



# اثر جداگرهای پایه‌ای الاستومریک بر رفتار مدل‌های سه بعدی سازه‌های فولادی با سیستم مهاربندی هم محور

غلامرضا عبدالله زاده<sup>۱</sup>، هادی ابراهیمی خواه<sup>۲</sup>  
(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۸، تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۶/۳۰)

## چکیده

به طور کلی برای مقابله با نیروی زلزله دو روش وجود دارد، روش اول افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه مانند استفاده از سیستم‌های مقاوم جانبی نظیر قاب‌های خمشی، دیوارهای برشی و بادبندها می‌باشد و روش دوم کاهش نیاز لرزه‌ای سازه با استفاده از جداگرهای لرزه‌ای پایه است. در این مقاله اثر افزایش زمان تناوب (در نتیجه کاهش سختی موثر جداگر لرزه‌ای) جداگرهای الاستومریک با میراگرهای سربی بر رفتار سازه‌های فولادی با سیستم مهاربندی هم محور مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سازه‌هایی با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۱۰ برای دو حالت پایه ثابت و پایه جداسازی شده همراه با سختی‌های متفاوت جداگرها، در نرم افزار SAP 2000 مدل سازی شده و تحت تحلیل دینامیکی طیفی با فرض طیف آیین نامه UBC بر اساس  $CAD=0.36$  و  $CVD=0.54$  قرار گرفته‌اند. ساختمان‌های مورد مطالعه در Zone 3 (ضریب ناحیه لرزه‌ای برابر  $Z=0.3$ ) و در "B" Seismic Source Type و واقع بر نوع خاک SD می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده بر روی سازه‌های مورد نظر که شامل زمان تناوب، ضریب شراکت جرم مدی، برش طبقات و برش پایه می‌باشد، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

## کلمات کلیدی

جداسازی پایه، جداگر الاستومریک، هسته سربی، تحلیل دینامیکی طیفی، ضریب شراکت جرم مدی

## The Effect of the Properties of Seismic Base Isolator Systems of LRB Type on the Seismic Response of Three-Dimensional Steel Structural Models with Centrally Braced Frame System

G. Abdollahzadeh, H. Ebrahimikhah

### ABSTRACT

Generally, there are two methods for confrontation with earthquake force. The first method is to increase the seismic capacity of structure, for example, using lateral resistant systems such as moment frames, braced frames, shear walls and etc. The second method is to reduce the seismic requirement of structure using seismic base isolator systems. This paper, studies the effect of increase of period (as a result of reduction of the effective stiffness of seismic isolator) of seismic base isolator system of LRB type on the seismic response of three-dimensional steel structural models with concentrically braced frame system. For this purpose, three, six and ten story buildings have been modeled in both states with fixed base and isolated base, along with different period and effective stiffness of isolator system in SAP2000 Software and have been investigated under dynamic spectral analysis (supposing that UBC97 code spectrum based on CAD and CVD). These buildings located in Zone 3 (seismic zone coefficient equal to  $Z=0.3$ ) and on Seismic Source Type "B" and SD soil type. The results of analysis, including period, modal participating mass coefficient, stories shear and base share, have been investigated and compared.

### KEYWORDS

Base isolation, Rubber isolator, Lead core, Dynamic spectral analysis, Modal participating mass coefficient

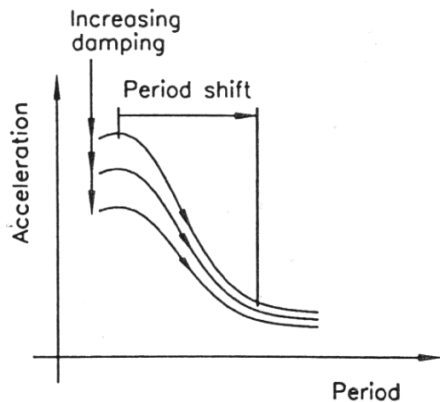
۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، abdollahzadeh@nit.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه شمال، hadi\_brahimikhah2002@yahoo.com



با وجود انواع مختلفی از جداگرهای لرزه‌ای از لحاظ جزئیات و ساختار به طور کلی تکنیک جداگرها مسیر پایه ای با رعایت یکسری معیارهای مشخص را دنبال می‌کنند. اولین دستاورد این است که یک لایه با سختی جانبی کم بین سازه و فونداسیون ایجاد می‌کنند. همانطور که در شکل (۱) قابل رویت است، افزایش پریود از حالت کم به میزان قابل توجهی باعث خواهد شد که سازه از ناحیه حساس به شتاب خارج شده شتاب پاسخ سازه کاهش یابد و در نتیجه نیروی القایی زلزله به سازه کاهش خواهد یافت.

اما همین امر، همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، سبب افزایش جابجایی نسبی سازه خواهد شد، که البته این تغییر شکل‌ها در جداگرهای لرزه‌ای تجمع یافته و در نتیجه جابجایی القاء شده به ساختمان سازه‌ای بسیار کم خواهد شد. باید توجه داشت میرایی برای ساختمان آن سودمند بوده و نیروی وارد بر سازه و تغییر شکل جداگرهای لرزه‌ای را کاهش خواهد داد [۲ و ۸-۶].



شکل (۱): افزایش پریود و میرایی سیستم جداساز و کاهش شتاب پاسخ [۲]

### ۳- مشخصات جداگرهای لاستیکی با هسته سربی

(LRB)

جداگرهای لاستیکی با هسته سربی در سال ۱۹۷۵ در نیوزیلند اختراع شده و به طور گسترده‌ای در نیوزیلند، ژاپن و ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با پیشرفت علم و تکنولوژی در سال‌های اخیر، افزایش ایمنی و عملکرد ساختمان‌ها، در هنگام وقوع یک زلزله بزرگ اهمیت فزاینده‌ای یافته است. در سیستم‌های معمولی با پایه ثابت کل حرکات لرزه‌ای زمین به سازه فوقانی منتقل می‌شود و برای تامین ظرفیت تحمل بار جانبی از رفتار الاستو پلاستیک (شکل پذیری) عناصر سازه‌ای استفاده می‌شود. به طور کلی در طراحی لرزه‌ای این سیستم‌ها دو مشکل اساسی وجود دارد. زمین لرزه در ساختمان‌های سخت باعث ایجاد شتاب‌های بزرگ طبقات و در ساختمان‌های نرم باعث ایجاد تغییر مکان‌های نسبی بزرگ بین طبقات می‌گردد.

در سیستم‌های جداسازی شده، سازه فوقانی تقریباً به صورت یک جسم صلب روی جداگرهای لرزه‌ای نرم تغییر مکان می‌دهد. قسمت عمده حرکات لرزه‌ای زمین در تراز جداگرهای لرزه‌ای جذب شده و در نتیجه حرکات لرزه‌ای منتقل شده به سازه فوقانی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. جداسازی لرزه‌ای یک روش نوین برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله است که مبنای آن کاهش نیروهای وارده به سازه در اثر زمین لرزه به جای افزایش ظرفیت سازه برای تحمل بارهای جانبی می‌باشد. اساس این روش کاهش پاسخ‌ها بوسیله افزایش زمان تناوب و میرایی سازه می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان تغییر شکل‌های سازه را در محدوده الاستیک نگاه داشت که این مساله به سطح ایمنی سازه خواهد افزود [۵-۱].

### ۲- تکنیک و عملکرد جداگرهای لرزه‌ای پایه

به طور کلی جداگرهای لرزه‌ای به کار رفته در جهان از سه عنصر اصلی زیر تشکیل شده‌اند:

الف) تکیه گاه نرم برای افزایش پریود ارتعاشی کل سیستم و کاهش پاسخ نیرو.

