بررسی دریفت غیر خطی ساختمان فولادی گروه (ج) مجهز به سیستم جداساز پایه لاستیک هسته سربی(LRB)

نویسنده:

پیام شفیعی فوجردی[1]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد گرگان

Email: (payamreal@gmail.com)

چکیده:

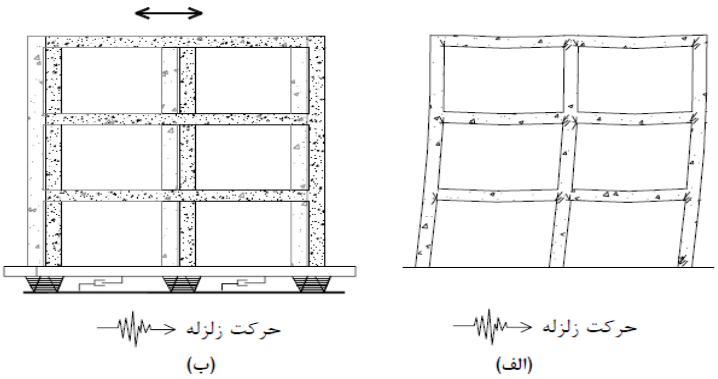
درسال های اخیراستفاده از جداساز پایه در صنعت ساختمان و مهندسی مکانیک برای کاهش نیروها و سرعت های دینامیکی از این سیستم استفاده می شود. جداساز لاستیک هسته سربی شامل لایه های الاستومر و یه هسته سرب که در بین لایه های فولاد مدفون شده است. استفاده از جداساز های پایه بخصوص پس از زلزله هیوگو مورد توجه مهندسین عمران در ژاپن و ایالات متحده قرارگرفت. تنها پس از گذشت ۵ سال از آن زلزله در سال ۲۰۰۰ میلادی تعداد ساختمان هایی که با استفاده از جداساز پایه لاستیک هسته سربی و میراگرهای ویسکوز ساخته شده اند با ضریب ۱۰ افزایش یافته است. در این مقاله به تاثیر جداساز پایه لاستیک هسته سربی بر روی پاسخ دینامیکی ساختمان گروه (ج) مورد مطالعه قرار گرفته است. که موقعیت بهینه این سیستم زیر ستون های سازه و بر روی پی قرار می گیرد. برای طراحی عملی این جداساز در ساختار سازه، با استفاده از تحلیل استاتیکی با پیدا نمودن حداکثر نیروی فشاری ستون طبقه هم کف اجرا می شود. برای محاسبه دریفت غیر خطی، تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی با روش انتگرال گیری مستقیم مناسب ترین است. نتایج عددی نشان می دهد که جداساز لاستیک هسته سربی نسبت به ساختار پایه فیکس میتوانند ۶۰ درصد دریفت غیر خطی بام سازه را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: ساختمان فولادی گروه (ج)، جداساز پایه لاستیک هسته سربی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با انتگرال گیری مستقیم، دریفت غیر خطی

۱– مقدمه:

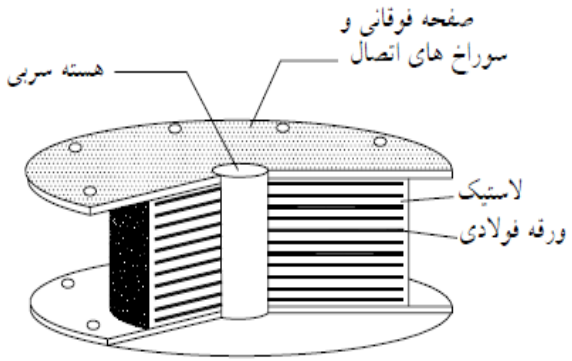
جداسازی لرزه ای عبارت است از جدا کردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت های دیگر سازه بمنظور کاهش پاسخ لرزه ای آن بخش در زمان رویداد زلزله است. روش مرسوم طراحی لرزه ای سازه ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی لرزهای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی در سازه، با افزایش مقاومت و تامین شکل پذیری آن صورت

میگیرد. در نتیجه اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه، اعضای مهاربند جانبی همچون بادبند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت کننده در نظر گرفته می شود.



