایی مستقیم است. اما در سازه های دارای جداساز، پریود سازه در روش نیرویی کمتر از روش جابجایی مستقیم است که این نشان می دهد در سازه ای دارای جداساز مقاطع می تواند بسیار کمتر از روش نیرویی باشند.

جدول ۳: پریود انواع سازه سه طبقه

ساختمان سه طبقه	پریود (ثانیه) روش نیرویی FBD	پریود (ثانیه) روش جابجایی مستقیم DDBD
بدون جداساز	0/468	0/409
دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	1/278	1/338
دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد	1/338	1/404

جدول ۴: پریود انواع سازه پنج طبقه

ساختمان پنج طبقه	پریود (ثانیه) روش نیرویی FBD	پریود (ثانیه) روش جابجایی مستقیم DDBD
بدون جداساز	0/768	0/71
دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	2/271	2/232
دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد	2/397	2/439

۲-۴ بررسی برش پایه سازه با پایه گیردار و جداسازی شده

قاب های دارای جداساز به مراتب برش پایه بیشتری نسبت به قاب بدون جداساز دارند، نشان دهنده این است که تحلیل استاتیکی خطی معادل برای سازه های دارای جداساز مناسب نبوده و علت آن ضریب رفتار $R=2$ انتخاب شده در جداساز می باشد، که ضریب برش پایه افزایش می یابد. چون تحلیل از نوع استاتیکی می باشد، در نتیجه قاب های دارای جداساز دارای برش پایه به مراتب بزرگتری می باشند، بر همین اساس در صورت استفاده از تحلیل استاتیکی، جداساز ها برای استفاده در سازه ها مقرون به صرفه و توجیه اقتصادی ندارند. بعد از تحلیل تاریخیچه زمانی از بررسی جداول زیر که تحت میانگین هفت رکورد زلزله حوزه دور می باشند، نمایان است که برش پایه ی قاب های دارای جداساز کمتر از قاب های بدون جداساز می باشد. و با افزایش ارتفاع به دلیل زیاد شدن پریود سازه ی دارای جداساز، برش پایه بسیار کاهش پیدا خواهد کرد.

جدول ۵: برش پایه قاب دو بعدی انواع سازه سه طبقه

ساختمان سه طبقه	برش پایه (تن) روش نیرویی FBD	برش پایه (تن) روش جابجایی مستقیم DDBD
بدون جداساز	31/2	39
دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	11	10/7
دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد	13/35	13/21

جدول ۶: برش پایه قاب دو بعدی انواع سازه پنج طبقه

ساختمان پنج طبقه	برش پایه (تن) روش نیرویی FBD	برش پایه (تن) روش جابجایی مستقیم DDBD
بدون جداساز	32/15	37/6
دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	15/92	15/79
دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد	16/7	16/49

۳-۴ بررسی جابجایی نسبی (Drift) طبقات در سازه های دارای جداساز و بدون جداساز

از بررسی شکل ها و جداول زیر نمایان است که جابجایی نسبی طبقات در سازه های دارای جداساز بسیار کمتر از سازه های با پایه ثابت هستند. با توجه به جذب نیروی کمتر طبقات سازه های دارای جداساز، جابجایی نسبی کمتری نسبت به سازه های بدون جداساز را دارا می باشند. دریفت طبقات سازه های دارای جداساز طراحی شده به روش جابجایی مستقیم بیشتر از روش نیرویی می باشد. علت آن در کوچک تر بودن مقاطع در این روش می باشد.

