

بررسی نحوه آرایش جداگرهای لرزه ای در ساختمان های کوتاه مرتبه

سید روح الله حسینی واعظ^{۱*} و حسین نادرپور^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: جداسازی لرزه ای، سیستم آونگ اصطکاکی، سیستم لاستیکی با هسته سربی.</p>	<p>جداسازی لرزه ای یک روش طراحی مقاوم لرزه ای است که براساس کاهش تقاضای لرزه ای به جای افزایش ظرفیت لرزه ای می باشد. در این مقاله، پاسخ لرزه ای سازه جداسازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر سیستم جداساز بستگی به خصوصیات دینامیکی حرکات زمین و ساختمان روسازه دارد. به منظور ارزیابی پاسخ غیرخطی سازه های جداسازی شده، مدل های سه بعدی تحلیلی غیرخطی با خصوصیات متفاوت انتخاب و تحت زلزله های مطرح مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین به منظور بررسی رفتار بهینه سیستم، انواع مختلف جداساز شامل سیستم لاستیکی با هسته سربی و سیستم آونگ اصطکاکی بین روسازه و فونداسیون مدل سازی شد. مطالعه پارامتریک بر روی برش پایه، شتاب و تغییر مکان مدل های جداسازی شده متمرکز شده است. مقایسه ای بین پاسخ هیستریزس مدل ها به عنوان معیار اصلی اتلاف انرژی سیستم انجام شده است. نتایج نشان می دهد که مدل استفاده شده با ۲۵ درصد از جداگر آونگ اصطکاکی بهترین پاسخ سازه ای را در برابر نیروهای لرزه ای می دهد.</p>

۱- مقدمه

بنابراین باید به دنبال سیستم ایده آلی بود که شرایطی مناسب به لحاظ اتصال به زمین برای مقابله با بارهای ثقلی تامین نماید و در عین حال به منظور مقابله با نیروهای لرزه ای از زمین جدا گردد. جداسازی لرزه ای وسیله ای برای کاهش تقاضای لرزه ای در سازه می باشد. زلزله ها را نمی توان به خودی خود کنترل نمود اما می توان تقاضا را به نحوی اصلاح کرد. در این حالت از انتقال حرکات زمین از فونداسیون به روسازه جلوگیری می شود. بنابراین مهمترین دلیل برای استفاده از جداسازی پایه، کاهش اثرات زلزله می باشد [۲].

امروزه عبارت جداسازی لرزه ای جایگزین جداسازی پی گردیده و نشان می دهد که در بعضی موارد جداسازی ممکن است از نقطه ای بالای پایه (مثلا در پل ها) صورت پذیرد. اما در حالت کلی عبارت جداسازی لرزه ای صحیح تر به نظر می آید زیرا در این سیستم، سازه از اثرات حرکت زمین (زلزله) جدا می گردد [۱]. زلزله ها باعث وارد آمدن خرابی به سازه ها و محتویات آن ها می گردند.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hoseinivaez@qom.ac.ir

۱. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه قم

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

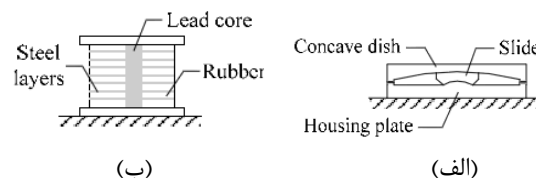
پاسخ سازه جداسازی شده زمانی که برای محافظت سازه در برابر زلزله استفاده می شود، بسیار مهم است. کارایی یک سیستم جداگر بستگی به خصوصیات دینامیکی زمین لرزه، روسازه و خود سیستم جداگر دارد [۱۴-۱۸].

به طور کلی تحقیقات گذشته بر روی بررسی سیستم‌ها جداساز با یک نوع خاص از جداگر متمرکز شده بود [۹ و ۱۹]. در این مطالعه ترکیبی از این سیستم‌های جداگر مورد بررسی قرار می‌گیرد و سیستم بهینه تحت دو رکورد تاریخچه زمانی ارزیابی می‌شود.

۲- مدل سازی

با توجه به این که هدف اصلی از مطالعه حاضر رسیدن به یک مدل مناسب با توزیع بهینه از جداگرهای لاستیکی با هسته سربی و آونگ اصطکاکی می‌باشد، پنج مدل سازه‌ای با نسبت‌های مختلف از جداگرها ایجاد شد. در مدل اول تنها از جداگرهای آونگ اصطکاکی استفاده شد (FPS=100%). در مدل دوم، نسبت جداگرهای آونگ اصطکاکی به 75 درصد کاهش داده شد و 25 درصد باقیمانده با جداگرهای لاستیکی با هسته سربی جایگزین شد. این الگو برای مدل‌های دیگر با تغییر نسبت این دو جداگر تکرار شد تا سه مدل سازه‌ای دیگر نیز ایجاد شوند. در این تحقیق از سازه‌های فولادی 4 طبقه استفاده شده است. شکل 2 پلان سازه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. به منظور انجام آنالیزهای غیرخطی دینامیکی سازه‌های جداسازی لرزه‌ای شده از نرم‌افزار 3D-BASIS-ME-MB استفاده شده است [20]. این نرم‌افزار تخصصی در زمینه آنالیز سه بعدی سازه‌های جدا سازی لرزه‌ای شده با قابلیت‌های متعدد می‌تواند انواع مختلف جداگرها را مدل نماید. در شکل 3، نمایی شماتیک از فرضیات نحوه مدل‌سازی در نرم‌افزار مزبور نشان داده شده است. مدل‌های سازه‌ای تحت دو رکورد ایستگاه El-Centro طی زلزله Imperial Valley در سال 1940 و رکورد ایستگاه Ab-bar طی زلزله Manjil-Rudbar در سال 1990، مورد تحلیل قرار گرفتند.

