بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح دارای پلان T شکل به کمک سازه‌های سخت بیرونی

محمود حسینی
دانشیار، پژوهشکدهٔ مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
hosseini@iiees.ac.ir

امین رجبلو
دانشجو، گروه مهندسی عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران
aminrajablou@yahoo.com

کلید واژه‌ها: *بهسازی لرزه‌ای، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، سطح عملکرد، سازه‌های سخت بیرونی*

چکیده

در مقاله حاضر هدف اصلی بهسازی ساختمان‌های بتنی با پلان T شکل می‌باشد که بر اساس آئین‌نامه‌های قدیمی طراحی گردیده و در خصوص باربری ثقلی مشکلی ندارند ولی سطح عملکرد لرزه‌ای آنها پایین‌تر از سطح عملکرد مورد انتظار است و بر اساس دستورالعمل بهسازی نیاز به بهسازی لرزه‌ای دارند و نیز امکان عملیات بهسازی در پیرامون این ساختمان‌ها وجود دارد. اکثر ساختمانهای داری پلان T شکل از اهمیت بالا برخوردارند. بطور نمونه می‌توان بسیاری از ساختمان‌های مدارس، بیمارستان‌ها و غیره را نام برد. بیشتر اینگونه ساختمان‌ها به علت نوع فعالیتی که دارند، امکان تعطیلی،حتی برای مدتی کوتاه را هم ندارند و یا معماری داخلی آنها امکان هرگونه تغییرات جهت مقاوم‌سازی را نمی‌دهد. به روش پیشنهاد شده در این مقاله می‌توان این ساختمان‌ها را بهسازی کرد و یا سطح عملکرد این ساختمان‌ها را ارتقا بخشید. در این مقاله سه مدل سازه‌ای سه‌بعدی مشتمل بر ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با پلان‌های T شکل در نظر گرفته شده اند و با استفاده از آیین‌نامه ۵۱۹ بارگذاری ثقلی و بر اساس استاندارد ایران ۲۸۰۰ مصوب سال ۱۳۶۷ بارگذاری جانبی شده و بر اساس آیین‌نامه ACI 318-99 طراحی گردیده و مجددا بر اساس استاندارد ملی ایران ۲۸۰۰ مصوب سال ۱۳۸۴ (تجدید نظر سوم) بارگذاری جانبی و کنترل گردیده اند. با توجه به اینکه نتایج قابل قبول نبوده،مدل‌ها بر اساس نشریه شماره ۳۶۰ تحلیل و ارزیابی گردیده و با توجه به نیاز بهسازی، با سازه‌های سخت بیرونی تقویت گردیده‌اند. ابعاد مقاطع این سازه‌ها به روش سعی و خطا و با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی بدست آورده شده است و جهت ارزیابی نهایی تحلیلهای تاریخچه زمانی غیرخطی صورت گرفته است.

مقدمه

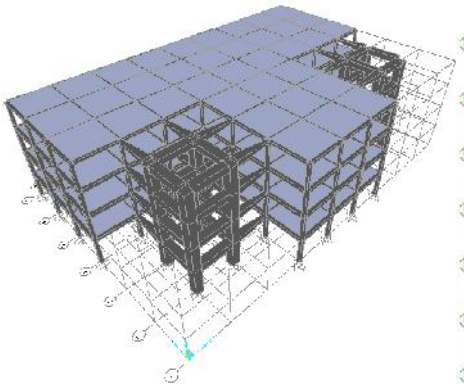
در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در خصوص بهسازی ساختمان‌ها صورت گرفته است، اکثر این روش‌ها نیاز به تغییرات در معماری داخلی ساختمان و توقف فعالیت‌های روزمرهٔ ساختمان و یا حداقل بخشی از آن را برای مدتی دارند. ساختمان‌های مهمی وجود دارند که امکان تعطیلی برای مدتی و یا تغییرات در معماری داخلی وجود ندارد. در اینگونه ساختمان‌ها باید عملیات بهسازی را تا حد امکان در خارج از ساختمان اجرا کرد. یکی از این روش‌ها، بهسازی ساختمان بوسیله سازه‌های سخت بیرونی می‌باشد، که در این تحقیق در خصوص بهسازی ساختمان‌های بتن مسلح دارای پلان T شکل به این روش بررسی صورت گرفته است. این روش نیازی به عملیات حفاری جهت مقاوم‌سازی پی ندارد و کلیه عملیات مقاوم‌سازی خارج از ساختمان انجام می‌گیرد. در هنگام بهسازی هیچگونه آسیبی به اجزا غیر سازه‌ای وارد نمی‌شود و نیازی به قطع فعالیت‌های ساختمان ندارد. در سالهای گذشته مطالعاتی و کارهایی در خصوص بهسازی از بیرون ساختمان صورت گرفته است. از جمله کارهای صورت گرفته می‌توان به کارهای Fujimura (1999)، Horyo (1999)، Okuzono (1999)، Inoue (1999)، Suzuki (1999) و Yamanaka (2001) اشاره کرد. در کارهایی که توسط این افراد انجام گردیده است، عموما دیوار برشی و یا بادبند جهت افزایش مقاومت جانبی از بیرون به ساختمان تعبیه می‌گردد.

