بررسی رفتار لرزه ای سیستم بادبندی زانوئی در سازه های فولادی

حمید پریش[1]، ویدا الوانی[2]

1-مدرس دانشگاه علمی کاربردی واحد نی ریز، ایران

hamidparish@yahoo.com

2-کارشناسی ارشد مهندسی عمران،دانشگاه ukm مالزی

Vida_alvani@yahoo.com

چکیده

امروزه برای دستیابی به یک سازه مقاوم و اقتصادی در مناطق زلزله خیز سعی می گردد تا ترکیب مطلوبی از خواص مقاومت، سختی، شکل پذیری و قابلیت تحمل تغییرشکلهای بزرگ را در سازه فراهم نمود. برخی از سیستمهای سازه ای متداول از جمله قابهای خمشی(MRF) و قابهای بادبندی شده هم محور(CBF) قادر به تامین تمامی نیازهای فوق نیستند. بهمین علت در چند دهه اخیر در راستای دستیابی به هدف فوق، تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی زیادی انجام شده که سیستم بادبندی خارج ار محور(EBF) و سیستم بادبندی زانوئی(KBF) را میتوان از جمله نتایج این تحقیقات دانست. با وجود آنکه قابهای بادبندی خارج از محور، بعنوان یک سیستم سازه ای معتبر، در اکثر آئین نامه ها پذیرفته شده است، ولی این سیستم دارای معایب و نقاط ضعفی نیز می باشد. از جمله اینکه، استهلاک انرژی در قابهای خارج از محور در اثر تسلیم قسمتی از اعضای اصلی سازه (تیرهای پیوند) صورت گرفته و این امر مشکلاتی را بلحاظ امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه ایجاد می کند. در سیستم بادبندی زانوئی این مشکل نیز رفع شده و اعضای مستهلک کننده انرژی که همان اعضای زانوئی هستند، با تغییرشکلهای پلاستیک خود در هنگام زلزله بعنوان اعضای فرعی در سازه عمل نموده و پس از زلزله امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه را فراهم می کنند. علاوه بر آن تحقیقات انجام شده بر روی این سیستم نشاندهنده رفتار لرزه ای مناسب و بهتر آن نسبت به قابهای بادبندی خارج از محور است. در این مقاله، بمنظور شناخت رفتار لرزه ای این سیستم، مطالعات تحلیلی بصورت بررسی عوامل و پارامترهای مختلف در سختی و شکل پذیری سیستم انجام شده و در نهایت برخی از پارامترهای لرزه ای مهم آن با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی تعیین گردیده است.

کلید واژه ها: *بادبند زانوئی، رفتار لرزه ای، ضریب رفتار، شکل پذیری، سختی، استهلاک انرژی .*

