



مقایسه سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و دیوار برشی فولادی نازک با سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و مهاربند ضربداری یا شورون به روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد

منصور قلعه نوی^۱، محمود میری^۲، حامد همتی پورگشتی^۳

گروه مهندسی عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان
آدرس پست الکترونیکی: poorgashti1380@yahoo.com

خلاصه

برای مقابله با نیروهای جانبی و به ویژه نیروی زلزله سیستم های مختلفی به کار می رود که از آن جمله سیستم های دو گانه می باشند که شامل ترکیبی از قاب خمشی و سیستم مقاوم دیگری هستند. در آیین نامه ۲۸۰۰ سیستم های دو گانه فولادی شامل قاب خمشی و انواع بادبندهاست و از دیوار برشی فولادی (SSW)^۴ سخنی به میان نیامده است. تنها در آیین نامه کانادا (CAS, 1994) به طور صریح یک بخش به این عنصر باربر اختصاص داده شده است. اخیراً از میان روشهای طراحی ساختمانها در برابر زلزله روش "طراحی بر اساس سطوح عملکرد" به دلیل در نظر گرفتن رفتار غیر ارتجاعی سازه ها در دستورالعمل های FEMA274, FEMA273, ATC40 مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله از سیستم های دو گانه شامل قاب خمشی متوسط دیوار برشی فولادی نازک و قاب خمشی متوسط و بادبندهای همگرا در قابهای مختلف استفاده شده است و نقطه عملکرد آنها با استفاده از روش طیف ظرفیت بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شده است. در ادامه ضریب رفتار دیوار برشی فولادی نازک و نیز میزان اتلاف انرژی سیستم های دو گانه بررسی شده است. از نرم افزارهای SAP2000 و ANSYS برای مدل سازی و آنالیز استفاده شده است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی نازک، طراحی بر اساس سطوح عملکرد، روش طیف ظرفیت، بادبندهای همگرا.

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 بر طرف کننده مشکل تغییر مکان قاب خمشی است به وجود آمد. سیستم مکمل قاب خمشی در سیستم های دوگانه در ایران بادبندهای همگرا و غیر همگرا هستند. بادبندهای همگرا به طور کلی شامل بادبندهای ضربداری و شورون (هشتی) می شوند.

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 مقاله سعی شده 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 بادبندهای همگرا صورت گیرد. برای مقایسه ۵ قاب با ارتفاع و تعداد دهانه های متفاوت در نظر گرفته شده است و نقطه عملکرد این قابها به روش طیف ظرفیت محاسبه شده است. همچنین میزان استهلاک انرژی و ضریب رفتار سیستم دو گانه قاب خمشی فولادی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک محاسبه شده است.

^۱ استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان (ghalehnovi@yahoo.com)

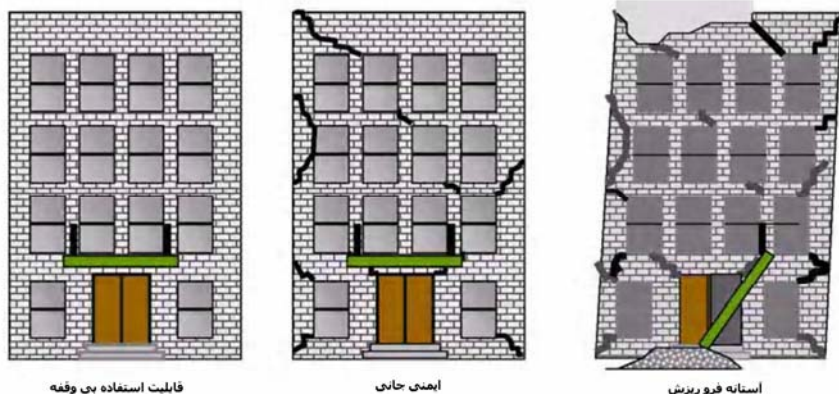
^۲ استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان (mmiri@hamoon.usb.ac.ir)

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه (poorgashti1380@yahoo.com)

