



مقایسه سیستم قاب خمشی فولادی و دیواربرشی فولادی نازک با سیستم قاب خمشی فولادی و مهاربند و اگرابه روش طراحی براساس سطوح عملکرد

وحید چگنی¹، جواد سلاجقه²

1- عنوان (کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشگاه شهید باهنر، مدرس دانشگاه علمی کاربردی، دورود، ایران)

vahid_sazeh2800@yahoo.com

2- عنوان (استاد بخش عمران، دانشکده فنی دانشگاه باهنر، کرمان، ایران)

javdsalajegheh@mail.uk.ac.ir

چکیده

در این مقاله سعی شده مقایسه سیستم قاب خمشی متوسط فولادی با دیوار برشی فولادی نازک (SSW) و مهاربند و اگر (EBF) به روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد که روشی نوین و کارا در زمینه رفتار غیرخطی سازه‌هاست، صورت گیرد. با استفاده از 20 قاب مختلف برای مدل سازی و تحلیل عددی با برنامه 2000Sap منحنی ظرفیت، ضریب رفتار، استهلاک انرژی و با استفاده از طیف ظرفیت نقطه عملکرد آنها محاسبه شده است. برای تحلیل، بارگذاری، تعریف مفاصل، سطوح عملکرد و غیره قابها، آیین‌نامه‌های UBC، 40ATC، FEMA 356، 2800 ایران و 519 ایران مورد استفاده قرار گرفته است. بطور کلی می‌توان از مدل‌های انجام شده نتیجه گرفت که سیستم با دیوار برشی جذب انرژی خیلی بالا ولی شکل پذیری کمتری نسبت به سیستم با مهاربند و اگر در کلیه ساختمان‌های کوتاه، متوسط و بلند دارد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته از نمودارهای طیف ظرفیت نشان از عملکرد بهتر دیوار برشی فولادی نسبت به مهاربند و اگر دارد.

واژه‌های کلیدی: دیوار برشی فولادی نازک، طراحی بر اساس سطوح عملکرد، روش طیف ظرفیت، بادبندهای و اگر

1. مقدمه

کشور ایران از جمله کشورهایی است که در اثر زلزله خسارتهای مالی و جانی بسیاری دیده است. لذا توجه به سیستم های مقاوم در برابر زلزله کاملاً ضروری به نظر می رسد. در ساختمانهای فولادی سیستم قاب خمشی به دلیل شکل پذیری مناسب و امکان اتلاف زیاد انرژی زلزله سیستم مطلوب و مناسب به شمار می رود. مشکل اصلی این سیستم در تغییر مکان جانبی و به عبارتی عدم سختی کافی است. برای رفع این مشکل فکر استفاده از سیستمهای دوگانه که شامل قاب خمشی فولادی و سیستم مقاوم دیگری که در حقیقت مکمل



این سیستم و برطرف کننده مشکل تغییر مکان قاب خمشی است به وجود آمد. سیستم مکمل قاب خمشی در سیستم های دوگانه در ایران بادهندهای همگرا و غیر همگرا هستند. در سالهای اخیر در بسیاری از کشورها سیستم جدید دیگری به نام دیوار برشی فولادی نازک نیز به عنوان مکمل قاب خمشی در سیستم های دو گانه استفاده شده است. این سیستم جدید به دلیل سرعت اجرا و صرفه اقتصادی، با استقبال خوبی رو به رو شده است ولی در کشور ما به دلیل عدم شناخت و آگاهی و نیز عدم توجه کافی در آیین نامه های کشور نسبت به سایر کشورها، کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه سعی می شود مقایسه ای به روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد که روشی نوین و کارا در زمینه رفتار غیر خطی سازه ها می باشد، بین سیستم های مکمل برای قاب خمشی متوسط، یعنی دیوار برشی فولادی نازک و بادهندهای واگرا صورت گیرد. برای مقایسه تعدادی قاب با ارتفاع و تعداد دهانه های متفاوت در نظر گرفته می شود و نقطه عملکرد این قابها به روش طیف ظرفیت بررسی می شود، همچنین میزان استهلاک انرژی و سیستم دو گانه قاب خمشی فولادی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک محاسبه می شود [1]، [2].