Archive of SID

www.SID.ir

1- مقدمه

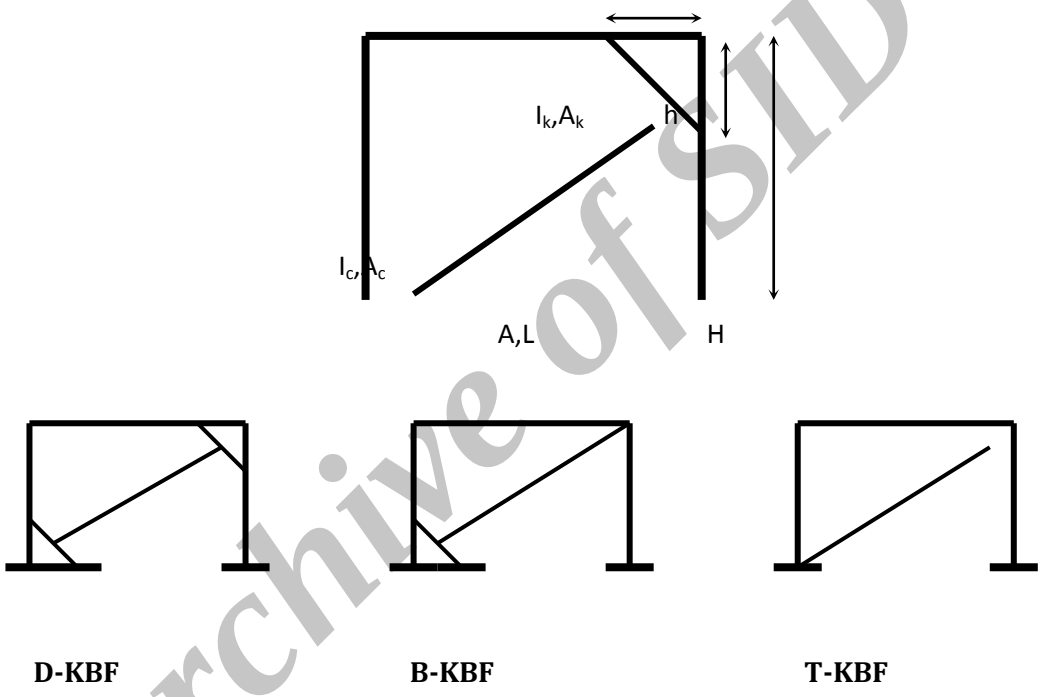
اصولا هدف اصلی آیین نامه های طرح لرزه ای سازه ها، جلوگیری از تلفات جانی، کنترل خسارت و رسیدن به یک طرح اقتصادی می باشد. بدین منظور، دستیابی مناسب به سه عامل سازه ای مقاومت، سختی و شکل پذیری در طراحی سازه ها مورد نظر است. سیستم هایی که سه خاصیت سازه ای فوق در آنها بخوبی تامین شود، میتوانند از توان بالقوه کافی برای تحمل بارهای جانبی برخوردار باشند. در چند دهه اخیر، تلاش محققان در جهت دستیابی همزمان به سه خاصیت سازه ای فوق، منجر به ارائه سیستمهای جدیدی از قبیل قاب بادبندی خارج از محور و قاب بادبندی زانوئی گردیده است. سیستم بادبندی خارج از محور که در ژاپن توسط فوجیموتو و تاناباشی معرفی شد[1] و سپس توسط پوپوف و همکارانش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا مورد تحقیق و بررسی فراوان قرار گرفت، علاوه بر دارا بودن سختی بالا در ناحیه خطی، در صورت رعایت ضوابط ویژه، از شکل پذیری مناسبی نیز برخوردار بوده و سیستمی اقتصادی بشمار می رود. البته علیرغم محاسن زیاد این سیستم، معایبی نیز بر آن وارد بوده که از جمله آنها میتوان به اعوجاج بیش از حد سقف در اثر تغییر شکلهای زیاد تیرهای پیوند اشاره نمود. همچنین بدلیل اینکه تیرهای پیوند بعنوان المانهای شکل پذیر و مستهلک کننده انرژی سیستم، بخشی از اعضای اصلی سازه (تیرها) می باشند، بنابراین امکان تعویض سریع و کم هزینه این اعضا بمنظور بهره برداری مجدد از سازه وجود ندارد. سیستم دیگری که اخیرا معرفی شده و علاوه بر دارا بودن محاسن سیستم بادبندی خارج از محور، فاقد مشکلات مذکور می باشد، سیستم بادبندی زانوئی(KBF) است. این سیستم که توسط بالندرا و همکارانش در دانشگاه سنگاپور معرفی شد[2] ، در حقیقت اصلاح شده سیستم دیگری با عنوان سیستم بادبندی زانوئی تعویض پذیر (DKB) است که قبلا توسط اچوا ارائه گردیده بود[3]. در سیستم بادبندی زانوئی، انتهای بادبندهای قطری بجای اتصال به محل تقاطع تیر و ستون به یک المان مایل که به تیر و ستون یا ستون و تکیه گاه وصل شده، اتصال می یابد. این المان که به عضو زانوئی معروف می باشد، بعنوان المان شکل پذیر سیستم، با تغییرشکلهای پلاستیک خود سبب استهلاک انرژی در حین وقوع زلزله های شدید می شود. نکته قابل توجه در این سیستم این است که پس از پایان زلزله فقط عضو زانوئی دچار خسارت و تسلیم شده و قاب اصلی و بادبندهای قطری بصورت الاستیک باقی می مانند. در این حالت فقط با تعویض راحت و کم هزینه عضو زانوئی، سازه مورد بهره برداری مجدد قرار می گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