گام‌های تحقیق عبارتند از : ۱- طراحی سه ساختمان بتن مسلح با سیستم قاب خمشی، بر اساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۶۷)

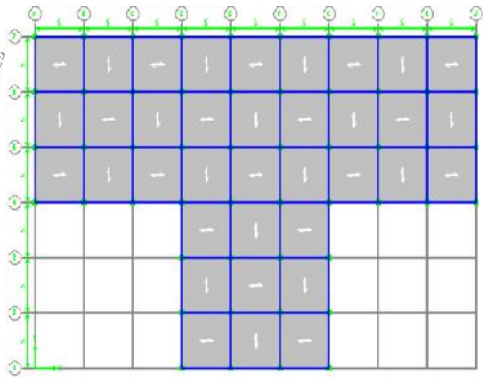
در نرم‌افزار Sap ۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مدل‌ها بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (۱۳۸۵)۳- ایجاد مدل‌های بهسازی شده با استفاده از روش سازه‌های سخت بیرونی در نرم‌افزار Sap ۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مدل‌های بهسازی شده بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ایو انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و تاریخچه زمانی غیرخطی .

معرفی روش سازه‌های سخت بیرونی

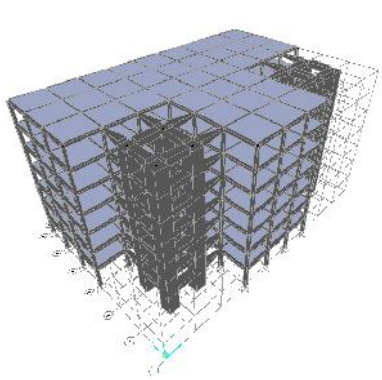
در روش بهسازی ساختمان‌های بتنی با پلان T شکل به کمک سازه‌های سخت بیرونی، دو سازه سخت در طرفین جان پلان به نحوی قرار می‌گیرند که با اتصال این دو سازه بوسیله تیرهای غیرمنشوری به ساختمان اصلی، سختی سیستم افزایش یافته و در نتیجه تغییر مکان جانبی طبقات کاهش می‌یابد. در بهسازی به این روش پی سازه اصلی نیاز به بهسازی ندارد و برای سازه‌های سخت بیرونی پی مجزا طراحی می‌شود. در شکل‌های ۱، ۳ و ۴ به ترتیب نمای سه بعدی مدل‌های بهسازی شده ۴، ۷ و ۱۰ طبقه نمایش داده شده است.

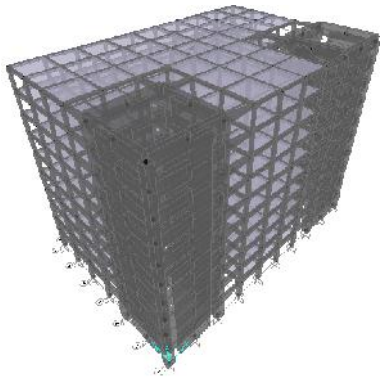


شکل ۱: نمای سه بعدی از روش بهسازی پیشنهاد شده در مدل ۴طبقه



شکل ۲: پلان طبقات مدل‌های بهسازی نشده





شکل۳: : روش بهسازی پیشنهاد شده در مدل ۷طبقه شکل۴: روش بهسازی پیشنهاد شده در مدل ۷ طبقه

انتخاب ساختمان‌های مورد بررسی

در این تحقیق سه مدل ساختمانی با تعداد طبقات ۴، ۷ و ۱۰ و با تعداد دهانه‌های سه و با طول دهانه‌های ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳/۵ متر در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ پلان طبقات قابل مشاهده است.ساختمان‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار Sapو بر اساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ تحلیل و طراحی گردیده‌اند. محل مورد نظر دارای خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد و نوع خاک آن مطابق با خاک نوع II ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰درنظر گرفته شده است. ساختمان‌های مورد نظر با درجه اهمیت بسیار زیاد فرض شده است. مقاومت فشاری بتن برابر با ۲۸۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و وزن واحد حجم آن ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب درنظر گرفته شده است. فولاد میلگردهای طولی از جنس AIII با مقاومت ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و فولاد خاموت‌ها از جنس AII با مقاومت ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع فرض شده‌اند. برای طراحی ساختمان‌های بتنی از آیین‌نامه ACI 318-99استفاده شده است.

