

بهبود رفتار سازه‌های نامنظم در ارتفاع با استفاده از توزیع ارتقاعی میراگرهای ویسکوز

فردین شیرکوش

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
f.shirkosh@yahoo.com

محمدرضا منصوری

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
m.mansoori@srbiau.ac.ir

مسعود نکویی

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
msnekooei@gmail.com

کلید واژه‌ها: تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، نامنظمی در ارتفاع، میراگرهای ویسکوز

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثرات منفی نامنظمی در ارتفاع در سازه‌های موجود و راه‌حل‌های کاهش این اثرات منفی در سازه‌های فوق می باشد. به همین منظور سه سازه فولادی ده طبقه که هر کدام در طبقه ششم دارای نامنظمی جرمی و سختی در مرز توصیه شده توسط آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۴) است، در نظر گرفته شده و پس از طراحی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ تحت تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی با هفت زلزله دو مولفه‌ای قرار گرفتند. در ساختمان‌های نامنظم مورد مطالعه، علی‌رغم اینکه مرز نامنظمی جرم و سختی طبق استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده، بر اساس تحلیل‌ها، مفصل‌های پلاستیک در محدوده نامنظمی از آستانه فروریزش تجاوز کرده‌اند. بنا براین مرز نامنظمی سختی و جرم ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ برای سازه‌های فوق قابل قبول نمی‌باشد. با توجه به این موارد جهت بهبود رفتار این قبیل سازه‌ها از میراگرهای ویسکوز با توزیع‌های مختلف ارتفاعی (۷ توزیع مختلف) استفاده شده و سعی گردید توزیع مناسب میراگرهای ویسکوز برای سازه‌های نامنظم در ارتفاع تعیین شود. نتایج نشان داده است که توزیع میراگرها در کل محدوده ارتفاعی نسبت به حالت توزیع میراگر در محدوده نامنظمی موجب عملکرد بهتری برای ساختمان می‌شود، از آنجا که کاهش مجموع ضریب میرایی میراگر را می‌توان به‌عنوان فاکتور اقتصادی در نظر گرفت، از بین توزیع‌های مختلف میراگر توزیع پایین‌مثنی با کمترین میزان مجموع ضریب میرایی میراگرها به‌عنوان توزیع مناسب پیشنهاد شده است.

مقدمه

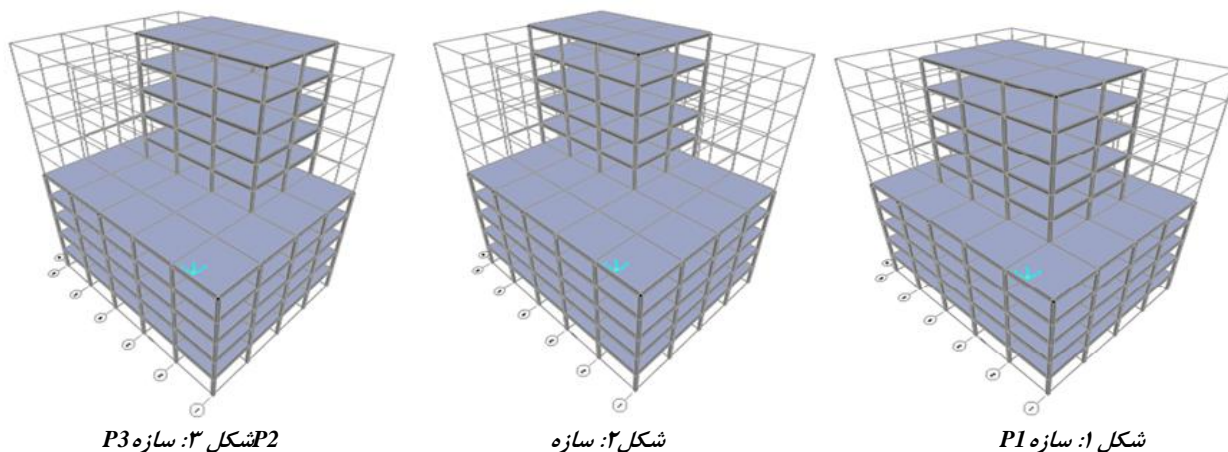
همان‌طور که می‌دانید وجود نامنظمی در ارتفاع سازه یکی از مسائل غیرقابل اجتناب در بسیاری از سازه‌های شهری تلقی شده و امروزه ساختمان‌هایی با نامنظمی در ارتفاع به دلیل کاربری‌های مختلف طبقات، به‌طور چشمگیری در حال ازدیاد است. با توجه به گسترش روزافزون ساختمان‌های دارای نامنظمی در ارتفاع و عدم ارائه راهکارهای مناسب برای بهبود این قبیل ساختمان‌ها، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر میزان نامنظمی در مرز ۲۸۰۰ در عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های ده طبقه و بهبود عملکرد آنها با استفاده از میراگرهای ویسکوز انجام شده است. پاسخ لرزه‌ای قاب‌های ساختمانی نامنظم موضوع بسیاری از مقالات پژوهشی بوده است، این مطالعات از سال ۱۹۷۰ آغاز شده که تعداد زیادی از این مقالات مربوط به نامنظمی در پلان (نامتقارن بودن سازه) بوده و تعداد کمتری از آنها به ناپیوستگی در ارتفاع یا نامنظمی ارتفاعی پرداخته‌اند. به‌عنوان نمونه DasNau and (2003) به بررسی سازه‌های نامنظم ارتفاعی برای نامنظمی‌های مختلف جرمی و سختی و مقاومتی با توجه به میانقاب-های بنائی غیرسازه‌ای توصیه شده در آئین‌نامه ساختمانی پرداختند. آنها دریافتند بیشتر ساختمان‌های مورد مطالعه رفتار نسبتاً خوبی در برابر زلزله



