اثر مؤلفهٔ قائم زلزله بر رفتار ساختمان‌های فولادی دارای جداگر الاستومریک

فرامرز خوشنودیان*[۱] و دانوش معتمدی[۲]

[۱]دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۲]دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت ۸۵/۱۰/۲۳ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۱۲/۱۹، تاریخ تصویب ۸۹/۶/۳۰)

چکیده

هدف از این مقاله بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر رفتار سازه‌های فولادی جداسازی شده می‌باشد؛ لذا یک سازه ۴ طبقه با خروج از مرکزیت‌های مختلف و ۳ رکورد زلزله و ۳ نوع جداگر الاستومریک با زمان تناوب و میرائی‌های متفاوت تحت تحریک ۳ مؤلفه‌ای زلزله بررسی گردیده که در مقایسه با کارهای پیشین، بررسی نیرویی اعضا و همچنین پارامترهای مؤثر طراحی چون بلندشدگی محلی جداگرها ارزیابی گردیده است. نتایج، نشان‌دهنده تاثیر چشم‌گیر مؤلفه قائم زلزله بر روی نیروی محوری (در حدود ۲ برابر) و بلندشدگی محلی ستون‌ها می‌باشد؛ به علاوه نسبت حداکثر مولفه قائم زلزله به حداکثر مولفه افقی نیز به عنوان پارامتری مؤثر استخراج گردیده‌است. همچنین نتایج، نشان‌دهنده ضعف آیین‌نامه‌های معتبر دنیا نظیر IBC، NEHRP و ... می‌باشد که بر خلاف سازه‌های متعارف اثر مؤلفهٔ قائم زلزله بر سازه‌های جداسازی شده را نادیده گرفته‌اند؛ چراکه در محاسبه بار محوری ستون تا ۲/۵ برابر در زلزله‌های دارای مولفه قائم به افقی بزرگ و در حدود ۵٪ در زلزله‌های متوسط خطا ایجاد می‌نماید.

واژه‌های کلیدی : مؤلفهٔ قائم، جداگر الاستومریک، ساختمان‌های فولادی

مقدمه

در سال‌های اخیر مبحث جداساز لرزه‌ای به طور خاص در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی از این کار جداسازی سازه از زمین به جای استفاده از روش‌های مرسوم مقاوم سازی می‌باشد. تجهیزاتی که در جداسازی کردن پایهٔ ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای دو مشخصهٔ مهّم می‌باشند :

- انعطاف پذیری افقی (سختی افقی کم)
- قابلیت جذب انرژی (میرائی زیاد)

انعطاف پذیری سیستم جداگر سبب افزایش زمان تناوب اصلی سازه و خارج شدن آن از محدودهٔ انرژی مخرب زلزله می‌شود؛ از سوی دیگر خاصیت جذب انرژی سبب افزایش میرائی و در پی آن سبب کاهش تغییر مکان زیاد ناشی از انعطاف پذیری جانبی سیستم جداگر می‌شود.