^۴ -Steel Shear Wall

روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد [1]

روش طراحی بر اساس مقاومت به دلیل بیان رفتار اجزای سازه از طریق تک پارامتر مقاومت در بسیاری از موارد پاسخ مناسبی ارائه نمی کند. در این روش امکان ارزیابی دقیق سازه ها بر اساس عملکرد مورد انتظار آنها وجود ندارد. به همین دلیل در سالهای اخیر روش طراحی بر اساس عملکرد و تمرکز به بحث عملکرد به جای مقاومت مطرح شده است. این روش نوین طراحی، سه سطح عملکرد اصلی را برای اعضای سازه ای مشخص می کند (شکل (۱)) [2]. در این روش با توجه به سطح عملکرد مورد انتظار، نقطه عملکرد سازه تعیین می شود. برای تعیین نقطه عملکرد روشهای مختلفی در آیین نامه ها ذکر گردیده که از مهمترین آنها روشهای طیف ظرفیت و ضرائب تغییر مکان می باشند. روش طیف ظرفیت که در این مقاله از آن استفاده شده است توسط موسسه ATC آمریکا در نشریه شماره ۴۰ [3] ارائه شده است. در این روش نقطه برخورد طیف ظرفیت سازه و طیف نیاز لرزه ای کاهش یافته به عنوان نقطه عملکرد^۱ سازه معرفی می گردد.



شکل ۱- سطوح عملکرد سازه ای

برای بدست آوردن طیف ظرفیت که در حقیقت منحنی بار-جابجایی سازه می باشد، یک سری آنالیزهای مرحله ای انجام می شود. مدل ریاضی سازه در هر مرحله به گونه ای اصلاح می شود که کاهش مقاومتها ناشی از تشکیل مفصل پلاستیک مد نظر قرار گیرد. این فرایند تا جایی ادامه پیدا می کند که سازه به محدودیتها از پیش تعیین شده برسد. طیف نیاز همان طیف طراحی آیین نامه می باشد که در ناحیه غیر خطی به دلیل افزایش میرایی موثر سازه، مقدار آن کاهش یافته است. بر این اساس نشریه ATC-40 بسته به میزان وارد شدن سازه در ناحیه غیر خطی ضرایب کاهش برای نواحی شتاب ثابت و سرعت طیف به شرح زیر معرفی می کند.

$$SR_A = \frac{3.21 - .68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad ()$$

$$SR_V = \frac{2.31 - .41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad ()$$

$$\beta_{eff} = \beta_0 + 5 \quad ()$$

β_{eff} = میرایی موثر، β_0 = میرایی ویسکوز معادل ناشی از رفتار هیستریزس سازه

لازم به ذکر است که در این روش طیف نیاز و ظرفیت هر دو باید به صورت نمودار S_a در برابر S_d (ADRS) تبدیل شوند. با توجه به اینکه مقدار میرایی موثر نقاط روی طیف ظرفیت متفاوت است لذا ضریب کاهش طیف نیاز نیز برای نقاط مختلف، متفاوت خواهد بود، به همین دلیل بدست آوردن نقطه عملکرد سازه روندی تکراری و توأم با سعی و خطا می باشد. در حالتی که از این روش برای بدست آوردن پارامترهای لرزه ای سازه استفاده می شود، نقطه عملکرد مشخص و در حقیقت همان نقطه انهدام سازه با حفظ حاشیه ایمنی می باشد. در ATC-40 حداکثر تغییر مکان مجاز جانبی برای تامین ایمنی جانی که مشابه ساختمانهای با اهمیت متوسط در آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد ۰/۰۲ ارتفاع سازه می باشد.