2- معرفی سیستم بادبندی زانوئی و تحقیقات انجام شده بر روی آن

شکل 1 نمونه ای از قاب بادبندی زانوئی را بهمراه مشخصات هندسی و خواص اعضای قاب نشان می دهد که در آن عضو زانوئی در هر دو انتهای بادبند قطری قرار گرفته است [2]. مطابق شکل 2 یک متغیر در سیستم KBF ، محل قرارگیری عضو زانوئی است. بدین صورت که عضو زانوئی میتواند متصل به انتهای پائینی بادبند قطری باشد (B-KBF) یا متصل به انتهای بالائی بادبند قطری باشد(T-KBF) یا در هر دو انتهای بادبند قطری قرارداشته باشد(D-KBF).



شکل 2 : *اشکال مختلف قاب با بادبندی زانوئی (ارائه شده توسط بالندرا)*

در روش طراحی این سیستم اولا اعضای اصلی قاب یعنی تیر و ستونها بنحوی طراحی میشوند که در تمام مدت در محدوده الاستیک باقی مانده و با رعایت ضوابط آیین نامه ها از انواع ناپایداریها در آنها جلوگیری شود و بادبند طوری طراحی میشود که دچار کمانش یا تسلیم نشود. ثانیا عضو زانوئی بگونه ای طراحی میشود که دچار کمانش موضعی، کلی و جانبی- پیچشی نشده و ظرفیت شکل پذیری آن از شکل پذیری مورد نیاز بیشتر باشد. براین اساس، آقای بالندرا با استفاده از فن آنالیز ابعادی عوامل موثر برروی سختی الاستیک و شکل پذیری سیستم را بصورت زیر تعیین نمودند[4]:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\frac{K}{EI_c/H^3} = f\left\{\frac{I_k}{I_c}, \frac{A/L}{I_c/H^3}, \frac{b}{h}, \frac{h}{H}, \frac{H}{B}\right\}$$

$$\mu_m = f\left\{\frac{I_b}{I_c}, \frac{I_k}{I_c}, \frac{A/L}{I_c/H^3}, \frac{b}{h}, \frac{h}{H}, \frac{H}{B}, \beta, \frac{M_{ky}}{EI_c/H}, \frac{M_{by}}{EI_c/H}, \frac{M_{cy}}{EI_c/H}\right\} \quad (1)$$

(2)

که درآن پارامترهای b,h,B,H بیانگر هندسه قاب، E مدول الاستیسیته اعضای قاب،A سطح مقطع بادبند، L طول بادبند، I_k, I_c, I_b بترتیب ممان اینرسی تیر، ستون و زانوئی، M_{ky}, M_{by}, M_{cy} بترتیب ممان تسلیم ستون، تیر و زانوئی و β شیب سخت شوندگی کرنشی در نمودار دو خطی لنگر- دوران زانوئی می باشد.

3- مشخصات مدلهای تحلیلی مورد استفاده

بدلیل وجود پارامترهای متغیر متعدد دریک مدل تحلیلی، استفاده از برخی مشخصات ثابت در مدلها، امری اجتناب ناپذیر میباشد، نظیر ارتفاع طبقه، طول دهانه، مشخصات مصالح مصرفی، بارهای وارده بر سازه و غیره که البته در بسیاری از موارد، عوامل فوق وابسته به بعد غیرسازه ای طرح نظیر ملاحظات معماری، مشخصات مصالح موجود، اقتصاد طرح و ... می باشد. همچنین در کلیه مدلهای تحلیلی، پروفیل مورد استفاده برای تیرها از نوع IPE ، برای ستونها از نوع IPB متوسط(HE-B) ، برای بادبندها از جفت ناودانی (بصورت پشت به پشت) و برای اعضای زانوئی از مقطع قوطی می باشد که مقاطع اعضای قابهای انتخاب شده بعد از بارگذاری براساس آیین نامه(AISC(ASD89 و با استفاده از نرم افزارETABS2000 طراحی می گردند[5]. طراحی این قابها تحت بارهای وارده بنحوی است که تیرها و ستونها در محدوده الاستیک باقی مانده و بادبندها نیز دچار کمانش نشوند. همچنین در طراحی عضو زانوئی محدودیتهای لازم بمنظور جلوگیری از کمانش کلی، موضعی و جانبی- پیچشی رعایت می شود.