از جمله کارهایی که در زمینهٔ بررسی مؤلفهٔ قائم بر روی سازه‌های جداسازی شده انجام شده است می‌توان به کار آقایان دکتر شکیب و دکتر فولادگر اشاره نمود[۱]. نامبردگان به بررسی اثر مؤلفه‌های سه گانهٔ زلزله بر روی رفتار سازهٔ متقارن جداسازی شده توسط سیستم اصطکاکی خالص پرداخته‌اند، مشاهده گردید که در صورت در نظر نگرفتن مولفهٔ قائم زلزله پاسخ حداکثر شتاب مطلق روسازه و حداکثر تغییر مکان پایه در سازه‌هایی با زمان تناوب کمتر از ۰.۷ ثانیه دست پایین بدست خواهد آمد در حالی که در زمان تناوب‌های متوسط و بزرگ چنین مشکلی به وجود نخواهد آمد. در کار دیگری از ایشان[۲] همان سازهٔ یک طبقهٔ ایده‌آل قبل، مورد استفاده قرار گرفته است با این تفاوت که در این کار مرکز جرم ثابت و مرکز سختی سازه در حال تغییر می‌باشد؛ مشاهده گردید که در سازهٔ نامتقارن در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب کاهش اثر گذاری جداسازی نسبت به حالت دو مؤلفه‌ای بودن زلزله می‌گردد. همچنین در سازه‌های دارای خروج از مرکزیت کم تا متوسط در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب افزایش قابل ملاحظهٔ پاسخ پیچشی سازه می‌گردد. آقایان دکتر شکیب و مهندس اسکندری در کار دیگری یک مدل سازه‌ای شامل یک ساختمان ۵ طبقهٔ بتنی نامتقارن دارای جداگر الاستومریک را بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دادند که (۱) جداسازی سبب کاهش پاسخ سازه نسبت به حالت پایه گیردار می‌گردد، (۲) اثر جداسازی در کاهش پاسخ سازه در سازهٔ نامتقارن کمتر از سازهٔ متقارن می‌باشد، (۳) جداسازی پایه سبب کاهش نیروی برشی و لنگر ستون‌ها می‌گردد، (۴) با افزایش زمان تناوب روسازه از کارائی سیستم جداسازی کاسته می‌شود. آقایان فابیو مازا و آلفونسو ولکانو *Fabio Mazza، Alfonso Vulcano* [۳] به بررسی پاسخ غیرخطی

Archive of SID

www.SID.ir

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۶۴۰۰۲۴۳ ، فاکس : ۶۶۴۱۴۲۱۳ ، Email: khoshnud@aut.ac.ir

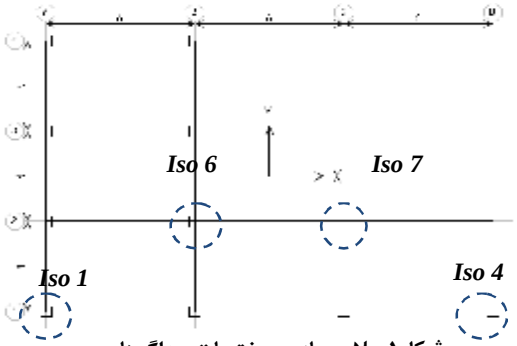
سازهٔ جداسازی شده توسط جداگرهای الاستومریک تحت تحریک زلزلهٔ حوزهٔ نزدیک پرداختند. نتایج حاکی از آن است که تاثیر مؤلفهٔ قائم زلزله بر روی سازه‌هایی که برای مؤلفهٔ قائم طراحی نشده و دارای جداگر با سختی قائم بزرگ می‌باشند مخرب بوده و این اثر برروی تیرها و ستون‌ها سبب وخیم شدن شرایط گردیده است. در مقالهٔ حاضر، اثر مؤلفهٔ قائم زلزله با مقایسهٔ پاسخ سازه تحت اثر دو مؤلفهٔ افقی و سه مؤلفهٔ زلزله بر رفتار سازه جداسازی شده با در نظر گرفتن یک سازهٔ ۴ طبقه و ۳ رکورد زلزله و ۳ نوع جداگر الاستومریک با زمان تناوب و میرائی‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین ۴ حالت خروج از مرکزیت روسازه (۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪) لحاظ گردیده و طی آن تأثیرات همزمان خروج از مرکزیت و تغییر نوع جداگر تحت تحریک مؤلفه‌های سه‌گانهٔ زمین لرزه بر روی رفتار سازه مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطالعهٔ تغییر خواص جداگر (تغییر زمان تناوب و میرائی)، بررسی نیروهای محوری و بلندشدگی محلی ستون‌ها و نمودار "هیسترتیک" جداگرها از جمله کارهایی می‌باشند که در کارهای قبلی به آنها پرداخته نشده است.

