

# بررسی رفتار قابهای EBF با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی تیر رابط

محمد رحیمیان

دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

بابک امیدوار

دانشجوی مقطع دکترای سازه - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

داود دوست محمدی

کارشناس ارشد، سازه - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۷/۱۲/۱۸، تاریخ تصویب ۷۸/۴/۱۲)

## چکیده

در این مقاله مدلی برای آنالیز صحیح تیر رابط<sup>۱</sup> در قابهای EBF ارائه شده است. در این مدل جان و بال تیر رابط I شکل به طور جداگانه مدل میشوند. ماتریس سختی المان جان تیر رابط شبیه المان غشائی است و از روش اجزاء محدود محاسبه شده و توسط روش گوس در ۸ نقطه انتگرال گیری می شود. همچنین این المان در نقاط گوس قابلیت جاری شدن دارد که به این ترتیب می توان جاری شدن جان تیر رابط را بررسی کرد. همچنین در المانهای تیر-ستون اثرات مفاصل خمیری، اثرات غیر خطی هندسی، مسأله کمانش اعضا و اثرات  $p-\Delta$  منظور شده است.

با قرار دادن این المان در قابهای EBF رفتار این قابها بررسی شده و در پایان صحت عملکرد المان در مقایسه با آزمایشات نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل چند قاب نمونه، لزوم تحلیل دقیق قابهای EBF با استفاده از المان تیر رابط به اثبات میرسد و در این نوع تحلیل تفاوتی ایجاد شده در شکل پذیری، نیروهای داخلی و انرژی مستهلک شده از بارهای زلزله بررسی میگردد.

**کلید واژه‌ها:** تیر رابط، مهاربندی خارج از مرکز، سیستمهای مهاربندی، اجزاء محدود غیر خطی

## مقدمه

این قابها در فرمهای مختلف وجود دارند که تعدادی از آنها در شکل (۱) دیده می شود.

مشخصه اصلی آنها این است که امتداد عضو مهاربندی از محل تقاطع امتداد تیروستون نمی گذرد.

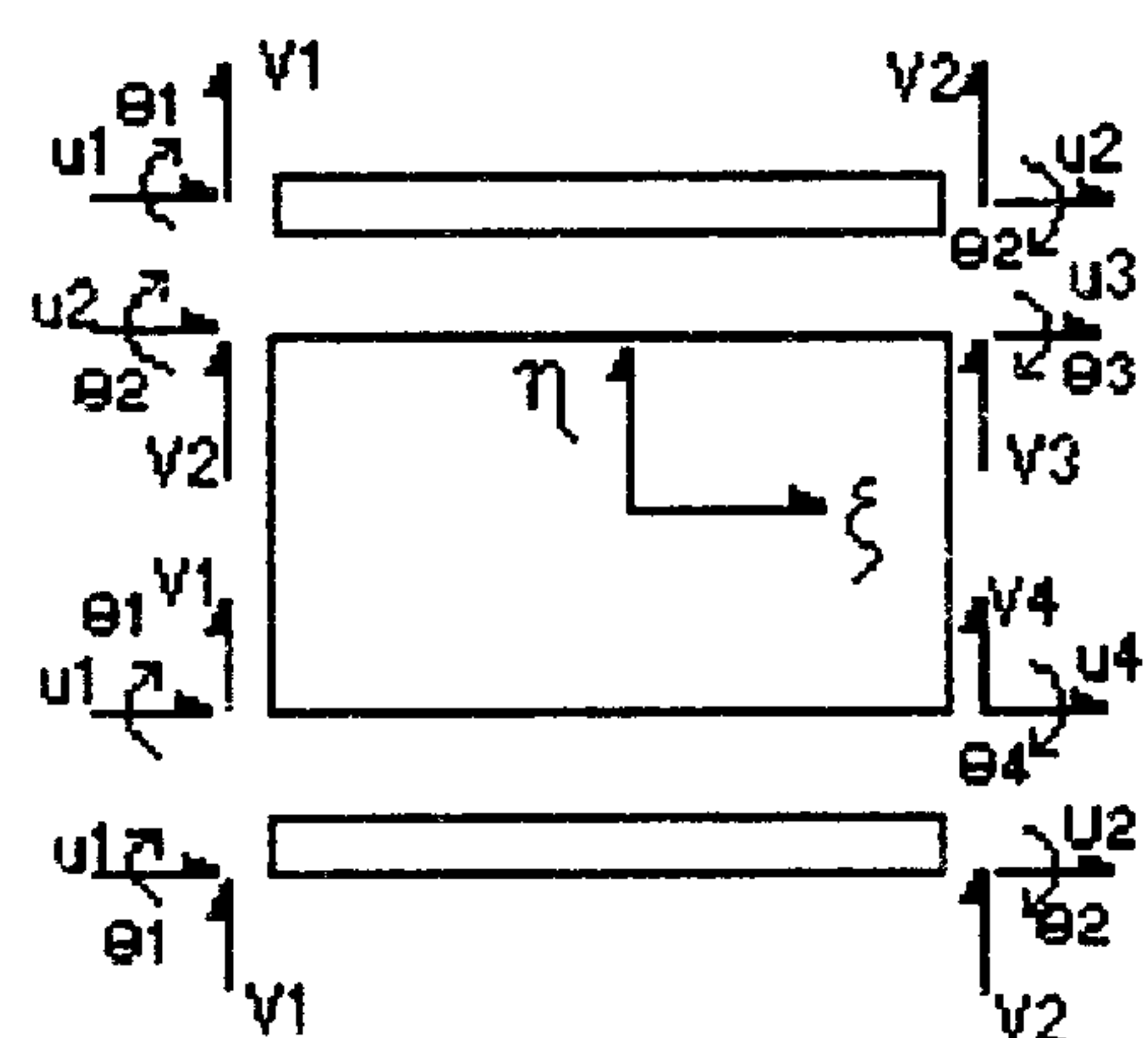
رفتار غیر ارتجاعی یک قاب تحت زلزله شدید بستگی به توانایی آن در جذب و استهلاک انرژی بدون از دست دادن مقاومت دارد. در این قابها استهلاک انرژی توسط تغییر شکل های غیر ارتجاعی که محدود به ناحیه جان تیر رابط می شود، صورت می گیرد و جان تیر رابط در اثر برش دچار سیلان شده و سبب نرمی سازه گشته و انرژی بارهای خارجی را مستهلک می کند. برای مدل سازی رفتار صحیح تیر رابط تاکنون تحقیقات زیادی

سیستم قابهای EBF اولین بار توسط Popov

و همکارانش در دانشگاه کالیفرنیا ابداع شد. در این نوع قابها بین اتصال مهاربندی ها و یا مهاربند و ستون تماماً خروج از مرکزیت ایجاد می گردد. در این سیستم جزء کوچک تیر به طول  $e$  یعنی قسمتی که بین دو مهار و یا بین مهار و ستون قرار می گیرد را تیر رابط می نامند. این جزء کوچک دارای این مزیت است که می تواند نیروهای مهاربندی را از طریق خود به ستون یا مهاربند دیگر انتقال دهد، و نهایتاً نیروهای متعادلی را به مهاربند وارد سازد. این قطعه تیر در صورت طراحی صحیح مانند یک فیوز شکل پذیر عمل می کند و با جلوگیری از کمانش مهاربند فشاری، مقدار زیادی از انرژی وارده ناشی از زلزله را نیز جذب می کند.

[۹].

سوار کردن ماتریسهای سختی بال ها بر ماتریس سختی المان جان تشکیل میگردد [۸].



شکل ۲: نمایش درجات آزادی و محورهای محلی در المان تیر رابط.

مختصات محلی (  $\xi$  و  $\eta$  ) و درجات آزادی المان تیر رابط در شکل (۲) نشان داده شده است.