4- انجام آنالیز بر اساس روش تحلیل استاتیکی غیرخطی

بمنظور مشخص نمودن میزان شکل پذیری سازه و همچنین تعیین پارامترهای لرزه ای سیستم از روش کاربردی تحلیل استاتیکی غیرخطی که بتازگی در دستورالعملهای FEMA و ATC وارد شده است، استفاده می شود. در این روش تحلیل که بصورت مرحله به مرحله انجام میشود، در هر گام مقداری از نیرو یا تغییرمکان نهائی بر روی سازه اعمال میشود و در مقاطع مختلف اعضاء مقادیر تغییرشکل کنترل میشوند و پس از مراجعه به منحنی نیرو- تغییرشکل عضو یا دیاگرام تنش- کرنش مصالح، مقادیر سختی اصلاح شده و مرحله بعدی تحلیل بر اساس ماتریس سختی جدید انجام میشود. این تحلیل مرحله ای تا رسیدن سازه به حد نهائی میتواند ادامه داشته باشد(برای سیستم بادبندی زانوئی بمنظور تامین اهداف طراحی، حد نهائی درموقع تسلیم تیر یا ستون، کمانش بادبند و یا تجاوز تغییرمکان ازحد مجاز آئین نامه ای میتواند اتفاق بیافتد). بدین ترتیب یک منحنی نیرو- تغییرمکان افزایشی برای هر یک از نقاط سازه حاصل میشود که معمولا برای یک سازه ساختمانی منحنی برش پایه - تغییرمکان نقطه ای از بام مد نظر قرار می گیرد. به نقطه

Archive of SID

www.SID.ir

موردنظر، نقطه کنترل و به منحنی برش پایه – تغییرمکان حاصل، منحنی ظرفیت یا منحنی پوش آور گفته می شود و آنالیز استاتیکی مربوطه، آنالیز بار افزاینده یا پوش آور نامیده می شود.

5- تعیین پارامترهای لرزه ای سیستم

اصولاً معیارهای سنجش رفتار لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای بیشتر کیفی هستند، ولی برای بیان کمی آن بمنظور بررسی مناسب بودن رفتار یک سیستم، پارامترهای مختلفی معرفی شده‌اند که تحت عنوان پارامترهای لرزه‌ای شناخته می‌شوند. معمولاً برای بیان میزان مقبولیت یک سیستم سازه‌ای از این پارامترها استفاده می‌شود.برخی از مهمترین این پارامترها، ضریب شکل پذیری (μ) ، ضریب کاهش مقاومت ناشی از شکل پذیری ($R\mu$) ، ضریب اضافه مقاومت (R_S) و از همه مهمتر ضریب رفتار (R) میباشد که بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \qquad R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \qquad R_S = \frac{V_y}{V_s} \qquad R = \frac{V_e}{V_s} = R_S * R_\mu * Y \qquad (6)$$

که در روابط فوق، Δ_u تغییر مکان جانبی حداکثر، Δ_y تغییرمکان جانبی نظیر حد تسلیم، V_e مقاومت مورد نیاز در حالت کاملا الاستیک، V_y حداکثر مقاومت مورد نیاز در حالت غیرالاستیک، V_S مقاومت در حد اولین جاری شدن سازه و Y ضریبی است که بستگی به روش طراحی دارد و مقدار آن در روش تنش مجاز حدود 1/4 و در روش مقاومت نهائی برابر 1 می باشد.

6- بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی سختی و شکل پذیری سیستم

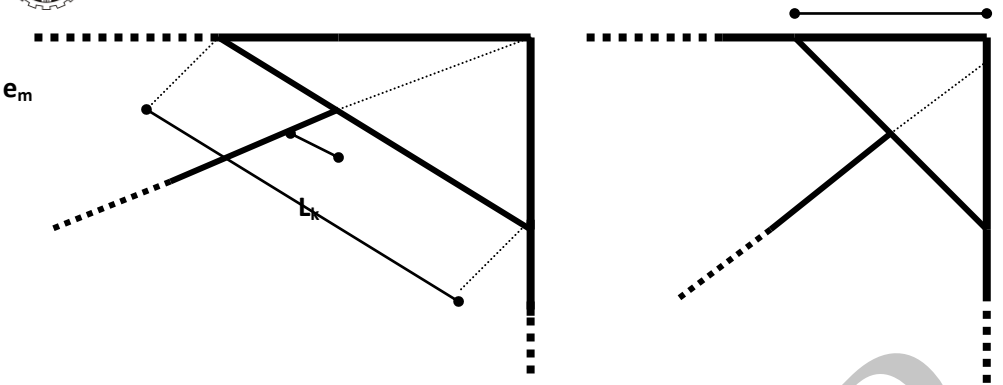
بدین منظور مطابق روابط 1 و 2 ، مقادیر پارامترهای بی بعد برای مدلهای انتخابی طراحی شده به صورت زیر در نظر گرفته شد که با تغییر مقدار یک پارامتر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای بی بعد، تاثیر سطح مقطع بادبند، ممان اینرسی عضو زانوئی، طول عضو زانوئی، زاویه قرارگیری عضو زانوئی، خروج از مرکزیت بادبند در حالت اتصال بادبند به میانه زانوئی (شکل3) ، انحراف بادبند از میانه زانوئی در حالت عبور امتداد بادبند از محل تقاطع تیر و ستون (شکل 4) و نوع اتصالات اعضای مختلف بر روی سختی الاستیک و شکل پذیری سیستم بصورت منحنیها، جداول و نمودارهای ذیل بدست آمد[5].

$$\frac{I_K}{I_C} = 0.12 \qquad \frac{h}{H} \qquad \frac{h}{b} = 0.75 \qquad \frac{H}{B} = 0.75$$