جداسازها را می‌توان به طور گسترده به عنوان جداگرهای لغزشی^۱ و الاستومریک^۲ طبقه بندی نمود [3 و 4]. در این میان، جداگرهای آونگ اصطکاکی (FPS^۳) و لاستیکی با هسته سربی (LRB^۴) به ترتیب به عنوان نماینده این سیستم‌ها مطرح می‌باشند. این دو نوع سیستم از نظر هزینه، اندازه و اتلاف انرژی در بکارگیری در سازه‌ها قابل مقایسه می‌باشند [5]. همچنین هر دو سیستم در آیین‌نامه‌های طراحی گنجانده شده اند [2-6]. با این حال، تفاوت‌های منحصر به فردی در ویژگی‌های پاسخ عمودی جداسازهای الاستومریک و لغزشی وجود دارد. جداگرهای آونگ اصطکاکی معمول اساساً تحت فشار صلب و فاقد ظرفیت نیروی کششی می‌باشند در حالی که جداگرهای لاستیکی با هسته سربی سختی فشاری نسبتاً کمی دارند و تا حدی می‌توانند در برابر نیروهای کششی مقاومت کنند [7-9]. سختی پس از تسلیم و نیروی تسلیم هر دو نوع جداگر با نرخ و شکل متفاوت موثر از نیروی قائم می‌باشد [8-10].



شکل ۱- الف- جداگر آونگ اصطکاکی ب- جداگر لاستیکی با هسته سربی

تحقیقات بر روی پاسخ ساختمان‌ها با توجه به نوع جداگرها نشان می‌دهد که جداگرهای لاستیکی با هسته سربی تغییرمکان پایه بزرگتر اما انتقال شتاب کمتری به روسازه در مقایسه با جداگرهای آونگ اصطکاکی دارند [11 و 12]. تغییرمکان‌های کوچکتر سیستم‌های جداساز هزینه‌های کمتری را برای جداگرها، نصب آن‌ها و خود روسازه در بر دارد [13]. درک تفاوت پارامترهای موثر بر

¹ Sliding

² Elastomeric

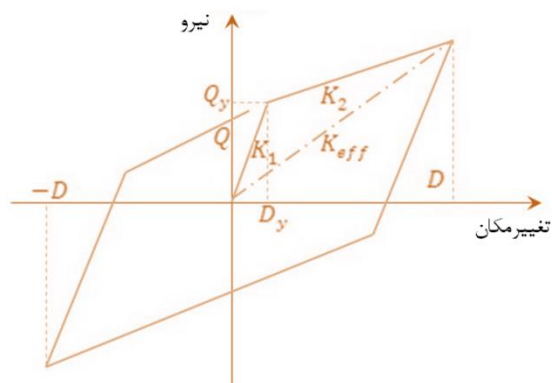
³ Friction-Pendulum

⁴ Lead-Rubber Bearing

۳-۱- خواص مکانیکی سیستم های جداساز

لاستیکی با هسته سربی

هر چند تعریف رفتار المانهای جداساز لاستیکی با هسته سربی تا حدی پیچیده می باشد اما شکل و الگوی رفتار این جداسازها تقریباً دو خطی است. بنابراین می توان برای طراحی جداسازها از یک رفتار دو خطی کامل به صورت متوازی الاضلاع استفاده کرد (شکل ۴). به عبارتی تعدادی از پارامترهای حاکم بر رفتار جداساز با فرض معقول باید در نظر گرفته شود. و سپس رفتار دو خطی باید به گونه ای کالیبره شود که پارامترهای مورد نظر در این رفتار بدست آیند.



شکل ۴- رفتار دو خطی ایده آل

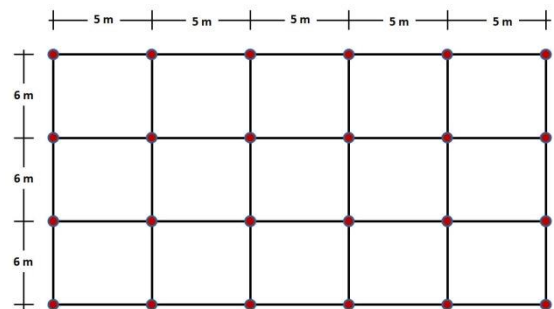
فرضهای اساسی در طراحی تمامی جداگرهای الاستومریک به شرح زیر است:

میرایی معادل ویسکوز (معادل سطح داخلی چرخه هیستریسیس در جابجایی طرح) برابر 10% فرض می شود.

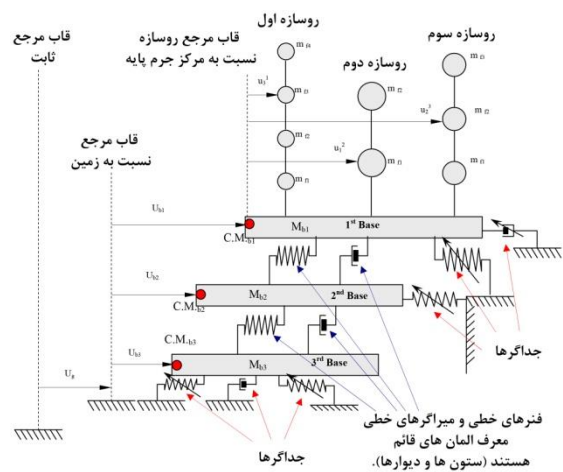
همچنین از زوال سختی جداگر صرف نظر می شود:

$K_{Dmin} = K_{eff}$. نسبت سختی بعد از تسلیم به سختی قبل از تسلیم (α) برای جداگرهای لاستیکی الاستومریک برابر 0.1 فرض می شود.