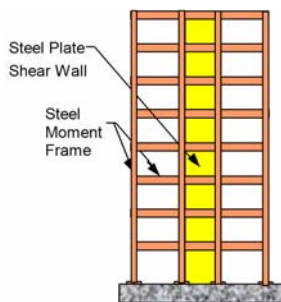
دیوار برشی فولادی نازک

دیوارهای برشی صفحه فولادی، یک نوع سیستم ابتکاری مقاوم در برابر بارهای جانبی باد و زلزله می باشند. همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، سیستم شامل یک سری پانلهای مجزا می باشد که هر پانل در داخل دو تیر و ستون محاط شده و یک صفحه فولادی به این المانهای محیطی

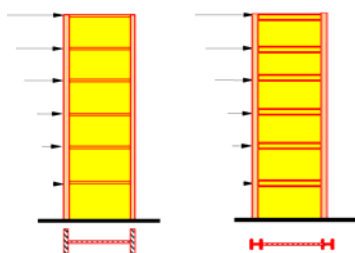
¹ -Performance Point



متصل شده است. این نوع استقرار، دیوار برشی فولادی را به تیر ورق طره ای که ستونها در حکم بال آن، تیرها در حکم سخت کننده های قائم و ورق در حکم جان می باشد، شبیه می سازند [4]. (شکل (۳)).



شکل ۲- دیوار برشی فولادی و قاب خمشی محیطی

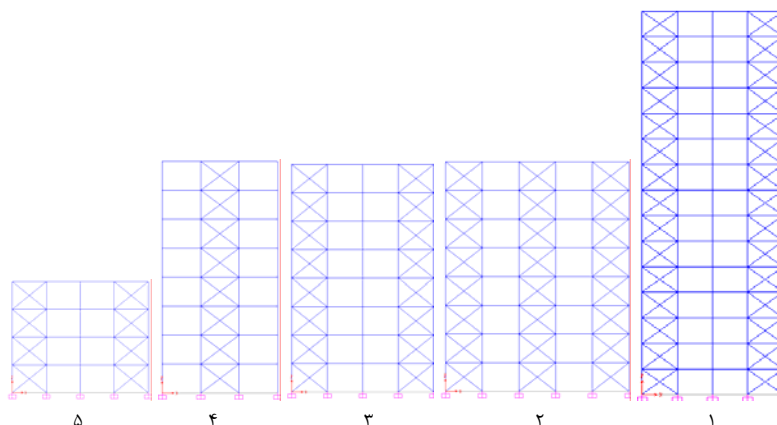


شکل ۳- دیوار برشی فولادی سمت راست و تیر ورق سمت چپ

اساس ایده دیوارهای برشی نازک که در ۱۵ سال اخیر به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است بهره گیری از میدان کششی قطری^۱ است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می گردد. این مقاومت فرا کمانشی ورق فولادی نازک باعث استهلاک مقدار زیادی انرژی زلزله اعمال شده میگردد. البته شرط به وجود آمدن این میدان کششی، این است که ورق در مرزها به خوبی و اندازه کافی تقویت شده باشد که در این حالت مقاومت پس کمانشی چندین برابر مقاومت کمانشی می شود [5].

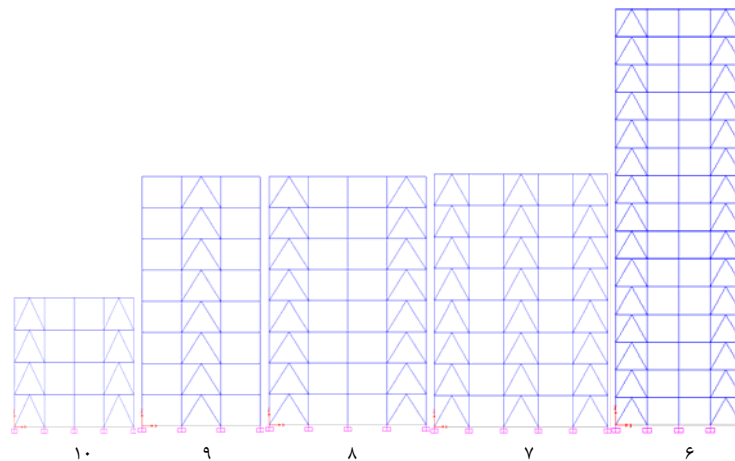
معرفی قابهای مورد مطالعه

در این مقاله همان طور که در شکل‌های (۴)، (۵)، (۶) نشان داده شده، ۱۵ قاب با سیستم های دو گانه قاب خمشی متوسط و بادبند ضربدری یا شورون و یا دیوار برشی فولادی نازک بررسی شده اند. عنصر یکسان بین سیستم های مکمل وزن است به عبارتی بادبندهای ضربدری و شورون و دیوار برشی فولادی وزن یکسانی دارند.