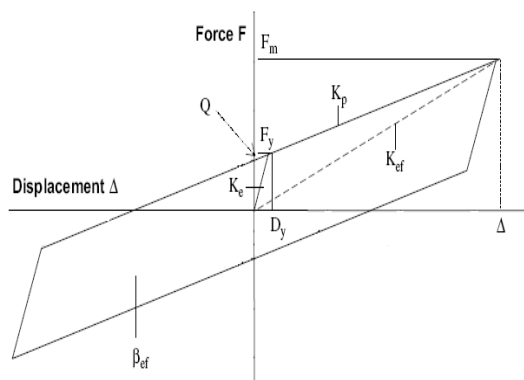
ب) میراکننده یا جذب کننده انرژی برای کنترل تغییر مکان نسبی بین ساختمان و زمین در حد طراحی عملی.

ج) وسیله‌ای برای تامین صلبيت در مقابل نیروهای جانبی کوچک نظیر باد یا زلزله‌های خفیف.



#### ۴- مدل سازی دو خطی جداگرهای لرزه ای

در عمل، تمام جداگرهای لرزه ای به صورت یک مدل دو خطی و بر اساس سه پارامتر  $K_1$  (سختی الاستیک)،  $K_2$  (سختی پس از تسلیم) و  $Q$  (مقاومت مشخصه) که در شکل (۴) نشان داده شده‌اند، مدل می‌شوند. سختی الاستیک را می‌توان از روی حلقه‌های پس ماند موجود جداگرهای الاستومریک آزمایش شده به دست آورد و یا برای جداگرهای الاستومریک با هسته سربی، به صورت ضربی از  $K_2$  (سختی پس از تسلیم) تعریف کرد. مقدار  $K_2$  را می‌توان با دقت مناسبی از روی مدول برشی لاستیک و طرح نشیمن به دست آورد. مقاومت مشخصه برای جداگرهای الاستومریک از روی حلقه های پس ماند، و برای جداگرهای الاستومریک با هسته سربی بر مبنای تنش تسلیم سرب و مساحت هسته سربی به دقت تعیین می‌شود. سختی موثر به صورت سکانت شیب مقادیر حداکثر تا حداکثر (حداکثر) در جهت مثبت تا حداکثر در جهت منفی) تعریف می‌شود [۱-۳].

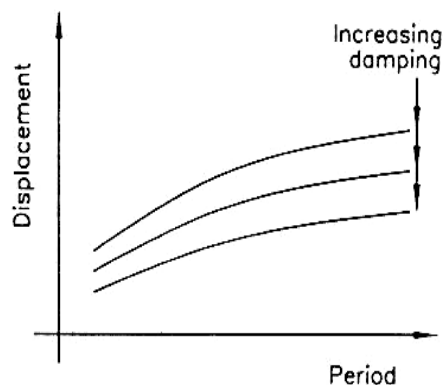


شکل (۴): عملکرد هیسترتیک جداگرهای لرزه ای پایه

با مدل دو خطی [۱]

#### ۵- مشخصات سازه‌های مورد مطالعه

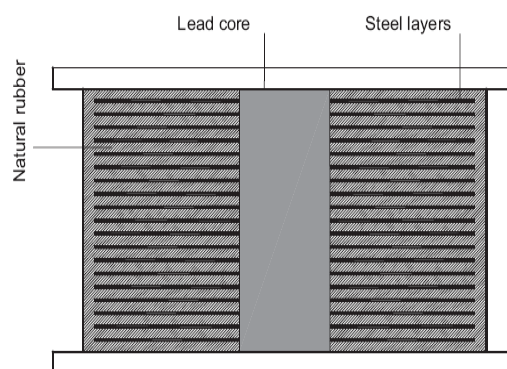
سازه‌های مورد مطالعه عبارتند از سه سازه ۳، ۶ و ۱۰ طبقه فولادی که سیستم مقاوم آنها در برابر نیروی زلزله، سیستم مهاربندی هم محور می‌باشد. این سه سازه در جهت X دارای ۵ دهانه ۵ متری و در جهت Y دارای ۳ دهانه ۵ متری می‌باشند و ارتفاع تمام طبقات یکسان و برابر ۳ متر می‌باشد (شکل (۵)، شکل (۶) و شکل (۷)). مقادیر بارهای



شکل (۲): افزایش پریود و میرایی سیستم جداساز و

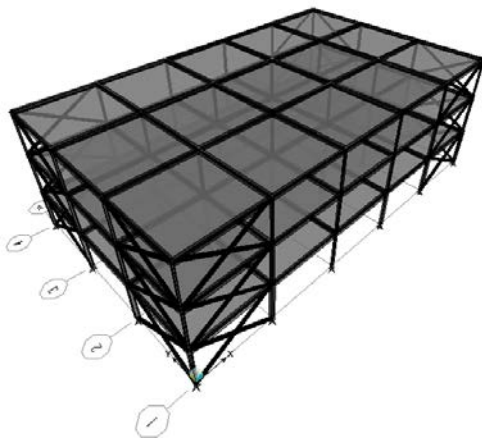
افزایش تغییر مکان سیستم جداساز [۲]

این جداگرها، مشابه جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین بوده (S-RB) اما دارای یک یا چند هسته سربی هستند که مطابق شکل (۳) در سوراخ‌هایی قرار گرفته‌اند. صفحات فولادی به کار رفته در این سیستم سبب تغییر شکل هسته سربی در برش، کاهش انبساط جانبی و افزایش سختی قائم می‌شوند. این هسته‌های سربی در جریان برشی در حدود ۱۰ مگاپاسکال تغییر شکل فیزیکی داده و سبب ایجاد یک پاسخ دو خطی در جداگر لرزه‌ای می‌شوند. هسته سربی باید کاملاً در جداگر الاستومریک محکم شده باشد که برای این منظور، قطر هسته سربی را اندکی بیش از قطر سوراخ در نظر گرفته و هسته را با فشار به داخل سوراخ می‌رانند. از آنجایی که، سختی و میرایی موثر جداگرهای الاستومریک با هسته سربی وابسته به مقدار جابجایی آن است، بنابراین باید تغییر مکان متناظر با مقدار میرایی لازم، مشخص شود [۱-۳].

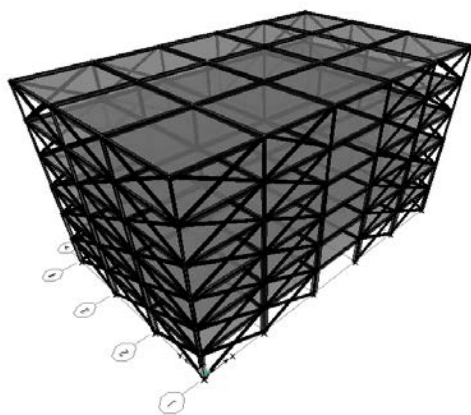


شکل (۳): مشخصات مقطع یک جداگر لاستیکی

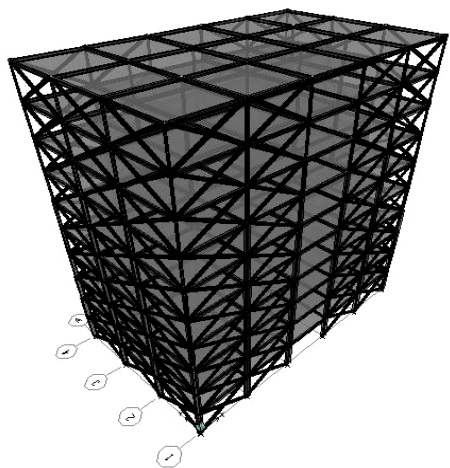
با هسته سربی [۱]