جداسازهای با هسته سربی همواره به صورت اجزای دو خطی مدل می شوند که خواص آنها بر مبنای سه پارامتر قرار دارد: K_1 و K_2 و Q . اندازه گیری سختی ارتجاعی (K_1) دشوار بوده و معمولاً به صورت یک ضریب تجربی از K_2 (سختی پس از تسلیم) در نظر گرفته می شود. مقدار



شکل ۲- پلان در نظر گرفته شده برای سازه های مورد بررسی



شکل ۳- فرم شماتیک فرضیات مدل سازی سیستم جداساز لرزه ای [۲۰]

در این مدل سازی طبقات به صورت صلب در صفحه خودشان فرض شده اند و جرم به صورت متمرکز در هر طبقه در نظر گرفته شده است. از اثر تداخلی خاک و سازه صرف نظر شده است.

به منظور بدست آوردن مشخصات اولیه سازه های مورد بررسی مانند سختی طبقات، مشخصات مودال و ... از نرم افزار ETABS 2000 و STAAD استفاده شده است و از برخی از خروجی های آن به عنوان اطلاعات ورودی در نرم افزار غیرخطی مورد نظر برای آنالیزها استفاده شده است. در اعمال بار ثقلی به سازه ها، بار مرده طبقات برابر 6 kN/m^2 ، بار زنده 2 kN/m^2 ، بار زنده بام 1.5 kN/m^2 و بار دیوارهای خارجی 3 kN/m^2 منظور شده است. سیستم سقف از نوع کامپوزیت در نظر گرفته شده است.

$$D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{C_v}{B} T \quad (4)$$

در رابطه بالا T ، زمان تناوب طراحی سازه است؛ C_v ضریب طراحی لرزه ای و B ضریب میرایی مربوط به نسبت میرایی موثر است. میرایی موثر ξ_{eff} به صورت زیر به دست می آید:

$$\xi_{eff} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SD}} \quad (5)$$

که در آن E_{SD} انرژی ذخیره شده می باشد:

$$E_{SD} = \frac{1}{2} K_{eff} D^2 \quad (6)$$

$$E_D = 2\pi \xi_{eff} K_{eff} D^2 \quad (7)$$

در رابطه بالا E_D انرژی اتلاف شده در یک چرخه است که برابر سطح حلقه هیستریزس می باشد. مساحت حلقه هیستریزس، E_D ، با استفاده از رابطه زیر حاصل می شود:

$$E_D = 4Q(D - D_y) \quad (8)$$

$$Q = \frac{E_D}{4Q(D - D_y)} \quad (9)$$

از رابطه (۹) مشخص می باشد که Q به D_y وابسته است؛ و D_y در رابطه (۳) به Q بستگی دارد. در ابتدا مقادیر Q یا D_y صفر فرض می شود و سپس با پروسه تکرار مقادیر نهایی محاسبه می شود. در جدول ۱ مراحل همگرایی مشخصات جداسازهای لاستیکی با هسته سربی برای سازه ۴ طبقه با زمان تناوب طراحی ۲ ثانیه آورده شده است.

K_2 را می توان با دقت مناسب از روی مدول برشی لاستیک و طرح جداساز به دست آورد. مقاومت مشخصه Q ، محل برخورد حلقه پس ماند با محور نیرو بوده و بر مبنای تنش تسلیم سرب (10.3MPa) و مساحت هسته سربی به دقت تعیین می شود. میرایی هیستریزس این جداگر به علت تغییرشکل پلاستیک هسته سربی است. پروسه تعیین سختی پس از تسلیم (K_2) به صورت زیر است:

سختی مؤثر یک جداساز با هسته سربی بر مبنای بارهای حداکثر تا حداکثر (حداکثر در جهت مثبت تا حداکثر در جهت منفی) تعریف شده و با افزایش تغییر مکان، مرتباً کاهش می یابد. مقدار سختی مؤثر را می توان برحسب پارامترهای پایه K_1 و K_2 و Q به صورت زیر نوشت [۷]:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} ; D \geq D_y \quad (1)$$

سختی مؤثر افقی سازه برای یک زمان تناوب مشخص برابر است با:

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (2)$$

D_y تغییرمکان نظیر جاری شدگی است که با استفاده از رابطه زیر تعریف می شود:

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (3)$$

D تغییرمکان نهایی یا حداکثر تغییرمکان طراحی در یک راستای افقی برای جداگر می باشد که برابر است با:

جدول ۱- مراحل همگرایی مشخصات جداسازهای لاستیکی با هسته سربی برای سازه ۴ طبقه با $T_D=2$ sec

T_D (sec)	D (m)	K_{eff} (ton/m)	W (ton)	Q (ton)	K_2 (ton/m)	K_1 (ton/m)	D_y (m)	Q (ton)
2	0.24874	2613.15	101.537	102.05	2202.88	22028.8	0.00463	103.987
2	0.24874	2613.15	101.537	103.987	2195.1	21951	0.00474	104.031
2	0.24874	2613.15	101.537	104.031	2194.92	21949.2	0.00474	104.032
2	0.24874	2613.15	101.537	104.032	2194.91	21949.1	0.00474	104.032
2	0.24874	2613.15	101.537	104.032	2194.91	21949.1	0.00474	104.032

که در آن R شعاع انحنای صفحه کوژ می‌باشد. عبارت اول در این رابطه، نیروی بازگرداننده ناشی از بلند شدن جرم

بوده که سبب ایجاد سختی افقی برابر $K_H = \frac{W}{R}$

می‌کند. این سختی افقی، دوره تناوب سازه جدا شده، (T)

را به صورت $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ در می‌آورد که مستقل از

