

## بررسی رفتار غیر خطی قاب با بادبند زانویی

عبدالرضا زارع<sup>۱</sup> ، حسین عباس زاده<sup>۲</sup>

۲- استناد یار بخش عمران ، دانشگاه یاسوج

۳- کارشناسی ارشد عمران ، دانشگاه سیستان و بلوچستان

zare@mail.yu.ac.ir

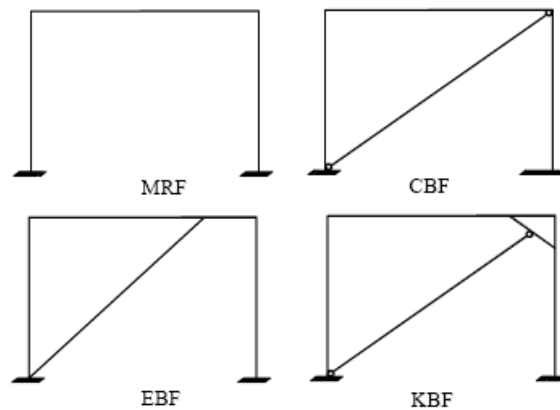
### خلاصه

در یک قاب با باد بند زانویی KBF، یک انتهای باد بند به جای اتصال تیر- ستون به یک المان زانویی کوچک متصل می گردد. در این سیستم شکل پذیری از طریق تسلیم برشی المان زانویی به دست می آید ، سختی جانبی مورد نیاز نیز توسط بادبند قطری تامین می گردد. با تسلیم المان زانویی در طول یک زلزله شدید و سنگین، بدون خرابی در اجزای سازه، کل سیستم پایدار خواهد ماند و بازسازی سیستم راحت و اقتصادی خواهد گشت. در این مقاله ارتباط بین کارایی لرزه ای و پارامترهای سازه ای، آنالیز غیر خطی سیستماتیک سازه با قابهای فولادی با بادبند زانویی KBF با روش المان محدود مورد بررسی قرار می گیرد و در پایان نظریه ها و توصیه های طراحی عمومی بر اساس نتایج حاصل از آنالیز مذکور عنوان می گردند.