جدول ۷: جابجایی نسبی (دریفت) انواع سازه سه طبقه تحت رکورد های حوزه دور در روش نیرویی FBD

ساختمان سه طبقه	بدون جداساز	دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد
دریفت طبقه اول (درصد)	1/41	0/14	0/28
دریفت طبقه دوم (درصد)	1/72	0/21	0/35
دریفت طبقه سوم (درصد)	1/37	0/16	0/25

جدول ۸: جابجایی نسبی (دریفت) انواع سازه سه طبقه تحت رکورد های حوزه دور در روش DDBD

ساختمان سه طبقه	بدون جداساز	دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد
دریفت طبقه اول (درصد)	0/88	0/186	0/36
دریفت طبقه دوم (درصد)	1/73	0/25	0/394
دریفت طبقه سوم (درصد)	1/57	0/18	0/26

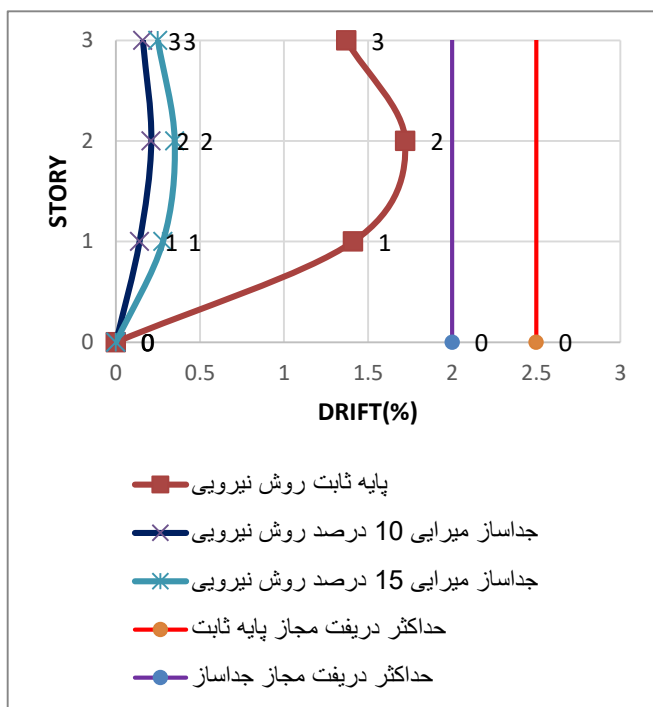
جدول ۹: جابجایی نسبی (دریفت) انواع سازه پنج طبقه تحت رکورد های حوزه دور در روش نیرویی FBD

ساختمان پنج طبقه	بدون جداساز	دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد
دریفت طبقه اول (درصد)	0/914	0/294	0/41
دریفت طبقه دوم (درصد)	1/84	0/5	0/62
دریفت طبقه سوم (درصد)	2/22	0/53	0/614
دریفت طبقه چهارم (درصد)	2	0/43	0/485
دریفت طبقه پنجم (درصد)	1/46	0/25	0/28

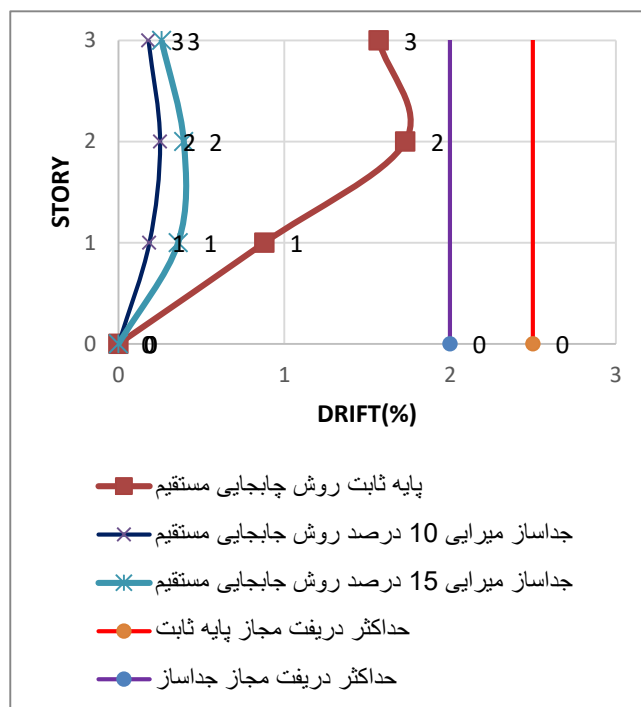
جدول ۱۰: جابجایی نسبی (دریفت) انواع سازه پنج طبقه تحت رکورد های حوزه دور در روش DDBD