جرم روی آن است. عبارت دوم، نیروی اصطکاک بین قسمت لغزنده و سطح برآمده می‌باشد. ضریب اصطکاک μ به مقدار فشار P و سرعت لغزش، بستگی دارد. مقدار ضریب اصطکاک با افزایش فشار کم شده و برای سرعت‌های بیشتر از 51mm/s و تحت فشاری بیشتر از 14MPa ، مستقل از سرعت می‌باشد. سختی معادل (حداکثر تا حداکثر) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K_H = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D} \quad (11)$$

میرایی حاصله از اصطکاک در سطح لغزنده را می‌توان با استفاده از رابطه آیین‌نامه ای زیر تعیین کرد:

$$\beta_{eff} = \frac{\text{مساحت حلقه پس ماند}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (12)$$

مساحت حلقه پس ماند $4\mu WD$ بوده و بنابراین:

$$\beta = \frac{4\mu WD}{2\pi \left[\left(\frac{W}{R} \right) D + \mu W \right] D} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D}{R} + \mu} \quad (13)$$

دامنه تغییرات β از $2/\pi$ برای مقادیر کوچک D تا

$$\frac{2\mu}{(\pi R / D)} \quad (\text{با افزایش } D \text{ می‌باشد.})$$

مثلاً اگر $R = 1 \text{ m}$ ، $D = 254 \text{ mm}$ و با فرض $\mu = 0.06$ باشد، $\beta = 12\%$ به دست می‌آید.

برای درک هندسه FPS، بهتر است این رابطه را برای بیان رابطه T و R تغییر دهیم. برای دوره تناوب ثابت T داریم:

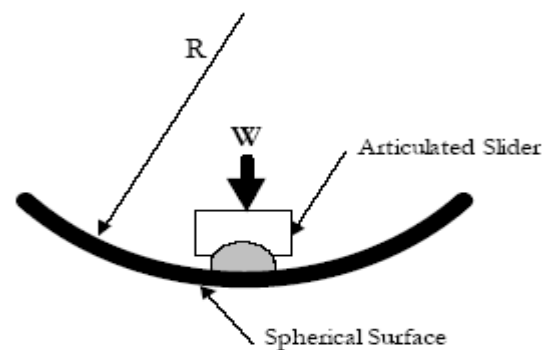
$$R = \frac{gT^2}{(2\pi)^2} \quad (14)$$

بنابراین برای رسیدن به دوره تناوب برابر ۲ ثانیه، شعاع انحنایی در حدود 1 m لازم است. اگر تغییر مکان افقی

۳-۲- خواص مکانیکی سیستم های آونگ

اصطکاک

سیستم آونگ اصطکاک (FPS)، سیستم جداسازی اصطکاک است که به وسیله هندسه خاص خود، عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می‌کند. جداساز FPS که به صورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است، دارای یک قسمت لغزنده مفصلی است که بر روی یک سطح کروی از جنس فولاد ضد زنگ می‌لغزد. سطحی از این قسمت لغزنده مفصلی که در تماس با سطح کروی است، با موادی با اصطکاک کم پوشیده شده است. سطح دیگر این لغزنده نیز کروی بوده و با لایه ای از فولاد ضد زنگ پوشیده شده است. این سطح در یک شیار کروی که آن هم از ترکیباتی با اصطکاک کم پوشیده شده قرار می‌گیرد. با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کروی، جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می‌شود. اصطکاک بین سطح لغزنده مفصلی و سطح کروی نیز سبب ایجاد میرایی در جداسازها می‌شود. سختی مؤثر جداسازها و دوره تناوب سازه جداسازی شده به وسیله شعاع انحنای سطح محدب کنترل می‌شود.



شکل ۵- سیستم آونگ اصطکاک [۷]

اگر بار وارده به یک جداساز FPS (سیستم آونگ اصطکاک) W ، تغییر مکان افقی آن D و ضریب اصطکاک μ باشد، آن‌گاه نیروی مقاوم F برابر است با [۷]:

$$F = \frac{W}{R} D + \mu W (\text{Sgn}D) \quad (10)$$

۳-۱- مقایسه پاسخ‌های دینامیکی تحت رکورد ایستگاه Ab-bar طی زلزله Manjil-Rudbar در سال ۱۹۹۰

پاسخ هیستریزیس مدل‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. با بررسی حلقه‌های هیستریزیس همه مدل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که اتلاف انرژی مدل‌ها با نسبت جداگرهای آونگ اصطکاکی بین صفر تا ۲۵ درصد بین مدل‌های دیگر بیشتر می‌باشد. حداکثر مقدار پاسخ برای انواع مدل‌ها تحت این رکورد در جدول ۲ مشخص شده است. این پاسخ‌ها شامل حداکثر برش پایه به وزن روسازه، حداکثر تغییرمکان مرکزجرم و حداکثر شتاب می‌شود. مقایسه‌ای بین مقادیر جدول ۲ به صورت نمودار میله‌ای در شکل ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۲- حداکثر مقدار پاسخ برای انواع مدل‌ها تحت رکورد ایستگاه Ab-bar طی زلزله Manjil-Rudbar در سال ۱۹۹۰

TYPE	Base Shear /Weight	Base Disp. at C.M. (m)	Acceleration (g)
FPS	0.1653	0.1745	0.1983
75% FPS-	0.1740	0.1591	0.2139
50% FPS-	0.1737	0.1668	0.1947
25% FPS-	0.1704	0.1723	0.1862
LRB	0.1721	0.1538	0.2209

طبق نمودار حداقل شتاب روسازه در مدل با نسبت جداگر آونگ اصطکاکی به میزان ۲۵ درصد رخ می‌دهد. با در نظر گرفتن پاسخ مدل مبنا به عنوان مقادیر پایه، کاهش و افزایش پاسخ مدل‌ها به صورت نمودار شکل ۸ می‌باشد. مقادیر منفی بیانگر افزایش در پاسخ نسبت به مدل مبنا می‌باشد. حداکثر کاهش در شتاب در مدل با نسبت ۲۵ درصد جداگر آونگ اصطکاکی به میزان ۶ درصد است در حالی که کاهش در تغییرمکان پایه حدود یک درصد است که پایین‌ترین مقدار در بین مدل‌های دیگر می‌باشد.