### المان جان تیر رابط

تغییر مکانهای مفروض برای این المان عبارتند از:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U(\xi, \eta) \\ V(\xi, \eta) \\ -\frac{\partial V}{\partial X} \end{pmatrix}$$

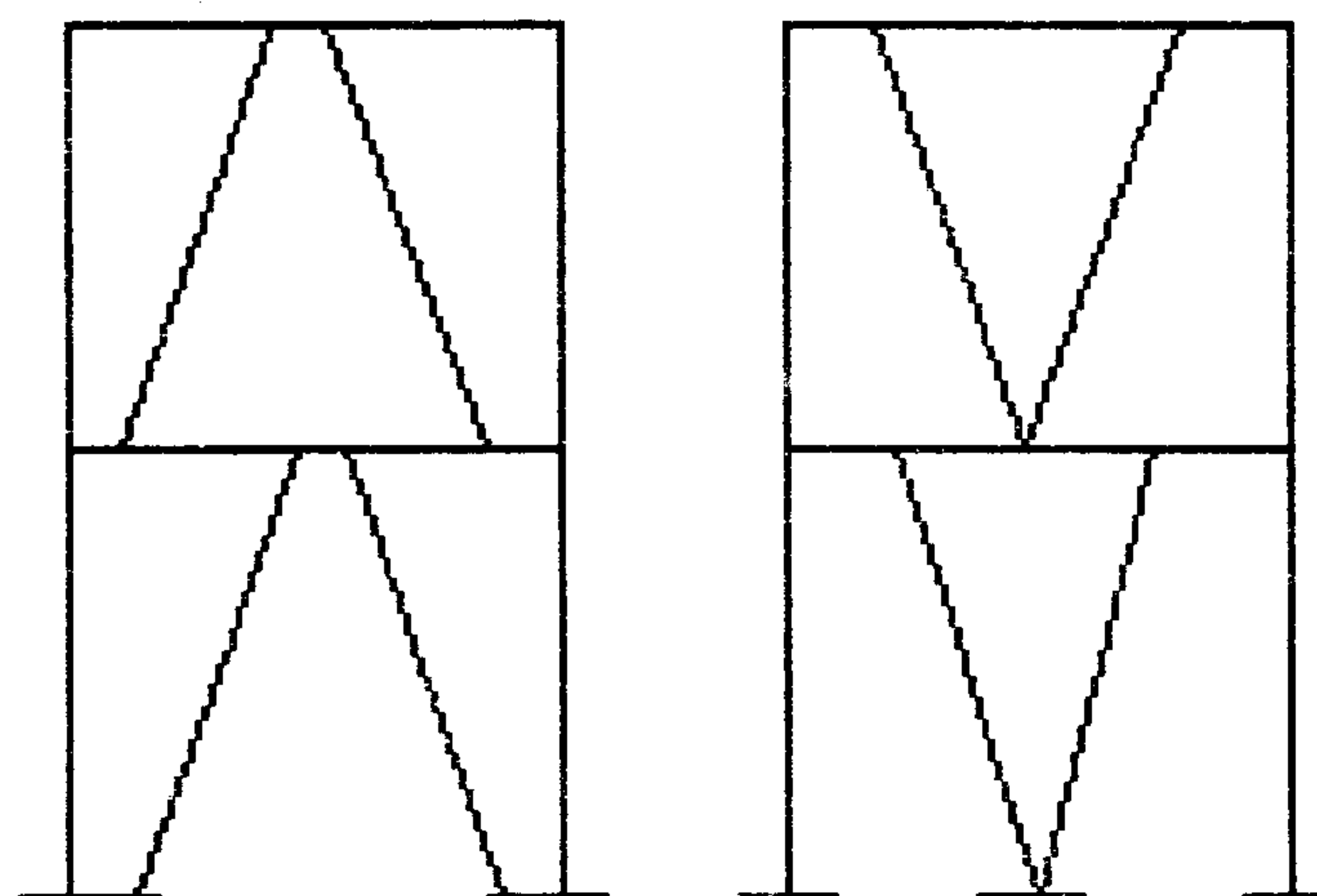
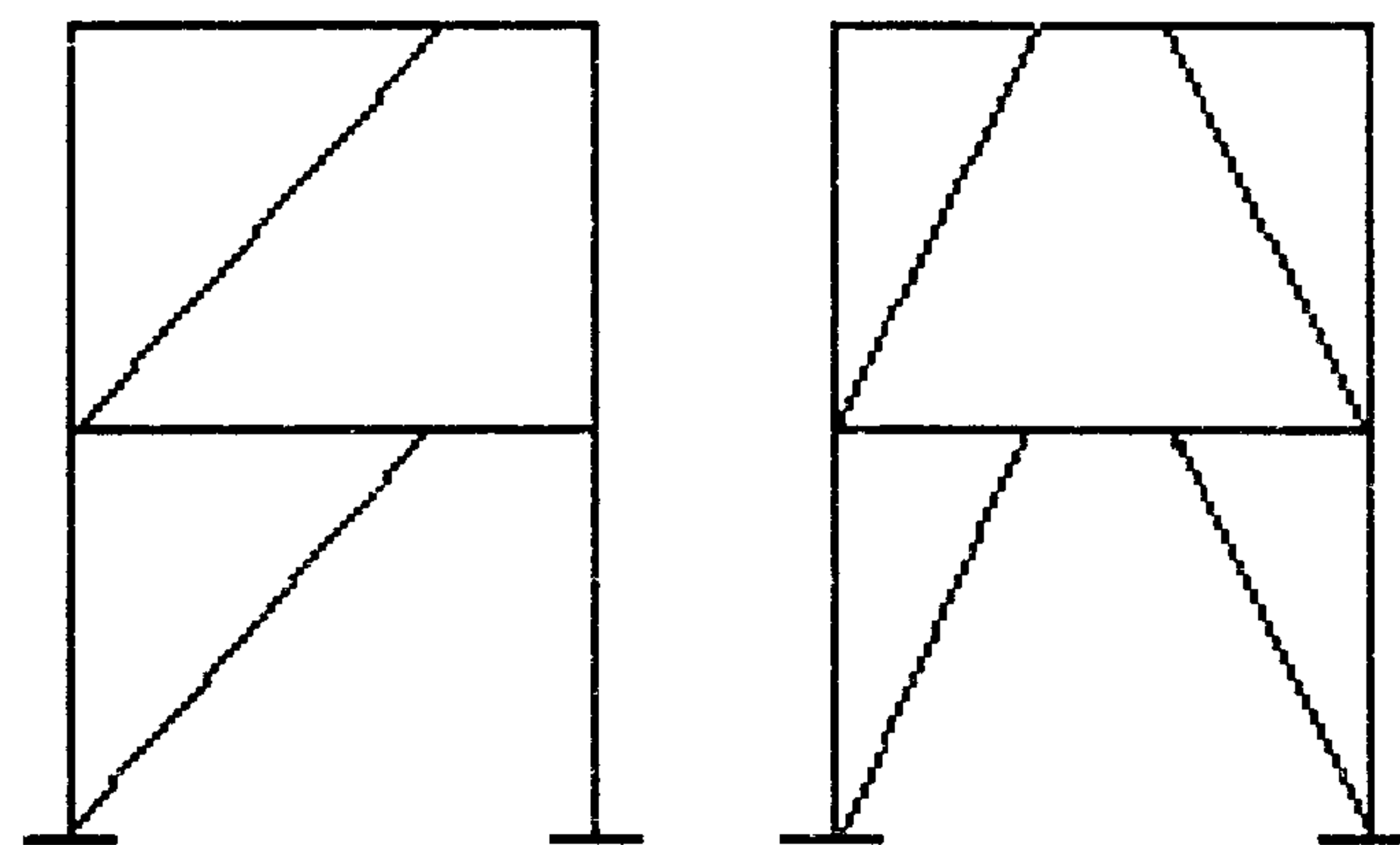
(۱)

تغییر مکان  $V$  را در جهت طول المان با یک تابع درجه سه بر حسب  $\xi$  و در جهت عرض با تابع درجه یک بر حسب  $\eta$  تقریب میزنیم. بنابراین می توان نوشت:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \eta & \xi & \xi\eta \\ 1 & \eta & \xi & \eta\xi & \xi^2 & \eta\xi^2 & \xi^3 & \eta\xi^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-2}{h} & \frac{-2\eta}{h} & \frac{-4\xi}{h} & \frac{-4\xi\eta}{h} & \frac{-6\xi^2}{h} & \frac{-6\eta\xi^2}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix}$$

(۲)

که در این رابطه  $h$  طول تیر رابط و  $w$  عرض آن است. با جاگذاری ۱۲ شرط مرزی در ۴ گره، تغییر مکانهای ۴ گره المان با  $\alpha$  و  $\beta$  مرتبط می شوند و می توان ضرایب  $\alpha$



شکل ۱: نمونه هائی از قابهای EBF.