شکل (۵): نمای سه بعدی ساختمان سه طبقه فولادی با سیستم مهاربندی هم محور



شکل (۶): نمای سه بعدی ساختمان شش طبقه فولادی با سیستم مهاربندی هم محور



شکل (۷): نمای سه بعدی ساختمان ده طبقه فولادی با سیستم مهاربندی هم محور

مرده و زنده ثقلی، به ترتیب  $650 \text{ kg/m}^2$  و  $350 \text{ kg/m}^2$  برای طبقات و درصد مشارکت بار زنده در زلزله برابر با  $40\%$  در نظر گرفته شده است. مطابق با ضوابط آیین نامه UBC97، سازه‌ها در Zone3 (ضریب ناحیه لرزه‌ای برابر  $Z=0.3$ ) و در "B" Seismic Source Type واقع بر نوع خاک SD می‌باشد، بنابراین از جداول آیین نامه  $0.36/0.54$   $CAD=$  و  $CVD=$  نتیجه شده است [۹].

طیف طرح آیین نامه UBC97 بر اساس  $CAD=0.36$  و  $CVD=0.54$  در شکل (۸) نشان داده شده است. ضریب رفتار سازه‌های جداسازی شده مطابق با ضوابط آیین نامه UBC97 برای سیستم مهاربندی هم محور برابر  $R_f=1/6$  منظور شده است [۹].

در سازه‌های جداسازی شده از ۲۴ جداگر الاستومریک استفاده شده است و با توجه به اینکه هشت جداگر میانی سنگین‌ترین بارگذاری را دارند در آنها از هسته سربی استفاده شده و سایر جداگرهای الاستومریک بدون هسته سربی طراحی شده‌اند.

بنابراین هشت جداگر میانی از نوع LRB و شانزده جداگر دیگر از نوع S-RB می‌باشند. سه نوع مدل برای سیستم جداگر لرزه‌ای انتخاب گردیده است. این سه نوع مدل به گونه‌ای انتخاب گردیده‌اند که بتوان اثرات تغییر زمان تناوب سیستم جداگر، بر رفتار سازه را نشان داد.

سازه‌های مورد مطالعه در نرم افزار SAP 2000 مدل سازی شده و تحت تحلیل دینامیکی طیفی (با فرض طیف آیین نامه UBC بر اساس  $CAD=0.36$  و  $CVD=0.54$ ) قرار گرفته‌اند. برای مدل سازی جداگرهای لرزه‌ای پایه در نرم افزار SAP 2000 از المان Link از نوع Rubber Isolator استفاده شده است [۷]. شایان ذکر است که در روش تحلیل دینامیکی طیفی همانند روش استاتیکی المان‌های جداگر به صورت خطی رفتار می‌کنند و از سختی و میرایی موثر این المان‌ها تحت جابجایی طرح استفاده می‌شود.

## ۷- طراحی سیستم‌های جداگر لرزه‌ای پایه

در طراحی جداگرهای لرزه‌ای در قدم اول به‌ازای پی‌ریود هدف ( $T_D$ ) و میرایی مؤثر ( $\beta_{eff}$ ) در نظر گرفته شده برای سیستم جداگر، مقدار سختی مؤثر ( $K_{eff}$ ) و تغییر مکان طرح ( $D_D$ ) مطابق ضوابط آئین‌نامه UBC97 از روابط زیر به‌دست می‌آیند:

$$K_{eff} = W + \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2, \quad (1)$$

$$W = \text{Dead Load} + 0.4 \text{ Live Load}$$

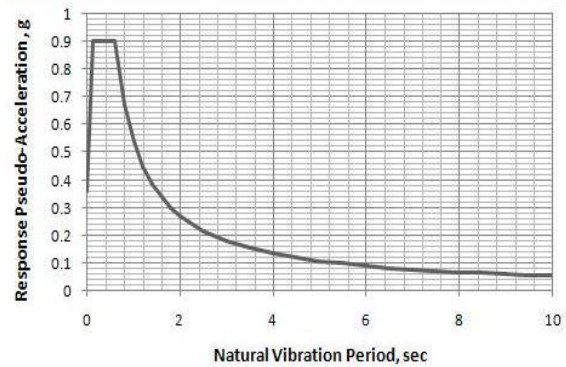
$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} \quad (2)$$

مقدار مقاومت مشخصه  $Q$  و سختی جانبی الاستومر  $K_r$  با انجام روش سعی و خطا با استفاده از روابط زیر محاسبه شده و نهایتاً مقدار ضخامت الاستومر  $t_r$  و مساحت هسته سربی  $A_{pb}$  نیز به‌دست می‌آیند:

$$K_r = \frac{GA}{t_r}, \quad Q = A_{pb} \sigma_{pb}, \quad K_{eff} = K_r + \frac{Q}{D} \quad (3)$$

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}, \quad \beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (4)$$

در روابط فوق  $G$  مدول برشی الاستومر،  $A$  کل مساحت سطح مقطع (که می‌تواند با مساحت ورقه‌های فولادی تقویت‌کننده متفاوت باشد) و  $D_y$  تغییر مکان حد تسلیم می‌باشند. در این تحقیق، مقدار تنش تسلیم سرب  $\sigma_{spb} = 10 \text{ MPa}$ ، مدول برشی الاستومر  $G = 0.7 \text{ MPa}$  نسبت سختی ارتجاعی به سختی پس از تسلیم ( $K_1/K_2$ ) برای تمام جداسازها برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است. مشخصات و جزئیات طراحی هر نوع از سیستم‌های جداگر لرزه‌ای پایه در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۸): طیف طرح استاندارد آئین‌نامه UBC97 [۹]

## ۶- مشخصات سیستم‌های جداگر لرزه‌ای پایه

در این مقاله سه نوع مدل برای سیستم جداگر لرزه‌ای پایه انتخاب گردیده است. این سه نوع مدل به گونه‌ای انتخاب گردیده‌اند که بتوان اثرات تغییر زمان تناوب سیستم جداگر، بر رفتار سازه را نشان داد. جهت طرح اولیه جداگرهای لرزه‌ای پایه از ضوابط آئین‌نامه UBC97 استفاده شده است. معمولاً جداگرهای الاستومریک با هسته سربی از لاستیکی با میرایی پایین و مقاومت بالا ساخته می‌شوند که مدول برشی آنها در کرنش برشی ۱۰۰٪ بین ۰/۴ تا ۰/۷ مگاپاسکال تغییر می‌کند [۱ و ۷].

فرض‌های اساسی در طراحی تمام جداگرهای لرزه‌ای پایه به شرح زیر می‌باشد:

- ۱) میرایی معادل ویسکوز (معادل سطح داخلی چرخه نیرو-تغییر مکان) برابر ۱۵٪ فرض می‌شود.
- ۲) زمان تناوب مدل‌ها با فرض روسازه صلب برابر ۲ و ۲/۵ و ۳ ثانیه فرض می‌شود (با توجه به طیف طرح).
- ۳) کرنش برشی حداکثر ( $\gamma_{max}$ ) برابر با ۱۰۰٪ و مدول برشی ( $G$ ) برابر با ۰/۴ مگاپاسکال فرض می‌شود.
- ۴) از زوال سختی جداگر صرفه نظر می‌شود، بنابراین:

$$K_{D, \min} = K_{eff}$$

- ۵) نسبت سختی ارتجاعی به سختی پس از تسلیم ( $K_1/K_2$ ) برای تمام جداسازها برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است.
- ۶) ضریب میرایی (BD) با توجه به جدول (۱)، برابر با ۱/۳۵ در نظر گرفته شده است [۹].
- ۷) مقدار تنش تسلیم سرب ( $\sigma_{spb}$ ) برابر با ۱۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است [۱ و ۲].