ساختمان پنج طبقه	بدون جداساز	دارای جداساز با میرایی ۱۰ درصد	دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد
دریفت طبقه اول (درصد)	0/65	0/4	0/55
دریفت طبقه دوم (درصد)	1/5	0/62	0/62
دریفت طبقه سوم (درصد)	2/02	0/573	0/614
دریفت طبقه چهارم (درصد)	1/85	0/443	0/485
دریفت طبقه پنجم (درصد)	1/59	0/256	0/28

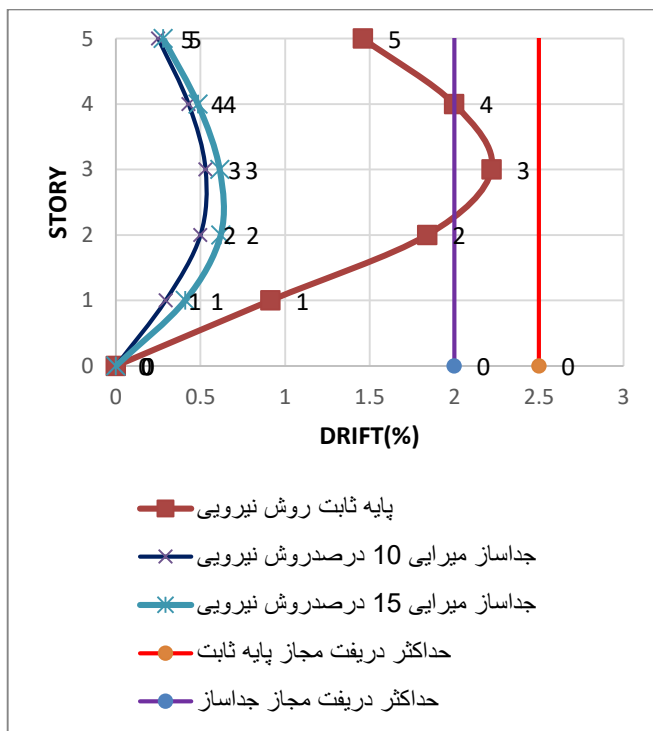
مقادیر بالا بر اساس میانگین هفت رکورد حوزه دور می باشند.