انجام شده است که به عنوان نمونه می توان از تحقیقات (Roeder و Popov) [۶] و (Ricles و Popov) [۵] و (Ramadan و Ghobarah) [۶] نام برد. اصول کار مشترک تمام تحقیقات فوق بر انتخاب یک تیر الاستیک به جای المان تیر رابط بوده است که در هر انتهای آن دو گره منطبق بر هم تعریف شده و مابین این دو گره یک فنر برای مدل کردن اثرات جاری شدن جان تعریف شده است. برای یافتن سختی فنرهای مذکور، بررسی آزمایشهای انجام شده روی تیر رابط لازم است. در ادامه مدل به کار رفته در این مقاله توضیح داده شده و صحت عملکرد آن بررسی میشود.

### مدل سازی تیر رابط

در این مقاله یک مدل اجزاء محدود برای تیر رابط در نظر گرفته شده و سپس توسط برنامه کامپیوتری که در همین ارتباط نوشته شده رفتار قابهای EBF مورد بررسی قرار گرفته است. این مدل شامل سه المان است، یکی المان جان که شبیه المانهای غشائی است و توابع شکل خاصی برای آن در نظر گرفته شده است و دیگری دو المان بال که از نوع المان تیر است. ماتریس سختی کل تیر رابط از



اکنون ماتریس سختی را بدست می‌آوریم. روابط کرنش - تغییر مکان را به این صورت می‌توان نوشت:

$$\varepsilon_w = \begin{bmatrix} \frac{2}{h} \frac{\partial}{\partial \xi} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{w} \frac{\partial}{\partial \eta} & 0 \\ \frac{2}{w} \frac{\partial}{\partial \eta} & \frac{2}{h} \frac{\partial}{\partial \xi} & 0 \end{bmatrix} N_w d_w = B_w d_w \quad (۶)$$

که در آن  $B_w$  ماتریسی  $3 \times 12$  به شکل زیر می‌باشد.

$$B_w = \begin{bmatrix} \frac{-1}{2h}(1-\eta) & 0 & 0 & \frac{-1}{2h}(1+\eta) \\ 0 & \frac{-1}{4w}(2-3\xi+\xi^3) & \frac{-h}{8w}(-1+\xi+\xi^2-\xi^3) & 0 \\ \frac{-1}{2w}(1-\xi) & \frac{1}{4h}(1-\eta)(-3+3\xi^2) & \frac{1}{8}(1-\eta)(1+2\xi-3\xi^2) & \frac{1}{2w}(1-\xi) \\ 0 & 0 & \frac{1}{2h}(1+\eta) & 0 \\ \frac{1}{4w}(2-3\xi+\xi^3) & \frac{h}{8w}(-1+\xi+\xi^2-\xi^3) & 0 & \frac{1}{4w}(2+3\xi-\xi^3) \\ \frac{1}{4h}(1+\eta)(-3+3\xi^2) & \frac{1}{8}(1+\eta)(1+2\xi-3\xi^2) & \frac{1}{2w}(1+\xi) & \frac{1}{4h}(1+\eta)(3-3\xi^2) \\ 0 & \frac{1}{2h}(1-\eta) & 0 & 0 \\ \frac{h}{8w}(1+\xi-\xi^2-\xi^3) & 0 & \frac{-1}{4w}(2+3\xi-\xi^3) & \frac{-h}{8w}(1+\xi-\xi^2-\xi^3) \\ \frac{1}{8}(1+\eta)(1-2\xi-3\xi^2) & \frac{-1}{2w}(1+\xi) & \frac{1}{4h}(1-\eta)(3-3\xi^2) & \frac{1}{8}(1-\eta)(1-2\xi-3\xi^2) \end{bmatrix} \quad (۷)$$

در این روابط داریم:

$w =$  عرض جان تیر رابط  $h =$  طول تیر رابط

اکنون با معلوم بودن ماتریس  $B_w$  ماتریس سختی المان جان به روش اجزاء محدود قابل محاسبه است:

$$K_w = \int_v B_w^T D B_w dv = t_w \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 B_w^T D B_w |J| d\xi d\eta$$

$$|J| = \begin{vmatrix} \frac{h}{2} & 0 \\ 0 & \frac{w}{2} \end{vmatrix} = \frac{hw}{4}$$

$$D^e = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$t_w =$  ضخامت جان تیر

(۸)

اگر المان در وضعیت الاستیک باشد به جای ماتریس  $D$  از  $D^e$  استفاده می‌شود و اگر المان در وضعیت الاستو پلاستیک باشد به جای ماتریس  $D$  از  $D^{ep}$  استفاده می‌شود، که در آن  $D^{ep}$  از قانون جاری شدن وابسته<sup>۱</sup> تبعیت میکند [۱] و در رابطه تنش - کرنش

و  $\beta$  را بر حسب تغییر مکانهای گرهی بدست آورد. با جایگذاری ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  در رابطه (۲) مقادیر  $U$  و  $V$  و  $\theta$  بدست می‌آید [۲].

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} N_{U1} & 0 & 0 & N_{U2} & 0 & 0 & N_{U3} & 0 & 0 & N_{U4} & 0 & 0 \\ 0 & N_{V1} & N_{V2} & 0 & N_{V3} & N_{V4} & 0 & N_{V5} & N_{V6} & 0 & N_{V7} & N_{V8} \\ 0 & N_{\theta 1} & N_{\theta 2} & 0 & N_{\theta 3} & N_{\theta 4} & 0 & N_{\theta 5} & N_{\theta 6} & 0 & N_{\theta 7} & N_{\theta 8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ \theta_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ \theta_2 \\ U_3 \\ V_3 \\ \theta_3 \\ U_4 \\ V_4 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

که در آن داریم:

$$N_{U1} = \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)$$

$$N_{U2} = \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)$$

$$N_{U3} = \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)$$

$$N_{U4} = \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)$$

$$N_{V1} = \frac{1}{8}(1-\eta)(2-3\xi+\xi^3)$$

$$N_{V2} = \frac{h}{16}(1-\eta)(-1+\xi+\xi^2-\xi^3)$$

$$N_{V3} = \frac{1}{8}(1+\eta)(2-3\xi+\xi^3)$$

$$N_{V4} = \frac{h}{16}(1+\eta)(-1+\xi+\xi^2-\xi^3)$$

$$N_{V5} = \frac{1}{8}(1+\eta)(2+3\xi-\xi^3)$$

$$N_{V6} = \frac{h}{16}(1+\eta)(1+\xi-\xi^2-\xi^3)$$

$$N_{V7} = \frac{1}{8}(1-\eta)(2+3\xi-\xi^3)$$

$$N_{V8} = \frac{h}{16}(1-\eta)(1+\xi-\xi^2-\xi^3)$$

$$N_{\theta 1} = \frac{-1}{4h}(1-\eta)(-3+3\xi^2)$$

$$N_{\theta 2} = \frac{1}{8}(1-\eta)(-1-2\xi+3\xi^2)$$

$$N_{\theta 3} = \frac{-1}{4h}(1+\eta)(-3+3\xi^2)$$

$$N_{\theta 4} = \frac{1}{8}(1+\eta)(-1-2\xi+3\xi^2)$$

$$N_{\theta 5} = \frac{-1}{4h}(1+\eta)(3-3\xi^2)$$

$$N_{\theta 6} = \frac{1}{8}(1+\eta)(-1+2\xi+3\xi^2)$$

$$N_{\theta 7} = \frac{-1}{4h}(1-\eta)(3-3\xi^2)$$

$$N_{\theta 8} = \frac{1}{8}(1-\eta)(-1+2\xi+3\xi^2)$$

(۴)

به طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$U_w = N_w d_w$$

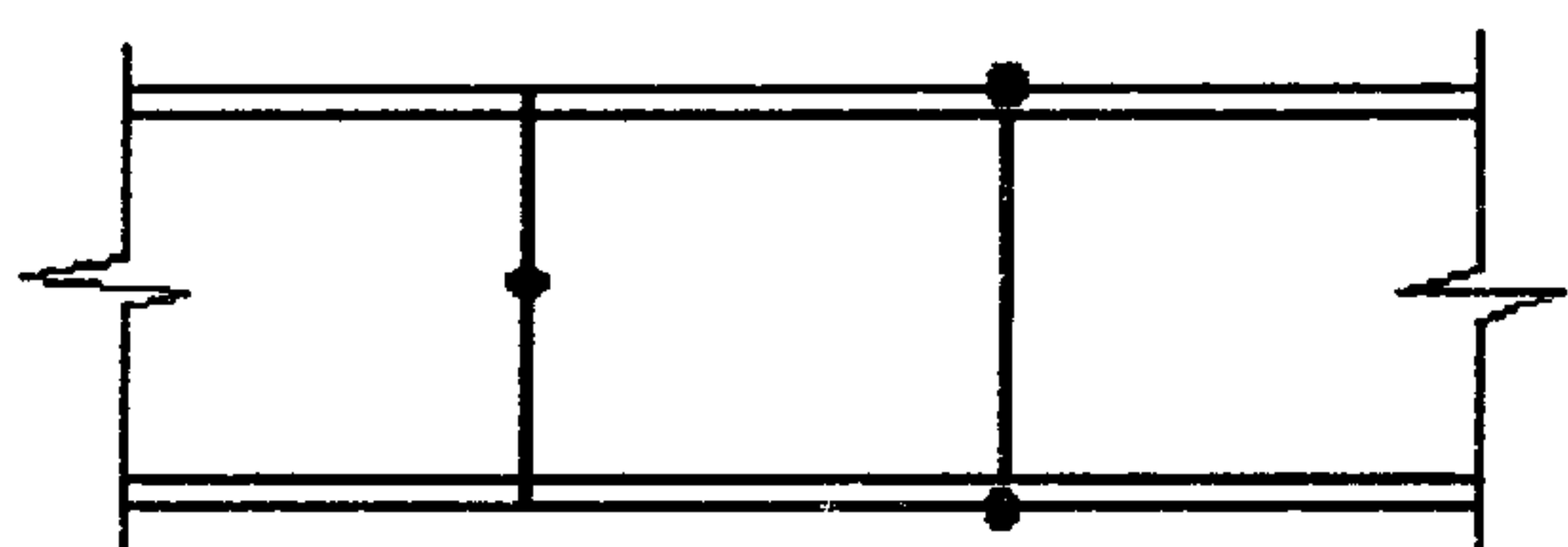
(۵)

جدول ۱: ضرائب وزنی گوس.

نقطه گوس	$W_i$	$W_j$
۱	۱/۰	۰/۳۴۷۸۵
۲	۱/۰	۰/۶۵۲۱۵
۳	۱/۰	۰/۶۵۲۱۵
۴	۱/۰	۰/۳۴۷۸۵
۵	۱/۰	۰/۳۴۷۸۵
۶	۱/۰	۰/۶۵۲۱۵
۷	۱/۰	۰/۶۵۲۱۵
۸	۱/۰	۰/۳۴۷۸۵

### المان اتصال

برای اتصال المان تیر رابط به دیگر المانهای موجود از جمله المان تیر نیاز به یک المان اتصال می‌باشد [۸].



المان تیر رابط      المان اتصال      المان تیر  
شکل ۴: محل قرارگیری المان اتصال.

این المان اتصال باید مطابق شکل (۴) بتواند از یک سو به المان تیر با سه درجه آزادی و از سوی دیگر به المان تیر رابط با ۶ درجه آزادی وصل شود، پس نیاز است خود این المان دارای ۹ درجه آزادی باشد. ساختار المان اتصال همانند المان تیر رابط بوده که درجات آزادی در یک طرف آن بر هم منطبق گشته‌اند. جابجائی درجات آزادی بوسیله ضرب دو ماتریس انتقال انجام می‌پذیرد [۸].

از آنجا که در تحلیل لاگرانژین اصلاح شده و هنگام منظور کردن اثرات غیر خطی، سختی المانها به وضعیت و هندسه تغییر شکل یافته سازه وابسته است، یک تحلیل غیرخطی لازم است. و به علت اینکه حالت سازه دائماً تغییر می‌کند بنابراین لازم است که تحلیل به صورت یک سری افزایش بار یا افزایش تغییر مکان صورت گیرد و در هر مرحله، ماتریس سختی بر اساس هندسه تغییر شکل یافته مرحله قبل نوشته شود [۳]. همچنین در هر مرحله برای رسیدن به حالت تعادل به دلیل رفتار غیر خطی استفاده از

الاستوپلاستیک به کار گرفته میشود و از روابط زیر محاسبه میگردد.

$$D^{ep} = D^e - \frac{D^e \left( \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right)^T D^e}{\left( \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right)^T D^e \left( \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right)} \quad (9)$$

که در آن طبق معیار ون میسر

$$f = J_2 - \frac{\sigma_y^2}{3}$$

$$J_2 = \frac{1}{3} (\sigma_{xx}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}^2)$$

تنش تسلیم تحت بار محوری تنها  $\sigma_y$

برای محاسبه  $\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$  خواهیم داشت.