2. لزوم طراحی لرزه ای براساس عملکرد

مهندسی زلزله به دلایل مختلفی تحت تغییرات اساسی قرار گرفته است. ارتقاء دانش درباره وقوع زلزله، حرکت زمین و مشخصات پاسخ سازه، همچنین نتایج به دست آمده از زلزله های آمریکا و ژاپن که خسارت مالی کثیری رادر برداشت در این تغییرات نقش مهمی را ایفا نموده است. از مهمترین دلایل آن است که در روشهای طراحی آیین نامه های فعلی به صورت کافی و منطقی به موارد ذیل پرداخته نشده است:

1. منظور طراح برای توضیح منطقی قوانینی که از آنها جهت تصمیم گیری استفاده کرده است.
2. خواسته مالک ساختمان جهت قضاوت درباره هزینه ها و فواید مقاوم سازی در برابر زلزله.
3. نیازهای جامعه، جهت اتخاذ تصمیمات آگاهانه براساس تقاضای لرزه ای تصادفی اعمالی توسط تکانهای زمین و ظرفیتهای لرزه ای نامشخص ساختمانهای موجود و جدید.

دراثر وقوع زلزله های شدید، خسارات قابل ملاحظه ای به سبب رفتار غیرالاستیک سازه ها به آنها وارد می شود. چرا که با توجه به منحنی نیرو - تغییر مکان، سازه دراثر وقوع زلزله های شدید، پس از گذر از محدوده الاستیک وارد محدوده غیرالاستیک می شود و در این ناحیه تغییرات مقاومت ناچیز بوده و تغییر شکلهای خمیری که ارتباط نزدیکی با خسارت دارند، حاکم می شوند. دراثر وقوع زلزله های شدید، خسارات قابل ملاحظه ای به سبب رفتار غیرالاستیک سازه ها به آنها وارد می شود. چرا که با توجه به منحنی نیرو - تغییر مکان، سازه دراثر وقوع زلزله های شدید، پس از گذر از محدوده الاستیک وارد محدوده غیرالاستیک می شود و در این ناحیه تغییرات مقاومت ناچیز بوده و تغییر شکلهای خمیری که ارتباط نزدیکی با خسارت دارند، حاکم می شوند. در روش طراحی براساس عملکرد (Performance Based Design)، عملکرد غیرخطی اجزای سازه مورد بررسی قرار می گیرد به همین علت می توان رفتار واقعی تری از سازه ها، نسبت به قبل، در صورت وقوع یک زمین لرزه مشخص،



به دست آورد. شاید مهمترین دلیل اهمیت بحث روی طرح لرزه ای براساس عملکرد، به نوع تشویق بکارگیری ابتکار در توسعه روشهایی برای ارتقاء عملکرد باشد. در آیین نامه های فعلی، این رویه یا تشویق به ابتکار وجود ندارد، دلیل این امر آن است که مفاهیم جدید، قابل انطباق با چارچوب خشک و بسته چنین آیین نامه هایی نمی باشند [3]، [4].

3. تحلیل استاتیکی غیر خطی

رفتار سازه ها پس از محدوده ارتجاعی با روش های تحلیل دینامیکی غیر خطی بررسی می شود. در این روش از چند شتاب نگاشت مربوط به زلزله های گذشته استفاده می شود. تحلیل دینامیکی غیر خطی بسیار پیچیده و وقت گیر می باشد و به صورت یک روند محاسباتی کاربردی در دفاتر مهندسی قابل استفاده نیست. در طرح کلاسیک سازه ها، ایمنی سازه ها با محدود نمودن تنش ها در حد جاری شدن مصالح حاصل می شود، اما حتی زلزله های متوسط ممکن است باعث جاری شدن بعضی از عناصر سازه ای شوند. بنابراین برای پیش بینی عملکرد ساختمان ها در مقابل زلزله نیاز به روش های تحلیلی غیر خطی احساس می شود. با رعایت مفاد آیین نامه انتظار می رود ساختمان ها در زلزله های خفیف و متوسط بدون وارد شدن خسارت عمده سازه ای و در زلزله های شدید بدون فروریختن، قادر به مقاومت باشند. برای رسیدن به این هدف مهندسان احتیاج به اطلاعاتی درباره نحوه توزیع نیروها و تغییر شکل ها در اعضاء سازه هنگام زلزله دارند که مستلزم تحلیل غیر خطی و پیش بینی مفاصل پلاستیک و شناخت خصوصیات مود انهدام می باشد. آنالیز استاتیکی غیر خطی فزاینده یکی از روش های ارزیابی لرزه ای سازه ها به خصوص در محدوده تغییر شکل های غیر خطی مفید می باشد. اخیراً آیین نامه های FEMA و ATC روش تحلیل غیر خطی استاتیکی (push over) را جهت مطالعه رفتار سازه در حوزه رفتار غیر خطی پیشنهاد می دهد، این روش در عین سادگی از دقت بالایی برخوردار است فرضیات اولیه در محاسبات به راحتی قابل اعمال می باشند [5].