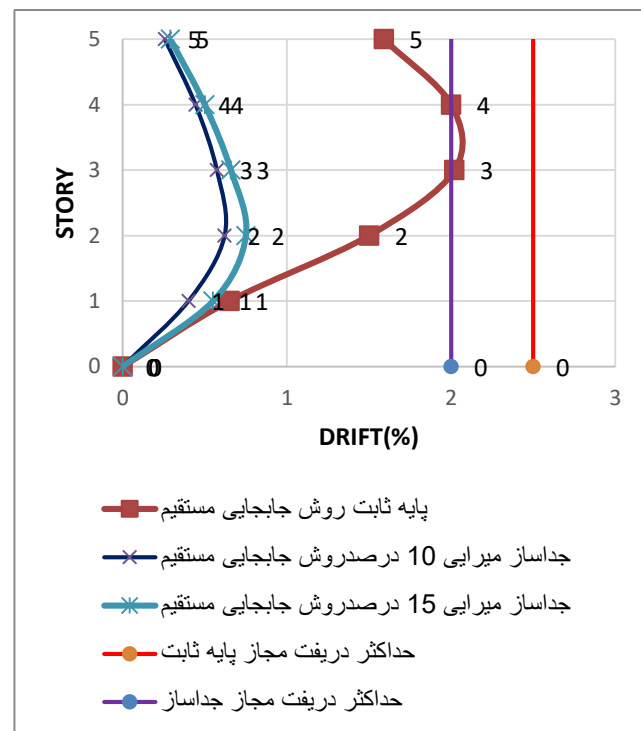
شکل ۹: دریفت سازه سه طبقه در روش نیرویی



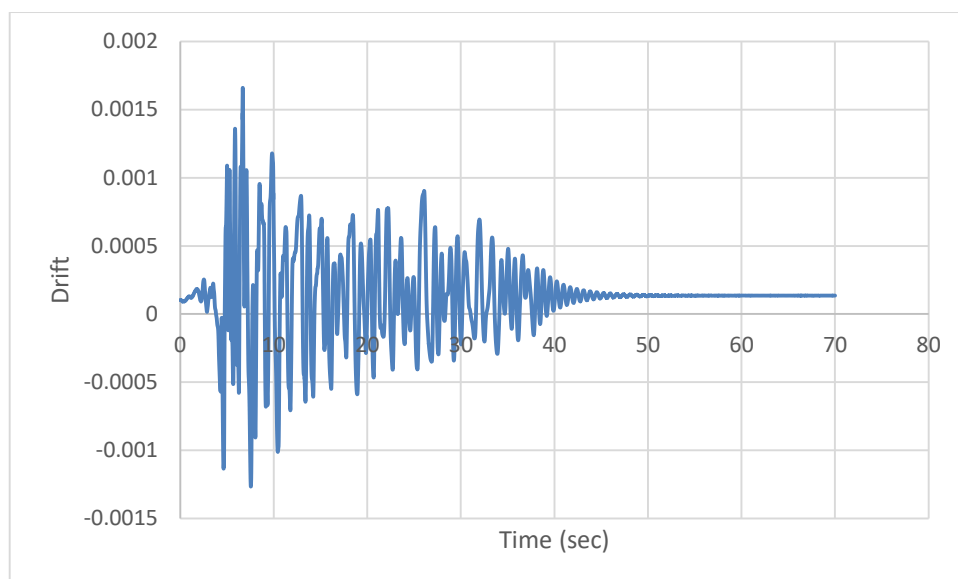
شکل ۸: دریفت سازه سه طبقه در روش جابجایی مستقیم



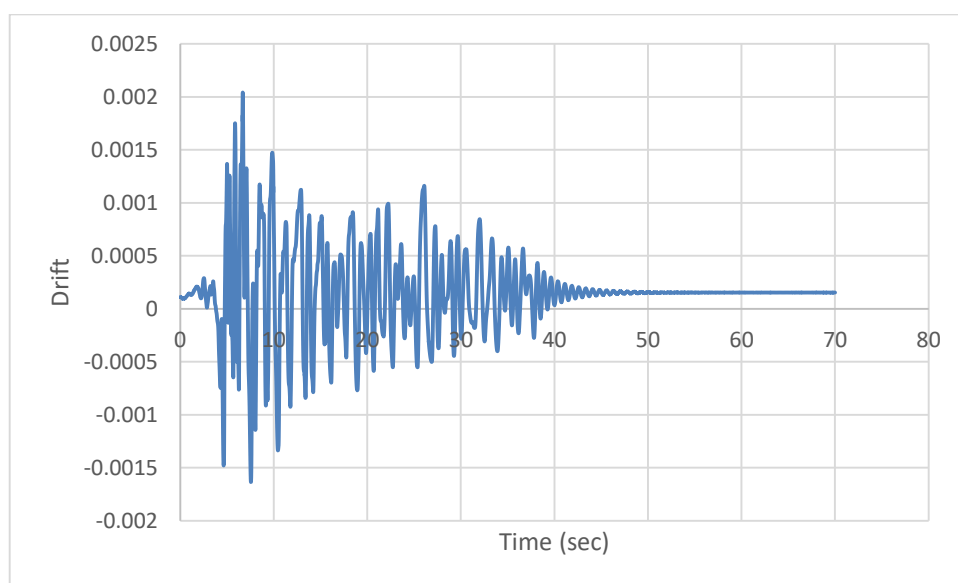
شکل ۱۱: دریفت سازه پنج طبقه در روش نیرویی