جدول (۱): ضریب میرایی بر حسب درصد میرایی موثر سیستم جداگر مطابق با آئین نامه UBC97 [۹]

۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵	≤۲	$\beta_{eff} \%$
۲/۰	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۲	۱/۰	۰/۸	$B_D$

جدول (۲): مشخصات طراحی سیستم های جداگر لرزه ای پایه مطابق با آئین نامه UBC97

Properties of Design for S-RB and LRB Systems Based on UBC97-A(3 Story)									
۸	Number of LRB Systems				۱۶	Number of S-RB Systems			
$K_{eff}$ for LRB (KN/m)	Q/D <sub>D</sub> for LRB (KN/m)	$K_r$ for S-RB (KN/m)	Lead Core Diameter (mm)	D <sub>TM</sub> (mm)	D <sub>TD</sub> (mm)	B <sub>D</sub>	$\beta_{eff}$	T <sub>D</sub> (sec)	Name
۵۴۳/۸۱۳۸	۲۶۷/۴۹۵۰	۲۷۶/۳۱۸۸	۸۲/۳	۲۵۹/۳	۲۴۲/۷	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۰	S-RB&LRB (A-1)
۳۴۸/۰۴۰۸	۱۷۱/۱۹۶۸	۱۷۶/۸۴۴۰	۷۳/۶	۳۲۴/۱	۳۰۳/۳	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۵	S-RB&LRB (A-2)
۲۴۱/۶۹۵۰	۱۱۸/۸۸۶۷	۱۲۲/۸۰۸۳	۶۷/۲	۳۸۸/۹	۳۶۴/۰	۱/۳۵	٪۱۵	۳/۰	S-RB&LRB (A-3)
Properties of Design for S-RB and LRB Systems Based on UBC97-B(6 Story)									
۸	Number of LRB Systems				۱۶	Number of S-RB Systems			
$K_{eff}$ for LRB (KN/m)	Q/D <sub>D</sub> for LRB (KN/m)	$K_r$ for S-RB (KN/m)	Lead Core Diameter (mm)	D <sub>TM</sub> (mm)	D <sub>TD</sub> (mm)	B <sub>D</sub>	$\beta_{eff}$	T <sub>D</sub> (sec)	Name
۱۰۸۷/۶۲۷۵	۵۳۴/۹۸۹۹	۵۵۲/۶۳۷۶	۱۱۶/۴	۲۵۹/۳	۲۴۲/۷	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۰	S-RB&LRB (B-1)
۶۹۶/۰۸۱۷	۳۴۲/۳۹۳۶	۳۵۳/۶۸۸۱	۱۰۴/۱	۳۲۴/۱	۳۰۳/۳	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۵	S-RB&LRB (B-2)
۴۸۳/۳۹۰۰	۲۳۷/۷۷۳۳	۲۴۵/۶۱۶۷	۹۵/۰	۳۸۸/۹	۳۶۴/۰	۱/۳۵	٪۱۵	۳/۰	S-RB&LRB (B-3)
Properties of Design for S-RB and LRB Systems Based on UBC97-C(10 Story)									
۸	Number of LRB Systems				۱۶	Number of S-RB Systems			
$K_{eff}$ for LRB (KN/m)	Q/D <sub>D</sub> for LRB (KN/m)	$K_r$ for S-RB (KN/m)	Lead Core Diameter (mm)	D <sub>TM</sub> (mm)	D <sub>TD</sub> (mm)	B <sub>D</sub>	$\beta_{eff}$	T <sub>D</sub> (sec)	Name
۱۸۱۲/۷۱۲۶	۸۹۱/۶۴۹۹	۹۲۱/۰۶۲۷	۱۵۰/۲	۲۵۹/۳	۲۴۲/۷	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۰	S-RB&LRB (C-1)
۱۱۶۰/۱۳۶۱	۵۷۰/۶۵۶۰	۵۸۹/۴۸۰۱	۱۳۴/۴	۳۲۴/۱	۳۰۳/۳	۱/۳۵	٪۱۵	۲/۵	S-RB&LRB (C-2)
۸۰۵/۶۵۰۱	۳۹۶/۲۸۸۹	۴۰۹/۳۶۱۲	۱۲۲/۷	۳۸۸/۹	۳۶۴/۰	۱/۳۵	٪۱۵	۳/۰	S-RB&LRB (C-3)

نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام شده بر روی سازه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که رفتار سازه‌ها با پایه ثابت در تمامی مدها همراه با تغییر شکل‌های سازه‌ای قابل توجه است. اما رفتار سازه‌های جداسازی شده در مد اول، همانند جسم صلب است و تنها در مدهای بعدی نشان دهنده تغییر شکل‌های سازه‌ای می‌باشد.

۸- بررسی تغییر شکل‌های سازه‌ای، زمان تناوب و ضریب شراکت جرم مدی سازه‌ها با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

شکل (۹) به عنوان نمونه ای از بررسی‌های انجام شده بر روی تغییر شکل‌های سازه‌ای، اشکال مدی سازه ده طبقه فولادی در دو حالت پایه ثابت و پایه جداسازی شده را



از سوی دیگر، همانطور که در جداول (۳) تا (۵) مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که ضریب شراکت جرم مدی سازه‌های جداسازی شده در مد اول تقریباً برابر با یک و در مدهای بعدی تقریباً برابر با صفر است. یعنی تمامی انرژی زمین لرزه، در مد اول ارتعاش که تغییر شکل‌های سازه‌ای در آن ناچیز است جذب می‌شود. همانطور که در جداول (۳) تا (۵) مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهند که زمان تناوب سازه‌های ۳، ۶ و ۱۰ طبقه در مد اول ارتعاش، برای حالت جداسازی شده به ترتیب حداکثر تا ۹، ۶ و ۳ برابر مقدار مشابه در سازه‌ها با پایه ثابت افزایش یافته است. با توجه به منطقه قرارگیری سازه و طیف پاسخ شتاب، سازه‌ها از ناحیه حساس به شتاب خارج شده و شتاب پاسخ سازه کاهش خواهد یافت. بنابراین جهت طراحی سازه با جداگرهای لرزه‌ای پایه یکی از مهمترین عواملی که باید مورد بررسی قرار گیرد منطقه قرارگیری سازه و طیف طرح منطقه می‌باشد.

#### ۹- بررسی برش طبقات سازه‌ها با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

همانطور که در جداول (۶) تا (۸) و شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش زمان تناوب (در افزایش زمان تناوب) (در نتیجه کاهش سختی موثر) سیستم جداگر لرزه‌ای پایه، برش طبقات کاهش می‌یابد. بنابراین برای کاهش بیشتر نیروی زلزله و بهبود رفتار لرزه‌ای سازه، افزایش زمان تناوب جداگر لرزه‌ای توصیه می‌شود.