شکل ۱: رفتار سازه (الف) بدون سامانه ی جداساز لرزه ای و استفاده از شکل پذیری، (ب) به همراه سامانه جداساز لرزه ای

افزایش سختی سازه که جذب نیروی بیشتر ناشی از زلزله را به دنبال داشته و سبب افزایش ابعاد اعضای سازهای به منظور تامین مقاومت می شود، موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه میگردد. علاوه بر آن، در روش های مرسوم طراحی، به دلیل تغییر شکل های غیرخطی در اعضای سازه ای و غیر سازه ای امکان بروز خرابی در این اعضا و وقوع آسیب در اجزای غیرسازهای و تجهیزات داخل طبقه به دلیل وقوع تغییر مکان و شتابهای قابل توجه در طبقه وجود دارد. کنترل بروز آسیب در اثر زلزله به خصوص در تکانهای نسبتا شدید کار دشواری خواهد بود. بر اساس مشاهدات پس از رویداد زلزله های شدید، سازه های ساخته شده بر اساس روش های مرسوم طراحی و ساخت، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می کنند که این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان های بلند، آسیب در اجزای غیر ساز های و تجهیزات و احتمال قطع خدمات ارایه شده از شبکه های مختلف در شریانهای حیاتی مانند تلفن، حمل و نقل، بیمارستانها، برق و آب را به همراه دارد [۱].



شکل ۱: نمایش شماتیک اعضای داخلی میراگر ویسکوز مایع غیر فعال

۲- پیشینه موضوع

تکیه‌گاه سربی لاستیکی (Lead Rubber Bearing) که به اسم اختصاری LRB نیز شناخته می‌شود، در حال حاضر رایج ترین جداساز لرزه‌ای در دنیا می‌باشد. در سال ۱۹۷۴ توسط دکتر رابینسون[1] اختراع شد و برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ درساختمان ویلیام کلیتون در شهر ولینگتون نیوزیلند، مورد استفاده قرار گرفت. از دهه ۸۰ میلادی ساخت و به‌کارگیری LRB در ژاپن و ایالات متحده نیز آغاز گردید. این تکیه‌گاه متشکل از لایه‌های لاستیک و فولاد است که به طور یکی در میان قرار گرفته‌اند. یک یا چند میله‌ی سربی نیز در میان آن وجود دارد. علاوه بر این پیرامون این جداگر لایه‌ای محافظ جهت تضمین پایداری محیطی و افزایش مقاومت در برابر حرارت، تعبیه شده است. اگر چه ایده مربوط به جداسازی کردن ساختمان مربوط به صد سال پیش میشود اما وسایل و تجهیزات مورد نیاز درآن زمان بصورت امروز فراهم نبود لذا امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی استفاده از جداساز ها مورد استقبال و پیشرفت چشمگیری داشته است. طراحی این جداسازها در ایران به صورت دستی انجام می‌شود ولی نرم افزارهای طراحی این نوع سازه‌ها در جهان موجود می‌باشد. از نمونه‌های اجرا شده این نوع سازه در ایران می‌توان به فرودگاه امام خمینی (ره) و یا نیروگاه هسته‌ای بوشهر اشاره کرد که در کارگاه ساخته شده است. این سیستم به صورت یک میراگر نیروی زلزله که باعث اتلاف انرژی زلزله می شود. جداساز پایه لاستیک هسته سربی است که در دهه هفتاد میلادی پیشرفت چشمگیری در زمینه ثبت واختراع داشته است و استفاده از آنها مورد استقبال قرار گرفته است. در راستای مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله های نزدیک و دور از گسل بدون شک جدا ساز پایه یکی از گزینه های بسیار مناسب می باشد ودر برابر لرزه های شدیدی زلزله به بالاترین کارایی خود می رسد وبه کاهش پاسخ لرزه ای سیتم تحت زلزله های شدید کمک میکند [۲].

۲- نوع حرکت سیستم

تحلیل تاریخچه زمانی یک تحلیل گام به گام برای برآورد پاسخ دینامیکی سازه تحت یک بارگذاری خاص که ممکن است متغیر با زمان باشد، می‌باشد. تحلیل تاریخچه زمانی برای مشخص کردن پاسخ های غیر خطی سازه تحت یک بارگذاری دلخواه مورد استفاده قرار می‌گیرد. حالت کلی معادلاتی که در این تحلیل باید حل شوند به صورت رابطه (۱) میباشد.