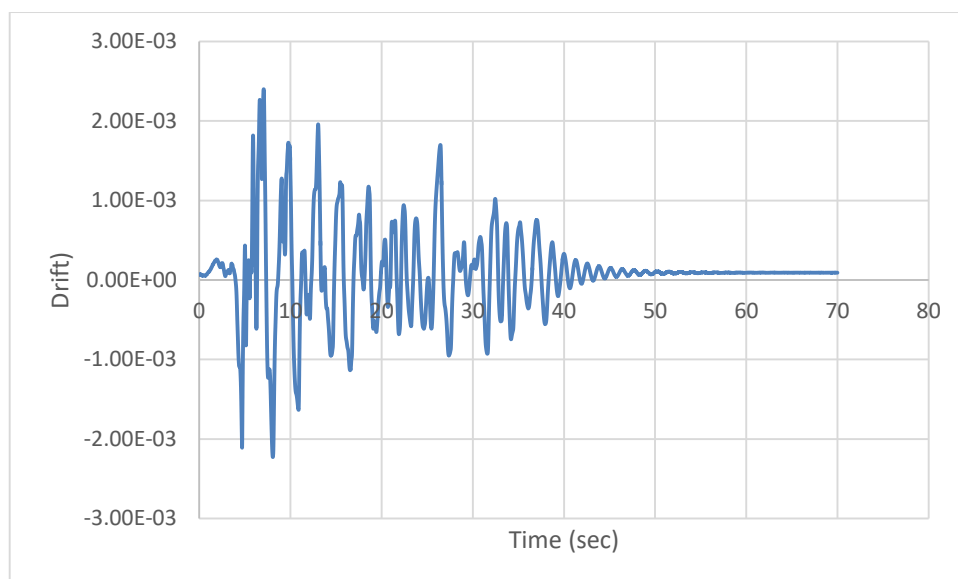
شکل ۱۰: دریفت سازه پنج طبقه در روش جابجایی مستقیم



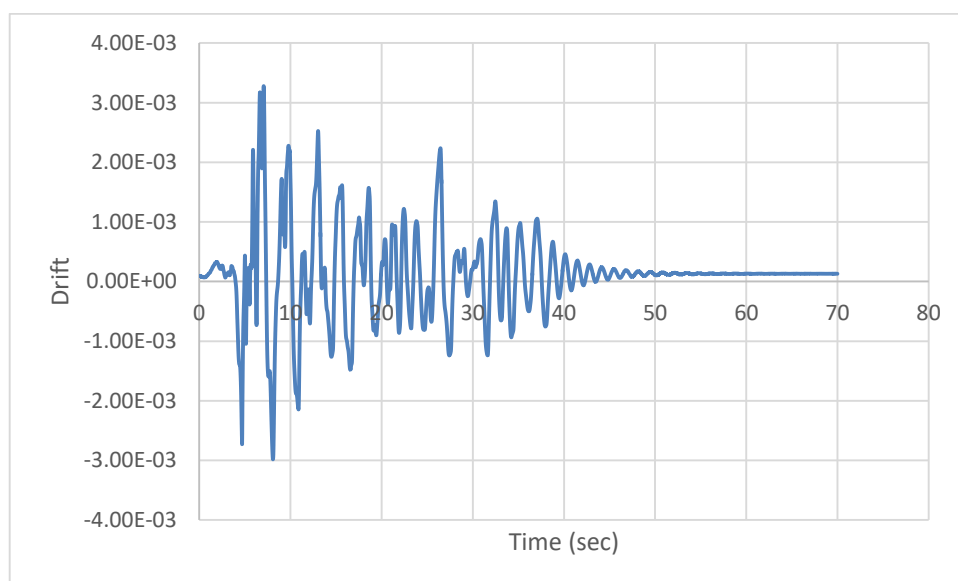
شکل ۱۲: دریفت طبقه اول سازه سه طبقه دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد در روش نیرویی تحت رکورد زلزله Loma Prieta



