

ارزیابی پارامتریک عملکرد لرزه ای قابهای فولادی خمشی بلند مرتبه با دیوار برشی بتنی بر پایه روش طراحی بر اساس عملکرد

فرهاد دانشجو^۱، محمدرضا جهانشاهی^۲

چکیده

روش طراحی بر اساس عملکرد، یک روش نوین طرح لرزه ای می باشد و در این زمینه تحقیقات گسترده ای در حال انجام است که اکثر تحقیقات صورت گرفته، در محدوده مفاهیم اولیه این روش خلاصه می شود. حال آنکه لزوم انجام تحقیقاتی مناسب که منجر به شناخت معیارهای تاثیرگذار بر عملکرد سازه و نحوه تاثیرگذاری هریک از این معیارها می گردد، کاملاً به چشم می خورد. به طور خاص در حیطه ساختمانهای بلندمرتبه فولادی با دیوار برشی بتنی مجال مناسبی برای تحقیقات زیادی در زمینه روش طراحی بر اساس عملکرد وجود دارد.

در این راستا در تحقیق حاضر، یکسری قابهای سه دهانه و پنج دهانه فولادی منظم با اتصالات صلب مورد ارزیابی پارامتریک عملکردی قرار گرفته اند. بدین منظور از روش طیف ظرفیت و تقاضا و منحنی های بار افزون هر یک از این قاب ها برای یافتن نقطه هدف عملکردی سازه استفاده شده است. تعداد طبقات این قابها، که در سرتاسر دهانه میانی آنها برای مقابله با نیروهای جانبی از دیوار برشی بتنی استفاده شده است، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ می باشد. در نهایت تأثیر پارامترهایی همچون نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی، نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی، نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل سازه، ارتفاع طبقات، تعداد طبقات، طول دهانه ها و تعداد دهانه ها بر عملکرد لرزه ای این قاب های دوبعدی با توجه به شرایط مفروض به دست آمده است. با بررسی مدلها بیشتر و تغییر پارامترهای متنوع تر می توان امیدوار بود که بتوان به دستورالعمل چگونگی تغییر پارامترهای مختلف برای دست یابی به هدف عملکردی مورد نظر دست یافت.

کلمات کلیدی :

طرح لرزه ای بر اساس عملکرد، اندر کنش قاب خمشی فولادی و دیوار برشی بتنی، سازه های بلند مرتبه، طیف ظرفیت، طیف تقاضا، تحلیل فرآینده استاتیکی غیر خطی

Parametric Seismic Performance Evaluation of Tall Steel Moment Resisting Frames With Shear Walls

Abstract

In this paper, parametric seismic performance evaluation of tall steel moment resisting frames with shear walls is presented. The performance point of each frame is determined by principals of capacity and demand curves. The evaluated frames are of 15, 20 and 25 storey. Effective damping of each frame is calculated using ATC-40 method. Effect of parameters such as shear to wall stiffness ratio, total structure stiffness to frame stiffness ratio, wall width to structure height, number and width of bays, and height of the frames to seismic performance are considered and results are evaluated for immediate occupancy performance level.

۱- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس danesh_f@modares.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۱- مقدمه

مفاهیم طراحی بر اساس عملکرد^۱ (PBD) به صورت مطلوبی در ایالات متحده گسترش پیدا کرده و به صورت گسترده‌ای پایه و اساس پروژه‌های آینده را شکل می‌دهد، بخصوص به صورتی که در دستورالعمل FEMA 273 [۵] جمع‌آوری شده است. این مفاهیم از این جهت با روشهای آئین نامه‌ای تفاوت دارند که به جای در نظر گرفتن جزئیات بخصوص قوانین طراحی، معیارهایی را برای رسیدن به عملکردهای مشخص سازه، ارائه می‌دهند. ترازهای عملکردی سازه می‌توانند شامل جلوگیری از تخریب کامل^۲، مصونیت جانبی^۳، استقرار فوری^۴ و قابل کاربری بودن پس از زلزله^۵ می‌باشند [۱].

با روش طراحی بر اساس عملکرد، آسیب دیدگی واقعی ساختمان در سطوح خاصی از لرزش زمین و میزان آسیب وارده بر سازه، در مقایسه با معیارهای مقرر شده قابل قبول، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این روش، اطلاعات همراه با جزئیات لازم را برای مالک سازه در مورد خسارتهای مورد انتظار در سطوح بخصوصی از زمین لرزه فراهم می‌آورد. آنگاه این اطلاعات یک پایه و اساس منطقی جهت تصمیم‌گیری بر پایه بهینه هزینه‌ها خواهند بود [۲۲، ۲۴].

۲- روشهای تحلیل [۱ و ۵]

چهار سطح تحلیل برای انجام تحلیل سازه‌ای مناسب، برای ارزیابی ساختمانهای موجود وجود دارند. هر روش سطح بالاتر، یک مدل دقیقتر از عملکرد واقعی ساختمان را در برابر بارهای زلزله فراهم می‌آورد، اما در این صورت تلاش بیشتری از جهت وقت گذاشتن برای فراهم آوری داده‌های اولیه و انجام محاسبات مربوط لازم خواهد بود.

۱- روش الاستیکی خطی^۱ (LSP) که فقط برای ساختمانهای معمولی که پاسخها در قسمت الاستیک قرار می‌گیرند، مناسب است.

۲- روش دینامیکی خطی^۲ (LDP) که می‌تواند ساختمانهای غیر عادی را مدل نماید، اما دوباره برای ساختمانهایی مناسب است که پاسخهای اولیه آنها در قسمت الاستیک قرار دارند.

۳- روش استاتیکی غیر خطی^۳ (NSP) که می‌تواند ساختمانهایی را که در حد پس از الاستیک بارگذاری شده‌اند را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، اما نمی‌تواند به طور کامل پاسخهای دینامیکی را در بر بگیرد (بخصوص در مورد اثر مودهای بالاتر).

۴- روش دینامیکی غیر خطی^۴ (NDP) که کاملترین صورت آنالیز و تحلیل می‌باشد و هم اثرات دینامیکی و هم پاسخهای غیر الاستیک را مدل می‌کند. با این وجود، این روش نسبت به فرضیات مربوط به نحوه مدل کردن و حرکت زمین حساس می‌باشد.

پیشرفته‌ترین روش تحلیل "NDP" در بین چهار روش ذکر شده از این لحاظ که مشاهدات حقیقی در مورد تقاضا برای هر عضو بارگذاری شده خصوصاً در قسمت غیر الاستیک را فراهم می‌آورد، یکتا و بی‌همتا است. به علت این توانایی، در مورد نتایج، اصلاحات کمتری نسبت به روشهای ساده‌تر دیگر در این روش لازم است. آنچه باید صرف سوده‌های ناشی از این روش گردد، افزایش پیچیدگی مربوط به تحلیل و ارزیابی این روش می‌باشد که برای مطمئن شدن از صحت نتایج لازم است.