طرح داشته‌اند، از این رو نتیجه گرفتند که محدودیت ارائه شده توسط در آئین‌نامه ساختمانی غیرضروری و محافظه کارانه است. Chintanapakdee and Chopra (2004) در مطالعه خود به بررسی اثرات نامنظمی سختی و مقاومت بر روی پاسخ‌های جابه‌جایی سازه پرداختند. آنها ۴۸ قاب ۱۲ طبقه که فلسفه طراحی ستون قوی و تیر ضعیف (مدل تیر لولایی) در آن رعایت شده بود را در نظر گرفتند. آنها دریافتند که با وجود طبقه نرم یا ضعیف دریافت طبقه‌های مجاور افزایش می‌یابد در حالی که دریافت طبقه‌های دیگر کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش مقاومت یک طبقه دریافت طبقه‌های مجاور کاهش و دریافت طبقه‌های دیگر افزایش می‌یابد. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که نامنظمی در طبقات بالا تاثیر بسیار کم نامنظمی در طبقات پائینتر تاثیر قابل توجهی بر روی جابه‌جایی بام دارد. (Fragiadakis et al., 2006) یک روش مبتنی بر تحلیل دینامیکی فراینده (IDA) برای ارزیابی پاسخ یک قاب فلزی نه طبقه که دارای نامنظمی سختی و مقاومتی در یک طبقه هستند را ارائه نمودند. روش پیشنهادی آنها یک ارزیابی کارایی در محدوده همه سازه‌ها از طریق آنالیز بسیار دقیق با در نظر گرفتن تاثیر هرگونه نامنظمی ارائه می‌دهد. حسینی و اکبرپور (۱۳۸۹) به بررسی رفتار ساختمان‌های فولادی دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک پرداختند. نتایج نشان می‌داد که بر اساس تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مفصل‌های پلاستیک در طبقه ششم از محدوده آستانه فروریزش تجاوز کرده‌اند در حالیکه در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی مفصل‌های پلاستیک از محدوده مزبور تجاوز نکرده‌اند، بنابراین برای سازه‌های نامنظم در ارتفاع تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی قابل قبول نمی‌باشد. Van Thuat (2013) تقاضای پاسخ لرزه‌ای در طبقات نامنظم ساختمان‌های با ستون ناپیوسته در یک یا چند طبقه را مورد بررسی قرار داده است. در تحقیقات این محقق تقاضای پاسخ‌های لرزه‌ای در طبقات نامنظم سازه در زلزله‌های شدید به خوبی بر اساس فاکتور تعریف شده مورد ارزیابی گرفته‌اند تا از مکانیزم گسیختگی در طبقه جلوگیری شود. به نظر می‌رسد یکی از روش‌های مناسب کنترل رفتار لرزه‌ای سازه‌های نامنظم در ارتفاع، استفاده از توزیع ارتفاعی مناسب تجهیزات استهلاک انرژی در اینگونه سازه‌ها است. در این میان استفاده از میراگرهای ویسکوز جهت استهلاک انرژی با توجه به مزایای آن قابل توجه می‌باشد. در این مقاله سعی شده است تا توزیع‌های مناسب ارتفاعی میراگر ویسکوز در سازه‌های نامنظم ارتفاعی مورد بررسی قرار گیرد.

معرفی مدل‌های سازه‌ای

در این مطالعه، سه ساختمان فولادی ده طبقه با سیستم قاب خمشی متوسط در نظر گرفته شده که هر کدام در طبقه ششم به شکلی متفاوت نسبت به هم دارای نامنظمی جرمی و سختی هستند. نامنظمی‌ها در مرز استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که طبق استاندارد ۲۸۰۰، در صورتیکه در هر طبقه فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰ درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد، می‌توان ساختمان را منظم در پلان در نظر گرفت. این سه سازه به نام‌های P1، P2 و P3 که در شکل‌های ۱، ۲، ۳ قابل مشاهده هستند، نامگذاری شده‌اند.