کلمات کلیدی: قاب فولادی ، بادبند زانویی، رفتار غیر خطی

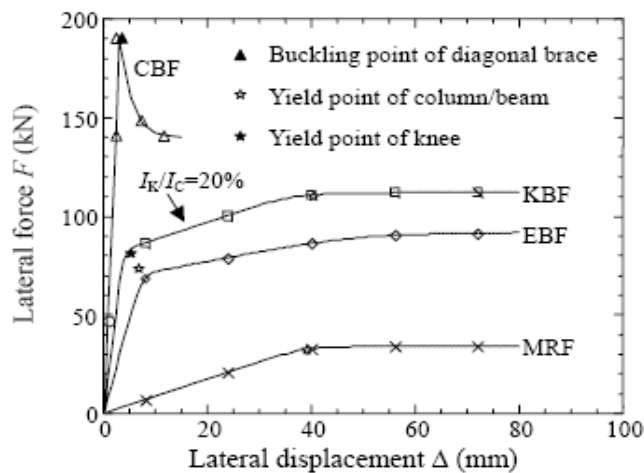
### مقدمه

سازه های با قاب فولادی به صورت گسترده در ساختمانهای تجاری و صنعتی مورد بهره برداری قرار می گیرند. بر اساس سیستم مقاوم در برابر بار جانبی ، قابهای فولادی اساساً می توانند به چهار نوع تقسیم بندی گردند: سیستم قاب مقاوم خمشی (MRF)، سیستم قاب باد بندی هم مرکز (CBF)، سیستم قاب باد بندی غیر هم مرکز (EBF)، سیستم قاب باد بند زانویی (KBF) که در شکل ۱ مشخص شده است. در آزمایشی که بر روی چهار سیستم فوق انجام شده است مشخص می شود که سیستم قاب باد بندی هم مرکز (CBF) بسیار سخت تر از سیستم قاب مقاوم خمشی (MRF) می باشد تا حدی که توانایی برآورده سازی شکل پذیری را دارا نیست. نتایج حاصل از این آزمایش در شکل ۲ مشخص شده است. برای غلبه بر نقایص و کمبود های سیستمهای MRF و CBF یک سیستم سازه جدید به نام EBF پیشنهاد گردید [۱]. این سیستم با تنظیم عضو قطری به صورت برون محور به تیر کف، به نحوی که تیر رابط توانایی تحمل تغییر شکلهای بزرگ را داشته باشد و همانند فیوز شکل پذیر عمل کند شکل پذیری خوبی را تامین می نماید. مطابق با نتایج ارائه شده در شکل ۲، سیستم EBF شکل پذیری و سختی مناسبتری در مقایسه با دو سیستم CBF و MRF دارد. اما در عین حال مشاهده می شود که سیستم KBF از لحاظ سختی در مقایسه با EBF دارای شرایط بهتری است. همینطور سیستم EBF در بحث بازسازی ، تیر به عنوان بخش عمده و اساسی یک قاب تحت تاثیر خرابی ها، آسیب می پذیرد چون انرژی حاصل از نیروی جانبی بوسیله تیر پیوند مستهلک می شود. سیستم KBF در سال ۱۹۸۶ ارائه و معرفی گردید [۲] و پس از آن توسط دیگر مولفین مورد بازنگری قرار گرفت [۳ و ۴ و ۵ و ۶]. این سیستم از یک بخش سازه ای ثانوی (بخش زانویی) به عنوان فیوز شکل پذیر سازه برای تضمین شکل پذیری کافی استفاده می نماید در حالیکه با تنظیم نمودن باد بند قطری به سختی جانبی خوبی دست می یابد. تنها با محدود کردن مفاصلهای پلاستیک که در زانو تشکیل می گردند ، بخشهای عمده سازه از قبیل تیر و ستون بی خطر گشته ، امکان بازسازی سیستم به سهولت میسر می گردد.



شکل ۱- سیستمهای قابهای فولادی متعارف

شکل ۲ تفاوت کارایی های سیستمهای مقاوم جانبی در برابر زلزله را در خصوص قاب هایی که پارامترهای سازه ای مشابهی دارند نمایش می دهد. گرچه سیستم قاب مقاوم خمشی (MRF) یک سیستم مستهلک کننده انرژی بسیار خوبی است ولی اجزای آن بایستی با مقاطع بزرگ که از لحاظ اقتصادی نامناسب هستند طراحی گردند.



شکل ۲- نیروی جانبی بر حسب تغییر مکان

قاب فولادی با باد بند زانویی، نوع جدیدی از قاب مستهلک کننده انرژی است که شکل پذیری خوب و سختی جانبی را با هم ترکیب می نماید. المان زانویی به عنوان بعد سازه ای (ساختمانی) قاب، نخست در طول یک زلزله شدید و سنگین حاصل خواهد شد لذا هیچگونه خرابی در خصوص اجزای سازه روی نخواهد داد و بازسازی راحت و اقتصادی خواهد گشت.

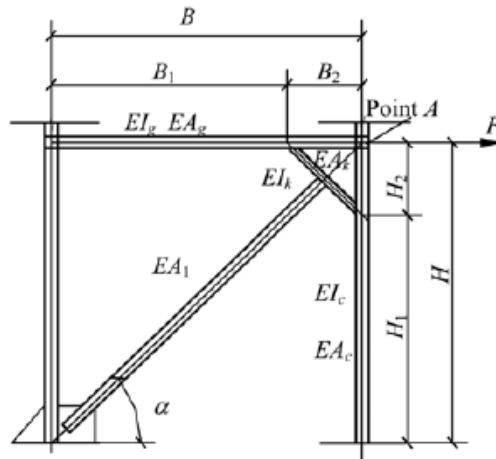
#### پارامترهای اساسی KBF

شکل ۳ نوعی قاب با بادبند زانویی به همراه پارامترهای اساسی بر روی آن مشخص شده است. سطح مقطع اعضای سازه به صورت بال پهن  $H$  می باشند همچنین بر اساس شکل ۳، بار افقی بر روی نقطه  $A$  قرار داده شده است.