همچنانکه در بالا ذکر گردید، راهکارهای مربوط به طراحی بر اساس عملکرد بر پایه یکی از چهار سطح آنالیز گفته شده، استوار گردیده‌اند. با این وجود، تنها دو انتخاب غیر خطی فوق به طور واضح و روشن عملکرد اجزاء مختلف را تحت سطوح مختلف آسیب دیدگی، ناشی از زمین لرزه، مدل می‌کنند. از این دو روش، تنها روش دینامیکی غیر خطی است که خواص دینامیکی سازه را به طور کامل توجیه می‌کند. با توجه به اینکه زلزله‌ها پدیده‌های دینامیکی هستند، این خصوصیات دینامیکی تأثیر بسزایی در بزرگی و چگونگی پخش آسیب دیدگی‌ها دارند.

روشن است که روش بهینه هر دو اثر غیر خطی

BSE-2 معرفی گردیده است [۱ و ۵].

Probability of Exceedance	Mean Return Period Years	FEMA 273	Codes
50% in 50 years	72		
20% in 50 years	225		
10% in 50 years	474	BSE-1	Design basis earthquake (DBE)
2% in 50 years	2.475	BSE-2	Maximum Capable Earthquake (MCE) Or Maximum Credible Earthquake Or Maximum Considered Earthquake

جدول (۱): سطوح خطرپذیری لرزه ای FEMA [۵ و ۱]

در جدول ۲ سطوح زلزله طراحی براساس دستورالعمل SEAOC Vision 2000 [۲ و ۳] آورده شده است. در ATC-40 [۴] دو زلزله مدنظر قرار گرفته است. یکی زلزله طرح که زلزله ای است با احتمال وقوع ۱۰٪ در طی ۵۰ سال عمر طراحی سازه و دیگری زلزله ای است با احتمال وقوع ۵٪ در طی ۵۰ سال عمر طراحی سازه.

EARTHQUAKE DESIGN LEVELS (SEAOC VISION 2000, 1995)

Earthquake Design Level	Recurrence Interval	Probability of Expectance
Frequent	43 years	50% in 30 years
Occasional	72 years	50% in 50 years
Rare	475 years	10% in 50 years
Very Rare	970 years ^{1,2}	10% in 100 years

جدول (۲): سطوح خطر پذیری لرزه ای SEAOC [۲ و ۳]

۳-۲- سطوح عملکرد

اولین تراز عملکرد، استقرار فوری (IO) ، مستلزم آن است که ساختمان لزوماً در طی وقوع زمین لرزه و فوراً پس از پایان زمین لرزه، قابل کاربری باشد. آخرین تراز عملکرد، ممانعت از تخریب (CP) ، در جایی مشاهده می شود که ساختمان در سرحد تخریب قرار می گیرد و از لحاظ اقتصادی ترمیم آن مقرون به صرفه نباشد. تراز مصونیت جانی (LS) ، تراز است که در آئین نامه ها به صورت روشنی تعریف شده است و ممکن است در مورد ساختمانی اتفاق بیفتد که برای ترمیم غیراقتصادی باشد.

بودن و اثرات دینامیکی را در بر دارد و در نتیجه روش NDP بر روشهای دیگر ارجح است. این روش تحلیل طبیعتاً دارای اشکالاتی نیز هست که استفاده از آن را محدود کرده است که از آن جمله می توان موارد زیر را نام برد.

- حجم بالای محاسبات
 - حجم بالای داده های ورودی
 - مشکل بودن تشریح نتایج
 - دشوار بودن انتخاب تاریخچه های زمانی مناسب
 - مشکل بودن تشخیص رفتار پسماند اعضا
- از این دو روش NSP به عنوان روش استاندارد بین مهندسين سازه مورد قبول واقع شده است.

۳- اهداف عملکرد^۱

یک سطح عملکرد، همچون ممانعت از ویرانی، به خودی خودش با معنا نخواهد بود، مگر آنکه یک تراز لرزه ای که در طی آن، سازه به این سطح از عملکرد برسد، مشخص شده باشد. بهترین راه برای تشریح اهداف عملکردی ، بهره گرفتن از اصطلاحات FEMA 273 [۵] است. این راهبردها، یک هدف نوساخت به عنوان رسیدن به یک سطح عملکرد مشخص سازه، در برابر یک سطح خاص خطرپذیری لرزه ای را تعریف می کنند [۱، ۲۲، ۵، ۲۴].

۳-۱- خطر پذیری لرزه ای (سطح زلزله طرح)

بیشتر آئین نامه ها (NZS 4203) بارهای طراحی را با احتمال وقوع ۱۰٪ در طی ۵۰ سال عمر طراحی سازه مشخص و تعریف می کنند. این تعریف به عنوان (زمین لرزه پایه مصونیت) BSE-1 در FEMA معرفی شده است. برخی دیگر از آئین نامه ها ، یک تراز بالاتر لرزه ای را با احتمال وقوع کمتر در مدت ۵۰ سال، معمولاً با احتمال ۲٪ مشخص می کنند. این مفهوم در FEMA با عبارت

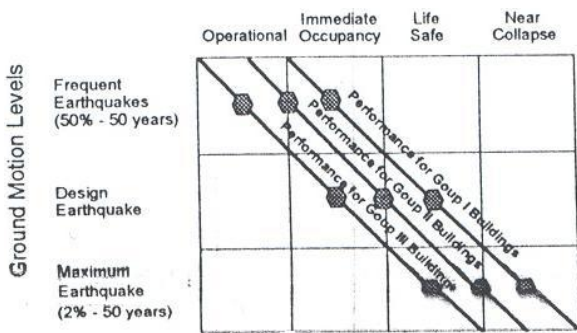
2- Immediate Occupancy
3- Collapse Prevention
4- Life Safety

1- Performance Objectives

۳-۳- تلفیق خطرپذیری لرزه‌ای و سطوح عملکردی

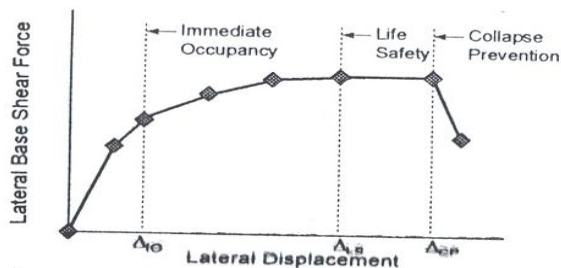
اهداف بازسازی، به صورت ترکیبی از خطرپذیری لرزه‌ای و عملکرد ساختمان می‌باشند. به کارگیری همزمان مفاهیم ارائه شده در مورد اهداف عملکردی سازه با مراجعه به شکل (۱) که توسط SEAOC Vision 2000-1995 [۲] ارائه گردیده است، قابل فهم‌تر خواهد بود. به این صورت که در تراز افقی این جدول، خطرپذیری لرزه‌ای (نوع زلزله طرح) و در تراز قائم سطوح عملکردی نشان داده شده‌اند. آنچه در این نمودار حائز اهمیت است آن است که اسم ظاهری سطوح عملکردی ارائه شده توسط SEAOC Vision 2000 در این نمودار با آنچه FEMA 273 [۵] معرفی می‌کند فرق دارد، اما مفاهیم سطوح عملکردی در هر دو یکسان است.