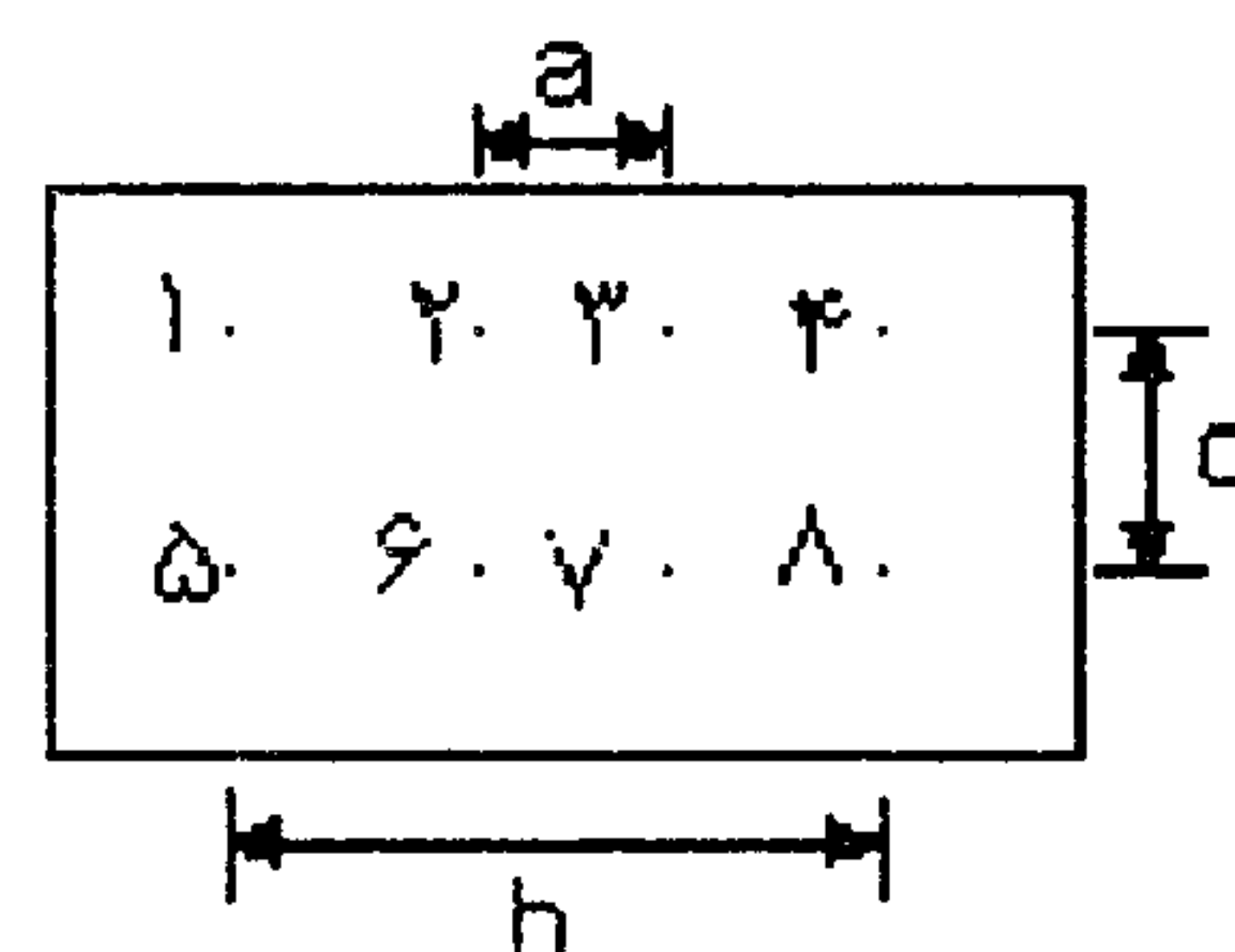
$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} = \begin{cases} \frac{2\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{3} \\ \frac{2\sigma_{yy} - \sigma_{xx}}{3} \\ 2\tau_{xy} \end{cases} \quad (10)$$

### روش انتگرال گیری گوس

معادله (۸) می‌تواند به روش عددی بوسیله  $2 \times 4$  نقطه گوس انتگرال گیری شود. در این صورت شکل معادله (۸) به صورت زیر تبدیل می‌شود [۲].

$$K_w = \frac{hwt_w}{4} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 w_i w_j [B_w^T D B_w]_{\xi=\xi_i, \eta=\eta_j} \quad (11)$$

که در آن  $W_j$  و  $W_i$  ضرائب وزنی هستند که در جدول (۱) آمده است.



$$a = 0.33998$$

$$b = 0.86114$$

$$c = 0.57735$$

شکل ۳: نقاط گوس در جان تیر رابط.



همانطور که مشاهده میشود نتایج تحلیل با نتایج آزمایش با دقت خوبی مطابقت دارد و جاری شدن جان در دو حالت به طور همزمان بوده است .

روش تکرار لازم است. در این پروژه از روش کنترل بارنیوتن-رافسون استفاده شده است [۷] .

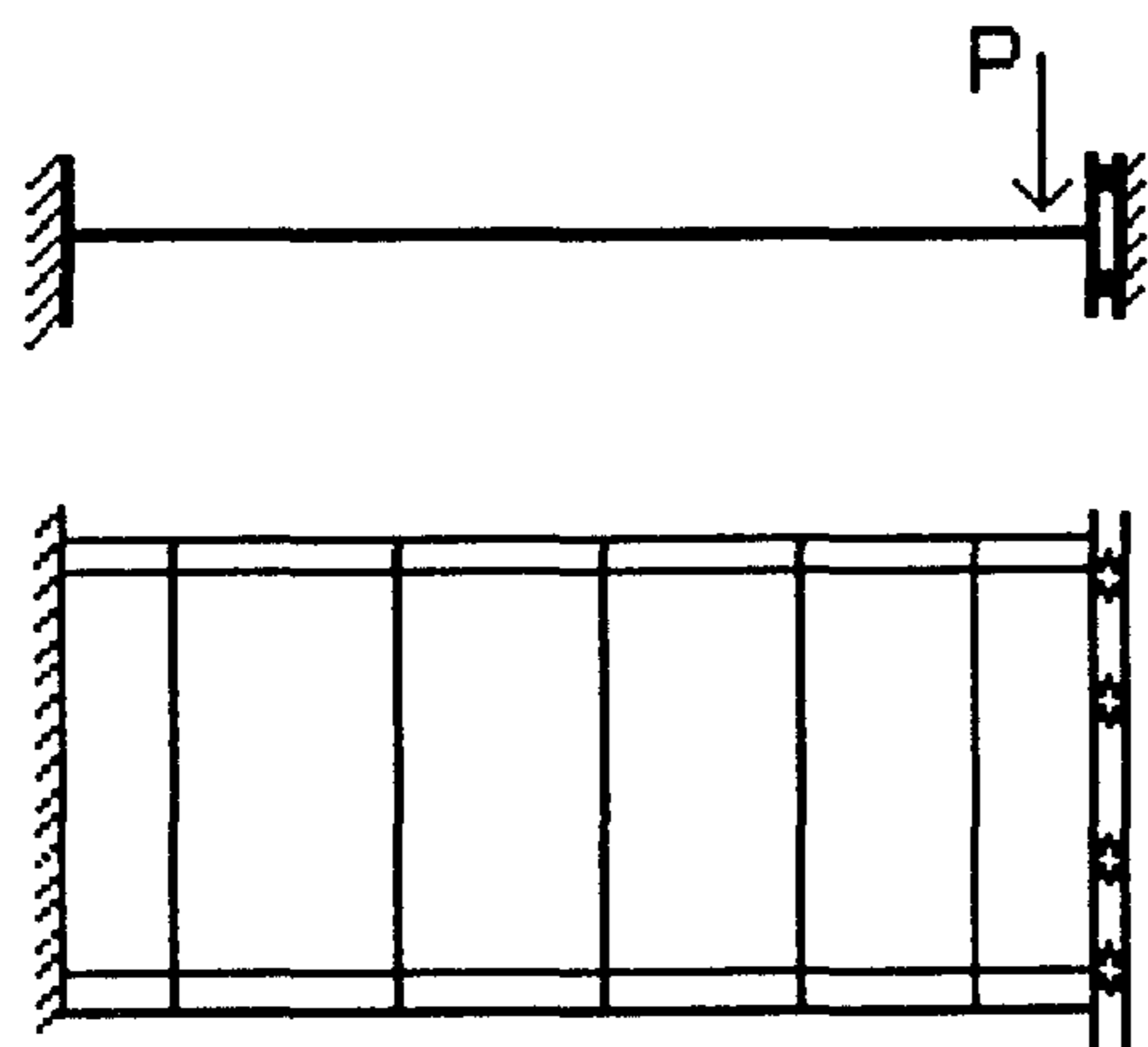
### کنترل نتایج آنالیز در مقایسه با آزمایشات

#### مقایسه (۱)

برای مقایسه و کنترل درستی مدلسازی تیر رابط در برنامه کامپیوتری، مدل به کاررفته در آزمایش ارائه شده در مرجع [۴] را توسط برنامه مدل می‌کنیم (شکل ۵). یک تیر طره را در نظر می‌گیریم و دو نوع بارگذاری برشی و خمشی در انتهای آزاد آن قرار می‌دهیم. مشخصات مقطع در برنامه، متناسب با مرجع [۴] مطابق مقطع W18\*35 انتخاب شده است و بارگذاری به روش گام به گام افزایش می‌یابد و جاری شدن جان تیر رابط منظور می‌شود [۸]. نتایج تغییر مکان انتهای تیر طره حاصل از برنامه کامپیوتری با نمونه ۴ ارائه شده در آزمایش مرجع [۴] مقایسه شده و حاصل این مقایسه در شکل (۶) رسم شده است.