4. مدل سازی قاب های مورد مطالعه در نرم افزار SAP 2000

20 قاب با سیستم های دوگانه قاب خمشی متوسط و مهاربند واگرا و دیوار برشی نازک بررسی شده اند. قاب ها متعلق به ساختمان هایی با کاربری مسکونی و دهانه های یکسان 4 متر و ارتفاع 3 متر می باشد. محل قرارگیری ساختمانها منطقه با خطر نسبی زیاد و نوع خاک 2 می باشند. نوع سقف تیرچه بلوک در نظر گرفته شده و بارهای زنده و مرده به ترتیب 600 و 200 کیلوگرم بر متر مربع محاسبه شده و برای ستون ها از مقطع IPB و برای تیرها IPE و برای مهاربندها از مقاطع دویل ناودانی استفاده شده است. تمام ستونها و تیرها و بادبندهای یک یک طبقه تپ هستند ضمناً برای قابهای 15 و 12 طبقه هر سه طبقه در ارتفاع و برای قابهای 8 و 4 طبقه هر دو طبقه تپ هستند. در جدول شماره 1 مشخصات مقاطع مورد استفاده در سیستم قابهای مورد مطالعه آورده شده

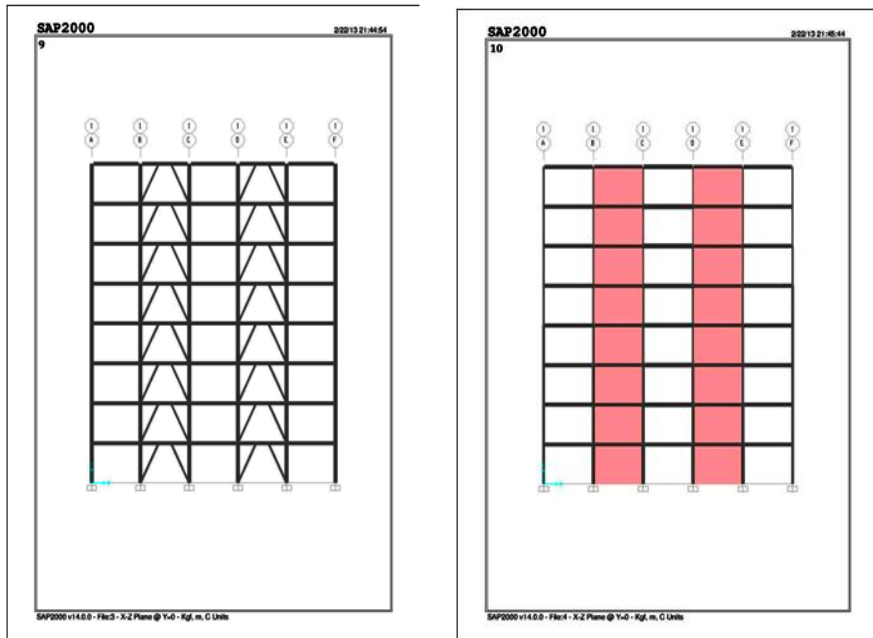
است. برای دیوارهای برشی از المان Shell با مساحت 12 مترمربع و ضخامت های متفاوت و برابر با وزن مهاربندها انتخاب شده است.