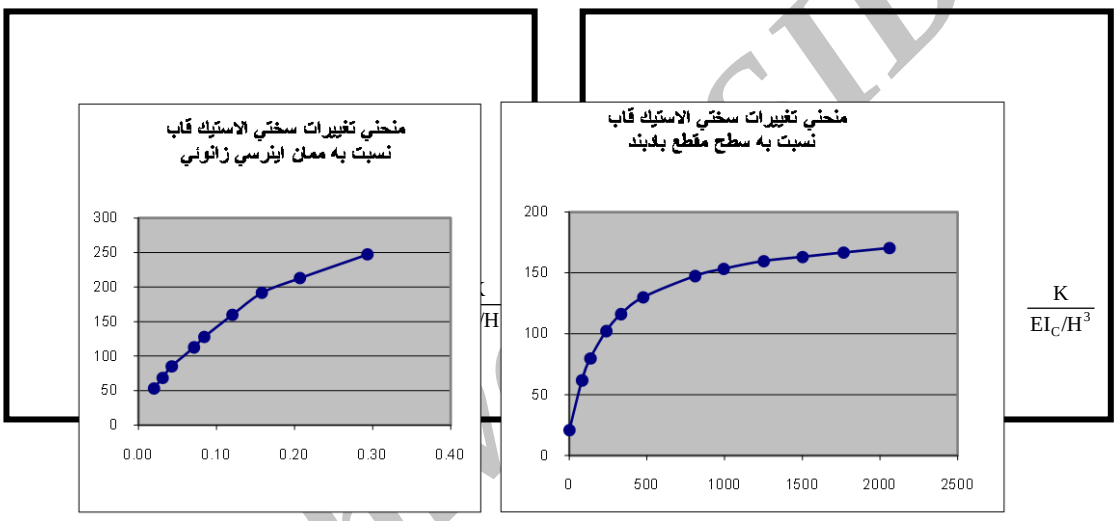
$$\frac{A/L}{I_C/H^3} = 1250$$

Archive of SID

www.SID.ir



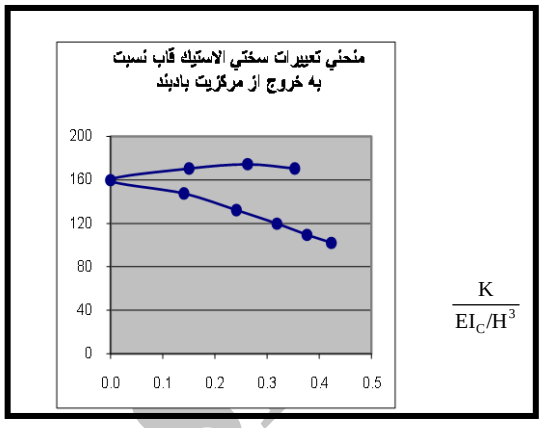
شکل 3: *خروج از مرکزیت بادبند نسبت به محل تقاطع تیروستون* **شکل 4:** *انحراف بادبند از میانه زانوئی*



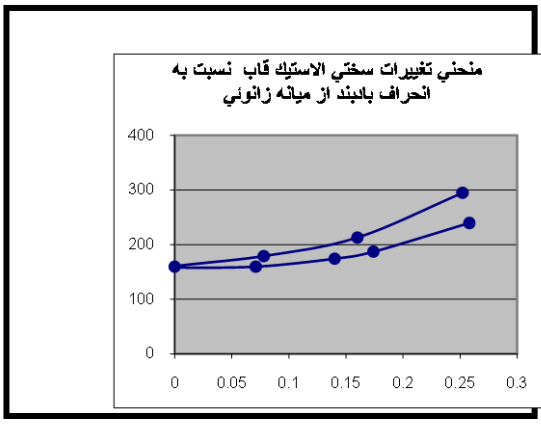
شکل 5: *اثر سطح مقطع بادبند بر سختی الاستیک قاب* $\frac{A/L}{I_C/H^3}$ **شکل 6:** *اثر ممان اینرسی زانوئی بر سختی الاستیک قاب* $\frac{I_K}{I_C}$

Archive of SID

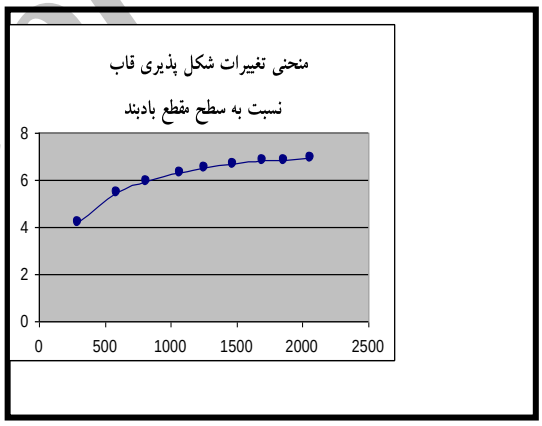
www.SID.ir



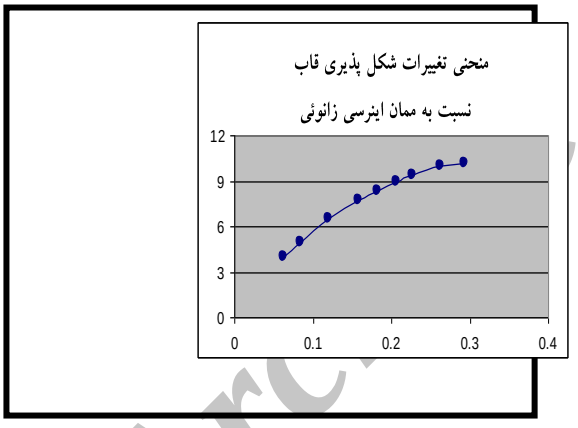
شکل 7: *اثر خروج از مرکزیت بادبند برسختی الاستیک*