مدل سازه‌ای

در این بخش به منظور بررسی رفتار واقعی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زمین لرزه‌های مختلف از روش تحلیل تاریخچه-زمانی غیرخطی استفاده می‌شود. در این روش، جداساز با المان‌های غیرخطی "Rubber Isolator" که دارای رفتار دوخطی می‌باشند و با استفاده از برنامهٔ "SAP2000" [۴] مدل‌سازی و آنالیز شده‌است. شایان ذکر است که در کار حاضر به دلیل نامنظم بودن سازه در پلان از آنالیز طیفی بایستی استفاده شود و همچنین پس از آنالیز طیفی سازه، برش پایهٔ حاصل را با برش پایهٔ استاتیکی معادل کنترل نمود. پس از انجام تحلیل سازه، نیروهای داخلی المان‌های مختلف به دست آمده و سازه تحت ضوابط آئین نامهٔ "*AISC-LRFD*" طراحی شده‌است.

رفتار مدل‌های سازه‌ای طراحی شده با این روش، با استفاده از تحلیل دینامیکی (تاریخچه-زمانی) ارزیابی گردیده است. تحلیل تاریخچه-زمانی انجام شده، رفتار واقعی سازه را تحت شتابنگاشت‌های اعمال شده نشان می‌دهد؛ چراکه در این نوع تحلیل رفتار غیرخطی المان‌های جداگر به شکل واقعی آن مدل شده‌است و اثر اندرکنش دو و سه مولفهٔ زمین لرزه، بر روی رفتار جداگرها نیز در نظر گرفته شده است.

پلان سازهٔ مورد بررسی در شکل(۱) نشان داده شده است. در سازهٔ ۴ طبقهٔ فوق از ۱۶ عدد ایزولاتور با مشخصات یکسان، که به طور یکنواخت در پلان و در زیر ستون‌ها قرار گرفته‌اند استفاده شده است؛ سیستم سازه‌ای این ساختمان ۴ طبقهٔ فولادی از نوع قاب خمشی بوده که در تراز پایه دارای یک کف بیشتر نسبت به سازه‌های متعارف می‌باشد.



شکل۱ :پلان سازه و مختصات جداگرها.

مدل‌های جداگر

پارامترهای ورودی برنامه برای مدل‌های جداگر از روی رفتار دو خطی هر یک از مدل‌ها به دست می‌آید. سه تیپ مدل برای سیستم ایزولاسیون به گونه‌ای انتخاب گردیده‌اند که بتوان اثرات تغییر زمان تناوب و میرائی سیستم جداگر، بر رفتار سازه را نشان داد.

جدول ۱:مشخصات سیستم‌های جداگر.

type	T(s)	β_{eff}	K1 (Ton/cm)	$\alpha=K_2/K_1$	Fy (Ton)	Keff (Ton/cm)
1	2	20%	0.067 W	0.1	0.14 W	0.01 W
2	2	15%	0.076 W	0.1	0.11 W	0.01 W
3	3	20%	0.03 W	0.1	0.065 W	0.004 W

مقادیر k_1 و k_2 به ترتیب سختی اولیه (پیش از تسلیم) و ثانویه (پس از تسلیم) سیستم جداگر و F_y نیروی تسلیم سیستم می‌باشد که بر حسب وزن (۱۰۰٪ مرده+۲۰٪ زنده) سازهٔ جداسازی شده بیان گردیده است. مدل پلاستیک رفتار این المان بر اساس رفتار"هیسترتیک" معرفی شده توسط *Park, Wen, Ang* (۱۹۸۶) [۵] می باشد که توسط *Nagarajaiah, Reinhorn, Constantinou*(۱۹۹۱) برای آنالیز سیستم‌های جداگر لرزه‌ای معرفی گردیده است. اگر

Archive of SID
www.SID.ir

هـر دو درجه آزادی برشی به صورت غیر خطی رفتار نمایند، روابط وابسته نیرو-تغییر مکان به شکل زیر نوشته می شوند:

$$F_2 = \alpha \frac{F_y}{y} u_2 + (1-\alpha) F_y Z_2 \quad (۱)$$

$$F_3 = \alpha \frac{F_y}{y} u_3 + (1-\alpha) F_y Z_3 \quad (۲)$$

F_y : نیروی تسلیم

y: جابجایی تسلیم

α: نسبت سختی بعد از تسلیم به قبل از تسلیم

F_2 و F_3: نیروی مقاوم

Z_2 و Z_3: بیانگر محتوای هیسترتیک نیروی بازگرداننده می‌باشند. برای به دست آوردن Z_2 و Z_3 از مدل پارک ونگ و انگ [۵] استفاده می شود و نیاز به حل معادلات کوپله دیفرانسیل است که اگر ماده ایزوتروپیک فرض شود این معادلات بصورت زیر خواهند بود: [۶] و [۵]