بارگذاری ثقلی مدل‌های مورد بررسی به شرح جدول ۱ بر اساس ضوابط استاندارد ۵۱۹ ایران(۱۳۷۵) انجام شده است. همچنین بارگذاری جانبی مدل‌ها طبق جدول ۲ بر اساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ صورت گرفته است. سپس مدل‌ها طبق ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۴) مطابق جدول ۳ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنین در جدول ۴ مشخصات شتابنگاشت‌ها و در شکل ۵ طیف شتاب میانگین به همراه طیف‌های شتاب اصلاح نشده زلزله‌های استفاده شدهدر تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی آورده شده است. شتابنگاشت‌های استفاده شده مطابق

آیین‌نامه اصلاح می‌گردد که ضرایب اصلاح در جدول ۵ آورده شده است و طیف میانگین اصلاح شده برای مدل‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقـه در شـکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۱: بارگذاری ثقلی ساختمان‌های مورد مطالعه

۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع	بار مرده کلیه طبقات
۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع	بار مرده تیغه‌بندی در کلیه طبقات
۷۰۰ کیلوگرم بر متر طول	بار مرده دیوارهای خارجی
۲۲۰ کیلوگرم بر متر طول	بار مرده دیوارهای جانپناه
۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع	بار زنده کلیه طبقات

جدول ۲: بارگذاری جانبی ساختمان‌های مورد مطالعه بر اساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰

ساختمان ۴ طبقه

A	0.35	B	1.709
I	1.2	C	0.12
R	6	T_0	0.4
T	0.5066	H	14

ساختمان ۷ طبقه

A	0.35	B	1.292
I	1.2	C	0.09
R	6	T_0	0.4
T	0.7709	H	24.5

ساختمان ۱۰ طبقه

A	0.35	B	1.081
I	1.2	C	0.077
R	6	T_0	0.4
T	1.0073	H	35

جدول ۳: بارگذاری جانبی ساختمان‌های مورد مطالعه بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

ساختمان ۴ طبقه

A	0.35	B	2.478
I	1.4	C	0.173
R	7	T0	0.1
T	0.507	TS	0.5

ساختمان ۷ طبقه

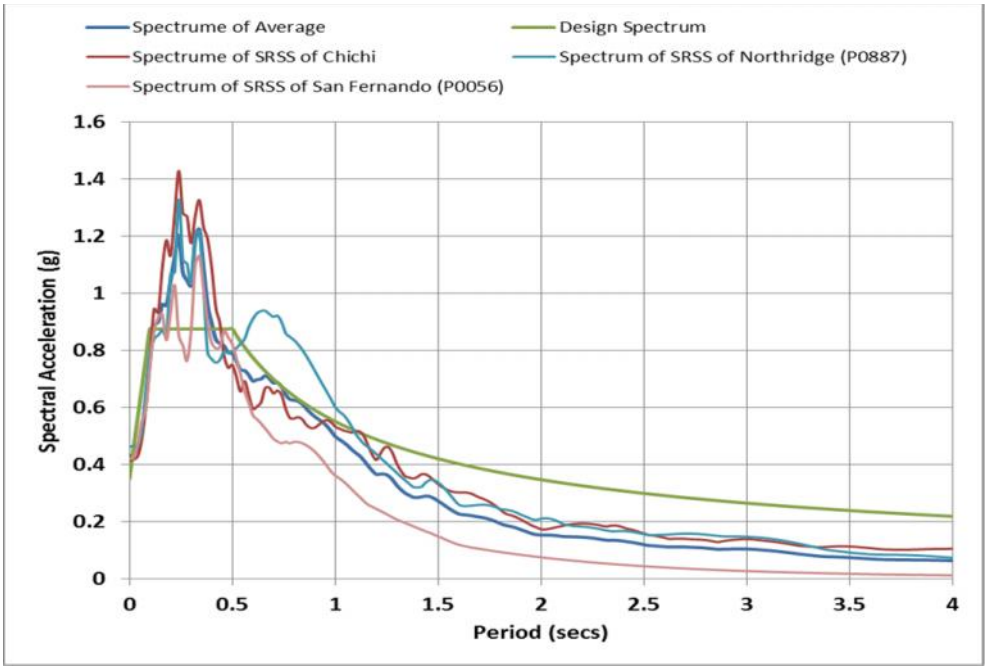
A	0.35	B	1.873
I	1.4	C	0.131
R	7	T0	0.1
T	0.771	TS	0.5