$$m = 6.7082 \times 2 \times 3.3541 = \text{طول هر مهاربند}$$

$$\begin{aligned} \text{وزن : } 2UNP120 &= 26.728 \frac{kg}{m} \rightarrow t_{shell} = \frac{26.728 \times 6.7082}{12 \times 7850} \\ &= 1.905 \times 10^{-7} m \\ \text{وزن : } 2UNP140 &= 32.028 \frac{kg}{m} \rightarrow t_{shell} = \frac{32.028 \times 6.7082}{12 \times 7850} \\ &= 2.2807 \times 10^{-7} m \\ \text{وزن : } 2UNP160 &= 37.797 \frac{kg}{m} \rightarrow t_{shell} = \frac{37.797 \times 6.7082}{12 \times 7850} \\ &= 2.69 \times 10^{-7} m \\ \text{وزن : } 2UNP180 &= 44.0228 \frac{kg}{m} \rightarrow t_{shell} = \frac{44.0228 \times 6.7082}{12 \times 7850} \\ &= 3.135 \times 10^{-7} m \\ \text{وزن : } 2UNP200 &= 50.703 \frac{kg}{m} \rightarrow t_{shell} = \frac{50.703 \times 6.7082}{12 \times 7850} \\ &= 3.61 \times 10^{-7} m \end{aligned}$$

جدول 1 مشخصات مقاطع مورد استفاده در سیستم قابهای مورد مطالعه

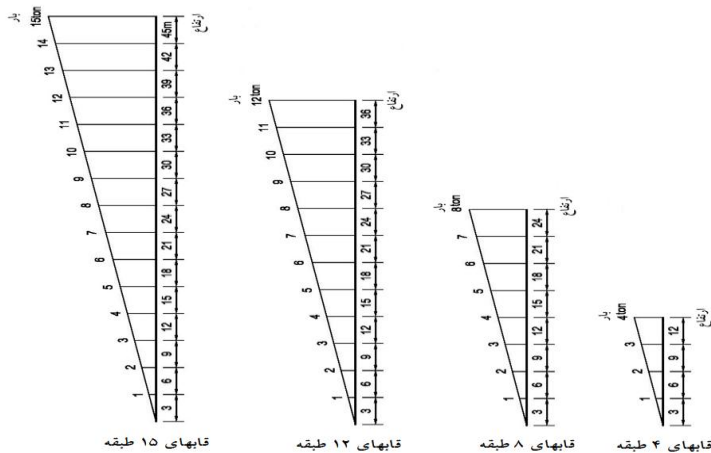
قابهای 12 طبقه				قابهای 15 طبقه			
مهاربند	ستون	تیر	طبقات	مهاربند	ستون	تیر	طبقات
2UNP180	IPB340	IPE240	1و2و3	2UNP200	IPB360	IPE270	1و2و3
2UNP160	IPB320	IPE220	4و5و6	2UNP180	IPB340	IPE240	4و5و6
2UNP140	IPB300	IPE200	7و8و9	2UNP160	IPB320	IPE220	7و8و9
2UNP120	IPB280	IPE180	10و11و12	2UNP140	IPB300	IPE200	10و11و12
قابهای 8 طبقه				2UNP120	IPB280	IPE180	13و14و15
مهاربند	ستون	تیر	طبقات	قابهای 4 طبقه			
2UNP180	IPB340	IPE240	1و2	مهاربند	ستون	تیر	طبقات
2UNP160	IPB320	IPE220	3و4	2UNP140	IPB300	IPE200	1و2
2UNP140	IPB300	IPE200	5و6	2UNP120	IPB280	IPE180	3و4
2UNP120	IPB280	IPE180	7و8				



شکل 1 قابهای شماره 9 و 10 مورد مطالعه

5. بارگذاری جانبی

به منظور تحلیل بار افزون بارگذاری جانبی به صورت افزایشی در نظر گرفته شده که همانند شکل 2 بارگذاری شده‌اند. این نوع بارگذاری یک نوع بارگذاری فرض شده می‌باشد که از بارگذاری جانبی آئین نامه نشأت گرفته است. بطوریکه بار جانبی شامل بار باد و زلزله می‌باشد [6].