سیستم $D = 254 \text{ mm}$ باشد، آنگاه جابه‌جایی قائم، δ_v برابر خواهد بود با:

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \quad (15)$$

مقدار δ_v حدوداً 32mm می‌شود. بنابراین یک حرکت افقی $\pm 254 \text{ mm}$ در یک دوره تناوب ۲ ثانیه، ایجاد یک حرکت قائم با دامنه 32mm می‌کند. شکل تقریبی تغییرمکان قائم بیانگر آن است که تغییرمکان قائم تقریباً متناسب با توان دوم تغییر مکان افقی تغییر می‌کند.

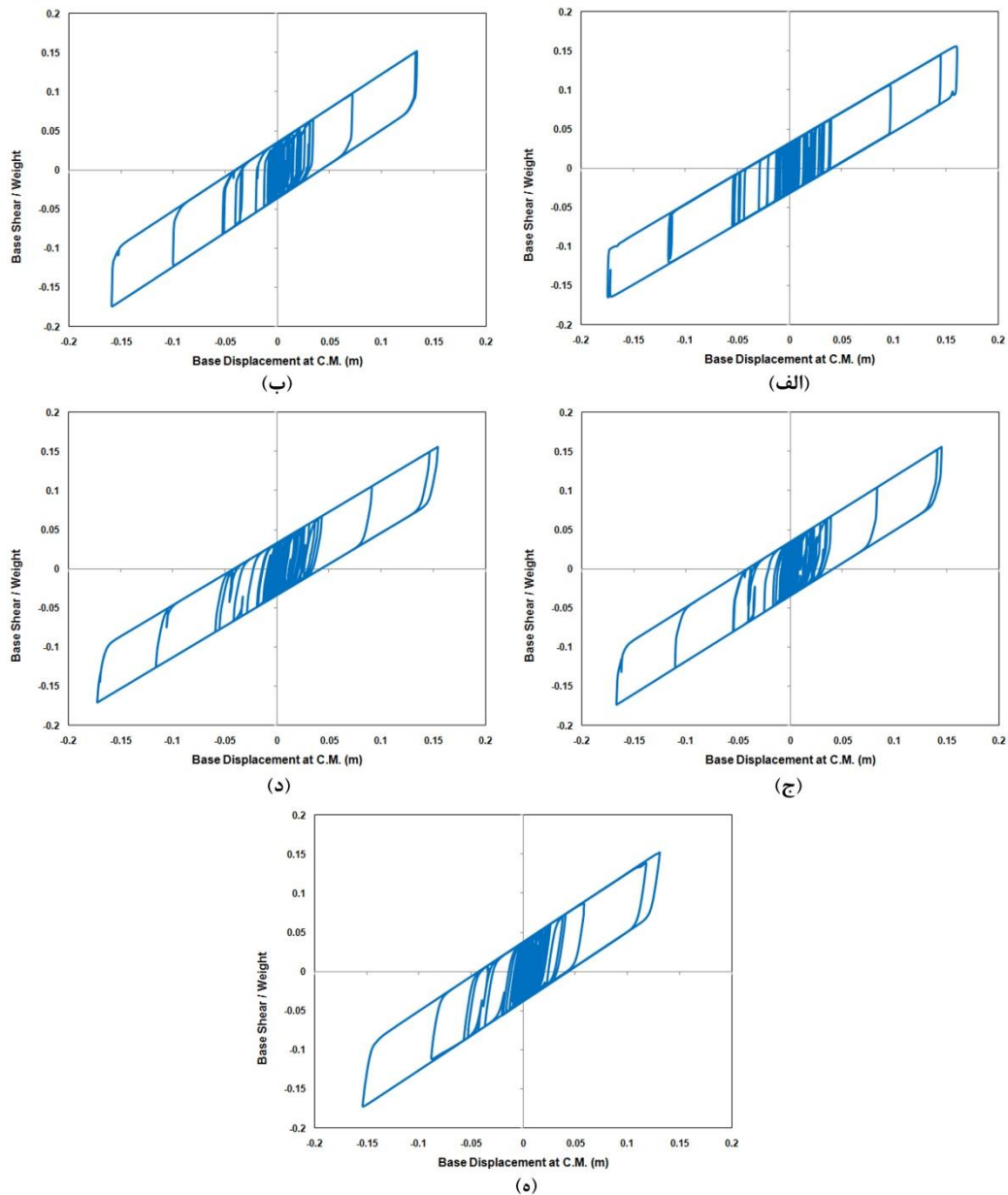
$$\delta_v = \frac{D^2}{2R} \quad (16)$$

یکی دیگر از ویژگی‌های FPS آن است که اگر مقدار تغییرمکان، از نسبت مشخصی از شعاع کمتر باشد، آنگاه نیروی بازگرداننده کمتر از نیروی اصطکاک شده و سیستم دوباره به جای اولیه خود بر نخواهد گشت. مقدار این نسبت از تساوی دو عبارت موجود در رابطه نیرو به دست می‌آید. بنابراین اگر $\frac{D}{R} \leq \mu$ باشد، سیستم به حالت اولیه خود باز نمی‌گردد. این امر می‌تواند در سیستم‌هایی با دوره تناوب بلند مشکل‌ساز باشد، مثلاً اگر $T = 5 \text{ sec}$ و $R = 6.35 \text{ m}$ و $\mu = 0.06$ باشد، سیستم به ازای 381 mm $D \leq$ به حالت اولیه خود باز نخواهد گشت.