ساختمان ۱۰ طبقه

A	0.35	B	1.567
I	1.4	C	0.109
R	7	T0	0.1
T	1.007	TS	0.5

جدول ۴: مشخصات شتابنگاشت‌ها

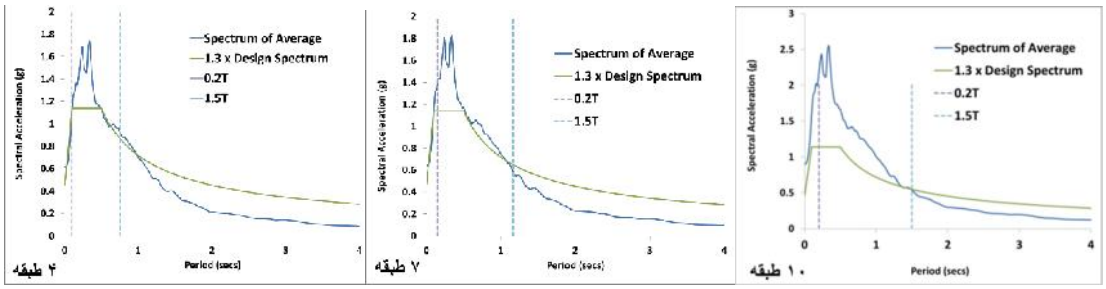
Record ID	Earthquake	Station	PGA		
			X Component	Y Component	Z Component
P1458	Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	TCU089	0.248g	0.333g	0.191g
P0887	Northridge 1994/01/17 12:31	24087 Arleta - Nordhoff Fire Sta	0.344g	0.308g	0.552g
P0056	San Fernando 1971/02/09 14:00	24278 Castaic - Old Ridge Route	0.324g	0.268g	0.171g



شکل ۵: طیف های شتاب اصلاح نشده

جدول ۵: ضرایب اصلاح

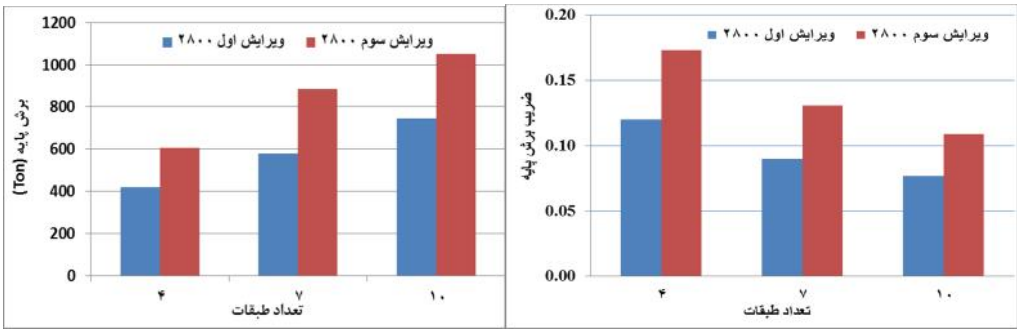
	CHI CHI	NORTHRIDGE	SAN FERNANDO
4 Stories	1.34	۱/۳۴	1.6
7 Stories	1.6	1.45	1.4
10 Stories	2	1.6	2.5



شکل ۶:طیف‌های شتاب میانگین اطلاح شده برای مدل‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه

کنترل و ارزیابی مدلها

ابتدا مدل‌های ساختمانی بر اساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ مصوب سال ۱۳۶۷ طراحی می‌شوند، سپس بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ مصوب سال ۱۳۸۴ مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نمودار مقایسه ضرایب برش پایهدر دو حالت ویرایش اول و سوم مطابق شکل ۷و ۸است. برای ارزیابی دقیق‌تر، مدل‌های ساختمانی بر اساس ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای مورد بررسی قرار دادیم. در ادامه بر روی این مدل‌ها تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی انجام دادیم تا سطح عملکرد مدل‌ها را مشاهده کنیم، نمایش تشکیل مفاصل در این تحلیل‌ها به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ و همچنین نمودار جابجایی مرکز جرم بام و برش‌پایه نسبت به زماندر مدل ۷ طبقه در تحلیلدینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی زلزله San Fernandoدر شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. همچنین پارامترهای تعیین تغییرمکان هدف در جداول ۶، ۷ و ۸ قابل مشاهده است. بر اساس تمامی این ارزیابی‌ها مشخص گردید مدل‌ها ضعیف بوده و نیاز به بهسازی دارند. سطح عملکرد مدل‌ها را ایمنی جانی و سطح خطر زلزله را سطح یک درنظر گرفتیم.