$$Y\begin{Bmatrix}\dot{Z}_2\\ \dot{Z}_3\end{Bmatrix} = A\begin{Bmatrix}\dot{u}_2\\ \dot{u}_3\end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_2^2[\gamma Sign(\dot{u}_2 Z_2)+\beta] & Z_2 Z_3[\gamma Sign(\dot{u}_3 Z_3)+\beta] \\ Z_2 Z_3[\gamma Sign(\dot{u}_2 Z_3)+\beta] & Z_3^2[\gamma Sign(\dot{u}_3 Z_3)+\beta]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\dot{u}_2\\ \dot{u}_3\end{Bmatrix} \quad (۳)$$

γ, β, A: پارامترهای بی بعد

مشخصات تحریکات لرزه‌ای

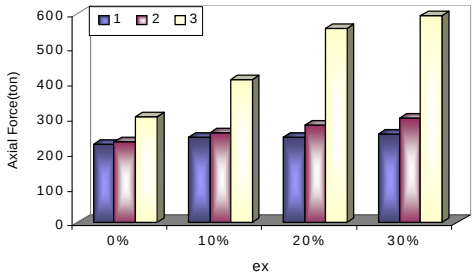
سازهٔ فوق تحت تحریک زلزله‌های سیلمار، السنترو و بم به صورت‌های یک، دو و سه مؤلفه‌ای که به طور همزمان با هم و بدون مقیاس بر سازه اعمال شده‌اند قرار گرفته‌است.

جدول ۲ : مشخصات رکورد زلزله‌ها.

Name	Year	PGA (g) 1 (L)	PGA (g) 2 (T)	PGA (g) 3(V)	V/L
Imperial valley	1979	0.48	0.352	0.707	1.47
Bam	2003	0.815	0.649	1.008	1.24
Northridge	1994	0.843	0.604	0.535	0.63

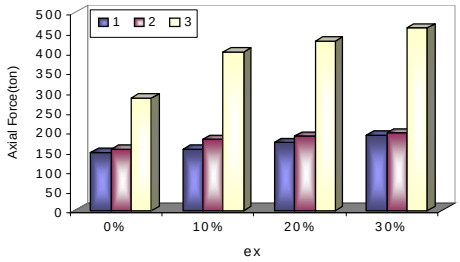
نیروی محوری ستون

در این قسمت به بررسی تاثیر مولفهٔ قائم زلزله بر روی نیروی محوری ستون گوشهٔ شمارهٔ ۱ واقع در طبقهٔ اول سازهٔ جداسازی شده پرداخته شده است. در شکل‌های(۲) و (۳) به ترتیب نیروی محوری فشاری ستون ۱ در برابر تغییرات خروج از مرکزیت برای دو تیپ جداگر در حالات تحریک ۱، ۲ و ۳ مؤلفه‌ای زلزله بم نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش خروج از مرکزیت پاسخ نیروی محوری ستون و همچنین اختلاف بین پاسخ ۲ و ۳ مؤلفه‌ای افزایش می‌یابد. این اختلاف در زلزله‌های السنترو و بم در مقایسه با زلزلهٔ سیلمار بیشتر می‌باشد. به عبارتی در زلزله‌هایی که دارای نسبت $V/L > ۱$ می‌باشند مؤلفهٔ قائم زلزله سبب افزایش بیشتر پاسخ نسبت به حالت دو مؤلفه‌ای می‌گردد و در این بین زلزلهٔ بم به دلیل دارا بودن مؤلفهٔ قائم بزرگتر بیشترین تاثیر را دارا می‌باشد.