تلفیق سطح عملکردی و سطح زمین لرزه‌ای مورد نظر است در دو شکل قابل مشاهده می‌باشد.

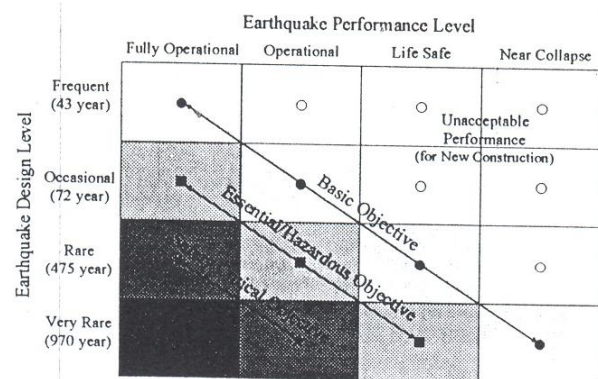


شکل (۲): اهداف عملکرد لرزه ای NEHRP [۱۰]

اگر شکل (۳) رفتار کلی سازه (جابجایی سقف در برابر برش پایه وارد بر سازه) را نشان دهد، سطوح عملکردی به صورت کیفی روی نمودار برای سازه مورد نظر نشان داده شده‌اند.



شکل (۳): سطوح عملکردی ارائه شده در FEMA 273 [۵]



شکل (۱) اهداف عملکرد لرزه ای SEAOC [۲]

از تقابل هر سطح عملکردی و سطح زلزله طرح مورد نظر، هدف عملکردی تعریف می‌شود. سه خط مورب موجود در شکل هر کدام معرف اهداف عملکردی پایه^۱، ضروری^۲ و بحرانی^۳ می‌باشند.

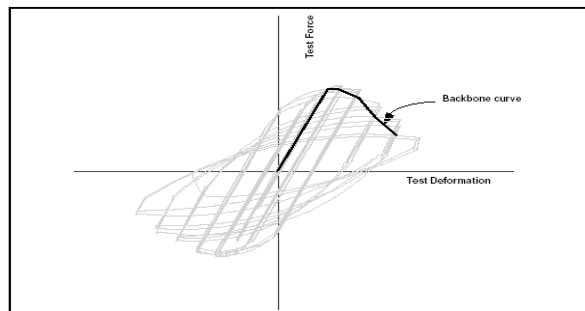
یک نمودار مشابه دیگر نیز در دستورالعمل NEHRP 1997 [۱۰] آورده شده است که شکل (۲) مربوط به آن است. از مقایسه دو شکل (۱) و (۲) چنین نتیجه‌گیری می‌توان نمود که ممکن است سطوح عملکردی و سطوح زمین لرزه‌ای طرح (جابجایی‌های زمین) در دو نمودار فرق کند، اما مفهوم هدف عملکردی که همانا

۴- روش طیف ظرفیت و تقاضا

برای بررسی جزء جزء اعضا که در FEMA 273 [۵] به آن پرداخته شده است، مفهوم نمودار Backbone مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۴)، نشان دهنده یک نمودار Backbone است که به صورت پوش بر رفتار هیستریزس^۴ مورد انتظار عضو، تحت یک بار رفت و برگشتی به دست آمده است. در FEMA 273 [۵]، نمودار Backbone هر عضو به صورت یکی از حالت‌های سه‌گانه استاندارد آورده شده در شکل (۵) ایده‌آل سازی می‌شود [۵، ۱۳ و ۱۴].

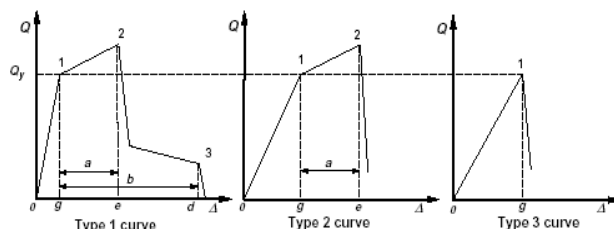
- 1- Basic Objective
- 2- Essential Hazardous Objective
- 3- Safety Critical Objective

عنوان روش طیف ظرفیت و تقاضا در ادامه به آن خواهیم پرداخت، دارای روش ساده شده معادلی است که هم در FEMA 273 [۵] و هم در ATC-40 [۴] به آن اشاره شده است. در زیر مراحل کلی روش طیف ظرفیت و تقاضا به اختصار آورده شده است که در ادامه هر مرحله را، با یک مثال انجام شده بصورت مبسوط مورد بحث قرار خواهیم داد.



شکل (۴): نمودار Backbone نمونه برای یک عضو [۱۳،۵ و ۱۴]

۱- تشکیل طیف زلزله مورد نظر (طیف تقاضا)^۳: لازم به ذکر است که ما از تعریف زلزله طرح مطرح شده توسط ATC-40 [۴] استفاده کرده ایم. زلزله طرح در ATC-40 [۴] به عنوان زلزله ای با احتمال وقوع ۱۰٪ در مدت ۵۰ سال تعریف می شود. دیگر زلزله معرفی شده توسط ATC-40 [۴]، ماکزیمم زلزله محتمل می باشد که زلزله ای است که با احتمال وقوع ۵٪ در مدت ۵۰ سال عمر مفید سازه ممکن است به وقوع بپیوندد. تعاریف متنظاری در FEMA 273 [۵] وجود دارند که چندان تفاوتی با زلزله های فوق ندارند.



شکل (۵): منحنی های Backbone ایده آل (ساده) شده [۱۳،۵ و ۱۴]

آنچه در دستورالعمل ATC-40 [۴] به عنوان طیف تقاضا معرفی می گردد، برای میرایی ۵٪ می باشد. با انجام محاسباتی که در ادامه بحث به آنها خواهیم پرداخت باید اثرات میرایی های دیگر را نیز در طیف لحاظ کنیم.

۲- تشکیل طیف ظرفیت^۴: با استفاده از نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover) طی محاسباتی طیف ظرفیت به دست می آید.

۳- ترسیم منحنی طیف ظرفیت و منحنی طیف تقاضا در یک دستگا مختصات مشترک و یافتن محل برخورد دو طیف (طیف ظرفیت و منحنی تقاضا یافته طیف تقاضا که در اثر لحاظ کردن میرایی های هیستریزس و ... نسبت به طیف ۵٪ تقلیل پیدا کرده است). این نقطه، نقطه هدف^۵ نامیده می شود که بیانگر جابجایی مورد انتظار سازه در اثر وقوع زلزله طرح یا ماکزیمم زلزله محتمل می باشد.

بزرگترین محدودیت بهره گیری از دستورالعمل FEMA 273 [۵] آن است که علیرغم اینکه سطوح عملکرد به صورت کلی (Global) تعریف می شوند، روش بررسی سازه بر اساس بررسی جزء به جزء اعضای سازه به صورت منفرد و بدون در نظر گرفتن رفتار اعضای مختلف سازه همزمان با هم می باشد. به این معنا که در FEMA 273 [۵] تکیه بر رفتار جزء به جزء اعضای سازه می باشد (نه رفتار کلی سازه). خصوصاً روش ارائه شده در FEMA 273 [۵]، رفتار محتمل سازه را به صورت محافظه کارانه ای پایین تر از حد واقعی تخمین می زند، به دلیل آنکه اثرات برهمکنش کل سازه را در نظر نمی گیرد. (به جز در مرحله تحلیل)

سازه های واقعی، ترکیبی از سیستمهایی هستند که توسط یکسری اعضا با هم در ارتباطند. اعضای مختلف ممکن است به صورت موازی یا سری به هم متصل شده باشند. در مورد اجزایی که به صورت موازی به هم متصلند، روش بررسی جزء جزء برای ارزیابی رفتار سازه، تخمین پائین تری نسبت به واقعیت را به دست می دهد.