شکل ۷: ضریب برش پایه در دو حالت ویرایش اول و سوم آیین‌نامه شکل ۸: برش پایه در دو حالت ویرایش اول و سوم آیین‌نامه

جدول ۶: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 *برای ساختمان ۴ طبقه مبنا*

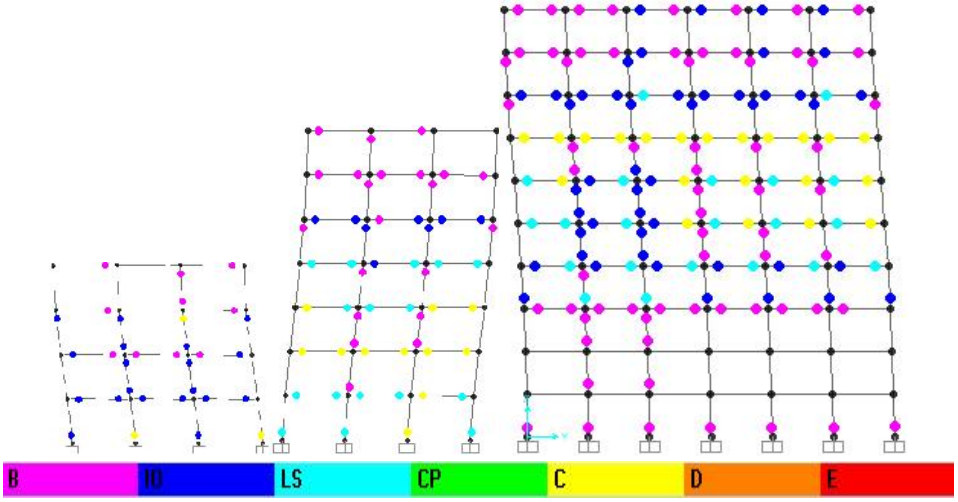
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
0.84	1.0	1.1	1.0	0.53	1.05	1.05	670.39	5826.85	5826.85	0.84	2.64	3677.4	0.9
δ_t = 0.136 m (تغییر مکان هدف)													

جدول ۷: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 *برای ساختمان ۷ طبقه مبنا*

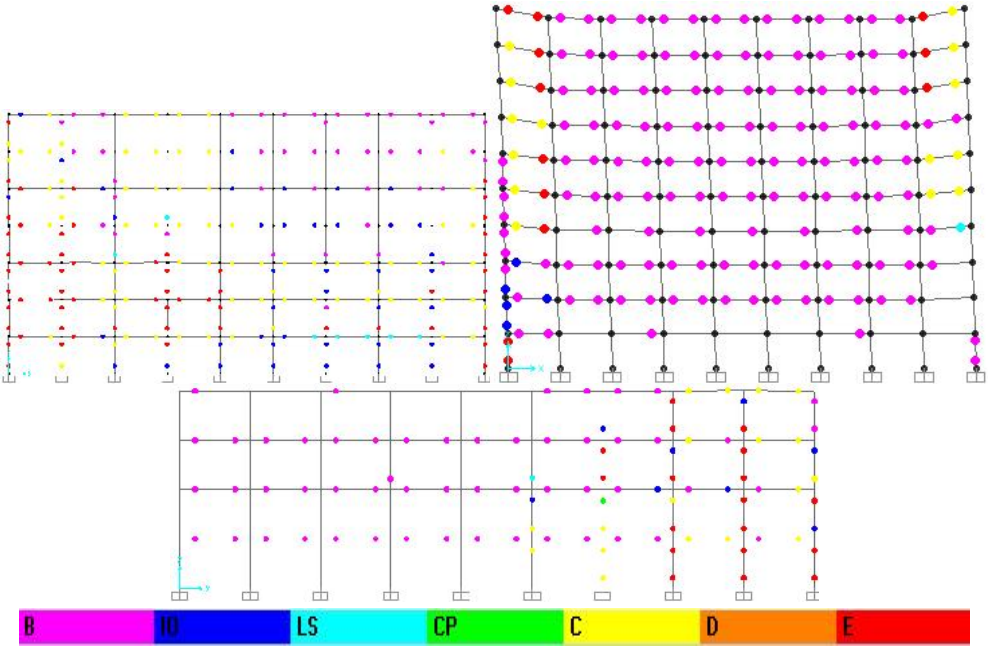
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
0.86	1.0	1.1	1.0	0.39	1.7	1.7	1092.53	3969.69	3969.69	1.25	2.17	6769.7	0.9
δ_t = 0.26 m (تغییر مکان هدف)													

جدول ۸: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 برای ساختمان ۱۰ طبقه مبنا