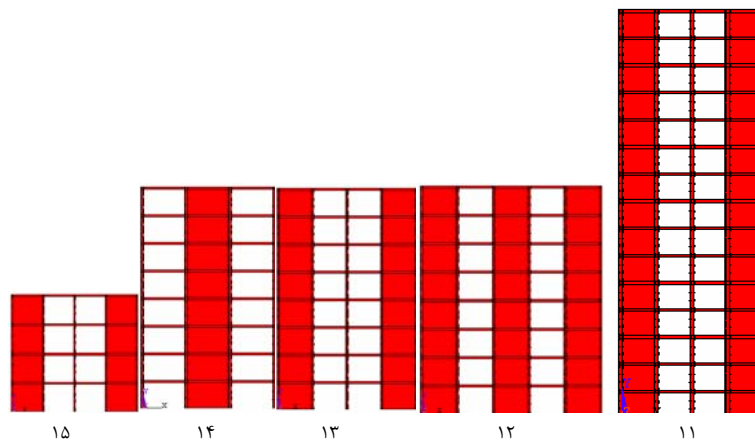


شکل ۴- قابهای دارای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و بادبند ضربدری

^۱ -Diagonal tension field



شکل ۵- قابهای دارای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و بادبند شورون

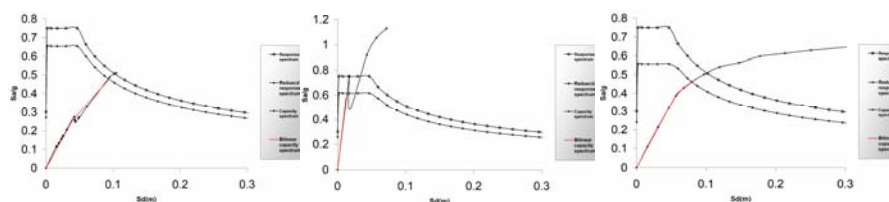


شکل ۶- قابهای دارای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک

قابها متعلق به ساختمانهایی با کاربری مسکونی و دهانه های یکسان ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می باشند. محل قرارگیری ساختمانها منطقه با خطر نسبی زیاد و نوع خاک ۲ می باشند. نوع سقف، تیرچه بلوک در نظر گرفته شده و بارهای مرده و زنده طبقات به ترتیب ۶۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع محاسبه شده است. برای ستونها از مقاطع IPB و برای تیرها IPE و برای بادبندها نیز از مقاطع دابل ناودانی استفاده شده است. تمام ستونها و تیرها و بادبندهای یک طبقه تیپ هستند ضمناً هر ۳ طبقه در ارتفاع تیپ هستند (به جز قابهای چهار طبقه که هر دو طبقه تیپ هستند).

تعیین نقطه عملکرد قابها

قابهای دارای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک با نرم افزار المان محدود ANSYS 5.4 و قابهای دارای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و بادبندهای همگرا با نرم افزار SAP2000 مدل سازی و آنالیز شده و منحنی برش پایه بر حسب تغییر مکان بام بدست می آید آن گاه با استفاده برنامه نوشته شده در EXCELL نقطه عملکرد محاسبه می شود. به عنوان نمونه نقطه عملکرد که محل تلاقی طیف ظرفیت و طیف نیاز در فرمت ADRS می باشد، برای قابهای ۵ و ۱۰ و ۱۵ در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷- نقطه عملکرد قاب ۱۵ (سمت راست)، قاب ۱۰ (وسط)، قاب ۵ (سمت چپ)



جابجایی و برش پایه نظیر نقطه عملکرد برای قابهای مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است:

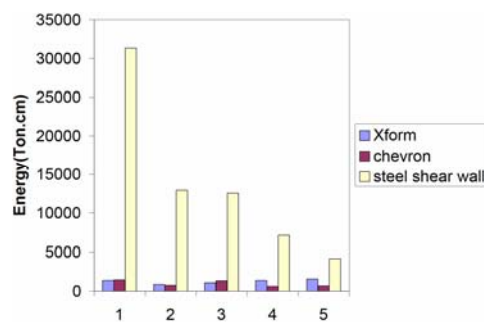
جدول ۱- جابجایی و برش پایه نظیر نقطه عملکرد برای قابهای مورد مطالعه (جابجایی بر حسب cm و برش پایه بر حسب Ton می باشد)

شماره قاب	جابجایی بام	برش پایه	شماره قاب	جابجایی بام	برش پایه	شماره قاب	جابجایی بام	برش پایه
1	-	-	6	-	-	11	37.04	115.81
2	-	-	7	-	-	12	17.54	128.36
3	13.17	124.4	8	10.1	100.9	13	19.11	97.47
4	19.4	85.25	9	13.3	72.6	14	22.13	61.48
5	2.62	69.1	10	2.18	78.5	15	8.9	57.05

جاهای خالی جدول نشان دهنده عدم قطع منحنی طیف ظرفیت و طیف نیاز می باشد. همان طور که مشاهده می شود قابهای ۱ و ۲ و ۷ سیستم های دوگانه مطلوبی نیستند. تمام اعداد مربوط به تغییر مکان جانبی شرط $0.2H$ مربوط به ATC-40 در مورد ساختمانهای مسکونی را ارضاء می کنند.

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 (۸) مشاهده می شود از نمودار ستونی استفاده شده است.



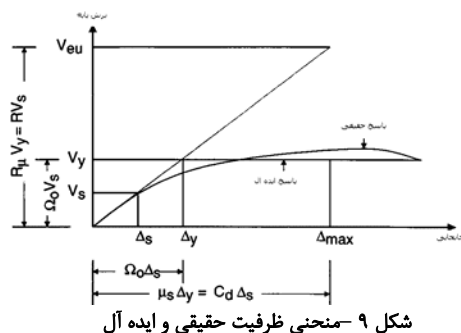
شکل ۸- میزان استهلاک انرژی (۱:قابهای ۱، ۱۶، ۱۲- ۲:قابهای ۲، ۷، ۱۲- ۳:قابهای ۳، ۸، ۱۳- ۴:قابهای ۴، ۹، ۱۴- ۵:قابهای ۵، ۱۰، ۱۵)

ضریب رفتار سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک

نزدیک ترین نوع تحلیل به رفتار واقعی سازه ها در زلزله، تحلیل دینامیکی غیر خطی می باشد ولی به دلیل وقت گیر بودن معمولا طراحان سعی می کنند از روشهای ساده تری برای تحلیل استفاده کنند. یکی از این روشها تحلیل استاتیکی خطی و در نظر گرفتن ضریب رفتار می باشد. ضریب رفتار به نوعی رفتار غیر خطی سازه را معادل سازی می کند [6]. برای تعیین ضریب رفتار دو روش عمده وجود دارد: ۱- روش ضریب شکل پذیری یوانگ [7] ۲- روش طیف ظرفیت فریمین. که در این مقاله از روش اول استفاده شده است.

روش ضریب شکل پذیری یوانگ

در شکل (۹) رفتار کلی یک سازه، به صورت منحنی برش پایه و جابجایی افقی نشان داده شده است. در این شکل منحنی با رفتار حقیقی و رفتار دو خطی ایده آل شده مشخص است. محورهای قائم و افقی در این شکل به ترتیب بیانگر برش پایه سازه و تغییر مکان کلی یا نسبی طبقات سازه هستند.