شکل 8: *اثر انحراف بادبند از میانه زانوئی برسختی الاستیک*



شکل 9: *اثر سطح مقطع بادبند بر شکل پذیری قاب*

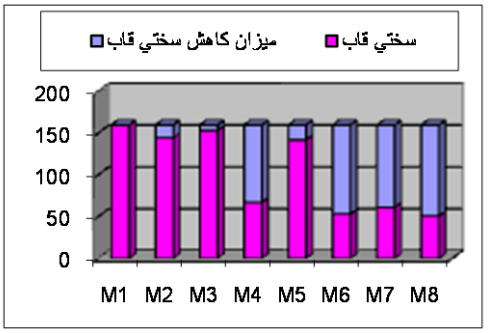


شکل 10: *اثر ممان اینرسی زانوئی بر شکل پذیری قاب*

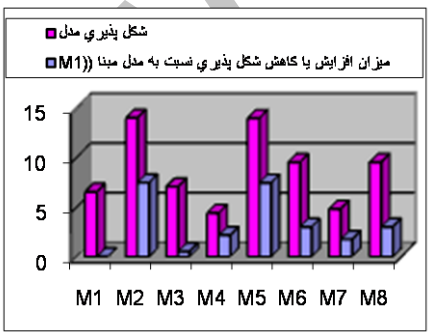
Archive of SID
www.SID.ir

جدول 1: *نتایج تاثیر نوع اتصالات بر روی سختی الاستیک قاب*

مدل	اتصال بادبند	اتصال پای ستون	اتصال تیر به ستون	اتصال زانوئی به تیروستون	سختی بی بعد (تن بر سانتیمتر)	درصد کاهش سختی	شکل پذیری	درصد تغییر شکل پذیری
M1 (مدل مبنا)	مفصلی	گیردار	گیردار	گیردار	159.70	0	6.53	0
M2	مفصلی	مفصلی	گیردار	گیردار	144.65	-9.4 %	13.98	+114 %
M3	مفصلی	گیردار	مفصلی	گیردار	153.33	-3.9 %	7.05	+7.9 %
M4	مفصلی	گیردار	گیردار	مفصلی	67.25	-57.9 %	4.38	-33 %
M5	مفصلی	مفصلی	مفصلی	گیردار	141.98	-11.1 %	13.95	+113 %
M6	مفصلی	مفصلی	گیردار	مفصلی	53.24	-66.6 %	9.52	+46 %
M7	مفصلی	گیردار	مفصلی	مفصلی	61.33	-61.6 %	4.79	-27 %
M8	مفصلی	مفصلی	مفصلی	مفصلی	51.11	-68 %	9.52	+46%



شکل 12: *تاثیر نوع اتصالات بر روی تغییرات سختی الاستیک*



شکل 13: *تاثیر نوع اتصالات بر روی تغییرات شکل پذیری*

www.SID.ir

7- نتیجه گیری

با بررسی تاثیر عوامل مختلف بر روی پارامترهای سختی و شکل پذیری سیستم بادبندی زانوئی در مدلهای تحلیلی انتخاب شده نتایج زیر بدست آمد:

1- افزایش سطح مقطع بادبند قطری موجب افزایش سختی الاستیک و شکل پذیری سیستم شده و بعد از حدی تاثیر این عامل ناچیز می گردد.

2- افزایش ممان اینرسی زانوئی نیز همواره سبب افزایش سختی و شکل پذیری سیستم میشود. البته بمنظور تامین اهداف طراحی طبق تحقیقات آقای بالندرا وزن واحد طول زانوئی باید بیش از 50 درصد وزن واحد تیر یا ستون (هر کدام بزرگتر باشد) نگردد.

3- با بررسی تاثیر طول عضو زانوئی مشخص شد که نسبت $h/H = 0.15$ تا $h/H = 0.25$ میتواند بعنوان بهترین محدوده برای طول عضو زانوئی مورد استفاده قرار گیرد.

4- بررسی تاثیر موقعیت زانوئی نشان داد که برای دستیابی به سختی و شکل پذیری بالاتر، زاویه قرارگیری زانوئی بزرگتر از زاویه قطر قاب انتخاب شود.