شکل ۲: سازه P3

شکل ۳: سازه P2

شکل ۱: سازه P1

طراحی ساختمانها با استفاده از نرم افزار ETABS V.9 صورت گرفته است. سازه مورد طراحی در این پروژه آپارتمان مسکونی با اسکلت فلزی ده طبقه ای است که در استان تهران واقع شده و طبقات اول تا پنجم آن مسکونی و طبقات بالاتر به صورت کتابخانه فرض شده است. ارتفاع کلیه طبقات ۳ متر در نظر گرفته شده است. سیستم مقابله با نیروی زلزله در هر دو جهت قاب خمشی متوسط انتخاب شده و پوشش سقف تیرچه بلوک لحاظ شده است. برآورد نیروهای ثقلی براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و نیروهای زلزله بر اساس ویرایش سوم آئین نامه ۲۸۰۰ محاسبه شده است. طراحی مقاطع نیز براساس مبحث دهم مقررات ملی انجام شده است. پس از تحلیل، برای طراحی تیرها از مقاطع IPE و برای طراحی ستونها از مقاطع BOX استفاده شده است. به عنوان نمونه مقاطع تیر و ستون سازه P1 در شکل نشان داده شده است.

جدول ۱: مقاطع ستون‌ها و تیرها برای سازه PI

ساختمان	طبقات	ستونهای داخلی	ستونهای خارجی	تیرها در جهت x	تیرها در جهت y
P1	1	BOX350X30	BOX270X20	IPE 300	IPE 360
	2 5	BOX350X22	BOX270X20	IPE 300	IPE 360
	6 7	BOX350X22	BOX270X20	IPE 400	IPE 400
	8 9	BOX270X24	BOX270X20	IPE 330	IPE 360
	10	BOX200X15	BOX200X15	IPE 300	IPE 330

تحلیل استاتیکی غیر خطی

نخست سازه های فوق بدون میراگر تحت تحلیلی استاتیکی غیرخطی قرار گرفته اند تا وضعیت عملکردی آنها مشخص گردد. به طور کلی به منظور انجام تحلیلهای غیر خطی لازم است مدل رفتاری مناسب برای اعضا در محدوده تغییر شکلهای غیرخطی مشخص و در نرم افزار معرفی شود. بدیهی است نتایج تحلیل ها به مدل های رفتار معرفی شده وابسته است. لذا تلاشهای اعضا بر حسب سطح عملکرد تعریف شده توسط معیار پذیرش دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰) به نرم افزار معرفی می شود. به همین منظور برای تحلیلهای استاتیکی غیرخطیو تحلیل تاریخچه زمانی در این مطالعه از نرم افزار PERFORM 3D V.5 که یک نرم افزار مهندسی تجاری با قابلیت شبیه سازی رفتار های دینامیکی سیستم های سازه ای مختلف است، استفاده شده است.

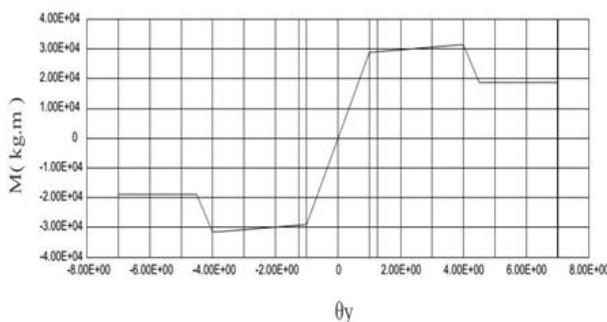
در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰) سطوح بهسازی تابعی از سطح عملکرد و سطح خطر زلزله است. با توجه به این که در این مطالعه، سازه های مورد بررسی بر اساس سطح عملکرد مطلوب یا ایمنی جانی LS بررسی شده اند، بنابراین منحنی طیف پاسخ باید بر اساس سطح خطر ۱ معرفی شود. با توجه به نوع خاک (خاک نوع سه)، منحنی طیف پاسخ باید بر اساس سطح خطر ۱ (احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال) آئین نامه ۲۸۰۰ معرفی می شود.

برای مقاومت مورد انتظار مصالح با توجه به دستورالعمل بهسازی لرزه ای برای پروفیل های فولادی از ضریب ۱/۱ استفاده می کنیم. در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پائین اثرات بار ثقلی، Q_G ، باید از روابط زیر محاسبه شود:

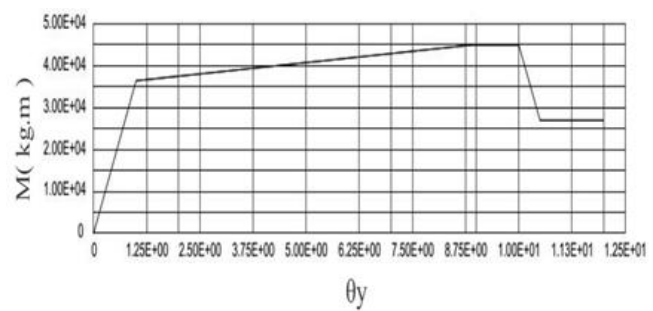
$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L) \quad (۱)$$

$$Q_G = 0.9 Q_D \quad (۲)$$

که در آن Q_D بار مرده و Q_L بار زنده مؤثر می باشد. همچنین مرکز جرم مبنا منطبق بر نقطه کنترل تغییر مکان سازه انتخاب شده است. لازم به ذکر است مدلسازی و معیار پذیرش روشهای غیر خطی برای اعضای با رفتار کنترل شونده توسط تغییر شکل می باشد. رفتار تیر ها کلا و ستونها اگر $P/P_{ci} < 0.5$ باشد، کنترل شونده تغییر شکلی می باشد که در تمامی ستونهای ساختمانهای مورد مطالعه $P/P_{ci} < 0.5$ است.