شکل ۱۳: دریفت طبقه اول سازه سه طبقه دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد در روش جابجایی مستقیم تحت رکورد زلزله Loma Prieta



شکل ۱۴: دریفت طبقه اول سازه پنج طبقه دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد در روش نیرویی تحت رکورد زلزله Loma Prieta



شکل ۱۵: دریفت طبقه اول سازه پنج طبقه دارای جداساز با میرایی ۱۵ درصد در روش جابجایی مستقیم تحت رکورد زلزله Loma Prieta

همانطور که از شکل های ۱۲ تا ۱۵ مشخص است، در سازه های ۳ و ۵ طبقه تحت اثر زلزله دریفت پسماندی ایجاد نمی شود.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه ۱۰ نمونه سازه بتنی ۳ و ۵ طبقه جداسازی شده و پایه ثابت با دو میرایی برای جداساز و روش طراحی نیرویی و جابجایی مستقیم در نرم افزار Opensees مدل سازی شده. و تحت اثر رکورد های حوزه دور و با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته و نتایج پژوهش بصورت زیر خلاصه می گردد:

۱- پریود یا دوره تناوب سازه یکی از عوامل مهم در سازه می باشد. همانطور که از جداول دیده می شود سازه های دارای جداساز پریود بالاتری دارند و با افزایش ارتفاع سازه نیز افزایش می یابند. در سازه های دارای پایه ثابت در روش نیرو پریود سازه بیشتر از روش جابجایی

مستقیم است که به این معنا است که مقاطع بدست آمده از روش نیرویی کوچکتر از روش جابجایی مستقیم هستند. اما در سازه های دارای جداساز پیرو سازه در روش نیرو کمتر از روش جابجایی مستقیم است، به این معناست که مقاطع در روش نیرویی بزرگتر از روش جابجایی مستقیم هستند.

۲- بعد از تحلیل تاریخچه زمانی و بررسی جداول ذکر شده که تحت میانگین هفت رکورد زلزله حوزه دور قرار دارد، نمایان است که برش پایه ی قاب های دارای جداساز کمتر از قاب های بدون جداساز می باشد. با افزایش میرایی مقدار برش پایه افزایش پیدا می کند. در تحلیل های تاریخچه زمانی، برش پایه سازه های طراحی شده با روش جابجایی مستقیم کمتر از روش نیرویی می باشد. اما در روش تحلیل استاتیکی خطی با افزایش میرایی، برش پایه ها کاهش پیدا می کند.

۳- از بررسی جداول ذکر شده نمایان است که جابجایی نسبی طبقات در سازه های دارای جداساز بسیار کمتر از سازه های با پایه ثابت هستند. با توجه به جذب نیروی کمتر طبقات، سازه های دارای جداساز جابجایی نسبی کمتری نسبت به سازه های بدون جداساز دارند. با افزایش میرایی، دررفت نیز افزایش پیدا کرده و سازه های طراحی شده به روش جابجایی مستقیم مقایسه شده کوچکتر از روش نیرویی به روش نیرویی را دارند. علت آن این است که در روش جابجایی مستقیم مقاطع برای سازه های جداسازی شده کوچکتر از روش نیرویی هستند.

اگر چه مقایسه اقتصادی دقیق در این تحقیق مورد نظر نبوده است، ولی بررسی ابعاد مقاطع در قاب های دارای جداساز طراحی شده با روش DDBD نشان دهنده کاهش در حدود ۳۰ درصدی در سطح مقطع ستون ها و تیر ها نسبت به روش FBD می باشد. تعداد آرماتور های طولی نیز در ستون ها تغییراتی بین ۲۰ تا ۳۵ درصد دارند. تغییرات نسبتاً قابل توجه بوده و در بررسی کلی روش های طراحی باید مد نظر قرار گیرند. لازم به ذکر است که بررسی های دقیق تر اقتصادی در قالب کل هزینه های طرح، می تواند مفید تر واقع گردد.