در ATC-40 [۴]^۲، رفتار سازه به صورت کلی مد نظر می باشد، هر چند که بررسی جزء جزء اعضا را در کنار روش رفتار کلی سازه، مد نظر قرار می دهد. البته آنچه به

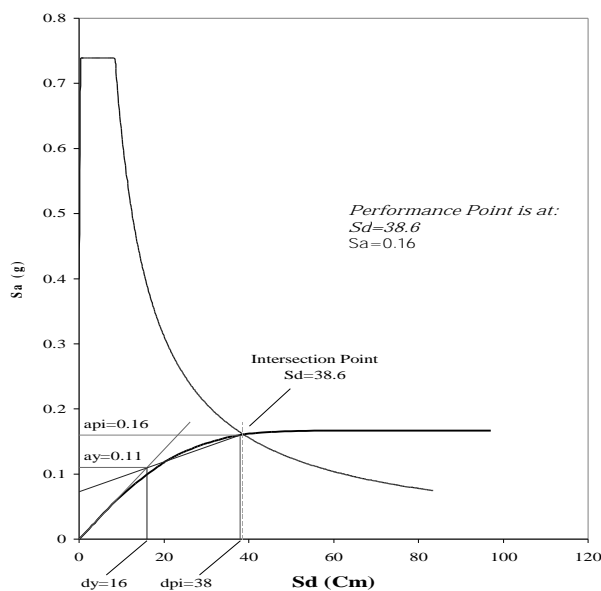
3-Demand Curve
4-Capacity Curve
5- Performance Point

1-Federal Emergency Management Agency
2- Applied Technology Council

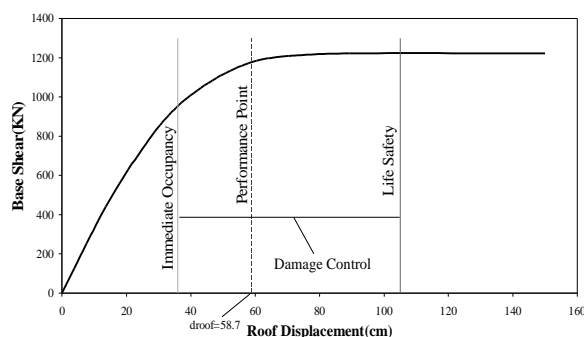
دیوارهای برشی نیز براساس ACI 318-95 [۱۶] صورت پذیرفته است. در مورد دیوارهای برشی به علت محدودیت موجود در نرم افزار SAP 2000 از یکسری ستونهای معادل بهره گرفته شده است. در قسمت تحلیل Pushover نرم افزار SAP2000، عملیات مربوط به طیف ظرفیت و تقاضا و پیدا کردن نقطه هدف، دارای ایراداتی است که به این منظور از این قابلیت نرم افزار استفاده نشده و با نوشتن برنامه‌ای با بهره‌گیری از فایل ورودی نتیجه تحلیل Pushover و سایر خصوصیات سازه، نقطه هدف هر مدل تحت زلزله طرح محاسبه شده است. ۳۰ مدل رایانه‌ای برای انجام این تحقیق، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نیمی از این قابها، سه دهانه‌ای و نیمی پنج دهانه‌ای می‌باشند. در هر مدل ارتفاع طبقات و طول دهانه‌ها ثابت می‌باشد. در همه مدلها دیوار برشی در سرتاسر دهانه وسطی تعبیه شده است. اتصالات قابها همگی خمشی می‌باشند و تکیه‌گاهها نیز گیردار در نظر گرفته شده‌اند. یک سوم از قابها ۲۵ طبقه‌ای، یک سوم از قابها ۲۰ طبقه‌ای و بقیه قابها ۱۵ طبقه‌ای هستند. برای طراحی هر یک از مدلها از آئین نامه ۲۸۰۰ [۱۷] ایران بهره گرفته شده است. بدین منظور برای هر یک از مدلها تحلیل طیفی مربوط به خاک نوع دوم، مندرج در آئین نامه ۲۸۰۰ [۱۷] صورت گرفته است. از نظر گروه‌بندی قابها برحسب اهمیت، همگی قابهای مورد بررسی سازه‌های با اهمیت متوسط با $I=1/0$ در نظر گرفته شده‌اند. ضریب رفتار مربوط به هر یک از قابها با مراجعه به جدول شماره (۳) فصل دوم آئین نامه ۲۸۰۰ [۱۷]، $R=11$ در نظر گرفته شده است. در مدل رایانه‌ای برای تراز هر طبقه یک دیافراگم تعریف شده است.

به علت محدودیت نرم افزار SAP2000 مبنی بر اینکه مفاصل پلاستیک تنها برای اعضای قابی قابل تعریف هستند، مجبوریم که از یکسری ستونهای معادل برای مدل کردن دیوارهای برشی استفاده کنیم. اگر برای یک دیوار برشی به عرض ۴ متر از یک ستون معادل استفاده شود رفتار دیوار برشی

نمونه این نمودارها در شکل (۶) آورده شده است. در نهایت مطابق شکل (۷) عملکرد سازه در برابر زلزله مورد نظریه دست می‌آید



شکل (۶): رسم طیف ظرفیت و تقاضا



شکل (۷): سطح عملکرد سازه در برابر زلزله طرح

۵- نحوه مدل کردن و مفروضات مربوط به هر قاب

همچنانکه قبلاً اشاره شد، برای ارزیابی عملکرد مدلهاى مختلف در این تحقیق، از روش طیف ظرفیت و تقاضا استفاده شده است. بدین منظور یکسری تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی مناسب (تحلیل Pushover) بر روی مدلها صورت پذیرفته است. برای نیل به این مقصود از نرم افزار SAP 2000 استفاده گردیده است. طراحی قابهای خمشی فولادی با بهره‌گیری از قابلیت‌های این نرم افزار و به روش آئین نامه AISC-LRFD 93 [۱۵] صورت گرفته است. طراحی

سازه به عنوان این معیار معرفی می شود. اگر نسبت جابجایی هدف سقف به ارتفاع کل سازه کمتر از ۰/۶ باشد سطح عملکرد، استقرار فوری (IO) خواهد بود و در صورتیکه این نسبت بین ۰/۶ تا ۱/۷۵ باشد، سطح عملکرد مصونیت جانی (LS) خواهد بود و چنانچه این مقدار بین ۱/۷۵ تا ۳/۵ باشد سطح عملکردی ممانعت از تخریب (CP) خواهد بود. در مورد تمامی قابهای مورد بررسی این نسبت در محدوده ۰/۶ تا ۱/۷۵ قرار دارد که محدوده مصونیت جانی (LS) است و این دقیقاً با فلسفه آئین نامه های موجود مطابقت دارد.