(ب)



(الف)

شکل ۴: نحوه قرارگیری معیار پذیرش در مفاصل پلاستیک برای یک نمونه از (الف): تیر (ب): ستون

پس از مدلسازی و معیار پذیرش روشهای غیر خطی برای اعضا، ابتدا می بایست تغییر مکان هدف را با استفاده از دستورالعمل بهسازی لرزه ای به دست آورد که برای هر سه سازه با توجه به مشخصات آن و با توجه به مودهای ارتعاشی آن به صورت زیر بدست می آیند.

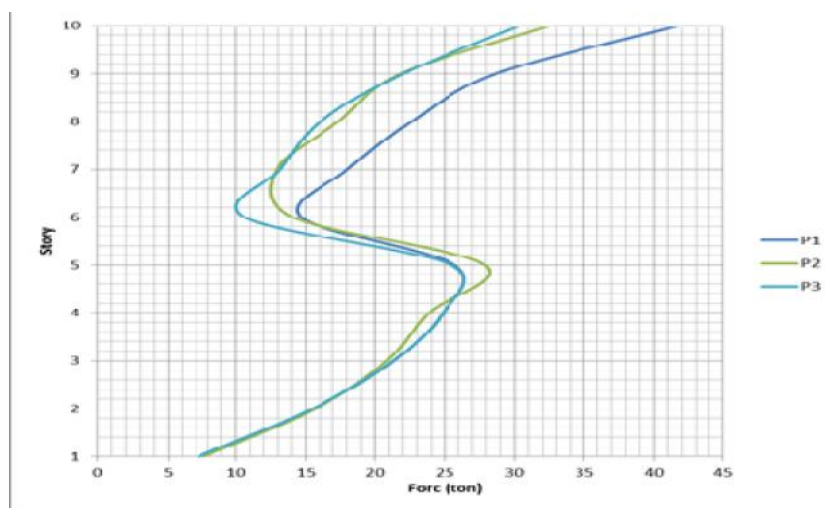
$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4f^2} g \quad (3)$$

C_0 : ضریب اصلاح برای ارتباط دادن جابجایی طیفی سیستم یک درجه آزاد معادل (ESDOF) به جابجایی بام ساختمان.
 C_1 : ضریب اصلاح برای ارتباط دادن حداکثر جابجایی غیرالاستیک به تغییر مکان محاسبه شده برای پاسخ خطی الاستیک.
 C_2 : ضریب اصلاحی اثرات شکل منحنی هیستریزس و کاهش سختی و مقاومت بر پاسخ تغییر مکان ماکزیمم ساختمان
 C_3 : ضریب اصلاحی جهت لحاظ کردن اثرات دینامیکی P-
 S_a : شتاب طیفی در پریود اصلی موثر
مقادیر تغییرات مکان هدف با توجه به رابطه ۳ در سازه های مختلف در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: محاسبه تغییر مکان هدف برای سازه P3, P2, P1

P1						
$\delta t(m)$	T	S_a	C3	C2	C1	C0
0.245	1.025	0.573	1	1.1	1	1.5
P2						
$\delta t(m)$	T	S_a	C3	C2	C1	C0
0.243	1.025	0.566	1	1.1	1	1.5
P3						
0.243	1.025	0.566	1	1.1	1	1.5

طبق دستور العمل بهسازی لرزه ای، توزیع بار جانبی بر مدل سازه باید تا حد امکان شبیه به آنچه که هنگام زلزله رخ خواهد داد، باشد و حالتی بحرانی تغییر شکل و نیروهای داخلی را در اعضا ایجاد نماید. به همین جهت باید حداقل دو نوع توزیع بار جانبی بر روی سازه اعمال شود که در سازه های فوق توزیع بار نوع اول به صورت یکنواخت می باشد. با توجه دستور العمل بهسازی لرزه ای، برای سازه هایی که زمان تناوب اصلی بزرگتر از یک ثانیه داشته باشند می بایست از توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی استفاده کرد که در شکل (۵) قابل مشاهده می باشد.