مراجع

- 1-David, M. L., (1980), Base isolation for torsion reduction in asymmetric structures under earthquake loading, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 8, pp. 349-359.
- 2- Chung, W., Yun, C., Kim, N., and Sco, J., (1999), Shaking table and pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of base-isolated structures, *Eng Struct.*, Vol. 21, pp. 365-379.
- 3- Alhan, C., and Altun, M., (2009), performance of non-linear base isolation systems designed according to uniform building code, 5th Int. Adv. Technol. Symp. (LATS '09), Karabuk, Turkey.
- 4-Cardone, D., Palermo, G. and Dolce, M.(2010) "Direct Displacement-Based Design of Buildings with Different Seismic Isolation Systems", *Journal of Earthquake Engineering*, 14:2, 163 – 191
- 5-Komur, M.A. (2015). Soft-Story Effects on the Behavior of Fixed-Base and LRB Base-Isolated Reinforced Concrete Buildings. *Arab J Sci Eng*, 41, pp 381-392.
- 6-Arati, P., Jianchun, L. and Yancheng, L. and Nicos, M. and Yang, Y. (2016). Comparative Studies of Base Isolation Systems featured with Lead Rubber Bearings and Friction Pendulum Bearings. *Applied Mechanics and Materials*, 846, pp 114-119.
- 7-Priestly, M.J.N, (2000) "Performance Based Seismic Design," 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, January, Paper No. 2831
- 8-Sullivan, T.J., Calvi, G.M., Priestley, M.J.N., and Kowalsky, M.J., "The Limitations and Performances of Different Displacement-based Design Methods", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 7, Special Issue 1, 2003, pp. 201-241
- 9-Pettinga, J.D. and Priestley, M.J.N., (2005), "Dynamic Behavior of einforced Concrete Buildings Design with Direct Displacement-Based Design, *Journal of Earthquake Engineering*, Imperial College Press, Vol. 9, Special Issue 2, 309-330.
- 10-Gulkan, P. and Sozen, M. (1974). "Inelastic esponse of einforced Concrete Structures to Earthquake Motions", *ACI Journal*, 604-610.

- 11-Blandon, C. A. and Priestley, M. J. N., "Equivalent Viscous Damping Equation for Direct Displacement Based Design," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 9, Special Issue 2, 257-278, 2005
- 12-Priestley, M. J. N. and Calvi, G. M., "Concepts and Procedures for Direct Displacement Based Design", Methodologies for the Next Generation of Codes, Fajfar and Krawinkler (eds), Balkema, Rotterdam, 171-181.
- 13-Comitee Europeen de Normalisation (2004) Eurocode 8 Day of Sistements for Lunslor distance. Parl: General Rules, Seismic Actions and Rules for Bitildings. CEN, Brussel EN 1999-1.
- 14-saleh malwkpour and farhad dashti(2013) application of the direct displacement based design methodology for different types of rc structural systems
- 15-Priestley, M. J. N. and Grant, D. N., "Viscous Damping in Seismic Design and Analysis", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 9, Special Issue 2, 229-255, 2005
- 16-ACI Committee 318, (2019), "Building Code equirements for Structural Concrete," (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19), American Concrete Institute, Michigan, 433 pp
- 17-Asce (American Society of Civil Engineers). 2016. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE7-16. Reston,VA:ASCE.
- 18-Publication No.523 a guide to design and implementation of seismic isolation systems in buildings in iran
- 19-Islamic Republic of Iran Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision (2011), Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings, (Publication No. 523), First Edition, Tehran, Iran.
- 20-FEMA-440, (2005), Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures- ,Washington DC, Federal Emergency Management Agency
- 21-FEMA P695, (2009), Quantification of Building Seismic Performance Factors , pplied technology council.