از سوی دیگر، برای افزایش زمان تناوب جداگرهای لرزه‌ای پایه مهم‌ترین محدودیت موجود، افزایش جابجایی روسازه صلب می‌باشد. با افزایش زمان تناوب و افزایش جابجایی تراز بالای جداگر، اثر  $P-\Delta$  در جداگرها افزایش

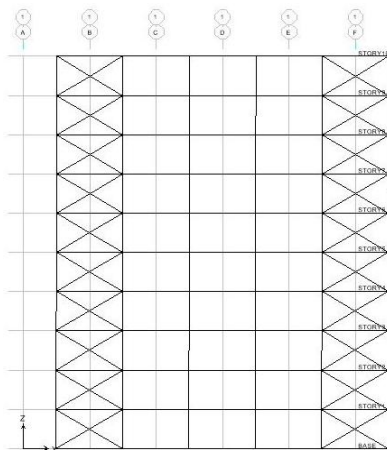
می‌یابد و یکی از عوامل خرابی جداگرها اثر  $P-\Delta$  در آنها می‌باشد. به همین دلیل با توجه به محل قرارگیری سازه و کاربری آن با استفاده از معیارهای کنترلی در آیین نامه می‌توان سختی کمتری برای عملکرد بهتر جداگرها در نظر گرفت.

همانطور که از جداول (۶) تا (۸) و شکل (۱۰) مشخص است، در سازه‌ها با بالا رفتن تعداد طبقات از ۶ به ۱۰، برش طبقات سازه‌های جداسازی شده، نسبت به سازه مشابه با پایه ثابت کاهش کمتری یافته است. دلیل آن این است که با بالا رفتن تعداد طبقات در شرایط یکسان، سختی سازه کاهش می‌یابد. در نتیجه پریود طبیعی سازه افزایش یافته و فرض ایده آل روسازه صلب سیستم جداگر دیگر صادق نمی‌باشد. در نتیجه رفتار سازه جداسازی شده به رفتار سازه با پایه ثابت نزدیک تر می‌شود.

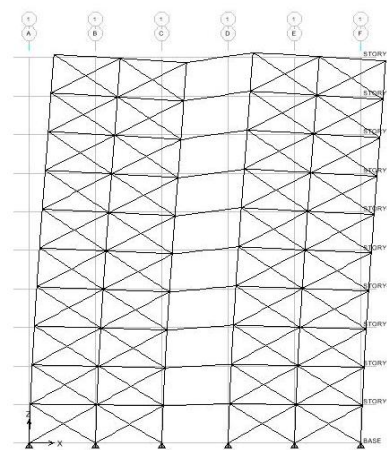
#### ۱۰- بررسی برش پایه سازه‌ها با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش زمان تناوب (در نتیجه کاهش سختی موثر جداگر لرزه‌ای) پاسخ برش پایه کاهش می‌یابد. بنابراین برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه و کاهش پاسخ برش پایه، افزایش زمان تناوب جداگر لرزه‌ای توصیه می‌شود.

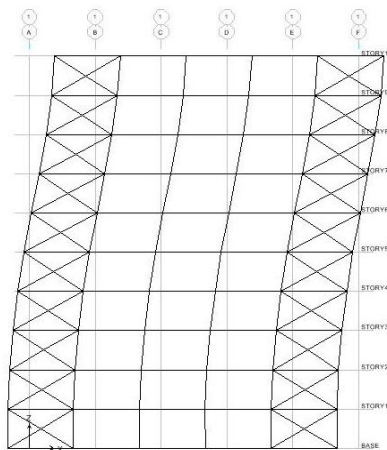
بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات سازه از ۳ تا ۶ در درصد کاهش برش پایه تغییری مشاهده نمی‌شود، که دلیل آن این است که سختی سازه با بالا رفتن تعداد طبقات از ۳ به ۶، به دلیل سختی زیاد سیستم‌های مهاربندی هم محور کاهش قابل توجهی نداشته است و فرض ایده‌آل روسازه صلب همچنان صادق است.



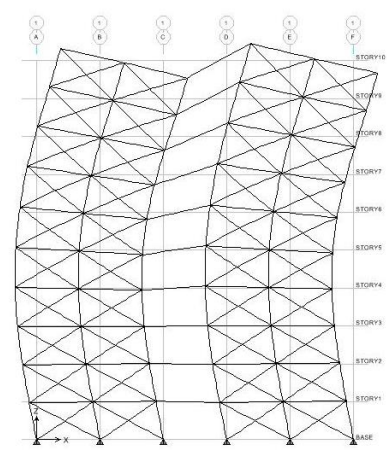
**T1= 3.024sec, L1= 99.9957 % (Isolated Base) - MODE 1**



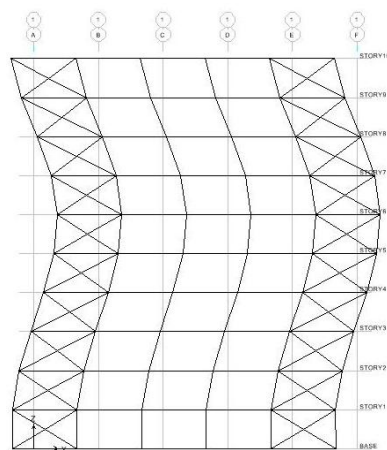
**T1= 0.952sec, L1= 68.681 % (Fixed Base) - MODE 1**



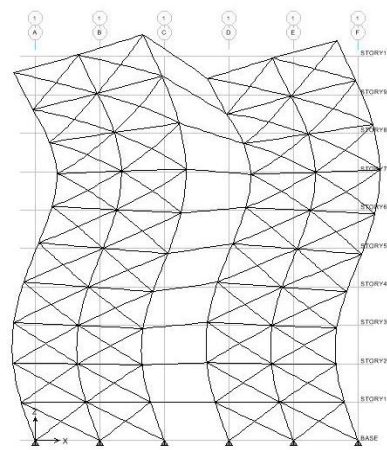
**T2= 0.209sec, L2= 0.004 % (Isolated Base) - MODE 2**



**T2= 0.247sec, L2= 20.655 % (Fixed Base) - MODE 2**



**T3= 0.106sec, L3= 0.0003 % (Isolated Base) - MODE 3**



**T3= 0.122sec, L3= 6.058 % (Fixed Base) - MODE 3**

شکل (۹): اشکال مدی سازه ده طبقه با پایه ثابت و پایه جداسازی شده در جهت X

جدول (۳): زمان تناوب و ضریب شراکت جرم مدی در مد اول ارتعاش برای سازه سه طبقه در جهت های X و Y

Period and modal participating mass coefficient in Y direction and in the first mode. A(3 Story)			Period and modal participating mass coefficient in X direction and in the first mode. A(3 Story)		
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$			Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$		
Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure	Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure
۸۴/۱۴۵۴	۰/۳۳۶۰۷۹	Fixed Base	۸۴/۱۶۹۸	۰/۳۳۶۰۵۶	Fixed Base
۹۹/۹۹۸۲	۲/۰۱۵۷۴۲	S-RB&LRB(A-1)	۹۹/۹۹۸۳	۲/۰۱۴۸۴۸	S-RB&LRB(A-1)
۹۹/۹۹۹۳	۲/۰۱۲۶۰۶	S-RB&LRB(A-2)	۹۹/۹۹۹۳	۲/۰۱۱۸۸۹	S-RB&LRB(A-2)
۹۹/۹۹۹۶	۳/۰۱۰۵۱۱	S-RB&LRB(A-3)	۹۹/۹۹۹۷	۳/۰۰۹۹۱۳	S-RB&LRB(A-3)

جدول (۴): زمان تناوب و ضریب شراکت جرم مدی در مد اول ارتعاش برای سازه شش طبقه در جهت های X و Y