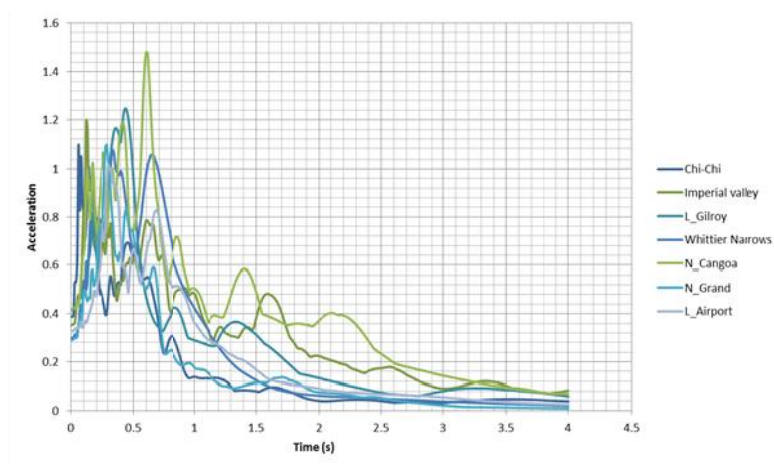
شکل ۵: توزیع نیروی جانبی بر اساس تحلیل طیفی

تحلیل دینامیکی غیر خطی

به منظور مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی با تحلیل دینامیکی غیر خطی از ۷ شتاب نگاشت زلزله استفاده شده است. مطابق آئین نامه ۲۸۰۰ ایران شتاب نگاشتهایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا در هنگام وقوع زلزله باشند. به همین منظور در این تحقیق از رکوردهای زلزله های حوزه دور زلزله که با خاک نوع ۳ ایران مطابقت داشته و از پایگاه PEER برداشت شده اند جهت تحلیل های تاریخچه زمانی غیر خطی استفاده می گردد. شتاب نگاشتها به طیف استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس شده اند که بر این اساس بیشینه شتاب آنها $0.68g$ بدست آمده است.

جدول ۳: مشخصات لرزه ای زلزله های انتخابی

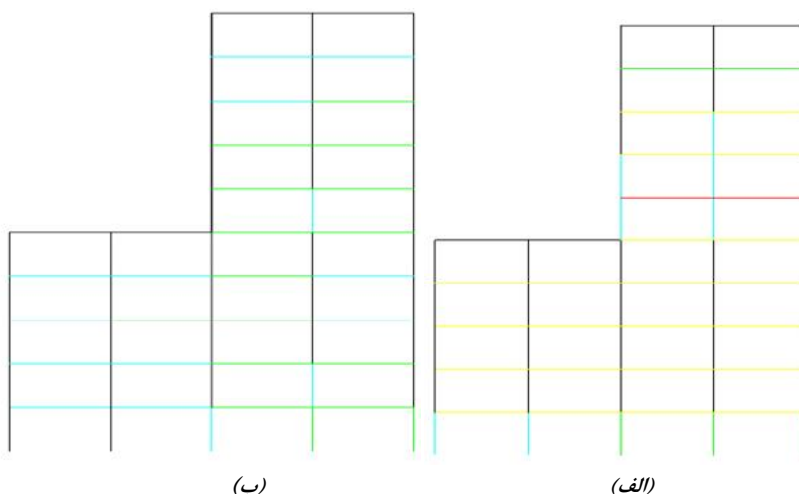
فاصله از گسل (KM)	PGA	جهت موافقه	ایستگاه	زلزله
36.95	0.388	X	NST	Chi-Chi
	0.309	Y		
43.6	0.351	X	6605 Delta	Imperial Valley
	0.238	Y		
16.1	0.417	X	57382 Gilroy Array #4	Loma Prieta
	0.212	Y		
64.4	0.329	X	58223 SF Intern. Airport	Loma Prieta
	0.236	Y		
15.8	0.42	X	Canoga Park	Northridge
	0.356	Y		
36.9	0.29	X	S Grand Ave	Northridge
	0.264	Y		
56.8	0.299	X	Downey	Whittier Narrows
	0.243	Y		



شکل ۶: طیف پاسخ رکوردهای انتخابی با میرایی ۵ درصد

نتایج عملکرد سازه در تحلیل های استاتیکی و دینامیکی غیر خطی

همان گونه که در شکل ۷ قابل مشاهده است نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیر خطی نشان داد که مفاصل پلاستیک از محدوده ایمنی جانی تا آستانه فروریزش تجاوز نمی کنند (شکل ۷-الف). در حالی که بر اساس نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی مفاصل از این محدوده تجاوز می نمایند (شکل ۷-ب).



شکل ۷: نتایج عملکرد سازه PI در (الف): تحلیل استاتیکی غیر خطی (ب): تحلیل دینامیکی غیر خطی

بنابراین نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی بر خلاف تحلیل استاتیکی غیر خطی نشان داد عملکرد مطلوب در سازه های مورد نظر حاصل نشده است. در ادامه جهت بهبود عملکرد ساختمانها از توزیع های مختلف میراگرهای ویسکوز در ارتفاع استفاده شده و توزیع مناسب تعیین می گردد.