شکل 4 منحنی نیرو - تغییر مکان (نیرو - جابجایی) متناظر می باشد. فرض بر این است که تمام مواد و مصالحی که در آنالیز استفاده می شوند دارای ویژگی های ایده ال الاستیک - پلاستیک (elastic-plastic) به صورت زیر می باشند:

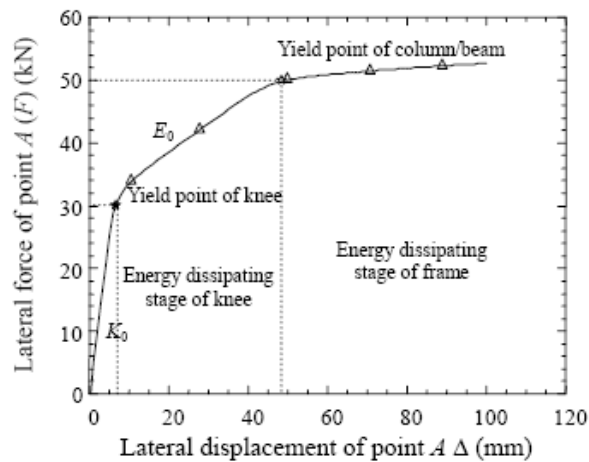
$$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 \quad \text{مدول الاستیسیته:}$$

$$G = 7.69 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 \quad \text{مدول برشی:}$$



شکل ۳- پارامترهای اساسی KBF

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است پروسه تسلیم سیستم قاب باد بند زانویی (KBF) می تواند به دو مرحله تقسیم گردد. در مرحله نخست، تسلیم در المان زانو و تحت اثر نیروی جانبی (عرضی) روی خواهد داد در همان زمان مفاصل پلاستیک در اتصالات تیر-زانو و ستون-زانو، همچنین نقطه میانی و نزدیک به مرکز زانو به صورت همزمان گسترش خواهند یافت. سپس سازه به سمت مرحله استهلاک المان زانویی گرایش می یابد که این بدان معناست که سیستم باد بندی به نهایی ترین ظرفیت تحمل خود رسیده است و بار توسط قاب اصلی حمل خواهد شد تا جایی که مفاصل پلاستیک در تیرها یا ستونها ایجاد گردند سپس مرحله استهلاک انرژی ثانویه رخ خواهد داد.



شکل ۴- منحنی نیرو-تغییر مکان KBF

با استفاده کامل از مرحله نخست استهلاک انرژی، اعضای مهم سازه قادر به تحمل یک لرزه سنگین و شدید بدون هیچگونه آسیب پذیری خواهند بود، همینطور اعضا پایدار باقی خواهند ماند.

رفتار سیستم قاب بادبند زانویی KBF

یک سیستم قاب باد بند زانویی (KBF) متشکل از تیر، ستونها، باد بند های زانویی و باد بندهای قطری است. تحقیقات [۴] نشان داده است چنانچه المان زانویی و مهاربند مایل، موازی با قطر قاب باشد بطوریکه مطابق شکل ۳،  $H_2 / H = B_2 / B$  باشد، سازه می تواند ماکزیمم مقاومت لرزه ای داشته باشد.

موقعیت باد بند زانویی

چندین روش در خصوص قرارگیری المان زانویی در سیستم KBF وجود دارد. این عضو می تواند در پایین ، بالا یا دو انتهای باد بند قرار گیرد. وقتی المان زانویی در دو انتهای باد بند قرار گیرد ، سختی قاب بدون هیچگونه بهبود در شکل پذیری تقلیل خواهد یافت [۳]. لذا در این تحقیق یک سیستم KBF با المان زانویی تنها در یک انتهای قاب در نظر گرفته می شود.

سیستم KBF بایستی سختی کافی و مناسبی جهت پیشگیری از خرابی های سازه ای و غیر سازه ای ناشی از زمین لرزه های کوچک داشته باشد. سختی جانبی الاستیک بستگی به هندسه و ویژگیهای مقطعی عضو دارد. آنالیزهای بی بعد (Balendra et al. 1990) [۳] نشان می دهد که زانوهای کوتاهتر برای سختی بالاتر ترجیح داده می شوند. انتخاب مناسب طول المان زانویی در یک سیستم KBF حائز اهمیت است به طوری که نه تنها سختی جانبی، بلکه مد تسلیم را تحت تاثیر قرار می دهد.