Period and modal participating mass coefficient in Y direction and in the first mode. B(6 Story)			Period and modal participating mass coefficient in X direction and in the first mode. B(6 Story)		
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$			Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$		
Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure	Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure
۷۳/۷۲۷۸	۰/۴۹۵۵۶۶	Fixed Base	۷۳/۸۵۷۵	۰/۴۹۴۶۰۳	Fixed Base
۹۹/۹۹۴۶	۲/۰۲۱۰۹۸	S-RB&LRB(B-1)	۹۹/۹۹۵	۲/۰۱۸۹۰۹	S-RB&LRB(B-1)
۹۹/۹۹۷۷	۲/۰۱۶۸۹۵	S-RB&LRB(B-2)	۹۹/۹۹۷۹	۲/۰۱۵۱۳۸	S-RB&LRB(B-2)
۹۹/۹۹۸۹	۳/۰۱۴۰۸۶	S-RB&LRB(B-3)	۹۹/۹۹۹	۳/۰۱۲۶۲	S-RB&LRB(B-3)

جدول (۵): زمان تناوب و ضریب شراکت جرم مدی در مد اول ارتعاش برای سازه ده طبقه در جهت های X و Y

Period and modal participating mass coefficient in Y direction and in the first mode. C(10 Story)			Period and modal participating mass coefficient in X direction and in the first mode. C(10 Story)		
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$			Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$		
Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure	Modal Participating Mass Coefficient (%)	Period(sec) Model1	Type of Structure
۶۸/۶۳۸۳	۰/۹۵۲۸۸	Fixed Base	۶۸/۶۸۰۶	۰/۹۵۲۰۲۵	Fixed Base
۹۹/۹۷۱۳	۲/۰۴۴۶۸۲	S-RB&LRB(C-1)	۹۹/۹۷۹۱	۲/۰۳۶۱۲۱	S-RB&LRB(C-1)
۹۹/۹۸۸۰	۲/۰۳۵۸۰۵	S-RB&LRB(C-2)	۹۹/۹۹۱۳	۲/۰۲۸۹۳	S-RB&LRB(C-2)
۹۹/۹۹۴۱	۳/۰۲۹۸۶۴	S-RB&LRB(C-3)	۹۹/۹۹۵۷	۳/۰۲۴۱۲۳	S-RB&LRB(C-3)

جدول (۶): برش طبقات بر حسب (ton) در جهت های X و Y برای سازه سه طبقه با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

Story shear force (ton) in Y direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. A(3 Story)					Story shear force (ton) in X direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. A(3 Story)				
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$					Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$				
Type of Structure				Story	Type of Structure				Story
S-RB&LRB (A-3)	S-RB&LRB (A-2)	S-RB&LRB (A-1)	Fixed Base		S-RB&LRB (A-3)	S-RB&LRB (A-2)	S-RB&LRB (A-1)	Fixed Base	
۴۸/۵۰	۵۸/۱۹	۷۲/۵۰	۱۵۴/۲۴	STORY1	۴۸/۵۰	۵۸/۲۰	۷۲/۵۲	۱۵۴/۲۶	STORY1
۳۲/۳۷	۳۸/۸۶	۴۸/۴۷	۱۲۸/۹۰	STORY2	۳۲/۳۸	۳۸/۸۷	۴۸/۴۸	۱۲۸/۹۱	STORY2
۱۶/۲۰	۱۹/۴۵	۲۴/۲۸	۷۹/۹۳	STORY3	۱۶/۲۰	۱۹/۴۶	۲۴/۲۹	۷۹/۹۳	STORY3

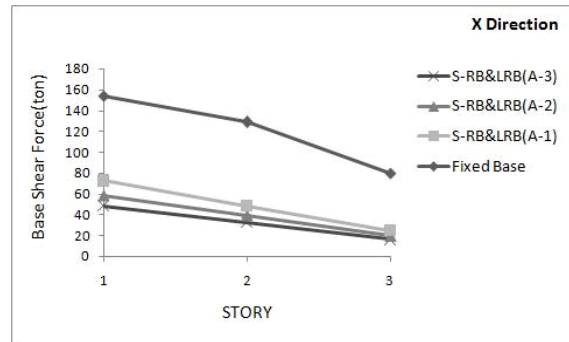
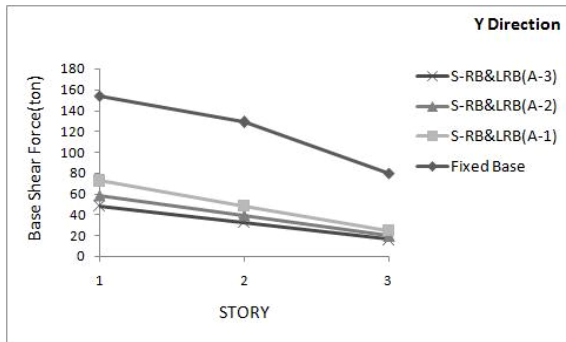
جدول (۷): برش طبقات بر حسب (ton) در جهت های X و Y برای سازه شش طبقه با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

Story shear force (ton) in Y direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. B(6 Story)					Story shear force (ton) in X direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. B(6 Story)				
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$					Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$				
Type of Structure				Story	Type of Structure				Story
S-RB&LRB (B-3)	S-RB&LRB (B-2)	S-RB&LRB (B-1)	Fixed Base		S-RB&LRB (B-3)	S-RB&LRB (B-2)	S-RB&LRB (B-1)	Fixed Base	
۹۷/۰۳	۱۱۶/۴۴	۱۴۵/۵۲	۳۰۸/۵۱	STORY1	۹۷/۰۲	۱۱۶/۴۱	۱۴۵/۵۱	۳۰۸/۵۳	STORY1
۸۰/۹۵	۹۷/۱۹	۱۲۱/۵۸	۲۹۴/۲۰	STORY2	۸۰/۹۴	۹۷/۱۶	۱۲۱/۵۵	۲۹۴/۱۹	STORY2
۶۴/۸۲	۷۷/۸۶	۹۷/۴۸	۲۶۷/۲۱	STORY3	۶۴/۸۱	۷۷/۸۳	۹۷/۴۵	۲۶۷/۱۶	STORY3
۴۸/۶۶	۵۸/۴۶	۷۳/۲۴	۲۲۸/۵۶	STORY4	۴۸/۶۵	۵۸/۴۴	۷۳/۲۲	۲۲۸/۴۴	STORY4
۳۲/۴۶	۳۹/۰۱	۴۸/۸۹	۱۷۵/۸۹	STORY5	۳۲/۴۵	۳۸/۹۹	۴۸/۸۸	۱۷۵/۷۵	STORY5
۱۶/۲۴	۱۹/۵۲	۲۴/۴۷	۱۰۲/۵۰	STORY6	۱۶/۲۳	۱۹/۵۱	۲۴/۴۶	۱۰۲/۳۹	STORY6