$$M\ddot{u}(t)+C\dot{u}(t)+Ku(t)=F(t) \qquad (۱)$$

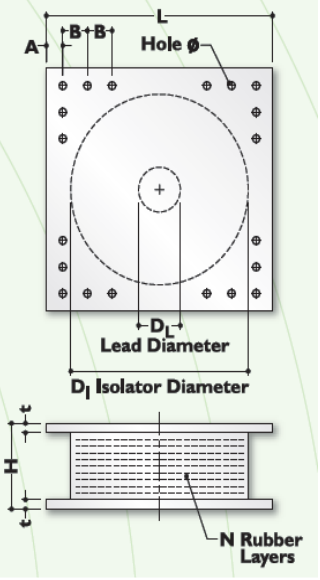
K ماتریس سختی، C ماتریس میرایی، M ماتریس قطری جرم به ترتیب $u(t)$ تغییر مکان، $\dot{u}(t)$ سرعت و $\ddot{u}(t)$ شتاب هستند. $F(t)$ نیز بردار نیروهای اعمالی به سازه می‌باشد. در صورتی که بار اعمال شده شامل شتاب زمین باشد، تغییر مکان سرعت و شتاب ذکر شده نسبت به حرکت زمین اندازه‌گیری می‌شوند [۳].

1 . Robinsone

۳- میراکردن سیستم:

در طراحی این جداساز مبتنی بر حداکثر نیروی محوری فشاری ستون ها P_{max} و حداکثر تغییر مکان D_{max} جداساز و سختی تسلیم K_d و سختی موثر K_{eff} طراحی میگردند، تغییر مکان باید تاحدی باشد که با ساختمان های مجاور تجاوز نکند. بعد از تعیین نیروی محوری فشاری ستون ها سایر پارامتر ها را از کاتالوگ های شرکت سیستم های جداساز دینامیکی[۲] [۴]، که در شکل (۲) آورده شده است، بدست می آوریم.

Isolator Diameter, D_I (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D_{max}(mm)	Axial Load Capacity P_{max}(kN)
	Yielded Stiffness, K_d(kN/mm)	Characteristic Strength Q_d(kN)	Compression Stiffness, K_v(kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



شکل ۲: مشخصات جداساز انتخابی از شرکت سیستم های جداساز دینامیکی [۴].

براساس فرمول ۱۰-۲۱ نشریه ۳۶۰ بهسازی ساختمان های موجود [۵]، سختی موثر K_{eff} را مطابق فرمول (۲) محاسبه میکنیم، نتایج طراحی این جداساز در جدول (۱) محاسبه شده است.

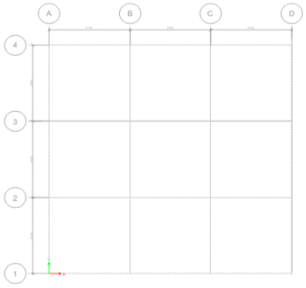
$$K_{eff}=\frac{|F+|+|F-|}{|\Delta+|+|\Delta-|} \qquad (۲)$$

2 . Company Of Dynamic Isolator Systems

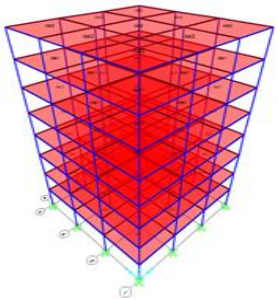
۴- مطالعه موردی:

سازه مورد نظر گروه (ج) بوده که براساس تعرفه های نظام مهندسی ساختمان گروه (ج) را ۸ طبقه در نظر میگیریم. نوع سازه فولادی می باشد و نوع سیستم شکل پذیری قاب خمشی متوسط می باشد. سختی هرطبقه با استفاده نیروی زلزله استاتیکی در جهت X و دریفت هر طبقه مشخص میگردد. تعداد ۱۶ ستون در پلان هم کف سازه که در شکل (۲) نشان داده شده است. سازه مورد مطالعه سازه ۳ بعدی است که در شکل (۳) نشان داده شده است.

تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی با استفاده از روش انتگرال گیری مستقیم، با زلزله چی چی تایوان انجام گرفته است. رکورد این زلزله از سامانه مرکز تحقیقات زلزله پیبر، برای خاک تیپ (III) و زلزله حوزه نزدیک گسل و گسل معکوس رانده مطابق با دستورات استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش چهارم در سال ۱۳۹۲ دانلود شده است. رسم نمودار ها و نتایج جابجایی با نرم افزار های SAP2000، SEISMOSIGNAL، EXCEL، انجام گرفته شده است.