طراحی میراگر

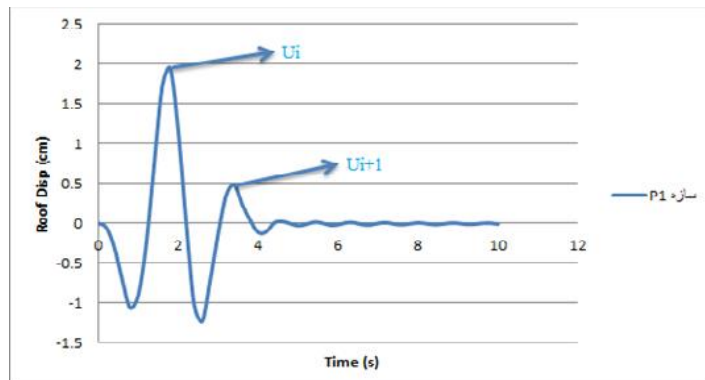
با توجه به مزایای میراگرهای ویسکوزدر استهلاك انرژی و کنترل رفتار لرزه ای سازه ها، در این تحقیق از میراگر های ویسکوز غیر خطی استفاده شده است. بر اساس روابط استخراجی از دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (نشریه ۳۶۰) می توان از روابط تحلیل مودال، جهت تعیین نسبت میرایی در مود اول برای میراگرهای ویسکوز با رفتار غیرخطی استفاده کرد.

$$\zeta_{eff} = \zeta_0 + \frac{\sum_j \{C_j W_{ij}^{1+\gamma} f^{1+\gamma}\}}{2f A^{1-\gamma} S^{2-\gamma} \sum_i m_i W_i^2} \quad (4)$$

در این رابطه W_{ij} جابجایی افقی نسبی میراگر تراز j برای شکل مود اول، W_i جابجایی مود اول تراز i ام، m_i جرم تراز i ام و γ توان سرعت در رابطه نیرو-سرعت میراگر است. همچنین دامنه حرکت در مود اول است. با توجه به اینکه استفاده از رابطه (۴) برای رفتار غیر خطی میراگر بسیار مشکل می باشد، جهت کنترل طرح اولیه میراگرها در حالت غیر خطی در نرم افزار PERFORM، سازه دارای میراگر تحت رکورد سینوسی با پیروی مود اول قرار گرفت و بر اساس پاسخ ها جابجایی بام در مرحله ارتعاش آزاد درصد میرایی الحاقی کنترل شد. در پاسخ ارتعاش آزاد یک سیستمیک درجه آزاد، می توان با استفاده از روابط زیر (Chopra (2008) درصد میرایی مود اول را محاسبه کرد.

$$\zeta = \frac{u}{\sqrt{4f^2 + u^2}} \longrightarrow u = \frac{\ln u_i}{\ln u_{i+1}} \quad (5)$$

که در این روابط U_i و U_{i+1} تغییر مکان در سیکلهای i و $i+1$ میباشد. شکل ۸ نتایج ارتعاش آزاد را در یکی از سازه های مورد بررسی با وجود حالت خاصی از توزیع میراگر نشان می دهد که مقدار درصد میرایی با توجه به تغییر مکانهای گامهای i و $i+1$ تعیین می گردد.

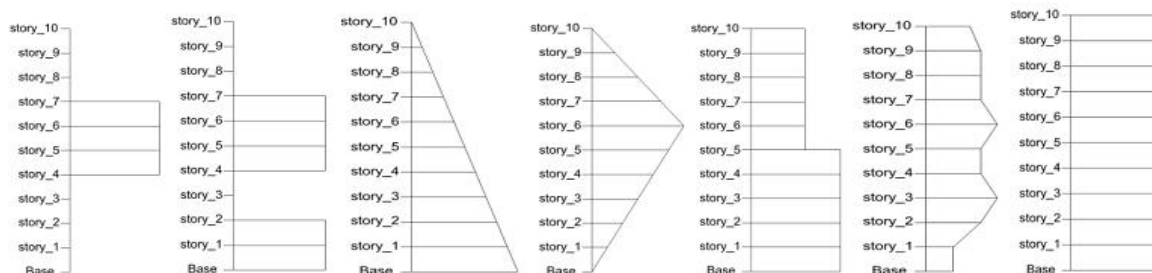


شکل ۸: پاسخ جابجایی بام تحریک سینوسی برای سازه P1

برای مدل کردن میراگر در PERFORM از مدل تحلیلی ماکسول که در آن سختی و میرایی میراگر به صورت سری مدلی شود استفاده شده است، با این تفاوت که مقدار سختی در نظر گرفته نشده و المان فقط به صورت ویسکوز عمل می کند به عبارت دیگر مقدار سختی پشت میراگر بینهایت در نظر گرفته شده است. همچنین میراگر ها به صورت قطری در سازه مدل شده است.