یک المان زانویی کوتاهتر در برش ، تسلیم می گردد درحالی که المان زانویی بلندتر در خمش ، تسلیم خواهد شد. برای تسلیم المان زانویی در برش ، بخش بلندتر زانو که توسط تقاطع باد بند قطری و عضو زانو ایجاد می گردد به صورت  $l_k$  مشخص گردیده و بایستی شرط زیر را برآورده سازد :

$$l_k < 2 \frac{M_p^*}{V_p} \quad (1)$$

که در این رابطه  $M_p$  ، ممان پلاستیک کاهش یافته است که تنها بالها در آن وارد می شوند و  $V_p$  مقاومت برش پلاستیک است که به صورت زیر تعریف می شوند:

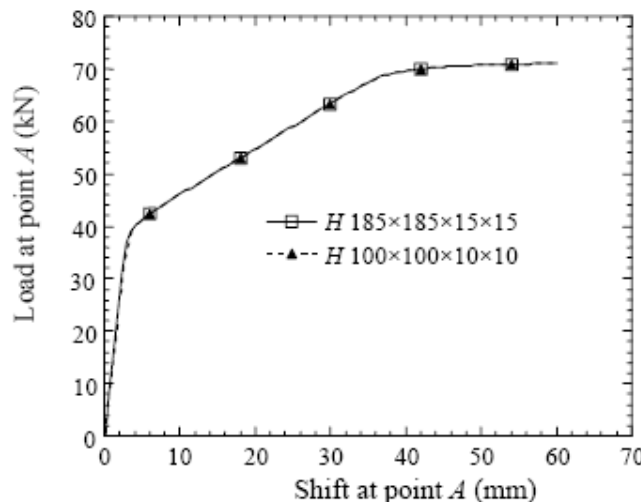
$$M_p^* = t_f b_f (d - t_f) \sigma_y \quad (2)$$

$$V_p = t_w (d - t_f) \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

که در آن  $\sigma_y$  ،  $d$  ،  $t_f$  ،  $b_f$  و  $t_w$  به ترتیب تنش تسلیم ، عمق ، ضخامت ، عرض و ضخامت بال عضو زانویی می باشد. برای رسیدن به رابطه (1) لازم است پروفیل با مدول مقطع بالاتر برای سطح برش استفاده شود. به عنوان یک مقایسه در بین پروفیل های استاندارد که به صورت مقرون به صرفه تولید می شوند ، مقاطع بال پهن مناسب ترند ، چون دارای مدول مقطع بالاتری برای سطح برش می باشند.

عملکرد جانبی قاب های با مقاطع مختلف بادبند قطری

برای اطمینان از سختی جانبی قاب سیستم CBF یا سیستم EBF ، معمولاً اجزای باد بند با مقاطع بزرگ انتخاب می شوند. این امر نه تنها باعث اتلاف مواد و مصالح نشده بلکه میزان سختی سازه را افزایش می دهد. از مزیت های عضو باد بند قطری سیستم KBF این است که سیستم KBF تنها با المانهای زانویی مقاطع کوچک حفظ و پایدار خواهد شد. دیگر اینکه طبق شکل 5، افزایش مقاطع اجزای باد بند قطری در سختی جانبی سازه موثر نخواهد بود.



شکل ۵- منحنی نیرو-جابجایی قاب با مقاطع مختلف بادبند قطری

به کمک فرمول زیر می توان مقطع مناسبی برای باد بند قطری اختیار کرد :

$$P_{cr} > \gamma P_k \quad (5)$$

که  $\gamma$  ضریب اطمینان ،  $P_{cr}$  بار تسلیم عضو بادبند قطری است که در طول محور ضعیف ، تسلیم می گردد و  $P_k$  بار زانوست آن زمانیکه عضو زانو تسلیم گردد.