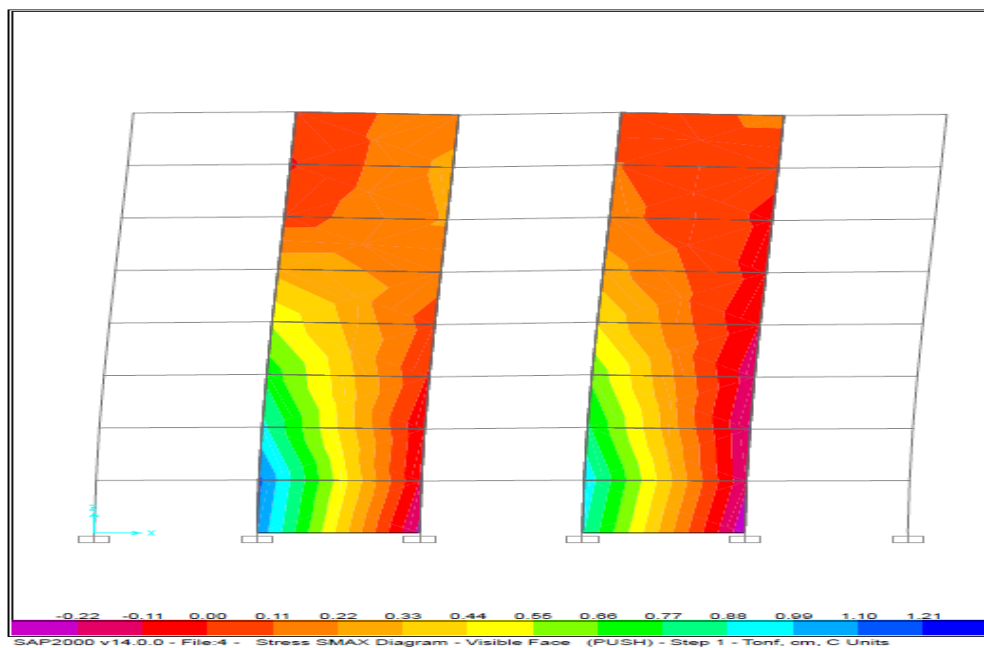
شکل 2 نحوه بارگذاری قابهای مورد مطالعه

06 بررسی نتایج تحلیل

خروجی های تحلیل غیرخطی شامل تنش ها و نیروهای محوری تحت اثر بارها در دیوارهای برشی، منحنی پوش که شامل جابجایی نقطه ای از بام ساختمان در مقابل پوش نیروی جانبی وارده و منحنی طیف ظرفیت می باشد.

0106 تنش ها و نیروهای محوری تحت اثر بارها در دیوارهای برشی

دیوارهای برشی فولادی نیروی جانبی را جذب کرده و توسط المانهای کناری (ستونها) به زمین منتقل می کنند. به طور نمونه از قاب شماره 10 برای نمایش تنش و نیروی محوری استفاده می شود و بقیه دیوارهای برشی هم همانند دیوار برشی این قاب رفتار می کنند.