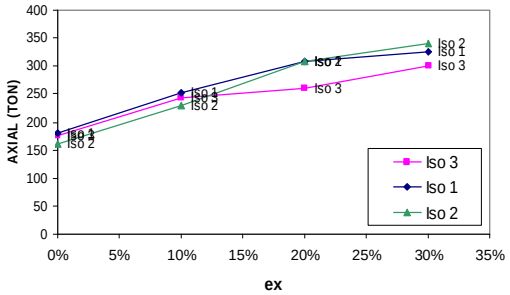


شکل۲ : نیروی محوری فشاری ستون شمارهٔ ۱ در سازهٔ دارای جداگر تیپ ۱ تحت زلزله بم.

این عامل می‌تواند تحت تاثیر مؤلفهٔ طولی بزرگ و مولفهٔ قائم کوچک این زلزله باشد، که وقتی مؤلفهٔ طولی به صورت تکی به سازه اعمال می‌گردد اثرات آن بر روی سازه از حالت دو و سه مؤلفه‌ای تحریک بیشتر نمایان می‌گردد.



شکل۳ : نیروی محوری فشاری ستون شمارهٔ ۱ در سازهٔ دارای جداگر تیپ ۳ تحت زلزله بم.

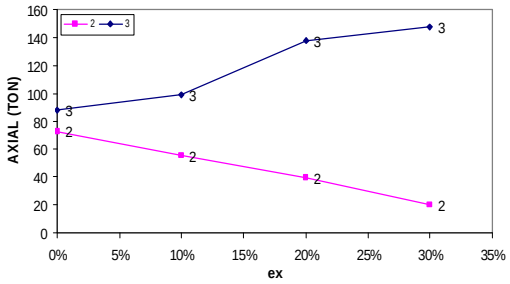


شکل٤ : مقایسهٔ نیروی محوری فشاری ستون شمارهٔ ۱ در سه تیپ جداگر تحت زلزلهٔ السنترو.

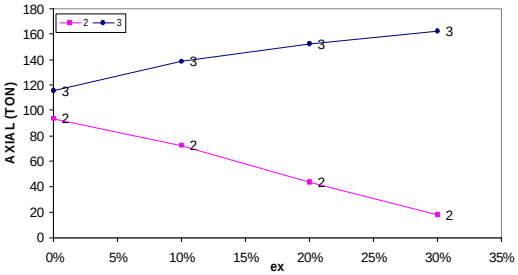
Archive of SID
www.SID.ir

در شکل(۴) مقایسه‌ای بین پاسخ ناشی از تحریک ۳ مؤلفه‌ای سه تیپ ایزولاتور انجام شده است. دیده می‌شود که جداگر تیپ ۱ و ۲ دارای پاسخ‌های نزدیکی بوده در حالی که جداگر تیپ ۳ در مقایسه با دو جداگر دیگر دارای پاسخ های کمتری می‌باشد؛ در واقع افزایش زمان تناوب سیستم در مقایسه با تغییر میرائی تاثیر بیشتری را دارا می‌باشد.

از سویی همان‌طور که در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب افزایش نیروی محوری فشاری ستون گوشه می‌گردد می‌تواند سبب افزایش و یا ایجاد نیروی کششی در ستون دیگر شود. شکل(۵) نیروی محوری کششی ستون شماره ۱ حاصل از تحریک دو و سه مؤلفه‌ای زلزلهٔ بم را برای جداگرهای تیپ ۱ و ۲ نشان می‌دهد. با توجه به شکل در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب افزایش نیروی محوری کششی با افزایش خروج از مرکزیت در جداگرهای تیپ ۱ و ۲ گردیده است. لذا عدم لحاظ نمودن آن می‌تواند سبب دست پایین در نظر گرفتن نیروی کششی در ستون گردد که این نیروی کششی می‌تواند باعث بلند شدگی محلی[۱] در محل جداگر گردد.



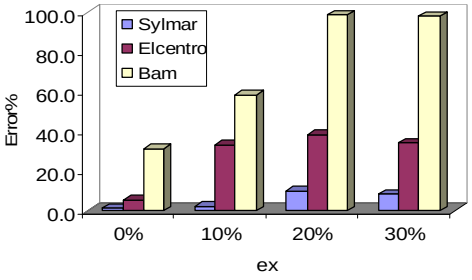
الف : جداگر تیپ ۱.