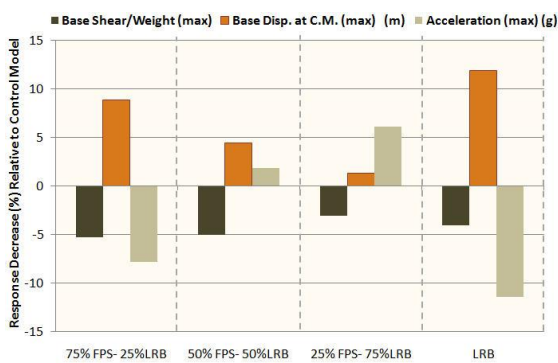
مدل‌سازی بسیار ساده FPS، آن را بسیار جذاب می‌کند، اما سادگی بیش از حد این مدل، اشکال اصلی آن به حساب می‌آید. در این حالت، سیستم عملاً یک سیستم تک پارامتری بوده و این پارامتر خود به وسیله شعاع سطح برآمده کنترل می‌شود. برای آن‌که سطوح شیاردار بر روی یکدیگر بلغزند، باید تمام سطوح کروی باشند. بنابراین پاسخ در تمام محدوده تغییر مکان، خطی خواهد بود.

۳- نتایج و بحث

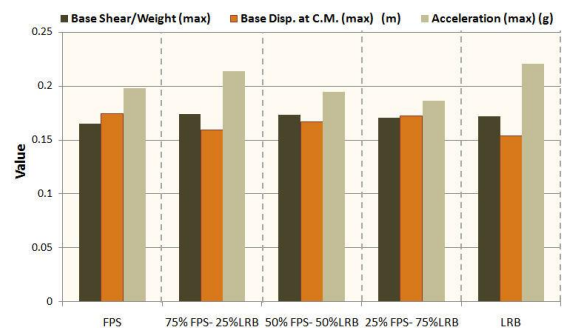
در این بخش، نتایج تحلیلی برای هریک از انواع آرایش جداگرها ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است. مدل اول که شامل یک ساختمان ۴ طبقه با جداگرهای آونگ اصطکاکی می‌باشد به عنوان مدل مبنا جهت مقایسه با ۴ مدل دیگر در نظر گرفته می‌شود. نتایج تحلیل برای زمان تناوب طراحی جداگرها به میزان ۲ ثانیه ارائه شده است.



شکل ۶- پاسخ هیستریزیس مدل با نسبت الف- ۱۰۰ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ب- ۷۵ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ج- ۵۰ درصد جداگر آونگ اصطکاکی د- ۲۵ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ه- بدون جداگر آونگ اصطکاکی



شکل ۸- کاهش یا افزایش پاسخ مدل ها نسبت به مدل مینا تحت رکورد ایستگاه Ab-bar



شکل ۷- مقایسه حداکثر پاسخ مدل ها تحت رکورد ایستگاه Ab-bar

مبنا به عنوان مقادیر پایه، کاهش و افزایش پاسخ مدل‌ها در نمودار شکل ۱۱ محاسبه و نمایش داده شده است. با توجه به شکل حداکثر کاهش در شتاب در مدل با نسبت ۲۵ درصد از جداگر آونگ اصطکاکی و به میزان ۲ درصد می‌باشد؛ در حالی که تغییرمکان پایه به میزان یک درصد افزایش داشته است. در مقابل تغییرمکان پایه در مدل‌های دیگر کاهش داشته است.

جدول ۳- حداکثر مقدار پاسخ برای انواع مدل‌ها تحت رکورد ایستگاه El-Centro طی زلزله Imperial Valley در سال ۱۹۴۰