5- برای ایجاد سختی و شکل پذیری بیشتر در سیستم، محل اتصال بادبند قطری به عضو زانوئی بصورتی باشد که امتداد بادبند از محل تقاطع تیر و ستون بگذرد. البته در این حالت، تغییرات سختی و شکل پذیری نسبت به حالتی که بادبند به میانه زانوئی متصل می گردد، شدیدتر و حساستر می باشد.

6- در حالتی که امتداد بادبند از محل اتصال تیر و ستون می گذرد، افزایش انحراف بادبند از میانه زانوئی تا حدی، سبب افزایش سختی و شکل پذیری سیستم می شود که یک مقدار مشخص و مناسب برای زاویه قراگیری زانوئی دراین حالت وقتی است که نسبت $b/h = H/B$ باشد.

7- بررسی تاثیر نوع اتصالات بر روی پارامترهای سختی و شکل پذیری سیستم نشان داد که اولا اتصال مفصلی تیر به ستون موجب کاهش ناچیزی در سختی الاستیک و افزایش جزئی در شکل پذیری سیستم میشود که بدلیل اجرای پرهزینه و مشکل اتصالات گیردار، میتواند بعنوان یکی از مزایای اصلی این سیستم محسوب شود. ثانیا اتصال مفصلی پای ستون سبب مقداری کاهش در سختی و افزایش قابل ملاحظه ای در شکل پذیری سیستم می شود که امکان استفاده از آنرا در این سیستم میسر می سازد. ثالثا، استفاده از اتصال مفصلی زانوئی به تیر و ستون باعث کاهش قابل ملاحظه در سختی و شکل پذیری سیستم می شود.

8- با انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی افزاینده بر روی مدلهای دو بعدی با مشخصات مختلف، مقادیر زیر برای پارامترهای لرزه ای سیستم بادبندی زانوئی بدست آمد:

الف : دامنه تغییرات ضریب کاهش مقاومت ناشی از شکل پذیری برای مدلهای انتخابی از 2/45 تا 3 متغیر بوده و مقدار متوسط آن برابر 2/65 بدست آمد که نشاندهنده رفتار شکل پذیر این سیستم می باشد.

ب : دامنه تغییرات ضریب اضافه مقاومت برای مدلهای دو بعدی انتخابی بین 1/30 تا 1/90 قرار گرفته و مقدار متوسطی برابر با1/60 برای آن بدست آمد. البته بدلیل اینکه امکان در نظر گرفتن برخی از عوامل موثر بر روی این

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب در مدلسازی دو بعدی وجود ندارد، بمنظور تعیین واقع بینانه تر ضریب رفتار از مقادیر پیشنهادی آیین نامه های معتبر برای ضریب اضافه مقاومت استفاده شده است.

ج : با فرض مقدار 2/3 برای ضریب اضافه مقاومت بر اساس مقررات NEHRP 2000 برای قابهای بادبندی شده، دامنه تغییرات ضریب رفتار برای مدلهای انتخابی از 8/10 تا 9/80 متغیر بوده و مقدار متوسط بدست آمده برای آن با اعمال یک حاشیه اطمینان برابر 8/5 تعیین شد که نشاندهنده رفتار لرزه ای مناسب این سیستم می باشد.

8- مراجع

[1] Naeim . F, " The Siesmic Design handbook" , 2 nd Edition , VNR , July 2001, New York .

[2] Balendra , T . Sam , M.T . Liaw , C.Y , "Diagonal Brace With Ductile Knee Anchor for a seismic Steel Frame", Earthquake Eng and Structure Dynamics, Vol 19, 1990 , pp. 847-858

[3] Aristizabal – Ochoa, J.D, "Disposable Knee Bracing: Improvement In Seismic Steel Frames" , Journal of Structural Engineering, 112(7), 1986 , pp.1544-1552

[4] Balendra , T . Sam , M.T . Liaw ,C.Y, "Design of Earthquake Resistant Steel Frames with Knee Bracing" , J. of Construct Steel Research , Vol 18, 1991, pp. 193-208

[5] خانبابائی، مهدی، "بررسی رفتار لرزه ای سیستم بادبندی زانوئی در سازه های فولادی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دیماه 1382

Archive of SID

www.SID.ir