برای تعیین ضریب رفتار از روابط زیر استفاده می کنیم:

$$R = R_{\mu} \times \Omega_0 \times \gamma \quad ()$$

$$\Omega_0 = \frac{V_y}{V_s} \quad ()$$

$$\mu_s = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad ()$$

در رابطه (۴) R_{μ} ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری خوانده می شود و از طریق μ_s که به آن ضریب شکل پذیری سازه گفته می شود محاسبه می شود. γ (ضریب تنش مجاز) در اکثر آیین نامه ها ۱/۴ پیشنهاد شده است و Ω_0 ضریب کاهش ناشی از اضافه مقاومت خوانده می شود. برای بدست آوردن R_{μ} از طریق μ_s از روش میراندا [8] و طبق رابطه (۷) که برای زمینهای رسوبی توصیه شده استفاده می کنیم.

$$R_{\mu} = \frac{\mu_s - 1}{\phi} + 1 \leq \mu_s \quad ()$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp[-2(\ln T - 0.2)^2] \quad ()$$

در روابط بالا به دلیل در نظر گرفتن T که زمان تناوب اصلی ساختمان است انتظار جواب های نزدیکتر به واقعیت وجود دارد. با توجه به منحنی ظرفیت و فرمولهای بالا ضریب رفتار بدست آمده برای سیستم دو گانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک محاسبه و در جدول (۲) درج شده است.

جدول ۲- ضریب رفتار سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی نازک

شماره قاب	11	12	13	14	15
ضریب رفتار	8.88	8.29	9.53	10.52	6.53

نتیجه گیری

- با توجه به نقطه عملکرد استفاده از سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی فولادی نازک برای ساختمانهای متوسط و بلند مناسب تر از سیستم دو گانه قاب خمشی و بادبندهای همگرا می باشد.
- استفاده از سیستم دوگانه قاب خمشی و بادبند ضربدری به نسبت سیستم دوگانه قاب خمشی و بادبند شورون مناسب تر به نظر می رسد زیرا بادبند شورون امکان ایجاد مفصل پلاستیک در ستون و به تبع امکان وقوع شکست ترد را افزایش می دهد.
- میزان استهلاک انرژی در سیستم دو گانه قاب خمشی و دیوار برشی فولادی نازک بیشتر از سیستم دو گانه قاب خمشی و بادبندهای همگرا می باشد. که این امر به گستردگی ناحیه مفصل پلاستیک در دیوار برشی فولادی و به عبارتی نامعینی زیاد آن به نسبت بادبندهای همگرا مربوط می شود.
- ضریب رفتار بدست آمده برای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی برای ساختمانهای کوتاه (۶/۵) از ضریب رفتار مندرج در آیین نامه ۲۸۰۰ برای سیستم قاب خمشی متوسط و بادبند ضربدری (۷) کمتر می باشد ولی برای ساختمانهای بلند و متوسط این ضریب (۹) عدد بزرگتری نسبت به ضریب رفتار آیین نامه ۲۸۰۰ برای سیستم دو گانه قاب خمشی متوسط و بادبند ضربدری (۷) بدست آمده است .



مراجع

- ۱- دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، خرداد ۱۳۸۱.
2. Federal Emergency Management Agency.(2000).”NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings.”, *FEMA356*, Washington, D.C.
3. Applied Technology Council.(1996),” Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings”,(*ATC-40*) .
- 4.Astaneh-Asl, A. (2001) “Seismic behavior and design of steel shear walls.” *Structural Steel Educational Council Technical Information and Product Service*.
5. Lubell, A.S., Prion, G. L., Ventura, C. E. and Rezai, M.(2000). “Unstiffend steel plate shear wall performance under cyclic loading.” *J. of Str. Engrg., ASCE*, Vol 126, No. 4, PP. 453-460.
- ۶- طاهری بهبهانی؛ نگرشی فلسفی به ضوابط محاسباتی ساختمانها در برابر زلزله ، نشریه شماره ۲۳۹ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، تهران، ۱۳۸۶.
7. Uang C.M “Establishing R (Rw) and Cd Factor for Building Seismic Provision” , *J. of Struet . Eng* , Vol. 117 , no. 1 , January.
8. Miranda e. and Berto V.V. (1994), “Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake – Resistant Design” , *Earthquake Spectra* , Vol. 10 , No. 2 , P.357-379.