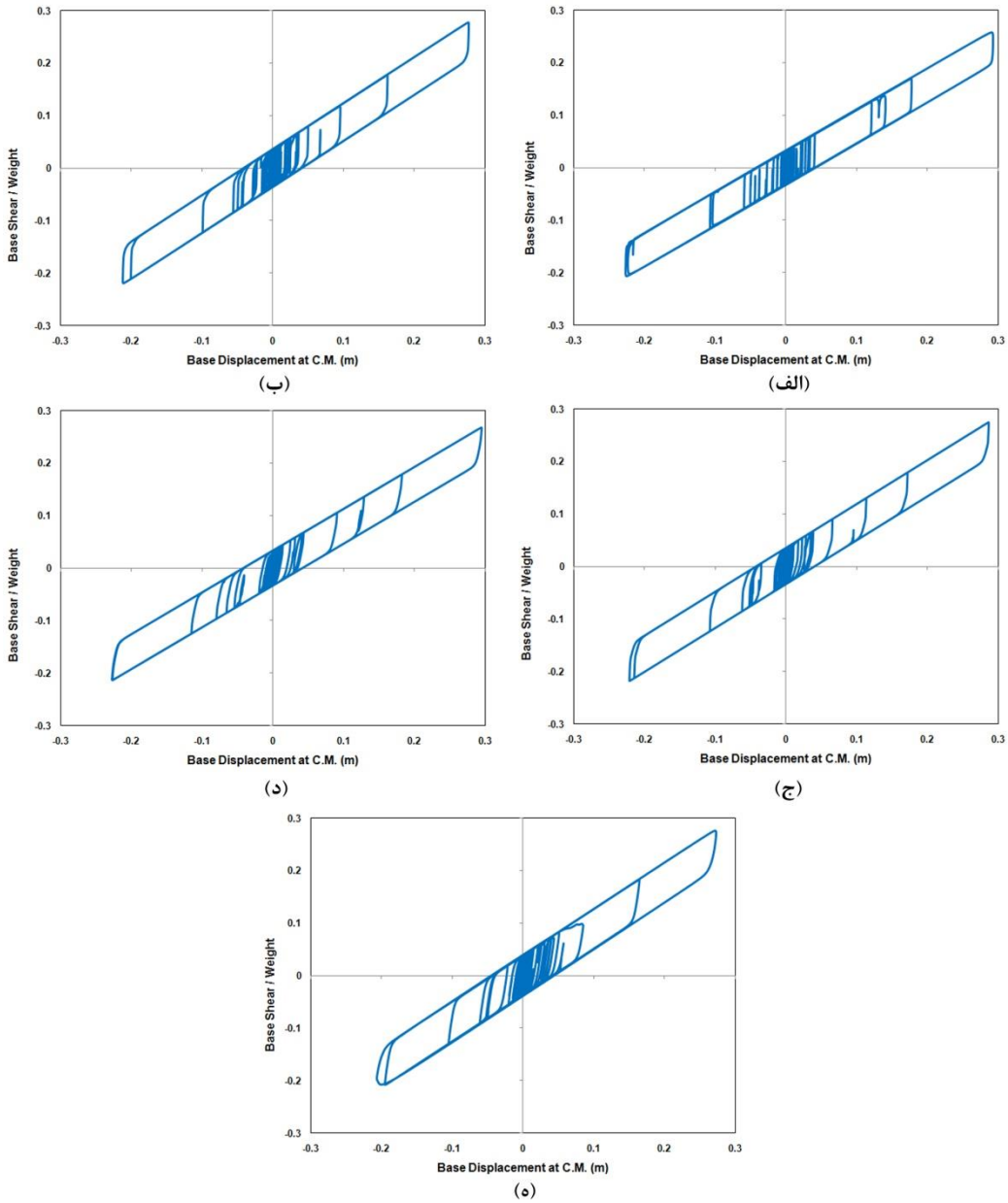
TYPE	Base Shear /Weight	Base Disp. at C.M. (m)	Acceleration (g)
FPS	0.2577	0.2932	0.2177
75% FPS-	0.2773	0.2777	0.2284
50% FPS-	0.2742	0.2872	0.2215
25% FPS-	0.2677	0.2951	0.2131
LRB	0.2755	0.2728	0.2175

با در نظر گرفتن همان پارامترهای اصلی که در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت (کاهش شتاب روسازه و قابلیت اتلاف انرژی سیستم) مشخص می‌شود که مدل با نسبت جداگر آونگ اصطکاکی به میزان ۲۵ درصد بهترین رفتار سازه ای را تحت این رکورد نیز نشان می‌دهد.

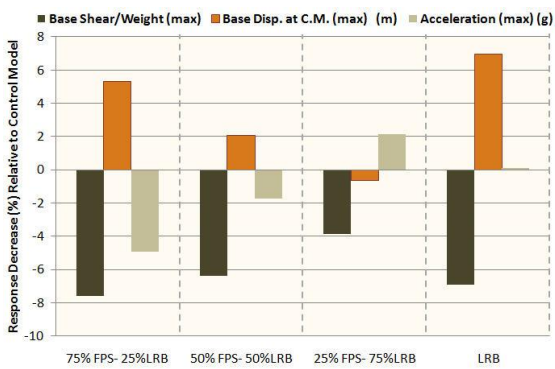
باتوجه به این که کاهش شتاب روسازه و قابلیت اتلاف انرژی سیستم دو پارامتر اصلی و مهم در انتخاب سیستم جداسازی می‌باشند؛ با در نظر گرفتن حلقه‌های هیستریزیس و نمودارهای میله ای ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل با نسبت جداگر آونگ اصطکاکی به میزان ۲۵ درصد بهترین رفتار سازه ای را تحت رکورد منجیل نشان می‌دهد.

۳-۲- مقایسه پاسخ‌های دینامیکی تحت رکورد ایستگاه El-Centro طی زلزله Imperial Valley در سال ۱۹۴۰

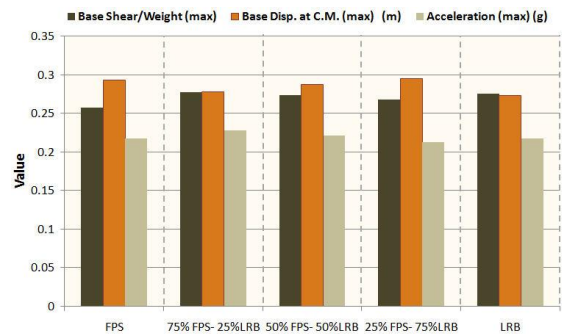
شکل ۹ پاسخ هیستریزیس مدل‌ها را تحت رکورد ایستگاه El-Centro طی زلزله Imperial Valley در سال ۱۹۴۰ نشان می‌دهد. انرژی اتلاف شده تحت این رکورد نیز همانند حالت قبل در مدل‌های با نسبت جداگرهای آونگ اصطکاکی بین صفر تا ۲۵ درصد بین مدل‌های دیگر بیشتر می‌باشد. حداکثر مقدار پاسخ‌ها (حداکثر برش پایه به وزن روسازه، حداکثر تغییرمکان مرکزجرم و حداکثر شتاب) برای همه مدل‌ها تحت این رکورد در جدول ۳ خلاصه شده است. همچنین نمودار میله ای این پاسخ‌ها در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. با بررسی نمودار میله ای مشخص می‌شود که کمترین شتاب در روسازه مربوط به مدل با نسبت جداگر آونگ اصطکاکی به میزان ۲۵ درصد ایجاد شده است. با در نظر گرفتن پاسخ‌های مدل