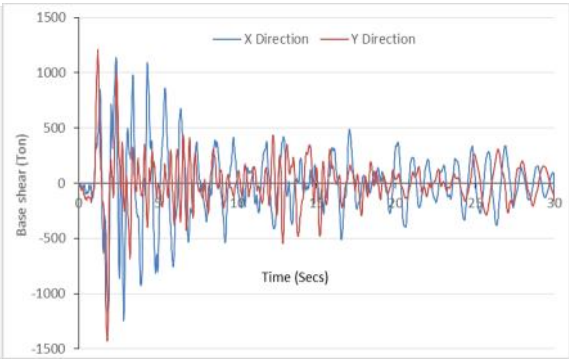
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
0.9	1.0	1.0	1.0	0.33	2.14	2.14	127.80	3448.12	3448.12	0.99	23.93	10196.64	0.9
δ_t = 0.342 m (تغییر مکان هدف)													



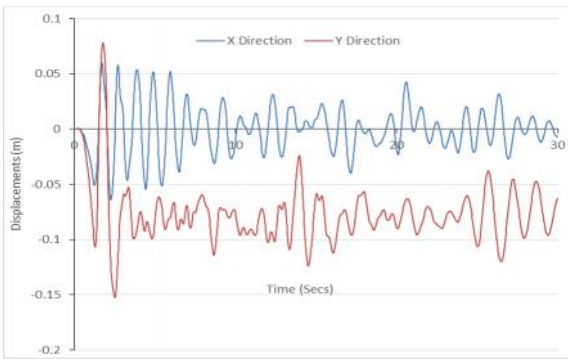
شکل ۹: مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیرخطیمدل‌های بهسازی نشده ۴ ، ۷ و ۱۰ طبقه - بار PUSHMODE1XG2



شکل ۱۰: نمایش مفاصل پلاستیک در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی مدل‌های بهسازی نشده ۴، ۷ و ۱۰ طبقه



شکل ۱۱:جابجایی- زمان زلزله San Fernando در مدل ۷ طبقه



شکل ۱۲:برش پایه- زمان زلزله San Fernandoمدل ۷ طبقه

بهسازی توسط افزودن سازه‌های سخت بیرونی به ساختمان

سازه‌های سخت بیرونی که دارای ابعادی به شرح جدول ۸ می‌باشد را به ساختمان‌ها اضافه می‌کنیم. افزودن این سازه‌ها به ساختمان، تغییر مکان هدف را کاهش داده و سطح عملکرد را به ایمنی جانی افزایش می‌دهد. برای طراحی بهینه این قاب‌ها از نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده می‌کنیم. ابتدا ابعاد سازه‌های سخت بیرونی را برای تیرها، ستونها و تیرهای اتصال غیر منشوری، فرض می‌کنیم. سپس تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام میدهیم و سطح عملکرد را مشاهده می‌کنیم. با توجه به نتایج در صورت نیاز اقدام به افزایش یا کاهش ابعاد می‌کنیم تا طراحی اقتصادی بدست آید. نمایش تشکیل مفاصل در تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها مطابق شکل ۱۳و تغییر مکان هدف آنها مطابق جداول ۹، ۱۰ و ۱۱ می‌باشد.در ادامه، جهت ارزیابی نهایی از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده می‌کنیم. نمایش تشکیل مفصل در این تحلیل مطابق شکل۱۴و همچنین جابجایی مرکز جرم بام و برش‌پایه نسبت به زمان در جداول ۱۲ و ۱۳ و نمودار این نتایج برای مدل ۷ طبقه تحت زلزله San Fernando در شکل‌های ۱۵و ۱۶ و نشان داده شده است.

جدول ۸: ابعاد مقاطع طراحی شده برای سازه‌های سخت بیرونی

مدل	ابعاد ستون‌ها	ابعاد تیرها
۴ طبقه	C120X120-60Φ25	B80X100
۷ طبقه	C180X180-112Φ25	B90X120
۱۰ طبقه	C100X100-52Φ28	B200X70
	C600x70-162F28	

جدول ۹: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 برای ساختمان ۴ طبقه بهسازی شده