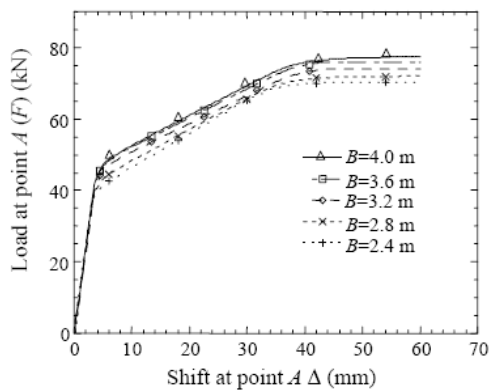
چنانچه دو سر عضو زانویی گیردار باشد آنگاه عضو زانویی همانند تیر دو سر گیردار خواهد بود بطوریکه نیروی محوری در عضو زانو  $P_k \sin \beta / 2$  بوده و بیشترین ممان در عضو زانو به صورت  $P_k l \cos \beta / 8$  می باشد. که  $\beta$  زاویه بین مهاربند قطری و المان زانویی است. و  $P_k$  نیروی متمرکز در المان زانویی است که به کمک فرمول زیر که از تئوری تسلیم مقطع [۶] ناشی گردیده محاسبه می گردد :

$$\frac{N}{N_p} \leq 0.13, \frac{M}{M_p} = 1 \quad (6)$$

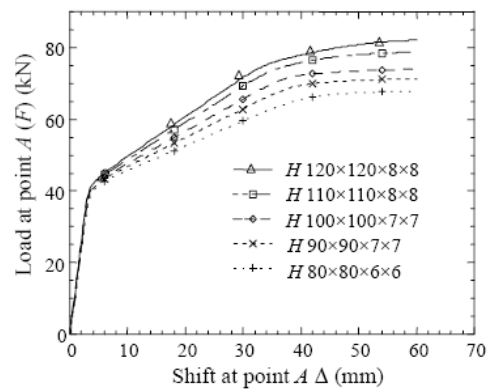
که طبق این فرمول  $N_p$  و  $M_p$  به ترتیب ممان تسلیم مقطع و نیروی محوری تسلیم می باشند.

عملکرد جانبی قابها با تیرها و ستونهای مختلف

سختی تیرها و ستونها در یک قاب بر اساس طول و مقطعشان تعیین می گردد. در شکل ۶ و ۷ می توان تاثیرشان را بر عملکرد جانبی قاب مشاهده کرد.

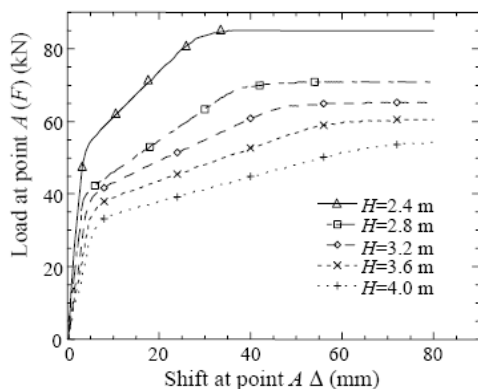


(a)

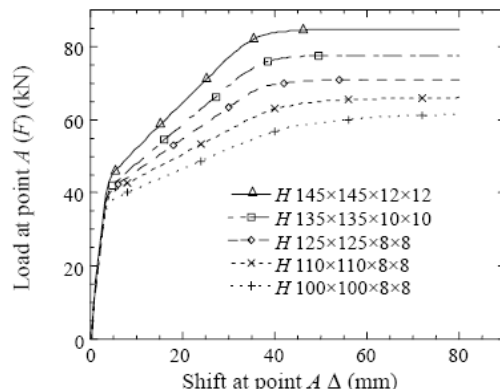


(b)

شکل ۶- منحنی های نیرو - تغییر مکان قاب (a) برای طولهای متفاوت تیر و (b) برای مقاطع مختلف تیر



(a)



(b)

شکل ۷- منحنی های نیرو - تغییر مکان قاب (a) برای طولهای متفاوت ستون و (b) برای مقاطع مختلف ستون