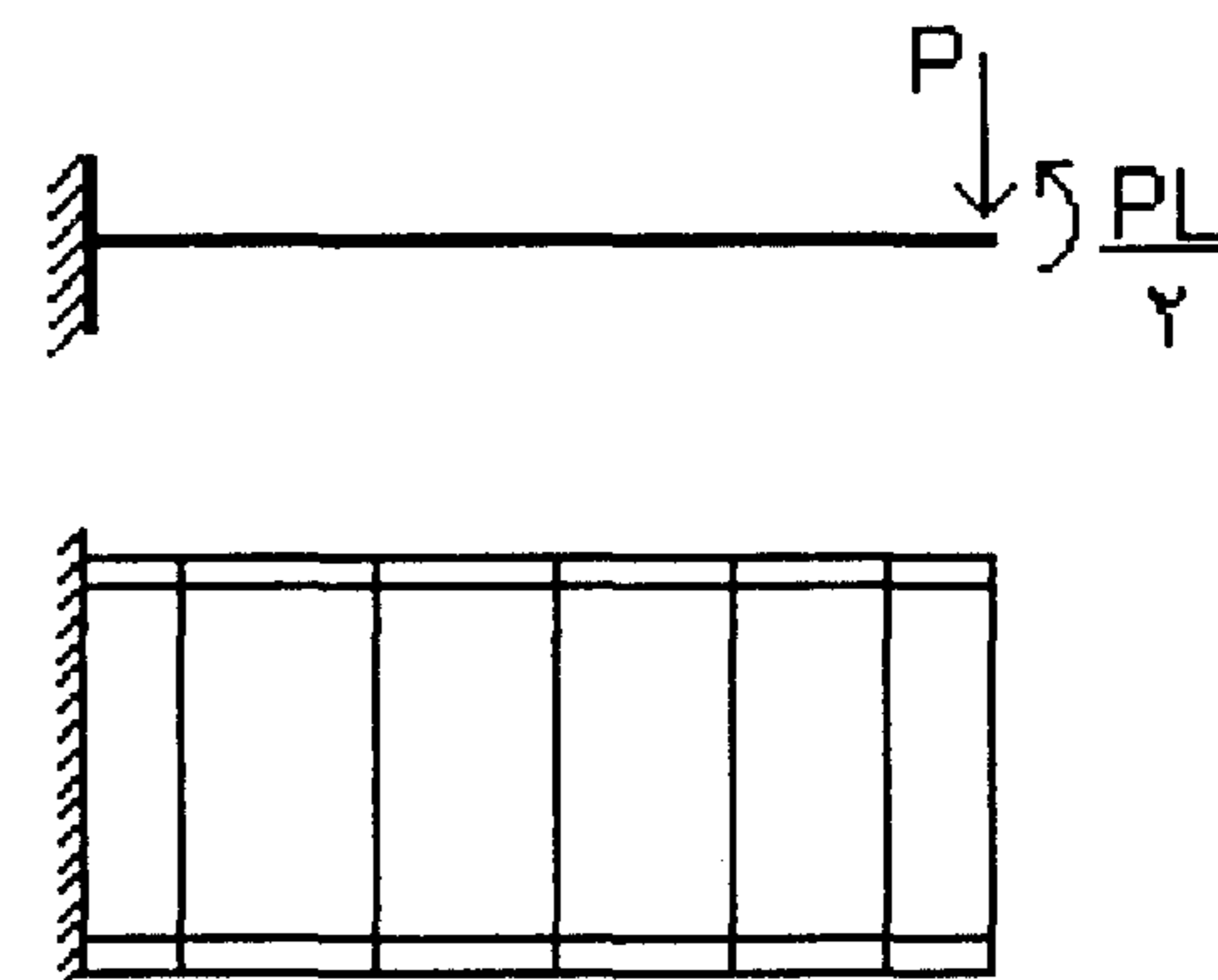
#### مقایسه (۲)

مثال دوم برای مقایسه و کنترل درستی مدلسازی تیر رابط در برنامه کامپیوتری با نمونه آزمایشی در مرجع [۹] است. مشخصات مقطع در برنامه، منطبق با مرجع [۹] است (شکل ۷).

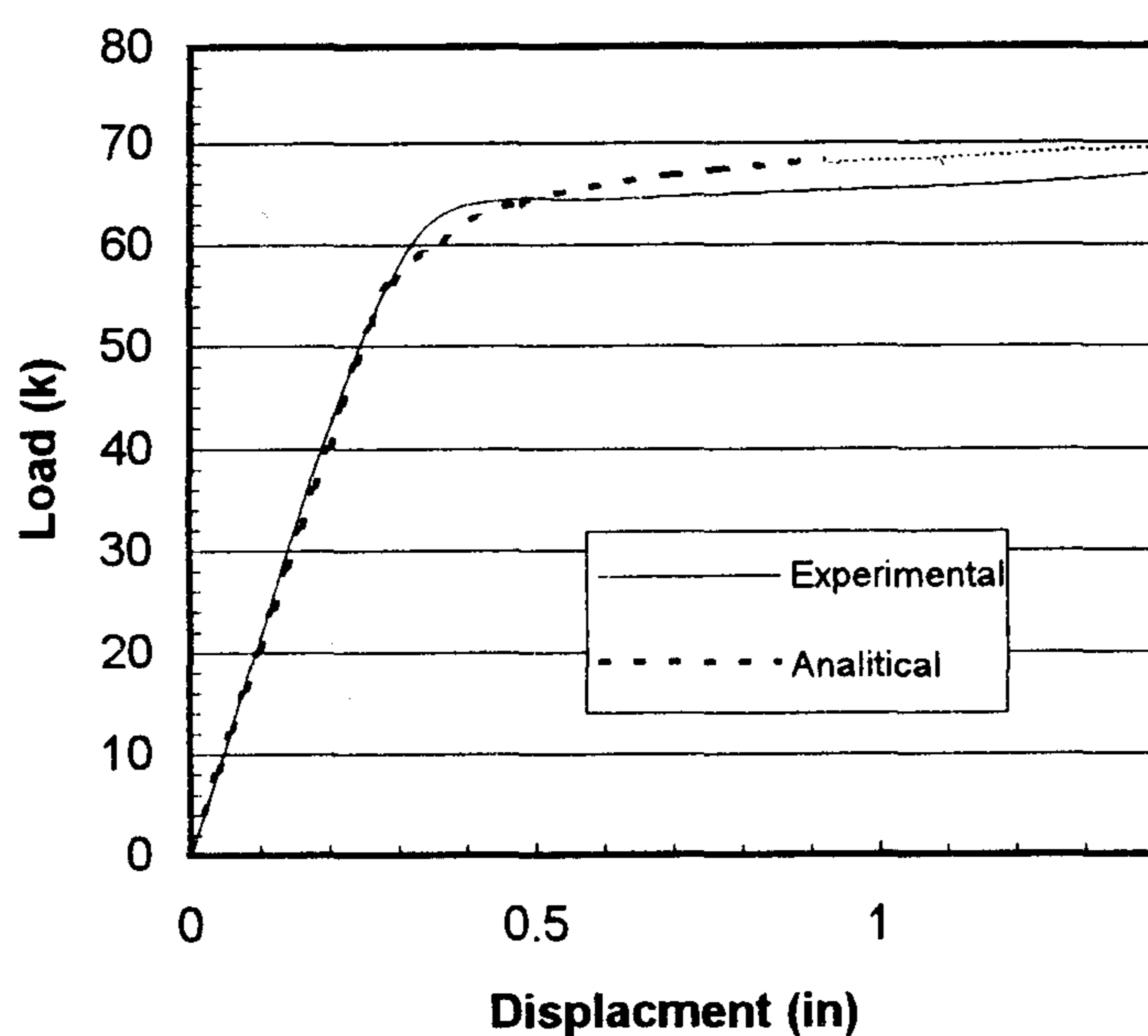


شکل ۷: مدل به کار رفته در مقایسه (۲).