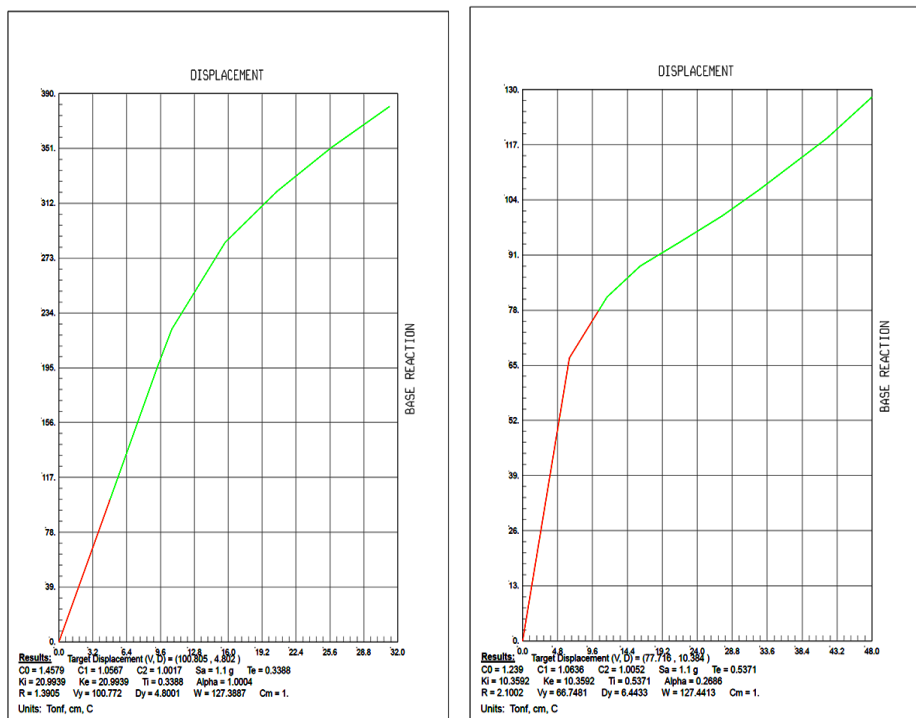


شکل 3 دیاگرام ماکزیمم تنش در قاب شماره 10

0206 منحنی های برش پایه - تغییر مکان بام شکل ها

منحنی برش پایه بر حسب تغییر مکان گره کنترل (گره کنترل کننده ی تغییر مکان که در هنگام معرفی حالت تحلیل غیرخطی تعریف شده) نمایش داده می شود. از این منحنی می توان استفاده های گوناگون نظیر بدست آوردن

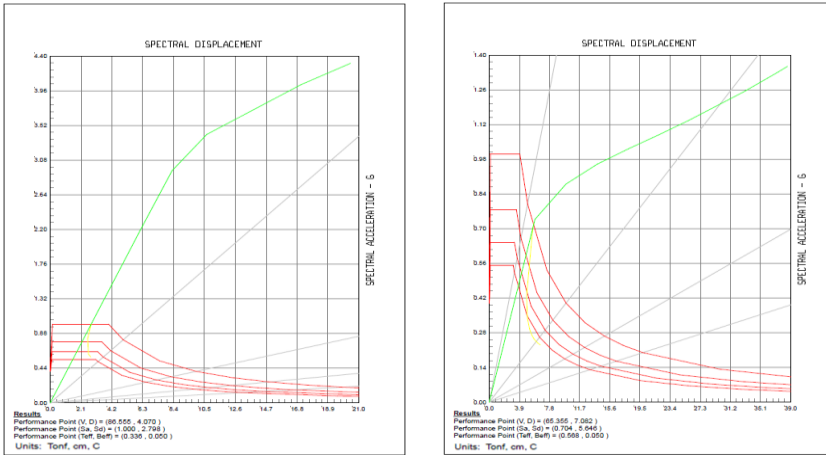
انرژی دریافتی سازه با بدست آوردن سطح این نمودار و همچنین بدست آوردن میزان شکل پذیری سازه با تقسیم حداکثر جابجایی محتمل شده توسط سازه بر حداکثر جابجایی در حالت الاستیک سازه قابل محاسبه می باشد. در منحنی های زیر تا قبل از اینکه مفصل پلاستیک تشکیل شود در حالت الاستیک می باشد و بعد از آن در حالت غیر الاستیک (پلاستیک) قرار می گیرند. و همچنین مشاهده می شود که سیستم های دارای مقاومت بالاتری می باشند تحت نیروی بیشتری جابجایی کمتر داده اند.