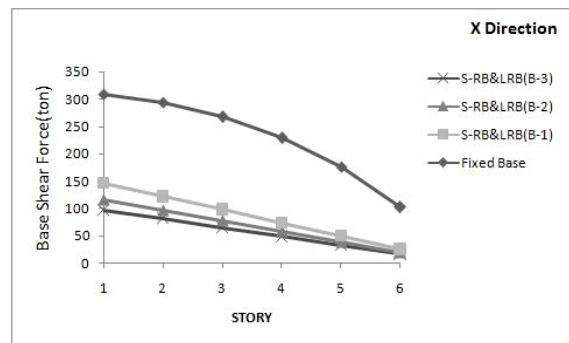
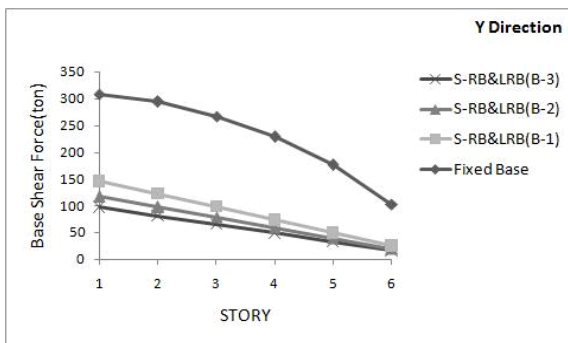
جدول (۸): برش طبقات بر حسب (ton) در جهت های X و Y برای سازه ده طبقه با پایه ثابت و پایه جداسازی شده

Story shear force (ton) in Y direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. C(10 Story)					Story shear force (ton) in X direction determined from spectrum dynamic analyses for different base isolation systems. C(10 Story)				
Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$					Effective Damping: $\beta_{eff} = 15\%$				
Type of Structure				Story	Type of Structure				Story
S-RB&LRB (C-3)	S-RB&LRB (C-2)	S-RB&LRB (C-1)	Fixed Base		S-RB&LRB (C-3)	S-RB&LRB (C-2)	S-RB&LRB (C-1)	Fixed Base	
۱۶۱/۶۸	۱۹۴/۰۶	۲۴۲/۵۳	۳۲۳/۷۹	STORY1	۱۶۱/۷۱	۱۹۴/۰۳	۲۴۲/۵۲	۳۲۴/۰۹	STORY1
۱۴۵/۷۵	۱۷۵/۰۶	۲۱۹/۰۷	۳۱۵/۱۴	STORY2	۱۴۵/۷۳	۱۷۴/۹۶	۲۱۸/۹۱	۳۱۵/۴۱	STORY2
۱۲۹/۷۵	۱۵۵/۹۴	۱۹۵/۳۷	۲۹۹/۶۴	STORY3	۱۲۹/۷۰	۱۵۵/۸۰	۱۹۵/۱۳	۲۹۹/۹۲	STORY3
۱۱۳/۶۹	۱۳۶/۷۳	۱۷۱/۴۸	۲۷۹/۸۰	STORY4	۱۱۳/۶۲	۱۳۶/۵۶	۱۷۱/۱۹	۲۸۰/۱۱	STORY4
۹۷/۵۸	۱۱۷/۴۱	۱۴۷/۴۰	۲۵۷/۳۶	STORY5	۹۷/۵۰	۱۱۷/۲۴	۱۴۷/۱۰	۲۵۷/۶۸	STORY5
۸۱/۴۱	۹۸/۰۱	۱۲۳/۱۵	۲۳۲/۹۳	STORY6	۸۱/۳۴	۹۷/۸۵	۱۲۲/۸۸	۲۳۳/۲۳	STORY6
۶۵/۲۰	۷۸/۵۲	۹۸/۷۵	۲۰۶/۲۰	STORY7	۶۵/۱۴	۷۸/۳۹	۹۸/۵۱	۲۰۶/۴۵	STORY7
۴۸/۹۴	۵۸/۹۷	۷۴/۲۱	۱۷۵/۴۰	STORY8	۴۸/۸۹	۵۸/۸۶	۷۴/۰۲	۱۷۵/۶۱	STORY8
۳۲/۶۵	۳۹/۳۵	۴۹/۵۵	۱۳۶/۱۰	STORY9	۳۲/۶۲	۳۹/۲۸	۴۹/۴۲	۱۳۶/۲۷	STORY9
۱۶/۳۳	۱۹/۶۹	۲۴/۸۰	۸۰/۴۹	STORY10	۱۶/۳۲	۱۹/۶۵	۲۴/۷۳	۸۰/۶۱	STORY10

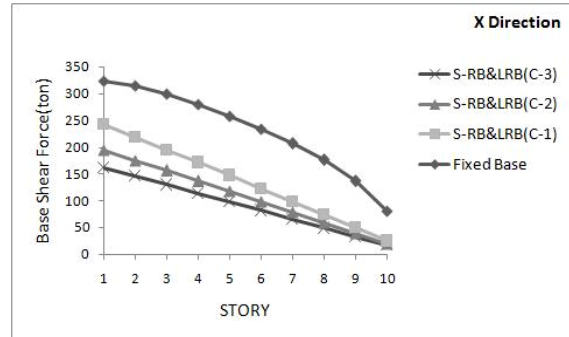
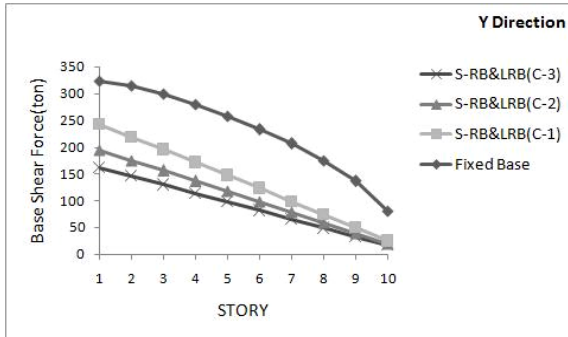




الف) سه طبقه

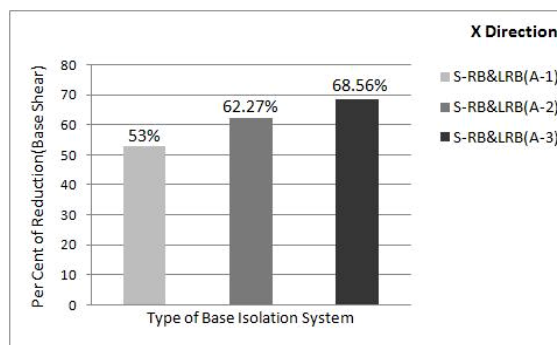
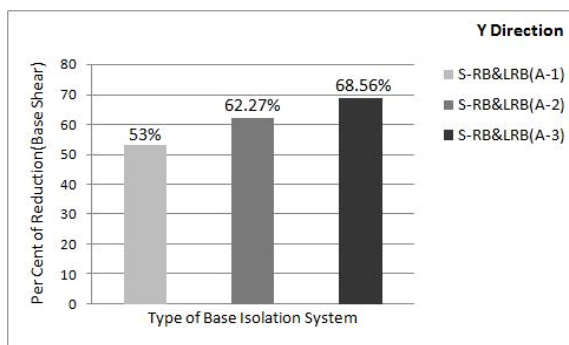


ب) شش طبقه

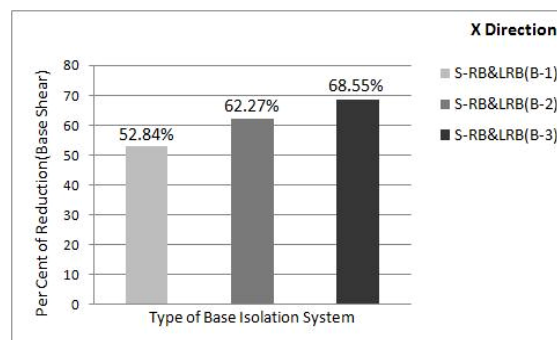
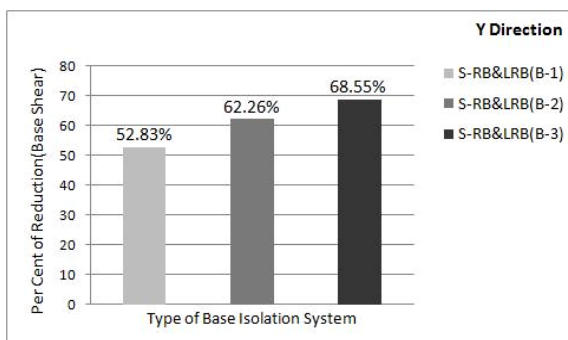