شکل ۹- پاسخ هیستریزس مدل با نسبت الف- ۱۰۰ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ب- ۷۵ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ج- ۵۰ درصد جداگر آونگ اصطکاکی د- ۲۵ درصد جداگر آونگ اصطکاکی ه- بدون جداگر آونگ اصطکاکی



شکل ۱۱- کاهش یا افزایش پاسخ مدل ها نسبت به مدل مینا تحت رکورد ایستگاه El-Centro



شکل ۱۰- مقایسه حداکثر پاسخ مدل ها تحت رکورد ایستگاه El-Centro

۴- نتیجه‌گیری

ترتیب در حدود ۶ و ۲ درصد برای زلزله‌های منجیل و ال سنترو می باشد؛ که این بیانگر این است که این نوع آرایش تحت رکورد منجیل موثرتر بوده است. باتوجه به این که کاهش در شتاب روسازه و اتلاف انرژی سیستم دو پارامتر اصلی و تاثیرگذار در انتخاب سیستم جداسازی می باشند و با لحاظ کردن حلقه‌های هیستریزیس و نمودارهای میله ای ارائه شده می توان نتیجه گرفت که مدل با نسبت ۲۵ درصد از جداگر آونگ اصطکاکی بهترین رفتار سازه ای را در برابر این دو رویداد لرزه ای نشان می دهد.

نتایج تحلیلی مدل‌ها تحت رکورد های ایستگاه El-Centro طی زلزله Imperial Valley در سال ۱۹۴۰ و ایستگاه Ab-bar طی زلزله Manjil-Rudbar در سال ۱۹۹۰ مشخص می کند که قابلیت اتلاف انرژی مدل با نسبت جداگرهای آونگ اصطکاکی به میزان ۲۵ درصد در مقایسه با مدل های دیگر بیشتر می باشد. همچنین در این حالت کمترین شتاب در روسازه رخ می دهد. حداکثر کاهش در شتاب در این حالت در مقایسه با مدل مبنا به

۵- مراجع

- [1] Trevor, E. Kelly, S.E. (2001). "Base Isolation of Structures, Design Guidelines". Holmes Consulting Group Ltd.
- [2] Jangid, R.S., Kelly, J.M. (2001). "Base isolation for near-fault motions". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 30, No. 5, pp. 691-707.
- [3] Taylor, A.W., Igusa, T. (2004). "Primer on seismic isolation". 1st Ed., American Society of Civil Engineers, Virginia.
- [4] AASHTO (1999). "Guide specifications for seismic isolation design". Washington, D.C.
- [5] Dicleli, M. (2002). "Seismic design of lifeline bridge using hybrid seismic isolation". Journal of Bridge Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 94-103.
- [6] IBC. (2000). "International building code". Falls Church, Virginia.
- [7] Naeim, F., Kelly, J. (1996). "Design of seismic isolated structures". 1st Ed., Wiley, New York.
- [8] Almazan, J.L., Inaudi, J.A. (1998). "Modeling aspects of structures isolated with the frictional pendulum system". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, pp. 845-867.
- [9] Kelly, J. (2003). "Tension buckling in multilayer elastomeric bearings". Journal of Engineering Mechanics, December, pp. 1363-1368.
- [10] Ryan, K.L., Chopra, A.K. (2005). "Estimating the seismic response of base-isolated buildings including torsion, rocking and axial-load effects". Report No. EERC 2005-01, University of California, Berkeley.
- [11] Matsagar, V.A., Jangid, R.S. (2004). "Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures". Engineering Structures, Vol. 26, pp. 1735-1749.
- [12] Ordonez, D., Foti, D., Bozzo, L. (2003). "Comparative study of the inelastic response of base isolated buildings". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 32, pp. 151-164.
- [13] Skinner, R.I., Robinson, W.H., McVerry, G.H. (1993). "An introduction to seismic isolation". John Wiley & Sons, New York.
- [14] Sharbatdar, M.K., Hoseini Vaez, S.R., Ghodrati Amiri, G., Naderpour, H. (2011). "Seismic Response of Base-Isolated Structures with LRB and FPS Under Near Fault Ground Motions". Journal of Procedia Engineering, Elsevier, Vol. 14, pp. 3245-3251.
- [15] Hoseini Vaez, S.R., Naderpour, H., Fakharian, P. (2012), "Influence of Period Elongation on Dynamic Response of Base-Isolated Buildings having FPS Isolators". Proceeding of the Second National Conference on Disaster Management, June 19-20, Tehran, Iran.

- [16] Kalantari, S.M., Naderpour, H. and Hoseini Vaez, S.R. (2008). "Investigation of Base-isolator type selection on seismic behavior of structures including story drifts and plastic hinge formation". The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [17] Hoseini Vaez, S.R., Naderpour, H., Kalantari, S.M., Fakharian, P. (2012). "Proposing the Optimized Combination of Different Isolation Bearings Subjected to Near-Fault Ground Motions". 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), September 24-28, Lisbon, Portugal.
- [18] Hoseini Vaez, S.R., Naderpour, H., Barros, R.C. (2014). "Influence of Equivalent Pulses of Near Fault Ground Motions on Base-Isolated RC Structures". 9th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN 2014), Jun 30-July 2, Porto, Portugal, ISSN: 2311-9020; ISBN: 978-972-752-165-4, pp. 2101-2106.
- [19] Almazan, J.L., De la Llera, J.C., (2002). "Analytical model of structures with frictional Pendulum isolators". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, pp. 305-332.
- [20] Tsopelas, P.C., Roussis, P.C., Constantinou, M.C., Buchanan, R., Reinhorn, A.M. (2005). "3D-BASIS-ME-MB, Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Seismically Isolated Structures, Manual".