پس از تحلیل و طراحی نهایی هر یک از قابهای خمشی (بدون دیوار برشی)، در تراز سقف یک نیروی ۱۰۰۰ نیوتنی افقی به سازه اعمال گردیده و جابجایی حاصل از اثر این نیرو با بهره گیری از روش تحلیل استاتیکی خطی به دست آمده است. از تقسیم این نیرویی ۱۰۰۰ نیوتنی به جابجایی که بر حسب سانتیمتر است، یک سختی کلی برای قاب خمشی به دست می آوریم. ما برای بررسی هایی که مربوط به سختی جانبی قاب خمشی، است از این تعریف استفاده کرده ایم.

برای به دست آوردن سختی کل مربوط به دیوار برشی بتنی تنها، بدون قاب خمشی، ما از فرمول زیر مربوط به سختی دیوارهای برشی استفاده کرده ایم.

$$R = \frac{3EI}{\beta H^3}$$

$$\beta = 1 + 0.75 \left(\frac{h}{H} \right)^2$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

E = مدول الاستیسته بتن

H = ارتفاع دیوار برشی

h = عرض دیوار برشی

b = ضخامت دیوار برشی

R = سختی دیوار برشی

در این صورت خواهیم داشت :

$$R = \frac{E \left(\frac{h}{H} \right)^3 b}{4 \left(1 + 0.75 \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right)}$$

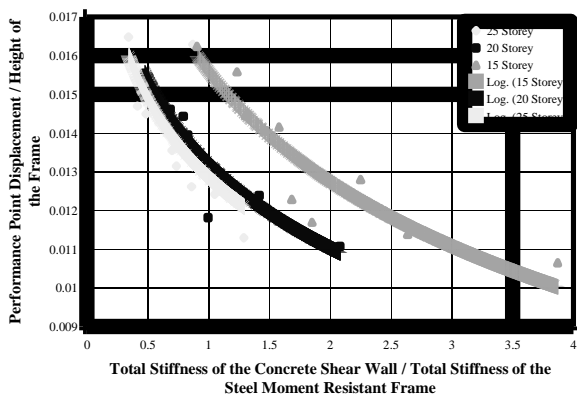
خیلی خیلی تقریبی خواهد بود، زیرا در مورد سازه های بتنی ترکها به تدریج گسترش می یابند و در نتیجه مفصل پلاستیک به یکباره در سرتاسر عرض دیوار برشی بتنی واقع نخواهد شد. به همین دلیل برای مدل کردن دیوار برشی با عرض ۴ متر، از ۸ ستون ۰/۵ متری با ضخامتی برابر با ضخامت دیوار برشی استفاده شده است.

۶- تعریف هریک از معیارهای مورد بررسی

با بهره گیری از نتایج به دست آمده می توان گفت با توجه به شرایط مختلف مدل های مورد بررسی، با در نظر گرفتن مسائلی همچون میزان بارگذاری، کدام یک از پارامترهای که در ادامه به آنها خواهیم پرداخت، در عملکرد سازه تأثیر دارند. در حقیقت تأثیر این پارامترها در عملکرد سازه به دست می آید. با بررسی تأثیر پارامترهایی همچون نسبت سختی قاب و دیوار به سختی قاب خمشی، نسبت سختی دیوار برشی به قاب خمشی، اثر تعداد دهانه ها، اثر تعداد طبقات، اثر افزایش طول دهانه ها، اثر افزایش ارتفاع طبقات و اثر نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل آن، می توان در صورت وجود نظم معین نمود که افزایش یا کاهش هر کدام از پارامترهای مزبور، باعث افزایش و یا کاهش نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه می گردد. بدین ترتیب، برای طراحان یک دید اولیه مناسب در مورد نحوه تأثیر هر یک از پارامترهای مزبور بر نقطه هدف سازه و در نهایت هدف عملکردی آن به دست می آید که به آنها کمک خواهد کرد در طراحی سازه های قاب خمشی بلند فولادی با دیوار برشی بتنی، تأثیر پارامترهای مختلف را برای رسیدن به سطح عملکردی مطلوب، هر چه سریعتر مد نظر قرار دهند. برای آنکه بتوان جابجایی های هدف هر یک از قابها را با قابهای دیگر، که ممکن است به جهت ارتفاع فرق کنند، مورد بررسی قرار داد، باید پارامتری برای همگون ساختن جابجایی های هدف هر یک از سازه معرفی کرد که با آن بتوان وضعیت عملکردی قابها را حتی در صورت وجود اختلاف در تعداد طبقات و ارتفاع کل سازه، مورد مقایسه قرار داد. با بهره گیری از آنچه FEMA 273 [۵] و ATC-40 [۴] به آن اشاره شده است، نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل

همچنانکه در شکل (۹) مشاهده می‌شود، روند خط برازش شده بر داده‌های مربوط به قابهای ۲۵، ۲۰ و ۱۵ طبقه نیز با افزایش نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی، کاهش نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه را خواهیم داشت. بنابراین، با افزایش نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی، رفتار سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند و برعکس با کاهش این پارامتر عملکرد سازه‌های مورد بررسی به سمت مصونیت جانی (LS) میل می‌کند. نکته‌ای که در مورد شکل (۹) جلب توجه می‌کند، آن است که با افزایش تعداد طبقات سازه رفتار سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل کرده است. در نظر اول این نتیجه‌گیری عجیب به نظر می‌رسد، اما توجه این نتایج آن است که هر چند که با افزایش تعداد طبقات وزن قابها افزایش و سختی آنها کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه جابجایی هدف کلاً افزایش می‌یابد، ولی نرخ رشد جابجایی هدف برای سازه‌های مورد بررسی ما از نرخ افزایش ارتفاع کل سازه کمتر است و در نتیجه نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه با افزایش تعداد طبقات، کاهش می‌یابد.

در شکل (۱۰) عامل تعداد دهانه‌ها حذف شده است. دوباره مشاهده می‌شود برای قابهای با طبقات مختلف، ارتفاعات مختلف، عرض دهانه‌های مختلف ولی تعداد دهانه‌های مساوی نیز خطوط برازش، کاهش نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه در اثر افزایش نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی را به دست می‌دهند. آنچه در این شکل جالب توجه است آن است که با افزایش تعداد دهانه‌ها عملکرد سازه به سمت مصونیت جانی (LS)، میل کرده است.