شکل ۲: پلان سازه مورد مطالع



شکل ۳: نمایش ۳ بعدی سازه گروه(ج)

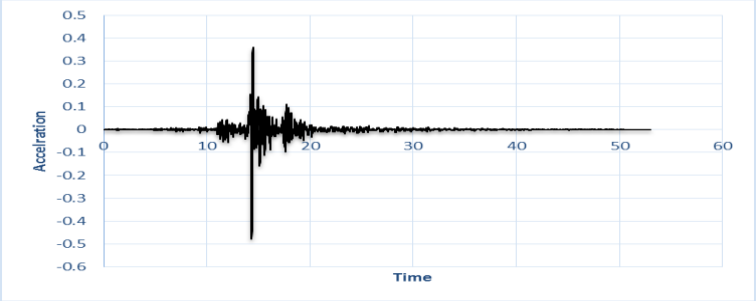
جدول ۱: اعداد حاصل از نتایج طراحی جداساز پایه لاستیک هسته سربی برای ساختمان گروه (ج)

K_{eff}	K_d	D_{max}	P_{max}
5.76 KN/mm	5.3 KN/mm	510(mm)	4000(KN)

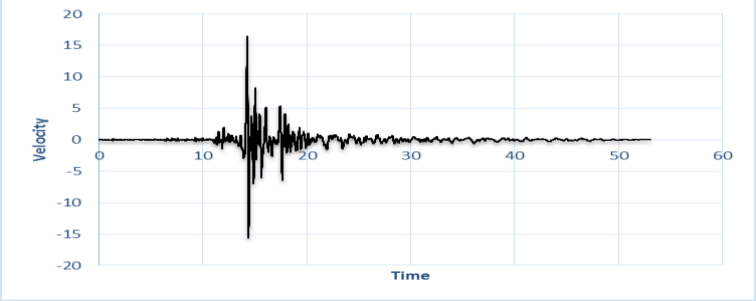
۵- شروع تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با انتگرال گیری مستقیم بازلزله چی چی:

این تحقیق اگر چه بر روی سازه ساختمانی مسکونی متمرکز شده اما میتوان برای انواع سازه های مهندسی از قبیل پل، نیروگاه ها، ساختمان های مهم و غیره با استفاده از روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی با روش انتگرال گیری مستقیم استفاده نمود. در طراحی کلیه سازه های مجهز به میراگر لازم است که یک آنالیز استاتیکی انجام شود. با استفاده ازآنالیز استاتیکی مقادیر حداقلی برای جابجایی ها و نیروها به دست خواهد آمد. همچنین آنالیز استاتیکی برای طراحی اولیه سیستم

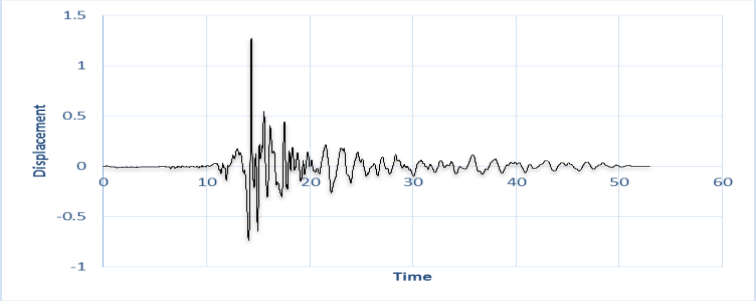
مجهز به جداساز پایه و سازه اصلی، زمانی که طراحی بر اساس آنالیز دینامیکی انجام می شود نیز لازم است. مقادیر شتاب سرعت و جابجایی زلزله چی چی مطابق با اشکال (۴) و (۵) و (۶) میباشد. نمودار مقیاس شده این زلزله مطابق با شکل (۷) می باشد.



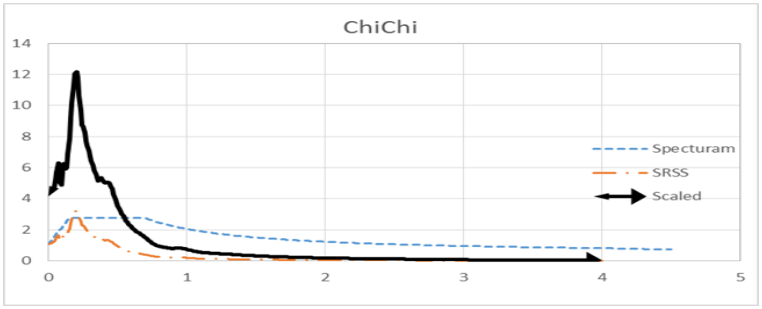
شکل ۴: نمودار شتاب زلزله چی چی با بیشینه شتاب 0.4792