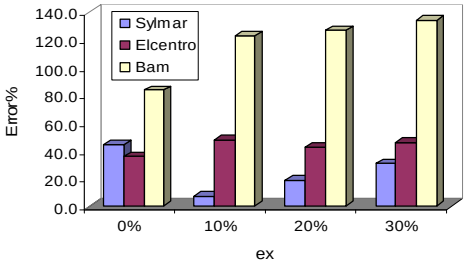
ب :جداگر تیپ ۲.

شکل ۵ : نیروی محوری کششی حاصل از تحریک دو و سه مؤلفه‌ای زلزلهٔ بم.

در واقع بلندشدگی برخی از جداگرها سبب از کار افتادن آنها و در نتیجه افزایش انتقال نیروی زلزله منتقل شده به سازه و تشدید نیروی اعضا می گردد. لیکن اثر مؤلفهٔ قائم زلزله هم در نیروی فشاری و هم در نیروی کششی حائز اهمیت می‌باشد. شکل(۶) درصد خطای حاصل از عدم در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله در محاسبهٔ نیروی محوری فشاری ستون را نشان می دهد.



الف:. جداگر تیپ ۱



ب : جداگر تیپ۳

شکل ۶ : درصد خطای حاصل از عدم در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم.

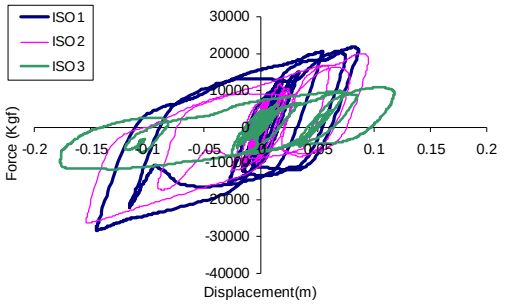
با توجه به شکل(۶) مشاهده می‌شود که درصد خطای مذکور در زلزله‌های السنترو و بم با نسبت $V/L>1$ در مقایسه با زلزلهٔ سیلمار بیشتر بوده و با افزایش خروج از مرکزیت افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در بین جداگرهای فوق جداگر تیپ ۳ دارای بیشترین افزایش پاسخ نسبت به سایر جداگرها می‌باشد در حالی که در کل نسبت به دو جداگر دیگر دارای پاسخ سه مؤلفه‌ای کمتری می‌باشد.

مقایسهٔ منحنی هیسترتیک سه تیپ جداگر ۱، ۲ و۳

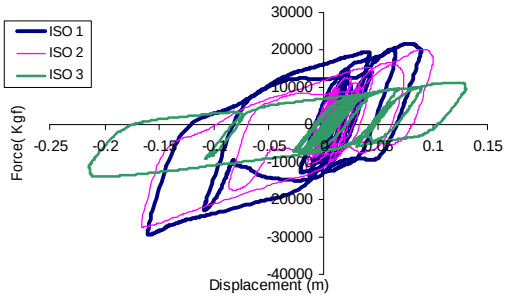
همان‌طور که از شکل(۷) بر می‌آید در هر سه تیپ ایزولاتور با افزایش خروج از مرکزیت منحنی هیسترتیک در راستای طولی دچار کشیدگی شده در حالی که در راستای عرضی تقریباً ثابت باقی می‌ماند؛ این مطلب ناشی از تغییر مکان پیچشی سازه حاصل از وجود خروج از مرکزیت در روسازه می‌باشد چراکه در محل جداگر شمارهٔ ۱ با افزایش خروج از مرکزیت تغییر مکان افزایش می‌یابد. در این بین

Archive of SID
www.SID.ir

جداگر تیپ ۱ بزرگترین سطح منحنی و پس از آن جداگر تیپ ۲ و در آخر جداگر تیپ ۳ کمترین سطح منحنی را دارا می‌باشد.