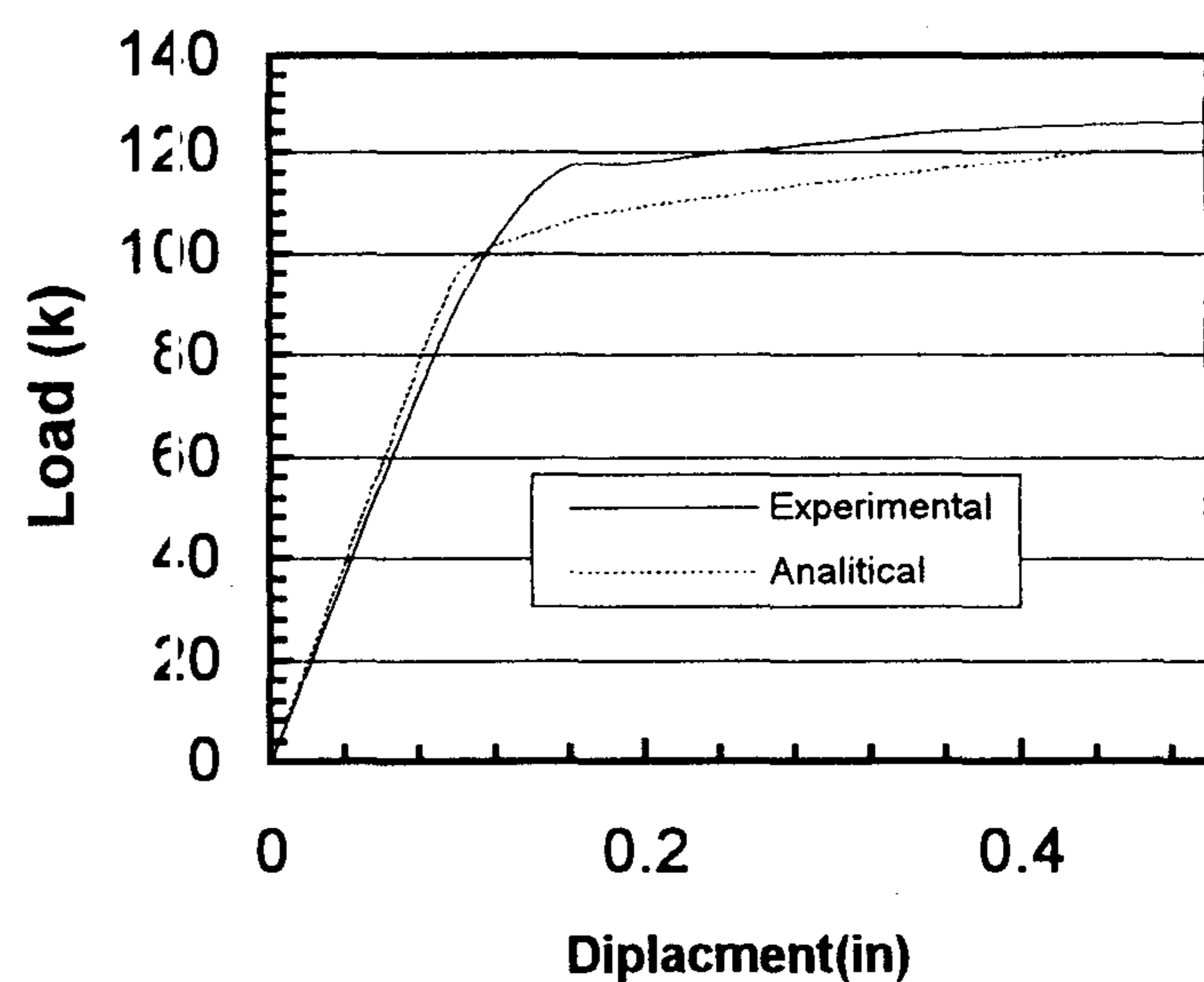
نتایج تغییر مکان انتهای تیر حاصل از برنامه کامپیوتری با نتایج آزمایش ارائه شده در مرجع [۹] مقایسه شده و حاصل این مقایسه در شکل (۸) رسم شده است و درستی عملکرد المان به کار رفته در آنالیز قابل مشاهده است.



شکل ۵: مدل به کار رفته در مقایسه (۱)



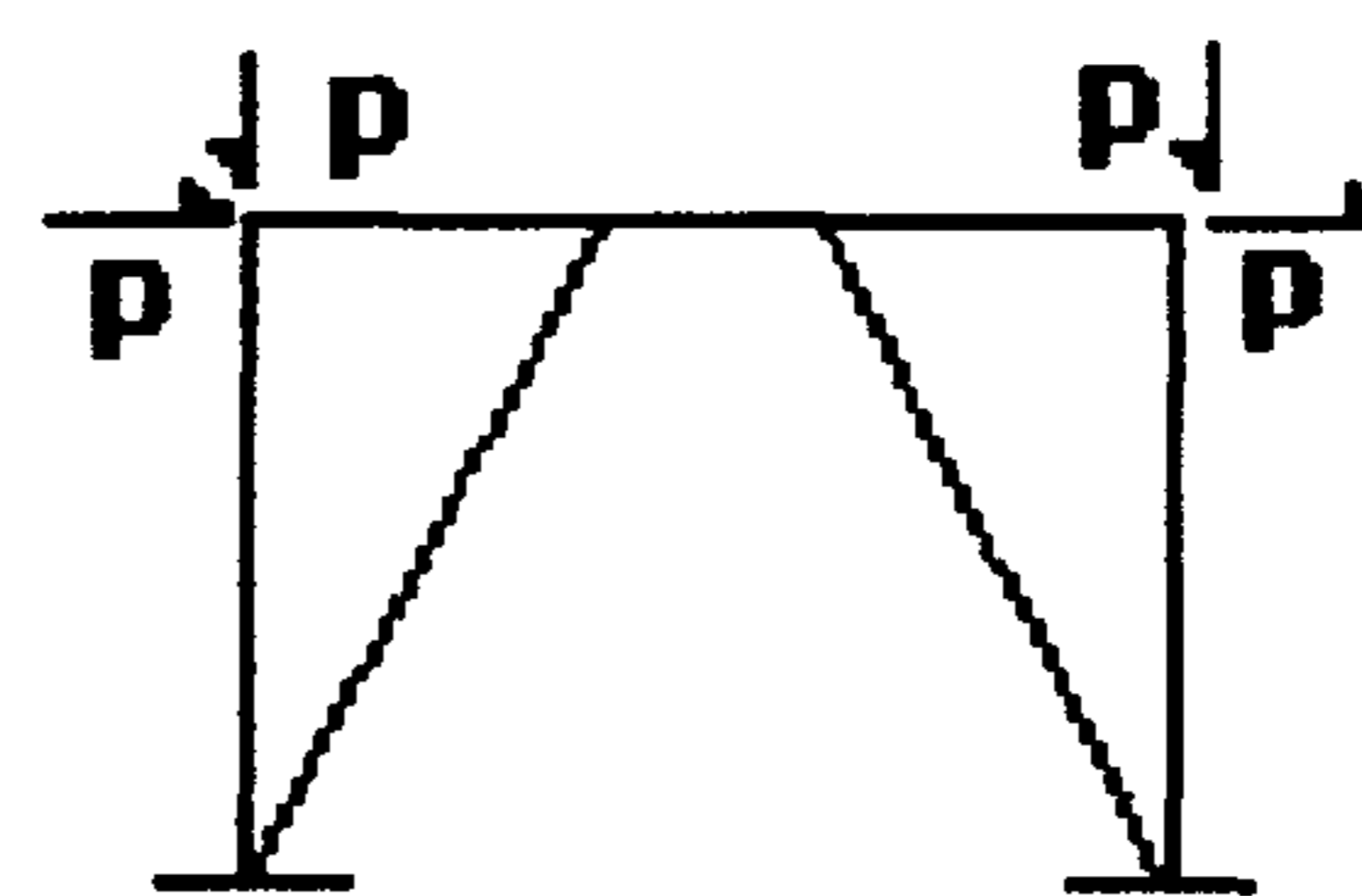
شکل ۸: مقایسه بین نتایج برنامه کامپیوتری و آزمایش (نتایج با استفاده از ۴ المان تیر رابط در برنامه کامپیوتری بدست آمده است).