شکل (۹): اثر نسبت سختی دیوار برشی بتنی به سختی قاب خمشی فولادی برای قابهای همگون از نظر تعداد طبقات

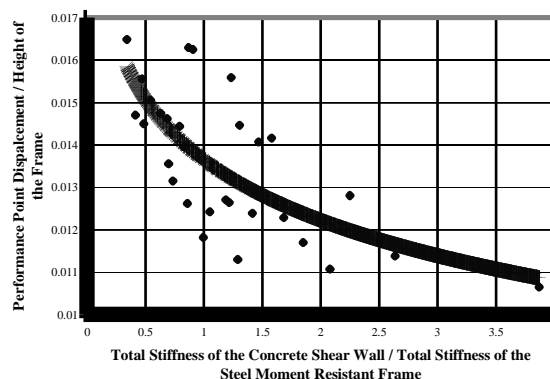
پس از طراحی کل سازه و با در نظر گرفتن دیوار برشی، در تراز سقف یک نیروی ۱۰۰۰ نیوتنی افقی به سازه اعمال گردیده و جابجایی به دست آمده در اثر این نیرو با بهره‌گیری از روش تحلیل استاتیکی خطی، برای تعریف سختی کل سازه به کار رفته است. به این ترتیب که نسبت نیروی ۱۰۰۰ نیوتنی به جابجایی سقف، حاصل از اعمال آن، به عنوان سختی کل سازه تعریف شده است.

۷- بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد سازه

۷-۱- اثر نسبت سختی دیوار برشی بتنی به سختی قاب خمشی فولادی

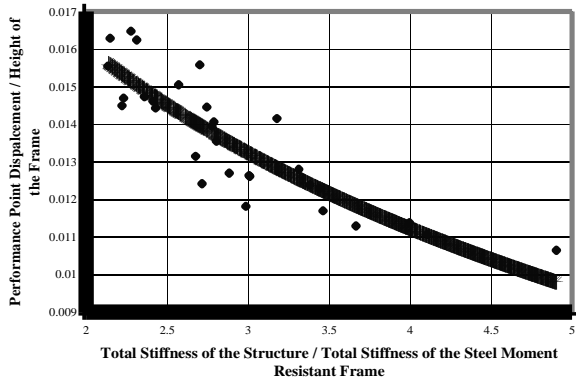
این پارامتر از تقسیم سختی دیوار برشی بتنی بر سختی قاب خمشی فولادی معرفی شده در قسمتهای قبل به دست می‌آید. در شکل (۸) محور افقی نمایشگر نسبت سختی دیوار برشی به قاب خمشی است، حال آنکه محور قائم نشانگر جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه می‌باشد. در شکل (۸) نتایج همه مدل‌های مورد بررسی با هم آورده شده‌اند. خطی که به عنوان برازش داده‌ها رسم شده است این واقعیت را نشان می‌دهد که با افزایش نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی، عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند و برعکس با کاهش این نسبت تمایل عملکرد سازه در جهت مصونیت جانی (LS) خواهد بود.

برای بررسی دقیقتر این پارامتر در دو شکل (۹) و (۱۰) به ترتیب یکبار تعداد طبقات و یکبار تعدد دهانه‌ها تفکیک شده‌اند که در این صورت می‌توان نتایج دقیقتری به دست آورد. در شکل (۹) عامل تعداد طبقات حذف شده است.

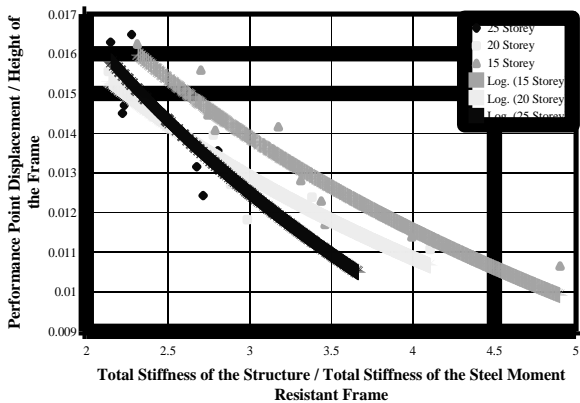


شکل (۸): اثر نسبت سختی دیوار برشی بتنی به سختی قاب خمشی فولادی

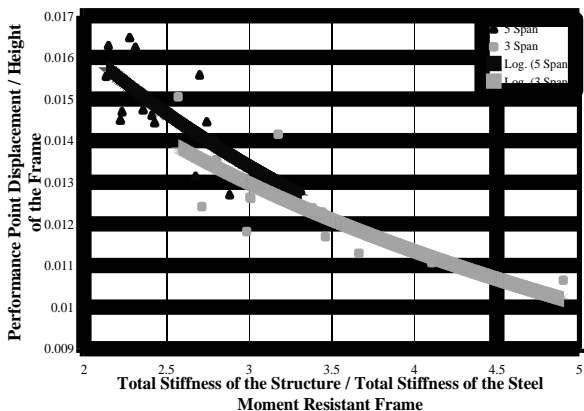
تقریباً مطابق روند خط برازش شکل ۱۱ است. بنابراین نتایج به دست آمده در فوق معتبر خواهند بود. در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) می‌توان نتایج مشابهی که برای شکل‌های (۹) و (۱۰) بیان کرد، دوباره بیان نمود.



شکل (۱۱): اثر نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی



شکل (۱۲): اثر نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی برای قاب‌های همگون از نظر تعداد طبقات

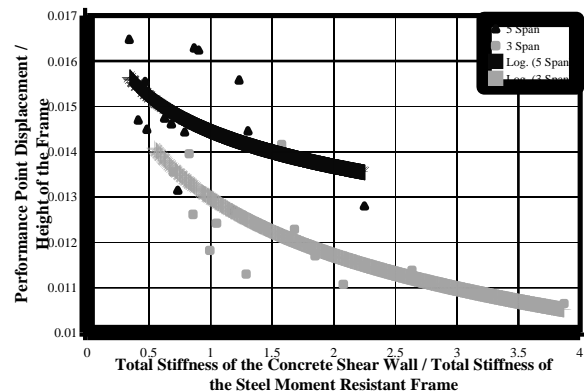


شکل ۱۳ اثر نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی برای قاب‌های همگون از نظر تعداد دهانه‌ها

توجیه این رفتار این است که هر چند با افزایش تعداد دهانه‌ها، سختی قاب افزایش می‌یابد، ولی نرخ افزایش وزن سازه‌های ۵ دهانه نسبت به وزن سازه‌های ۳ دهانه بیشتر از نرخ افزایش سختی قاب‌های ۵ دهانه نسبت به قاب‌های ۳ دهانه است و در نتیجه نقطه هدف در مورد قاب‌های ۵ دهانه بیشتر از قاب‌های ۳ دهانه خواهد بود. به هر حال باید این نکته را مد نظر داشت که این نتیجه‌گیری در صورت منظور کردن مقادیر دیگری از بارهای ثقلی ممکن است برعکس شوند.

۷-۲- اثر نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی

در شکل ۱۱ محور افقی نمایانگر نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی است و محور قائم نمایانگر نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه است. همچنانکه مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی، شاهد کاهش نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه می‌شویم، که نشان می‌دهد عملکرد سازه به سمت سطح عملکرد استقرار فوری (IO) میل می‌کند.