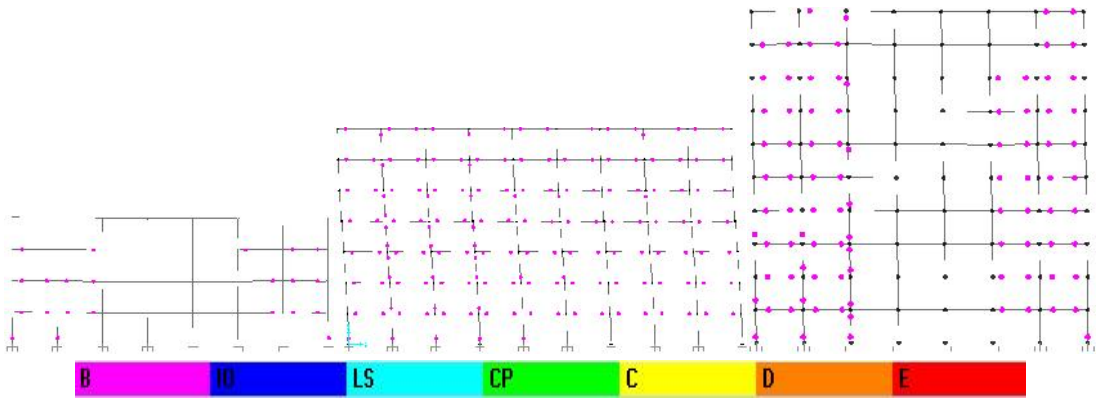
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
1.06	1.03	1.1	1.0	0.87	0.48	0.48	583.49	61813.15	61813.15	0.23	6.04	4473.08	0.9
δ_t = 0.06 m (تغییر مکان هدف)													

جدول ۱۰: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 برای ساختمان ۷ طبقه بهسازی شده

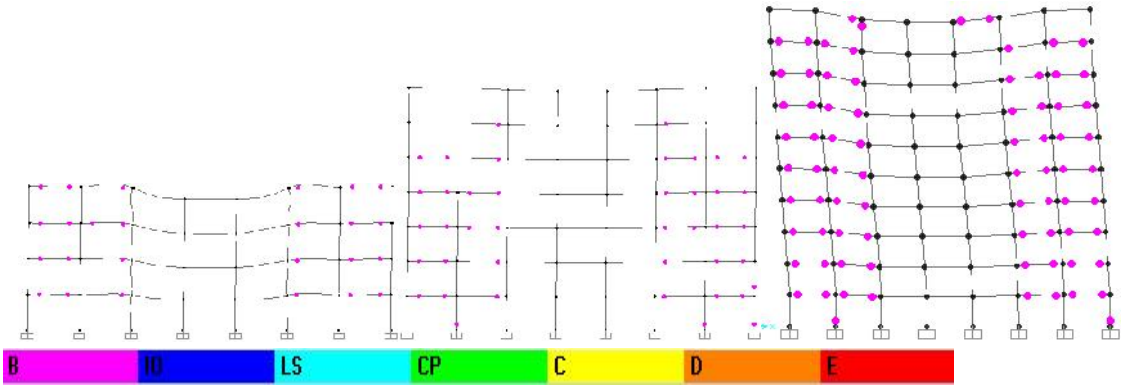
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
1.058	1.0	1.1	1.0	0.35	0.836	0.824	1080.27	32876.25	31963.40	0.5	2.4	8216.6	0.9
δ_t = 0.071 m (تغییر مکان هدف)													

جدول ۱۱: پارامترهای محاسبه تغییر مکان هدف به روش ضرایب FEMA356 برای ساختمان ۱۰ طبقه بهسازی شده

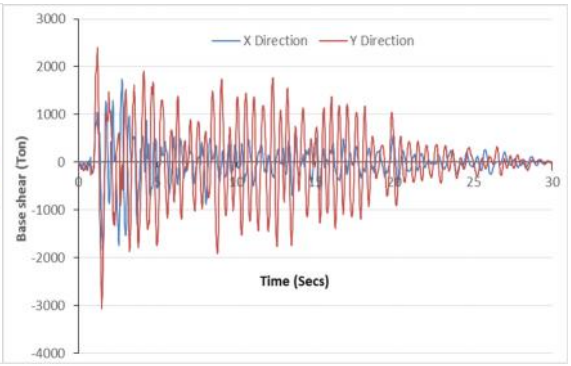
TABLE: Pushover Curve Parameters - FEMA356 - PUSHMODE1XG2													
C0	C1	C2	C3	Sa	Te	Ti	Vy	Ki	Ke	Alpha	R	Weight	Cm
							Tonf	Tonf/m	Tonf/m			Tonf	
1.076	1.0	1.0	1.0	0.492	1.187	1.187	1184.60	21677.63	21677.63	0.365	5.0	13405.75	0.9
δ_t = 0.186 m (تغییر مکان هدف)													