توزیع میراگر

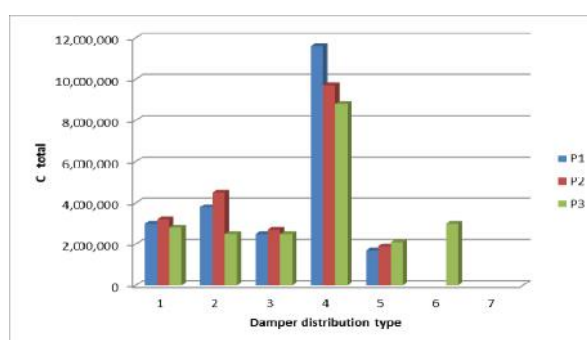
در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰) سطوح بهسازی تابعی از سطح عملکرد و سطح خطر زلزله است. با توجه به اینکه در این مطالعه، سازه های مورد بررسی براساس سطح عملکرد مطلوبی از ایمنی جانی LS بررسی شده اند، بنابراین مقادیر ضریب میرایی سازه باید طوری انتخاب شود که سازه به سطح عملکرد مطلوب یا ایمنی جانی LS برسد. به عبارت دیگر در توزیع های مختلف میراگر ها مجموع ضریب میرایی میراگر ها ($C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$) با سعی و خطا طوری تعیین می شود که هیچکدام از المانهای سازه ای از حد ایمنی جانی عبور نکند. از آنجا که کاهش ضریب میرایی را می توان به عنوان یک فاکتور اقتصادی در نظر گرفت بنابراین کمترین میزان ضریب میرایی برای رسیدن به سطح عملکرد مطلوب در این تحقیق ملاک عمل جهت تعیین ارجحیت هر یک از توزیع های مختلف میراگر قرار گرفته است. بنابراین در تحقیق فوق هفت نوع توزیع ارتفاعی برای میراگر در نظر گرفته شده است که ضریب میرایی انتخابی برای هر توزیع مقدار C_{min} در آن توزیع می باشد که از روش سعی و خطا بدست آمده است. شکل ۹ توزیعهای ارتفاعی در نظر گرفته شده برای میراگرها را نشان می دهند.



شکل ۹: توزیع‌های مختلف میراگر (نوع ۱) یکنواخت (نوع ۲) اختلاف مود اول (نوع ۳) نسبت جرم و سختی (نوع ۴) مثلثی نوع ۱ (نوع ۵) پایین مثلثی (نوع ۶) محدوده مشکندار (نوع ۷) محدوده نامنظمی)

شکل ۹: توزیع‌های مختلف میراگر

شکل ۱۰ مجموع ضریب میرایی لازم میراگرهای سازه‌ها را برای حالات مختلف توزیع میراگر جهت رسیدن به سطح ایمنی جانی نشان می‌دهد. اگر کاهش ضریب میرایی به‌عنوان یک فاکتور اقتصادی در نظر گرفته شود، بنابر این با توجه به عملکرد مطلوب در آئین‌نامه بهسازی از بین توزیع‌های ارائه شده، توزیع نوع پنجم (پایین مثلثی) با کمترین میزان مجموع ضریب میرایی را می‌توان به‌عنوان یک توزیع بهینه در نظر گرفت.

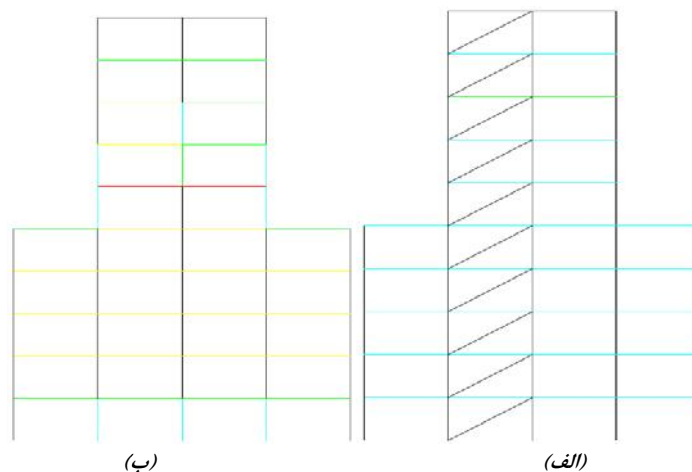


شکل ۱۰: مقایسه ضریب میراگر برای توزیع‌های مختلف میراگر

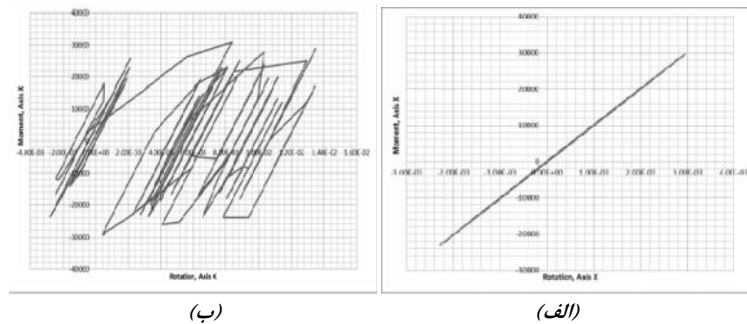
ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد مطالعه با توزیع بهینه میراگر ویسکوز

همانطور که ذکر شد تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی نشان دادند که مفاصل پلاستیک ساختمانها از محدوده تجاوز می‌نمایند. در نتیجه با استفاده از توزیع بهینه (توزیع نوع پنجم) میراگر اقدام به بهبود رفتار سازه‌ها گردید. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود پس از توزیع بهینه میراگر عملکرد سازه در محدوده ایمنی جانی باقی مانده است. بنابر این با توجه به دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰) رفتار سازه قابل قبول می‌باشد.