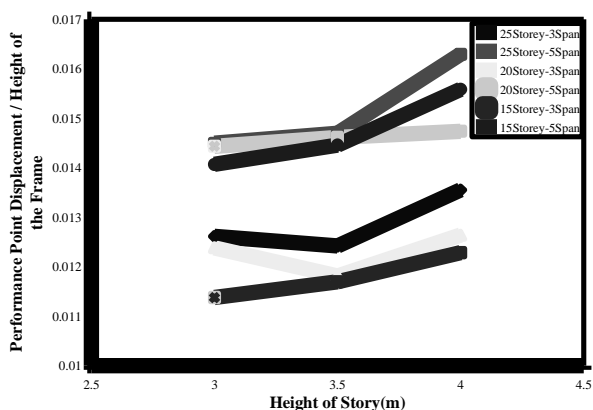


شکل (۱۰): اثر نسبت سختی دیواربرشی بتنی به سختی قاب خمشی فولادی برای قاب‌های همگون از نظر تعداد دهانه‌ها

شکل‌های (۱۲) و (۱۳) اثر افزایش نسبت کل سازه به سختی قاب خمشی بر نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه را در حالی که دست می‌دهند که در شکل (۱۲) اثر تعداد طبقات و در شکل (۱۳) اثر تعداد دهانه‌ها، از نتایج حذف شده است. چون روند خط برازش شکل‌های (۱۲) و (۱۳)

که با افزایش تعداد دهانه‌ها، عملکرد سازه به سمت مصونیت‌جانی (LS) میل کرده است. توجیه این پدیده همان است که در مورد شکل (۱۰) به آن اشاره شد.

مهمترین نتیجه‌ای که از شکل (۱۵) می‌توان گرفت آن است که در مورد یکسری قابها مشابه از نظر تعداد طبقات و تعداد دهانه، با افزایش ارتفاع طبقات نمی‌توان افزایش یا کاهش نسبت جابجایی اهداف به ارتفاع سازه را حدس زد. دلیل این موضوع آن است در بعضی مواقع نرخ افزایش بجایی هدف نسبت به نرخ افزایش ارتفاع کل سازه، گاهی بیشتر و گاهی کمتر است. بنابراین با افزایش ارتفاع طبقات سازه نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه، الزاماً به چه سمتی میل خواهد کرد.



شکل (۱۵): اثر افزایش ارتفاع طبقات

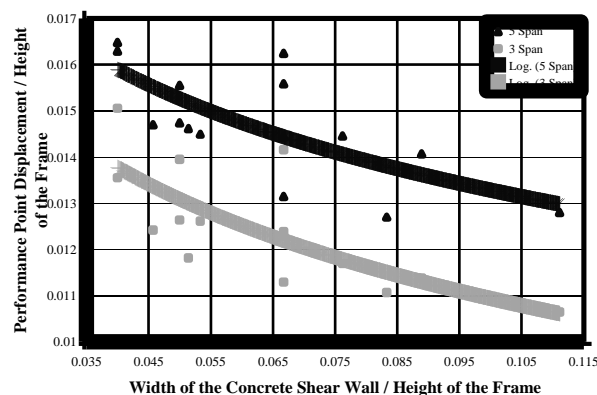
۵-۷- اثر افزایش طول دهانه‌های قاب

شکل (۱۶)، نمایشگر اثر افزایش طول دهانه در مورد یکسری قاب یکسان از لحاظ تعداد طبقه، ارتفاع کل و تعداد دهانه می‌باشد. با مراجعه به شکل (۱۶) نتیجه می‌گیریم که در مورد یکسری قاب یکسان از لحاظ تعداد طبقه، ارتفاع کل و تعداد دهانه، با افزایش طول دهانه‌ها نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه کاهش می‌یابد که این موضوع بیانگر آن است که در مورد چنین قابهایی با افزایش دهانه عملکرد سازه به سمت استقرار فوری IO میل می‌کند.

علت آن امر این است که هر چند با افزایش طول دهانه‌ها وزن سازه افزایش می‌یابد ولی با افزایش طول دهانه‌ها، عرض دیوار برشی نیز افزایش می‌یابد و با توجه به بارگذاری ثقیل

۳-۷- اثر نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل سازه

در این قسمت اثر نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل سازه برای سازه‌های ۳ دهانه و ۵ دهانه به طور مجزا برآزش شده است (شکل ۱۴). در مورد هر دو سری قابها، با افزایش نسبت عرض دیوار به ارتفاع کل، با کاهش نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه روبرو هستیم، که مفهوم آن اینست که با افزایش نسبت عرض دیوار به ارتفاع کل آن، در مورد قابهای ۳ دهانه و ۵ دهانه، عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند و با کاهش این پارامتر سطح عملکردی سازه به سمت سطح عملکردی مصونیت‌جانی (LS) میل می‌کند.



شکل (۱۴): اثر نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل قاب

برای قابهای همگون از نظر تعداد دهانه‌ها

در شکل (۱۴) دوباره مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد دهانه‌ها عملکرد سازه به سطح عملکردی مصونیت‌جانی (LS) میل می‌کند. مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت $\frac{h}{H}$ ، سختی دیوار برشی افزایش می‌یابد و با افزایش سختی دیوار برشی انتظار می‌رود که عملکرد سازه به سمت سطح عملکردی استقرار فوری (IO) میل کند و این دقیقاً با نتایج به دست آمده از تحلیل مطابقت دارد.

۴-۷- اثر افزایش ارتفاع طبقات

شکل (۱۵)، حاوی نمودارهایی است که اثر افزایش ارتفاع طبقات مدله‌ها را بر نسبت جابجایی هدف به ارتفاع کل سازه، به دست می‌دهد. آنچه در این شکل مشخص است آن است

۸- نتیجه گیری

خلاصه نتایج حاصل از انجام این تحقیق در زیر آورده شده است:

۱- با افزایش نسبت سختی دیوار برشی به سختی قاب خمشی فولادی عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند.

۲- با افزایش نسبت سختی کل سازه به سختی قاب خمشی فولادی عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند.

۳- با افزایش نسبت عرض دیوار برشی به ارتفاع کل سازه عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند.

۴- با افزایش تعداد دهانه‌ها، عملکرد سازه به سمت مصونیت جانی (LS) میل می‌کند.

۵- با افزایش ارتفاع طبقات نمی‌توان گفت که عملکرد سازه به چه سمتی میل می‌کند.

۶- در مورد قابهای یکسان با افزایش طول دهانه‌های قاب می‌توان گفت که عملکرد سازه به سمت مصونیت جانی (LS) میل می‌کند.

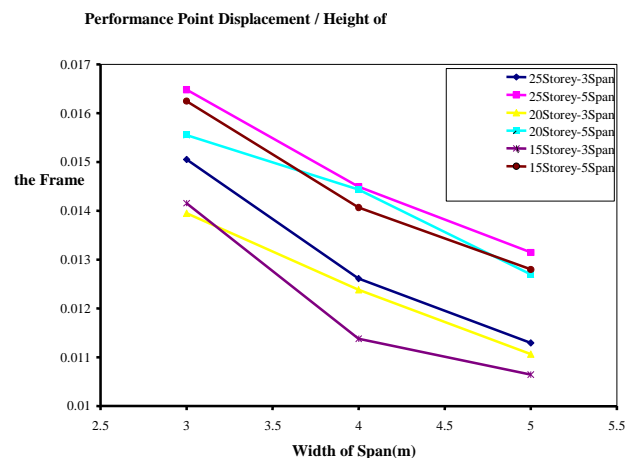
۷- برای عرض کل ثابت، هرچه تعداد دهانه‌های کمتر باشد (طول دهانه‌های بیشتر باشد)، عملکرد سازه به سمت استقرار فوری (IO) میل می‌کند.