شکل 4 منحنی نیرو-جابجایی قا بهای شماره 9 و 10

0306 منحنی طیف ظرفیت

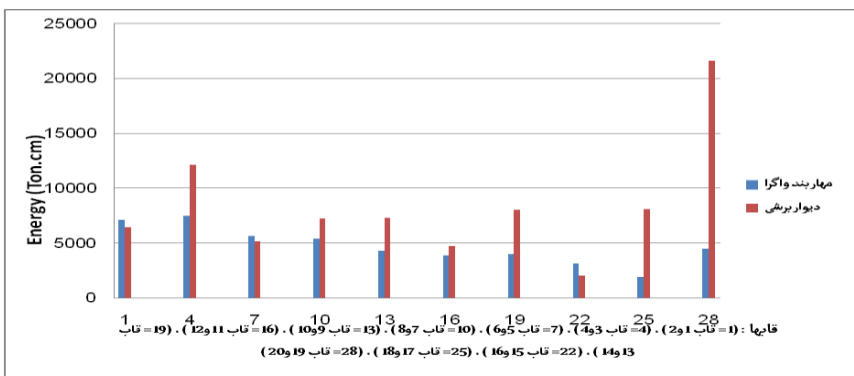
در گراف شکل 5 منحنی طیف ظرفیت و نیاز سیستم ها برای دو قاب 9 و 10 نمایش داده می شود. این منحنی ها در فرمتی به نام فرمت ADRS ارائه می شوند. در این فرمت تغییر مکان طیفی S_d و شتاب طیفی S_a با یک سری روابط تبدیلی از روی منحنی های نیاز و ظرفیت استاندارد محاسبه می شوند. برنامه SAP نقطه ی عملکرد سازه را نیز محاسبه و گذارش می کند. این محاسبات بر اساس طیف نیاز آئین نامه ی UBC انجام می شود.



شکل 5 منحنی طیف ظرفیت قاب شماره 9 و 10

07 میزان اتلاف انرژی

همان طور که می دانیم کار یا انرژی برابر است با سطح زیر نمودار بار-جابجایی در طراحی ساختمانها در برابر زلزله چنانچه ساختمانی تا قبل از انهدام انرژی بیشتری را مستهلک کند شکل پذیر تر و از لحاظ سازه ای مورد پسند تر است. قاب خمشی فولادی به تنهایی جز سیستمهای خوب مستهلک کننده انرژی زلزله است. در این پژوهش ما با بررسی منحنی ظرفیت قابهای مورد مطالعه میزان استهلاک انرژی این قابها را محاسبه کرده و سیستم مکملی که انرژی بیشتری را مستهلک می کند تعیین می کنیم. برای مقایسه بهتر بین سیستمهای دوگانه همان طور که در شکل 6 مشاهده می شود از نمودار ستونی استفاده شده است.



شکل 6 بررسی میزان استهلاک انرژی

08 مقایسه سیستم‌های مورد مطالعه

- 1- با توجه به نقطه عملکرد استفاده سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی فولادی نازک برای کلیه ساختمان‌های کوتاه، متوسط و بلند مناسب‌تر از سیستم‌های دوگانه قاب خمشی و مهاربند واگرا است. به طور مثال برای قاب شماره 7 (جابجایی بام = 5.78cm و برش پایه = 81.76ton) و قاب شماره 8 (جابجایی بام = 2.51cm و برش پایه = 88.241ton) نشان می‌دهد که سیستم با دیوار برشی با جابجایی کمتر نیروی بیشتری را می‌تواند تحمل کند که این امر نشان دهنده مقاومت بیشتر این سیستم در مقایسه با سیستم قاب خمشی و مهاربند واگرا در موقع زلزله می‌باشد.
- 2- با مقایسه منحنی‌های نیرو- تغییر مکان که در شکل 4 نمایش داده شده، نشان می‌دهد که سیستم‌های دوگانه قاب خمشی فولادی با دیوار برشی در مقایسه با سیستم‌های دوگانه قاب خمشی فولادی با مهاربند واگرا دارای جذب انرژی بیشتر و جابجایی کمتری هستند که این امر نشان می‌دهد که این سیستم برای تمام قابها دارای مقاومت بیشتری است.
- 3- میزان استهلاک انرژی در سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی با دیوار برشی بیشتر از سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و مهاربند واگرا می‌باشد. که این امر به گسیختگی ناحیه مفصل پلاستیک در دیوار برشی فولادی و به عبارتی نامعینی زیاد آن به نسبت بادبندهای واگرا مربوط می‌شود.
- 4- با یک جمع بندی از نتایج بدست آمده، این گونه به نظر می‌رسد که آئین نامه 2800 ایران برای سازه‌های با تعداد طبقات متوسط و کوتاه مناسب‌تر و با ضریب اطمینان بیشتری نسبت به سازه با تعداد طبقات بلند می‌باشد البته نتایج بدست آمده در این مطالعه مستند بوده است.
- 5- تغییر مکان طبقه آخر سیستم با مهاربند واگرا نسبت به سیستم با دیوار برشی (به طور مثال قاب‌های 3 و 4) در حدود 45 درصد بیشتر می‌باشد.