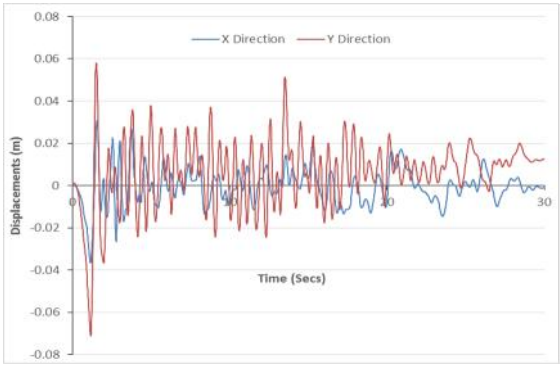
شکل ۱۳: نمایش مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌های بهسازی شده ۴ طبقه، ۷ طبقه و ۱۰ طبقه تحت بار PUSHMODE1XG2



شکل ۱۴ : نمایش مفاصل پلاستیک در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی مدل‌های بهسازی شده ۴، ۷ و ۱۰ طبقه



شکل ۱۵:جابجایی- زمان زلزله San Fernando *در مدل ۷ طبقه*



شکل ۱۶:برش پایه-زمان زلزله San Fernando *مدل ۷ طبقه*

جدول ۱۲:برش پایه مدل‌های بهسازی شده (Tonf)

Ground Motion		Chi Chi			Northridge			San Fernando		
		4 ST	7 ST	10 ST	4 ST	7 ST	10 ST	4 ST	7 ST	10 ST
Base Shear	X-Direction	1979	3676	7898	2303	3733	7952	1952	1822	6143
	Y-Direction	1984	3330	7933	1637	1049	6984	2097	3058	8404

جدول ۱۳: جابجایی مرکز جرم بام مدلهای بهسازی شده (Cm)

Ground Motion		Chi Chi			Northridge			San Fernando		
		4 ST	7 ST	10 ST	4 ST	7 ST	10 ST	4 ST	7 ST	10 ST
Displacement	X-Direction	44	53	68	21	22	26	4	3	8
	Y-Direction	24	31	38	14	15	18	8	7	15

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر مدل‌های سازه‌ای طراحی شده بر اساس نخستین نسخه استاندارد ۲۸۰۰ پس از بررسی و آسیب‌پذیر تشخیص داده شدن بوسیله سازه‌های سخت بیرونی بهسازی شده و به سطح عملکرد مورد نظر ارتقا یافت. نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق که ارائه یک نوع روش جهت بهسازی ساختمان‌های بتن مسلح موجود با پلان T شکل است به شرح ذیل می‌باشد:

۱- اکثر سازه‌هایی که با استاندارد ۲۸۰۰ مصوب سال ۱۳۶۷ طراحی شده‌اند بر استاندارد ۲۸۰۰مصوب سال ۱۳۸۷ در صورت کنترل و ارزیابی نیاز به بهسازی دارند.

۲- -بدلیل تغییر روابط تعیین ضریب رفتار و ضریب بازتاب در ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقادیر ضریب برش پایه افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند.

۳- در ارزیابی مدل‌های سازه‌ای بر اساس نشریه ۳۶۰ تمامی مدل‌ها سطح عملکرد ایمنی جانی را برآورده نکرده و مفاصل زیادی در نواحی بعد از LS ایجاد می‌گردد.

۴- در تمامی مدل‌ها پیش از رسیدن به تغییر مکان هدف در سازه بهسازی نشده، ساختمان ناپایدار شده و همگرایی در تحلیل حاصل نمی‌گردد.

۵- با استفاده از روش سازه‌های سخت بیرونی، سختی جانبی سازه افزایش و تغییر مکان هدف کاهش یافته و مطابق ضوابط نشریه ۳۶۰ برای

کنترل مفاصل ایجاد شده در اعضا اصلی سازه هدف، بهسازی مبنا (سطح عملکرد LS) تامین می‌گردد.

۶- مقادیر بتن مصرفی در یک سازه سخت بیرونی نسبت به اسکلت ساختمان برای ساختمان۴، ۷ و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر ۲۱، ۲۱ و ۳۱ درصد است.

مراجع

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۵)،*دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰)*، دفتر امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (تیر ۱۳۸۴)،*طرحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-آئین کار (استاندارد ۲۸۰۰)*، تجدید نظر سوم

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (خرداد ۱۳۷۵)، حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی (استاندارد ۵۱۹)، چاپ هجدهم

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران(مرداد ۱۳۶۷)، *آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)*، چاپ چهارم

ACI Committee 318 Standard Building Code (1999), BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE AND COMMENTARY (ACI 318RM-99)

Fujimura M (1999) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, Pages 131-132

Horyo R (1999) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, Pages 123-124

Inoue Sh (1999) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, PAGES 133-134

Okuzono T (1999) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, Pages 125-126

Suzuki Y (1999) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, Pages 129-130

Yamanaka H (2001) *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, C-2, Structures 4, Pages 95-106