این شکلها نشان می دهند که تغییر سختی تیر تاثیر اندکی بر شکل پذیری و ظرفیت تحمل جانبی سیستم KBF دارد. به وضوح می توان گفت تغییرات طول و سطح مقطع ستون نسبت به تیر تاثیر بیشتری دارد بطوریکه واضح ترین تاثیر می تواند بر حسب تغییرات طول ستون دیده شود. شکل 7.a نشان می دهد با افزایش طول ستون ، سختی جانبی در ناحیه الاستیک و پلاستیک به مقدار زیادی کاهش می یابد لذا ظرفیت تحمل نهایی سیستم به صورت خطی کاهش می یابد. شکل 7.b نشان می دهد که افزایش سطح مقطع تقریباً هیچ تاثیری بر سختی در ناحیه الاستیک ندارد ولی رفتار پلاستیک تا حد زیادی تغییر می یابد. تغییر سطح مقطع ستون به عنوان یک المان اصلی قاب بسیار موثرتر از اعمال تغییر در تیر می باشد. ظرفیت استهلاک انرژی سازه با تغییرات سختی ستون تعدیل و تنظیم می شود. در یک ساختمان چون تغییر طول تیرها و ستون ها به راحتی امکان پذیر نمی باشد رفتار جانبی قاب با تنظیم المان های زانویی و ابعاد سطح مقطع تیر و ستون قابل اصلاح می باشد. المان زانویی به عنوان یک عضو مقاوم در برابر نیروی جانبی نقش مهمی را ایفا می نماید. با سطح مقطع و موقعیت مناسب المان زانویی، سازه KBF ، سختی جانبی کافی و شکل پذیری خوبی را حتی در زمین لرزه شدید و سنگین خواهد داشت.

#### نتیجه

۱- قاب باد بند زانویی به عنوان یک سیستم مستهلک کننده انرژی، شکل پذیری خوب و سختی جانبی را با هم ترکیب می نماید لذا در صورت بروز زمین لرزه و خرابی ساختمان ها بازسازی و تعویض المان زانویی به راحتی انجام می پذیرد. همچنین با حفاظت المانهای زانویی هیگونه خرابی در رابطه با اجزای مهم و عمده سازه در یک زمین لرزه شدید و سنگین نخواهیم داشت .

۲- موقعیت و سختی زانو به عنوان یک عامل مهم و تاثیر گذار بر توانایی مقاومت جانبی KBF ، تاثیر زیادی بر رفتار مستهلک کننده انرژی خواهد داشت. بر اساس تحقیقات به عمل آمده مقدار  $I_k / I_c$  بایستی،  $20\% \sim 40\%$  باشد، همچنین مقدار  $X$  به صورت  $0.15\% \sim 0.30\%$  باشد. ( $X = B_2 / B = H_2 / H$ ) در چنین شرایطی سازه سختی جانبی کافی و شکل پذیری خوبی خواهد داشت.

۳- عضو باد بند قطری KBF می تواند به صورت  $P_{cr} > \gamma P_k$  طراحی گردد . سطح مقطعهای بسیار بزرگ بابدند قطری باعث اتلاف مصالح می شود. لذا قابلیت مقاومت جانبی سازه را اصلاح نمی کند.

۴- تیرها و ستون ها به عنوان اجزای مهم و عمده قاب بر رفتار جانبی (عرضی) قاب KBF تاثیر دارند و تغییر مقطع ستون بسیار موثرتر از تغییر سطح مقطع تیر می باشد.

#### مراجع

- 1- Roeder, C.W., Popov, E.P., 1978. Eccentrically braced steel frames for earthquakes. *Journal of Structural Div ASCE*, **104**(3):391-412.
- 2- Aristizabal-Ochoa, J.D., 1986. Disposable knee bracing: improvement in seismic design of steel frames. *Journal of Structural Engineering*, **112**(7):1544-1552.
- 3- Balendra, T., Yu, C.Y., Xiao, Y., 2001. An economical structural system for wind and earthquake loads. *Engineering Structures*, **23**:491-501.
- 4-Mofid, M., Khosravi, P., 2000. Non-linear analysis of disposable knee bracing. *Computers & Structures*, **75**: 65-72.
- 5- Sam, M.T., Balendra, T., Liaw, C.Y., 1995. Earth-quake-resistant steel frames with energy dissipating knee elements. *Engineering Structure*, **17**(5):334-343.
- 6- William, M.S., Blakeborough, A., Clement, D., Bourahla, N., 2002. Seismic behavior of knee braced frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, **152**(2):147-155.
- 7- Shen, Z.Y., Chen, Y.Y., Chen, Y.Y., 2000. The Principle of Steel Structure. Chinese Industrial Building Press, Beijing, p.84-89 (in Chinese).