9. نتیجه گیری

- 1- استفاده از سیستم با دیوار برشی نازک باعث ظرفیت باربری (جذب انرژی) نمونه‌ها و نیاز به مقطع کوچک‌تر برای تیرها و ستونها در مقایسه با سیستم با مهاربند واگرا می‌شود، که این امر باعث سبکتر شدن و اقتصادی تر شدن سازه‌های فولادی می‌شود.
- 2- استفاده از سیستم با دیوار برشی فولادی نقش بسیار مؤثری را در کاهش تغییر مکان نسبی طبقات دارا است. به طور کلی در نظر گرفتن یک الگوی بارگذاری جانبی آئین نامه‌ای در طراحی سیستم‌های سازه‌ای مختلف و اعمال یک ضریب به عنوان ضریب رفتار برای هر نوع سیستم سازه‌ای بدون توجه به مقادیر اضافه مقاومت و شکل پذیری آن، نمی‌توان تضمین کننده پایداری آن تحت زلزله‌های احتمالی باشد.

3- در بسیاری از آئین نامه‌ها، تنها آنالیزهای الاستیک خطی به منظور تخمین ماکزیمم پاسخ غیر خطی یک سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی استفاده از روش‌های تحلیلی ساده شده به منظور تخمین ماکزیمم پاسخ غیر الاستیک سازه‌ها در طول زمین لرزه‌های شدید، امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد. بر این اساس، در مطالعه صورت گرفته سعی در تخمین ماکزیمم پاسخ غیر الاستیک سازه و بخصوص ماکزیمم نیاز تغییر مکان جانبی غیر الاستیک سازه با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل‌های الاستیک خطی می‌باشد.

4- با مقایسه سیستم‌ها می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌ها با دیوار برشی سختی خیلی خوب و شکل پذیری کمتری نسبت به سیستم‌ها با مهاربند واگرا از خود نشان می‌دهد.

5- با مقایسه جابجایی و برش پایه نظیر نقطه عملکرد برای قاب‌ها می‌توان نتیجه گرفت که سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی با دیوار برشی فولادی نازک با جابجایی کمتر می‌تواند نیروی زلزله بیشتری را تحمل کند.

6- اولین مفصل پلاستیکی که در اکثر سیستم‌ها به وجود آمد در تیرهاست که از این امر می‌توان نتیجه گرفت که در هنگام زلزله با از بین رفتن یک تیر در مقایسه با ستون سازه کمتر دچار مشکل می‌شود.

7- میزان استهلاک انرژی در سیستم دوگانه قاب خمشی با دیوار برشی بیشتر از سیستم دوگانه قاب خمشی و مهاربند واگرا می‌باشد. که این امر به گسیختگی ناحیه مفصل پلاستیک در دیوار برشی فولادی و به عبارتی نامعینی زیاد آن به نسبت بادبندهای واگرا مربوط می‌شود.

12. مراجع

- [1] Aristizabal- ochoa. "Disposable Knee Bracing: Improvement in seismic design of steel frames". J.struc . eng .ASCE, 112,(7), 1544–1552, (1986).
نیکنام، احمد؛ ثنائی، ابراهیم؛ هاشمی، جواد؛ باجی، حسن، رفتار و ضوابط طراحی لرزه ای ساختمان‌های فولادی بر مبنای UBC، چاپ اول (1381).
- [2] پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، خرداد ماه (1381).
- [3] دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره 360، معاونت امور فنی دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله (1385).
- [4] سروقدمقدم، عبدالرضا؛ روشن، رامین، کاربرد آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی در ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها، اولین کنفرانس علمی-تخصصی انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، مهر ماه (1378).



[5] پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مهرماه (1381).