شکل ۱۲ منحنی هیستریزیس یک ستون را به‌عنوان نمونه تحت رکورد زلزله Imperial Valley قبل و بعد از وجود میراگر در توزیع نوع پنجم (پایین مثلثی) نشان می‌دهد. برای این منظور یکی از ستون‌های طبقه ششم انتخاب شده است. همانطور که دیده می‌شود با اضافه کردن میراگر ستونها وارد محدوده غیر خطی نشده و لذا دارای سطح عملکرد بالایی می‌باشد.

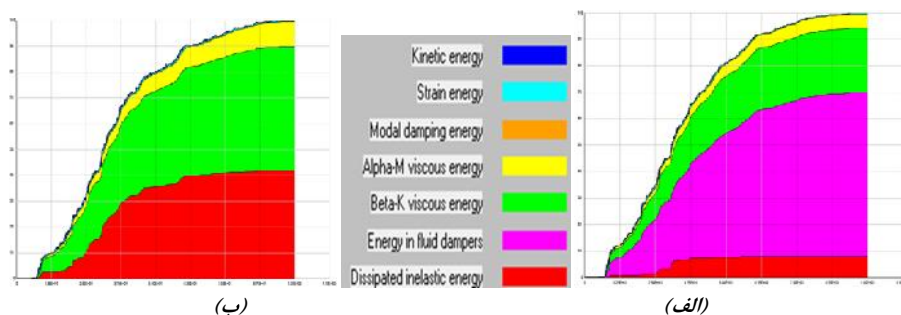


شکل ۱۱: عملکرد سازه P3 الف) قبل از توزیع بهینه میراگر ب) بعد از توزیع بهینه میراگر



شکل ۱۲: نمودار هیستریزیس نمونه یک ستون در سازه PI/الف) قبل از توزیع بهینه میراگر (ب) بعد از توزیع بهینه میراگر

شکل ۱۳ وضعیت جذب انرژی سازه را تحت رکورد زلزله Imperial Valley قبل و بعد از وجود میراگر در توزیع نوع پنجم (توزیع بهینه) نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود پس از توزیع میراگر، بیشترین مقدار جذب انرژی توسط میراگر ویسکوز صورت گرفته و جذب انرژی از طریق رفتار غیرخطی سازه که نشان دهنده آسیب است کم شده است. بنابراین عملکرد میراگر در کنترل رفتار مناسب می باشد.



شکل ۱۳: مقدار انرژی جذب شده توسط سازه PI/الف) قبل از توزیع بهینه میراگر (ب) بعد از توزیع بهینه میراگر

نتیجه گیری

- ۱- مقایسه نتایج تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی غیرخطی در حالت عدم وجود میراگر نشان می دهد نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیر خطی برای سازه های دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع از دقت کافی برخوردار نیست.
- ۲- نتایج حاصل نشان داد که مرز نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای این سه سازه قابل قبول نمی باشد، چون تعدادی از مفصلهای پلاستیک در طبقه ششم سازه های P1 و P2 و طبقات ششم، هشتم، سوم و دوم در سازه P3 از محدوده معیارهای پذیرش LS تا CP (محدوده ایمنی جانی تا آستانه فروریزش تجاوز) تجاوز کرده اند.
- ۳- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی با توزیع میراگر در ارتفاع نشان داد با نصب میراگر ویسکوز غیر خطی در سازه، به جز توزیع در محدوده مشکل دار (توزیع نوع ششم) و توزیع در محدوده نامنظمی (توزیع نوع هفتم) در هیچ یک از توزیع های دیگر مفاصل پلاستیک تشکیل شده در اعضا از محدوده LS (محدوده ایمنی جانی) فراتر نرفته اند. بنا بر این می توان گفت توزیع نوع ششم و هفتم توزیع مناسبی برای ساختمان ها با نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع نمی باشد. بنابراین بر خلاف تصور اولیه، توزیع میراگر در کل ارتفاع موثرتر از توزیع میراگر در محدوده نامنظمی و مشکل دار سازه های نامنظم در ارتفاع است.

مراجع

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (۱۳۸۴) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم

دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، دفتر امور تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه ۳۶۰

طاهری ع، حسینی م (۱۳۸۹) بررسی رفتار ساختمانهای فولادی دارای قاب خمشی با نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع تحت اثر زلزله های حوزه نزدیک، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Chintanapakdee Cand Chopra AK (2004) Seismic Response of Vertically Irregular Frames: Response History and Modal Pushover Analyses, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.130, No.8, pp.1177-1185

Chopra AK (2008) *Dynamics of Structures*, 3rd Ed., Prentice-Hall Company, New Delhi

Das Sand Nau JM (2003) Seismic Design Aspects of Vertically Irregular Reinforced Concrete Buildings, *Earthquake Spectra*, Vol.19, No.3, pp.455-477

Fragiadakis M, Vamvatsikos D and Papadrakakis M (2006) Evaluation of the Influence of Vertical Irregularities on the Seismic Performance of a Nine-Storey Steel Frame, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.35, No.12, pp.1489-1509

Van Thuat (2013) Story strength demands of irregular frame buildings under strong earthquakes, *The Structural Design of Tall and Special Buildings* Volume 22, Issue 9, pages 687-699