ج) ده طبقه

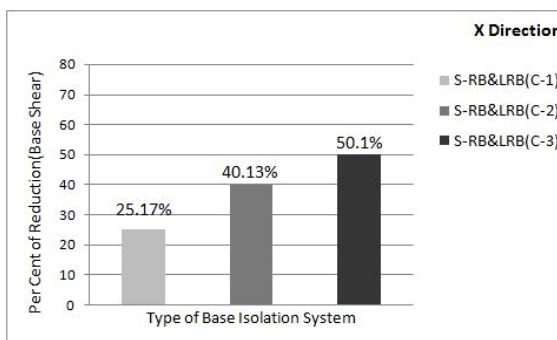
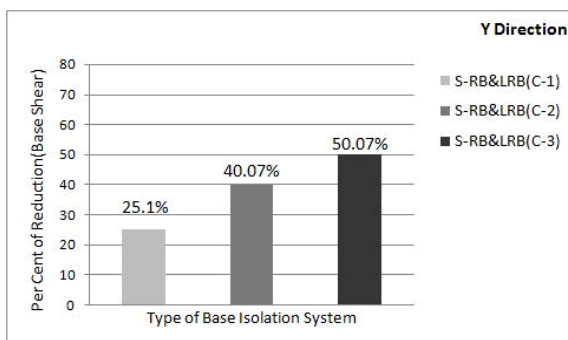
شکل (۱۰): کاهش برش طبقات در جهت های X و Y برای سازه های جداسازی شده با افزایش زمان تناوب سیستم جداساز (الف) سه طبقه (ب) شش طبقه (ج) ده طبقه



الف) سه طبقه



ب) شش طبقه



ج) ده طبقه

شکل (۱۱): درصد کاهش برش پ در جهت های X و Y برای سازه های جداسازی شده با افزایش زمان تناوب سیستم جداساز (الف) سه طبقه (ب) شش طبقه (ج) ده طبقه

#### ۱۰- نتیجه گیری

۲- ضریب شراکت جرم مدی سازه های جداسازی شده در مد اول تقریباً برابر با یک و در مدهای بعدی تقریباً برابر با صفر است. یعنی تمامی انرژی زمین لرزه، در مد اول ارتعاش که تغییر شکل های سازه ای در آن ناچیز است جذب می شود.

۱- رفتار سازه ها با پایه ثابت در تمامی مدها همراه با تغییر شکل های سازه ای قابل توجه است. اما رفتار سازه های جداسازی شده در مد اول، همانند جسم صلب است و تنها در مدهای بعدی نشان دهنده تغییر شکل های سازه ای می باشد.



۳- برش پایه و برش طبقات سازه با افزایش زمان تناوب جداگرهای لرزه‌ای، در نتیجه کاهش سختی موثر جداگرهای لرزه‌ای، کاهش می‌یابد.

۴- با بالا رفتن تعداد طبقات یا کاهش سختی روسازه، برش پایه و برش طبقات سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه مشابه گیردار کاهش کمتری یافته است. بطوریکه اثر جداگرهای لرزه‌ای در کاهش برش پایه و برش طبقات سازه، کم تر می‌شود. بنابراین جداگرها در سازه‌های سخت‌تر (سازه‌های کوتاه)، تاثیر بیشتری دارند.

۵- در سازه‌های بلند، افزایش زمان تناوب جداگر لرزه‌ای، در نتیجه کاهش سختی موثر جداگر لرزه‌ای، تاثیر بیشتری در کاهش برش پایه اعمال شده به سازه خواهد داشت.

۶- با توجه به نحوه عملکرد جداگرهای لرزه‌ای، بکارگیری این سیستم‌ها در بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بلند که به خودی خود دارای زمان تناوب بالایی بوده، مناسب نبوده و غیر قابل توجیه است.

### فهرست علائم

$B_D$ : ضریب میرایی سیستم در سطح پاسخ DBE

$C_{VD}$ : ناحیه سرعت ثابت طیف DBE

$C_{AD}$ : ناحیه شتاب ثابت طیف DBE

$D_D$ : تغییر مکان سیستم جداساز در سطح پاسخ DBE

$D_{TD}$ : کل تغییر مکان با در نظر گرفتن اثرات پیچش در سطح پاسخ DBE

$D_{TM}$ : کل تغییر مکان با در نظر گرفتن اثرات پیچش در سطح پاسخ MCE

$D_y$ : تغییر مکان حد تسلیم سیستم جداساز

DBE: زلزله مبنای طرح (زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال)

G: مدول برشی

$K_e$  و  $K_1$ : سختی الاستیک

$K_p$  و  $K_2$ : سختی پس از تسلیم

$K_r$ : سختی الاستومر

$K_{eff}$ : سختی موثر

$K_{D, min}$ : حداقل سختی موثر سیستم جداگر به ازای تغییر مکان متناظر با زلزله سطح DBE

L1: ضریب شراکت جرم مدی در مد اول

MCE: بیشینه زلزله ممکن (زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال)

Q: مقاومت مشخصه

$R_f$ : ضریب رفتار سازه جداسازی شده

$T_D$ : دوره تناوب هدف متناظر با سطح پاسخ DBE

$T_1$ : زمان تناوب در مد اول

$\gamma_{max}$ : کرنش برشی حداکثر

$\beta_{eff}$ : میرایی موثر سیستم در سطح پاسخ DBE

$\sigma_{ypb}$ : تنش تسلیم سرب

### ۸- مراجع

- [1] Naeim, F. and Kelly, J.M. (1999), "Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice", John Wiley & Sons, Inc. 2nd Edition.
- [2] Skinner, R.I., Robinson, W.H. and Mcverry, G.H. (1999), "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Dusi, A. and Mezzi, M. (2007), "Increasing Safety of Structures in Seismic Area: The Base Isolation Challenge", Proceedings of the 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.
- [4] Seki, M., Nishikawa, T. and Kani, N. (2007), "State-of-the Art on Seismically Isolated Buildings in Japan", Proceedings of the 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.
- [5] Jamali, N., Zahlten, W. and Neuhaus, C. (2007), "Modal Analysis of Friction Based-Isolated Structures", Proceedings of the 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.
- [6] Mateo Alay, A., Hori, N. and Inoue, N. (2009), "Base-Isolated Structure Response using Friction Dampers with a Coupling Mechanism", In B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves, R.C. Barros, (Editors), Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing", Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, doi:10.4203/ccp.91.181.
- [7] Mavronicola, E. and Komodromos, P. (2009), "Assessing the Suitability of Equivalent Linear Elastic Analysis of Seismically Isolated Multi-Storey Buildings", In B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves, R.C. Barros, (Editors), Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, doi:10.4203/ccp.91.182.

[8] Bahar, A., Pozo, F., Acho, L., Rodellar, J. and Barbat, A. (2009), "Semi-Active Control of Base-Isolated Structures using a new Inverse Model of Magneto rheological Dampers", In B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves, R.C. Barros, (Editors), "Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing", Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, doi:10.4203/ccp.91.160.

[9] Uniform Building Code, UBC97.