مراجع :

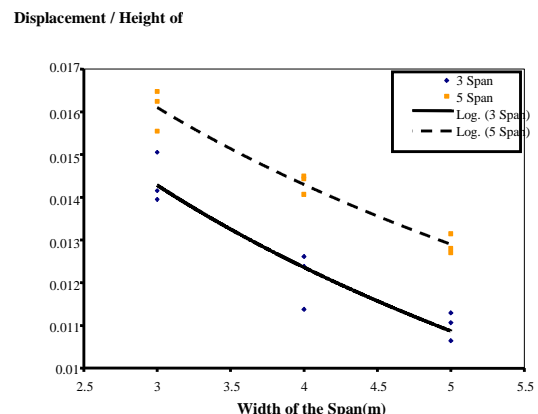
- Holmes Consulting Group Ltd., October 2001, "Performance Based Evaluation of Buildings. Nonlinear Pushover and Time History Analysis", Reference Manual, Wellington, New Zealand.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1995, Vision 2000, "Performance Based Seismic Engineering of Buildings", Sacramento, USA.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1994, Vision 2000, "A Framework for Performance Based Engineering", Sacramento, California, USA.
- ATC-40, Recommended Methodology for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Building", Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.
- FEMA 273, 1996, "NEHRP Guideline for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington D.C., USA.

انجام شده، نرخ افزایش سختی کل سازه به نرخ افزایش وزن آن بسیار بیشتر است.

و در نتیجه رفتار سازه با افزایش طول دهانه‌ها به سمت سطح عملکرد کاربری فوری IO و برعکس با کاهش طول دهانه‌ها به سمت سطح عملکرد مصونیت جانی LS میل می‌کند. با توجه به شکل (۱۶) نمی‌توان گفت که در مورد یکسری قاب یکسان که فقط در مورد تعداد طبقات اختلاف دارند، عملکرد قابهای با تعداد طبقات مختلف نسبت به هم در چه سطحی قرار می‌گیرد. اما می‌توان گفت که با افزایش تعداد دهانه‌ها رفتار سازه به سمت مصونیت جانی LS میل می‌کند. با مراجعه به شکل (۱۷) این موضوع با حذف کردن پارامتر تعداد دهانه‌ها ارائه گردیده است. خطوط برازش شده از دقت خوبی برخوردارند و نشان می‌دهد که در مورد دهانه‌های یکسان قابهای طبقات گوناگون با افزایش طول دهانه عملکرد به سمت کاربری فوری IO میل می‌کند.



شکل (۱۶): اثر افزایش طول دهانه‌ها



شکل (۱۷) اثر افزایش طول دهانه‌ها برای قابهای همگون از نظر طول دهانه (تعداد دهانه‌ها)

21. Khan, F.R. and Sbarounis, J.A., June 1994, "Interaction of Shear Walls and Frames", Proceedings A.S.C.E., V. 90, ST3.
22. James O. Jirsa, "Opportunities and Challenges-Development of Performance-Sensitive Engineering", Ferguson Structural Engineering Laboratory, University of Texas at Austin, Texas, USA.
23. Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1996, "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary", Sacramento, California, USA.
24. A. Ghobarah, N. M. Aly & M. El-Attar, "Performance Level Criteria and Evaluation", Department of Civil engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
6. Applied Technology Council (ATC), 1996, "Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings Ballot Version", FEMA-273, Building Seismic Safety Council, Washington D.C., USA.
7. Applied Technology Council (ATC), 1996, "Commentary to the Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings Ballot Version", FEMA-274, Building Seismic Safety Council, Washington D.C., USA.
8. Building Seismic Safety Council (BSSC), 1994, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings", (Report No. FEMA-222), Washington D.C., USA.
9. Building Seismic Safety Council (BSSC), 1992, FEMA-178, "NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings", Washington D.C., USA.
10. Building Seismic Safety Council (BSSC), 1997, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Commentary, Ballot Version", Washington D.C., USA.
11. UBC, "Uniform Building Code", 1991 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California, USA.
12. SAP2000 Manual, University of California at Berkeley, CSI, USA.
13. R.O. Hamburger, "Defining Performance Objectives", EQE International, Inc., San Francisco, California, USA.
14. P. Fajfar and H. Krawinkler, 1997, "Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes".
15. LRFD Manual, 1993, "Load & Resistant Factored Design", Provisions for the Design of steel structures, USA.
16. American Concrete Institute Committee, 318 1995, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", (ACI 318-95), Farmington Hills, Michigan, USA.

۱۷. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد

۲۸۰۰، ویرایش دوم، آذر ۱۳۷۸.

۱۸. آیین نامه بارگذاری ایران، استاندارد ۵۱۹.

۱۹. تحلیل غیرخطی ساختمان های فولادی به روش بار

افزون، سید محمد مجید قوامی ماسوله، دکتر فرهاد

دانشجو، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۰.

۲۰. طراحی سازه های بتن مسلح به روش ACI، تالیف

مهندس شاپور طاحونی.

• معرفیها

نام و نام خانوادگی	نوع عضویت	شماره عضویت	تاریخ عضویت	امضا

• کتب و مقالات

ردیف	عنوان	موضوع	محل انتشار	تاریخ

در صورت نیاز به پیوست ارائه شود.

• عضویت در سایر انجمن های عملی

ردیف	نام انجمن	موضوع	نوع عضویت	تاریخ عضویت

• مدارک لازم

تصویر شناسنامه | تصویر آخرین مدارک تحصیلی | فیش بانکی پرداخت حق عضویت | ۳ قطعه عکس ۴ × ۳

• حق عضویت برای سال ۱۳۸۵

عضویت حقیقی هفتاد هزار ریال | عضویت حقوقی هفتصد هزار ریال
 عضویت دانشجویی ده هزار ریال

اینجانب.....صحت مندرجات این برگه را تأیید نموده و با آگاهی نسبت به اساسنامه انجمن سازه های فولادی ایران درخواست عضویت حقوقی TM عضویت حقیقی TM عضویت دانشجویی TM در این انجمن را دارم.

امضاء

درخواست عضویت مطرح و با عضویت ایشان موافقت - مخالفت به عمل آمد.	در جلسه مورخ کمیته پذیرش انجمن سازه های فولادی ایران
در جلسه هیأت مدیره مورخ و مورد تأیید قرار گرفت.	کمیته پذیرش
هیأت مدیره	

۲
این
رشته
پذیری
نویسید

این برگه را به نشانی دبیرخانه انجمن سازه های فولادی ایران، ارسال فرمایید:

ایران، تهران، خ ظفر، خ فرید افشار، خ دولت شاد شرقی، خ جام، کوچه تایباد، پلاک ۱۲ تلفن: ۲۲۶۱۷۱۵۹