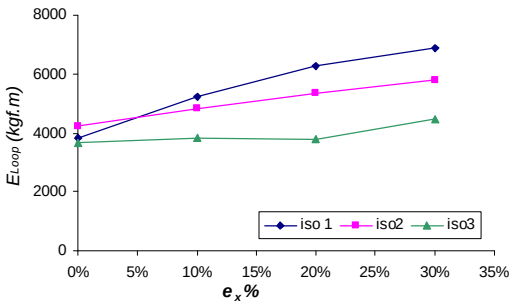


الف : e_x=٪۲۰



ب : e_x=٪۳۰

شکل ۷ : منحنی هیسترتیک ایزولاتور شمارهٔ ۱ برای سه تیپ ایزولاتور ۱، ۲ و ۳.

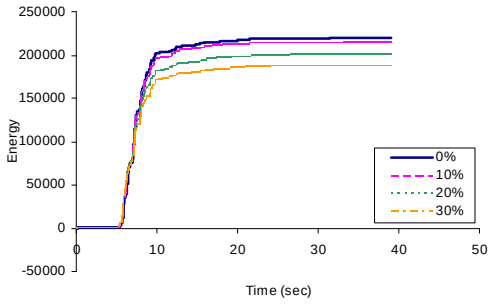


شکل ۸ : نمودار تغییرات E_{loop} جداگرهای تیپ ۱، ۲ و ۳ در برابر تغییرات خروج از مرکزیت.

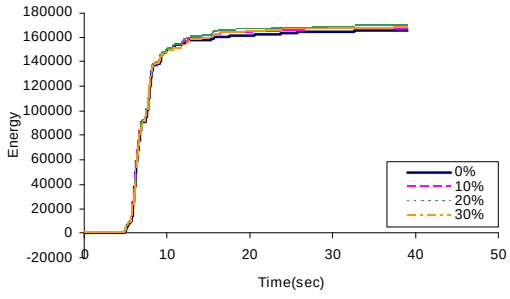
شکل(۸) نشان‌دهندهٔ نمودار تغییرات E_{Loop} جداگرها (انرژی مستهلک شده در حلقهٔ هیسترتیک) در برابر تغییرات خروج از مرکزیت برای تک جداگر شمارهٔ ۱ می‌باشد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود جداگر تیپ ۱ دارای بیشترین و جداگر تیپ ۳ دارای کمترین انرژی تلف شده می‌باشد، جداگر تیپ ۲ نیز در بین ایندو قرار گرفته است. از سوی دیگر در محل قرار گیری جداگر شمارهٔ ۱ با افزایش خروج از مرکزیت بر انرژی مستهلک شده توسط جداگرها افزوده می‌گردد.

شکل(۹) سطوح انرژی هیسترتیک کل سیستم جداگرهای تیپ ۱، ۲ و ۳ در خروج از مرکزیت‌های ٪۰، ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ را نشان می‌دهد. این شکل جهت نشان دادن عملکرد کل سیستم جداگر در اتلاف انرژی زلزله آورده شده است؛ به طوری که از این شکل‌ها معلوم می‌باشد سیستم جداگر تیپ ۱ بیشترین و جداگر تیپ ۳ کمترین سطح انرژی را مستهلک می‌نمایند و جداگر تیپ ۲ نیز در بین این دو سطح قرار می‌گیرد؛ در واقع این همان نتیجه‌ای هست که در پاراگراف قبلی برای تک جداگر شمارهٔ ۱ به آن اشاره گردید.

با توجه به شکل مشخص می‌باشد که با افزایش خروج از مرکزیت سطح انرژی مستهلک شده توسط جداگر کاهش می‌یابد. در واقع از نقطه نظر استهلاک انرژی جداگر با میرائی بیشتر و زمان تناوب کمتر میزان انرژی بیشتری را مستهلک می‌نماید و با افزایش خروج از مرکزیت، سطح انرژی مستهلک شده توسط سیستم جداگر کاهش می‌یابد و این نشان‌دهندهٔ کاهش اثر گذاری جداگرها در میزان استهلاک انرژی در خروج از مرکزیت‌های بزرگ در حدود ۱۹ درصد می‌باشد.