شکل۵: نمودار نمودار سرعت زلزله چی چی با بیشینه سرعت 16.439

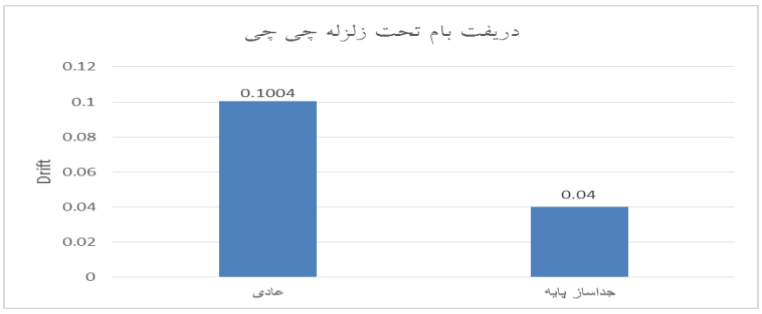


شکل۶: نمودار نمودار تغییر مکان زلزله چی چی با بیشینه تغییر مکان 1.268



شکل ۷: نمودارزلزله چی چی مقیاس شده با ضریب با دروره تناوب T=0.867

بعد از تحلیل سازه نتایج دریفت غیر خطی دو سازه گروه (ج) مطابق با نمودار شکل (۸) می باشد:



شکل ۸: مقایسه دریفت غیر خطی بام تحت زلزله چی چی

۶- تفسیر نتایج:

جداساز پایه لاستیک هسته سربی، به منظور کاهش شتاب سازه ساختمانی مسکونی گروه (ج) تحت بار زلزله چی چی مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج حاصله کاهش دریفت غیر خطی را نشان می دهد. تعدادی ازنتایج حاصل به شرح زیر می باشد:

۱- نتایج جذب انرژی این جداساز، در خصوص انرژی ورودی به سازه خیلی چشمگیر است. این سیستم انرزی زلزله را قبل از ورود به سازه جذب و منحرف می کند و استکان های ناشی از زلزله می کاهد و آسایش برای طبقات بالا را فراهم می کند.

۲- جداساز لاستیک هسته سربی در عملکرد بهتر و قوی ترخواهند بود و فضایی را در سازه اشغال نخواهد کرد چون در زیر ستون ها نصب می گردد.

۳- با توجه با این که این سیستم انرژی ورودی به سازه را کاهش داد دریفت غیر خطی بام را نسبت بـا حالـت عـادی ۶۰ درصـد کاهش داد که نمودار آن در شکل (۸) نشان داده شد.

۷- پیشنهادات

با توجه به این که جداساز پایه لاستیک هسته سربی پارامتر مهم در این مطالعه بود، لذا برای آیندگان پیشنهاد می شود از جداساز های جرمی و پاندولی واصطحکاکی استفاده نمایند، همچنین در این مقاله فاصله از ساختمان هـای مجـاور مهـم نبـود و جداساز با حداکثر جابجایی و حالت دست بالا طراحی شد، لذا برای ادامه دهندگان این روش طراحی بهینه بمنظـور لحـاظ نمـودن فاصله از ساختمان های مجاور پیشنهاد می شود.

۷- منابع فارسی و لاتین:

[۱] راهنمای طراحی واجرای سیستم های جداساز لرزه ای درساختمان (۱۳۸۹). *استاندارد فنی شماره ۵۲۳ تجدید نظر اول.* تهران: معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی.

[2] Asl, M. J., Rahman, M. M., & Karbakhsh, A. (2014). Numerical Analysis of Seismic Elastomeric Isolation Bearing in the Base-Isolated Buildings. *Open Journal of Earthquake Research, 2014.*

[3] Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of structures* (Vol. 3, p. 339). New Jersey: Prentice Hall.

[4] Mc Carran., Nevada 89434 USA., 885 Denmark Drive suite., *Dynamic Isolation Systems.*

[۵] دستور عمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (۱۳۹۲). *استاندارد فنی شماره ۳۶۰ تجدید نظر اول.* تهران: معاونت فنی و توسعه امور زیر بنایی، امور نظام فنی و اجرایی