الف : جداگر تیپ ۱



ب :جداگر تیپ ۳

شکل ۹ : سطح انرژی هیسترتیک کل سیستم جداگرهای تیپ ۱، ۳.

www.SID.ir

نتایج

۱. مؤلفهٔ قائم زلزله سبب تشدید پاسخ نیروی محوری فشاری ستون گوشه هم در بخش وزین و هم در بخش سبک سازه می‌گردد و این اثر در بخش وزین سازه مشهودتر و در حدود ۲/۵ برابر می‌باشد. در واقع اختلاف پاسخ بین پاسخ ۲ و ۳ مؤلفه‌ای در حالت فشار و کشش در ستون بخش وزین بیشتر بوده است؛ لذا عدم لحاظ کردن مؤلفهٔ قائم زلزله در این قسمت خطای زیادی را ایجاد می‌نماید. در نظر نگرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله سبب خواهد شد تا نیروی محوری کششی که در لحظاتی از زمان رخداد زلزله در ستون‌های گوشهٔ سازه به وجود می‌آید یا در نظر گرفته نشود و یا آنکه مقدار آن از آنچه که در واقعیت موجود هست کمتر لحظ گردد و از آنجایی که این نیروی محوری کششی می‌تواند سبب بلندشدگی محلی جداگرها و از کار افتادگی آنها گردد، لذا در نظر گرفتن مؤلفهٔ قائم زلزله الزامی به نظر می‌رسد.

۲. با مقایسه بین پاسخ‌های مربوط به جداگرهای مختلف مشاهده می‌شود که تغییر میرائی جداگر در مقایسه با تغییر زمان تناوب جداگر تاثیر کمتری بر روی پاسخ نیروی محوری ستون‌ها از خود نشان می‌دهد.

۳. در سازهٔ متقارن با فرض توزیع یکنواخت جداگرها در تراز پایه رفتار تمامی جداگرها یکسان می‌باشد حال آنکه با ایجاد خروج از مرکزیت در سازه چنین رفتار یکسانی مشاهده نمی‌شود.

۴. از نقطه نظر استهلاک انرژی جداگر با میرائی بیشتر و زمان تناوب کمتر میزان انرژی بیشتری را مستهلک می‌نماید.

۵. با افزایش خروج از مرکزیت، سطح انرژی مستهلک شده توسط کل سیستم جداگرها کاهش می‌یابد- در حالی که در تک جداگر[۲] با توجه به پیچش سازه این مقدار می‌تواند افزایش یا کاهش یابد- و این نشان‌دهندهٔ کاهش اثرگذاری کل سیستم جداگر در میزان استهلاک انرژی در خروج از مرکزیت‌های بزرگ در حدود ۱۹ درصد می‌باشد.

مراجع

1 - Shakib, H. and Fuladgar. (2003). “A Response of pure-friction sliding structures to three components of earthquake excitation.” *J. Computers and structures,* VOL. 81, PP. 189–196.

2 - Shakib, H. and Fuladgar. (2003).“Effect of vertical component of earthquake on the response of pure-friction base-isolated asymmetric buildings.” *J. Engineering structures,* VOL. 25, PP. 1841–1850.

3 - Mazza, F and Vulcano, A (2006). “Nonlinear response of base-isolated buildings under near-fault ground motions.” *Proc.,13h European Conference on Earthquake Engineering and Seismology,* Switzerland, PP. 481, 3-8 September.

4 - Computer and Structures, (1999). Inc, *SAP User’s Manual,* Berkeley, California, USA.

5 - Park, Y. L., Wen, Y. K. and Ang, A. H. (1986). “Random vibration of hysteretic system under bi-directional ground motions.” *J. Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* Vol. 14.

6 - Nagrajaiah, S., Reinhorn, A. M. and Constantinou, M. C. (1993). “Torsion in base isolated structures with elastomeric isolation system.” *J. Structural Engineering,* ASCE, Vol. 119, No. 10.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Local Uplift

2 - Isolator unit

Archive of SID

www.SID.ir