شکل ۶: مقایسه بین نتایج برنامه کامپیوتری و آزمایش (نتایج با استفاده از ۴ المان تیر رابط در برنامه کامپیوتری بدست آمده است).

مثال (۱) :

برای بررسی عملکرد مدل تیر رابط در یک قاب EBF، مثال زیر در نظر گرفته شده است. در این مثال جهت سهولت بررسی عملکرد این نوع قابها، یک قاب یک دهانه و یک طبقه در نظر گرفته می شود. ارتفاع این قاب 3 m و طول دهانه آن 4.4m است. پای ستونها کاملاً گیردار بوده و مهاربندها به صورت مفصلی به ستون و تیر متصل شده اند. برای مقطع تیر و ستون از پروفیل IPE300 استفاده شده است. مقطع مهاربندها نیز از ناودانی (2\*UNP120) انتخاب شده است (شکل ۹).



شکل ۹: قاب مثال (۱).

این قاب ابتدا بدون المان تیر رابط تحت تحلیل غیرخطی الاستوپلاستیک قرار میگیرد و رفتار سازه تا مرز گسیختگی کامل و تشکیل مکانیزم تعیین میگردد. خلاصه این رفتار در جدول (۲) و ترتیب تشکیل مفاصل خمشی و کمانش عضو مهاربند در شکل (۱۰) آمده است.

جدول ۲: نتایج تحلیل قاب بدون المان تیر رابط.

پدیده مشاهده شده	مقدار بار (تن)
کمانش مهاربند فشاری	p=70.44
تشکیل اولین مفصل خمشی	p=84.1
تشکیل دومین مفصل خمشی	p=86.13
تشکیل سومین مفصل خمشی	p=89.37
تشکیل چهارمین مفصل خمشی و ناپایداری سازه	p=90.14

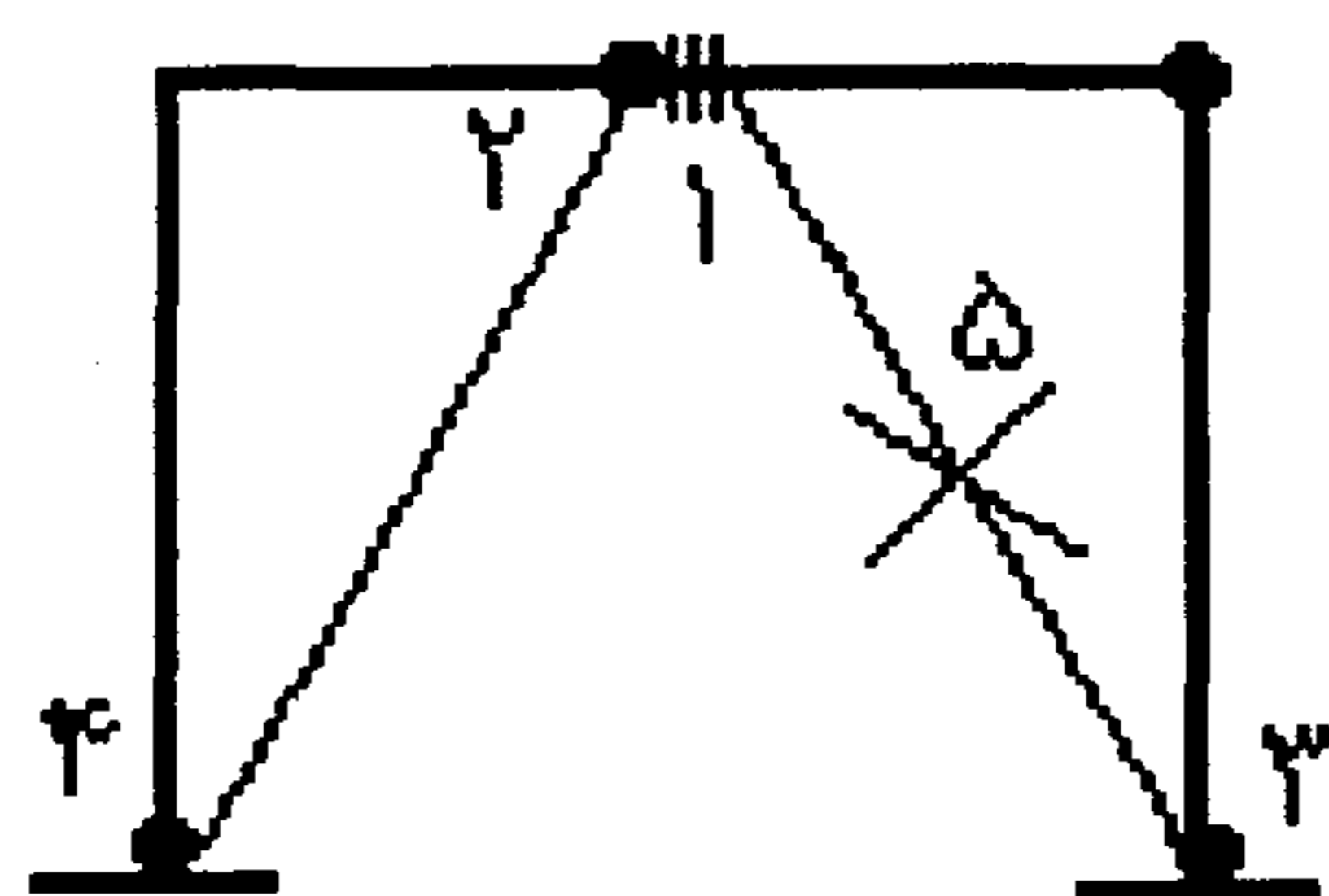
شکل ۱۰: ترتیب تشکیل مفاصل خمشی و کمانش مهاربند فشاری در قاب مثال (۱) - بدون المان تیر رابط

حال همین قاب را با استفاده از المان تیر رابط تحلیل میکنیم. از آنجا که در مدلسازی تیر رابط از سه المان استفاده شده است و هر المان در هشت نقطه گوس قابلیت جاری شدن دارد بنابراین مجموعاً ۲۴ نقطه گوس برای جاری شدن موجود می باشد. خلاصه تحلیل این قاب در جدول (۳) و ترتیب تشکیل مفاصل خمشی و کمانش عضو مهاربند و جاری شدن جان تیر رابط در شکل (۱۱) آمده است.

با به کار بردن المان تیر رابط و آنالیز سازه مشاهده می کنیم که کمانش مهاربند فشاری در سازه به تعویق می افتد.

جدول ۳: نتایج تحلیل قاب با در نظر گرفتن المان تیر رابط.

پدیده مشاهده شده	مقدار بار (تن)
هیچ یک از اعضای سازه ای جاری نشده است	تا p=46
جاری شدن جان تیر رابط در ۱۴ نقطه گوس	تا p=51
جاری شدن جان تیر رابط در همه ۲۴ نقطه گوس	تا p=54
تشکیل اولین مفصل خمشی	p=67.52
تشکیل دومین مفصل خمشی	p=70.17
تشکیل سومین مفصل خمشی	p=71.1
کمانش مهاربند فشاری	p=83
تشکیل چهارمین مفصل خمشی و ناپایداری سازه	p=88.17



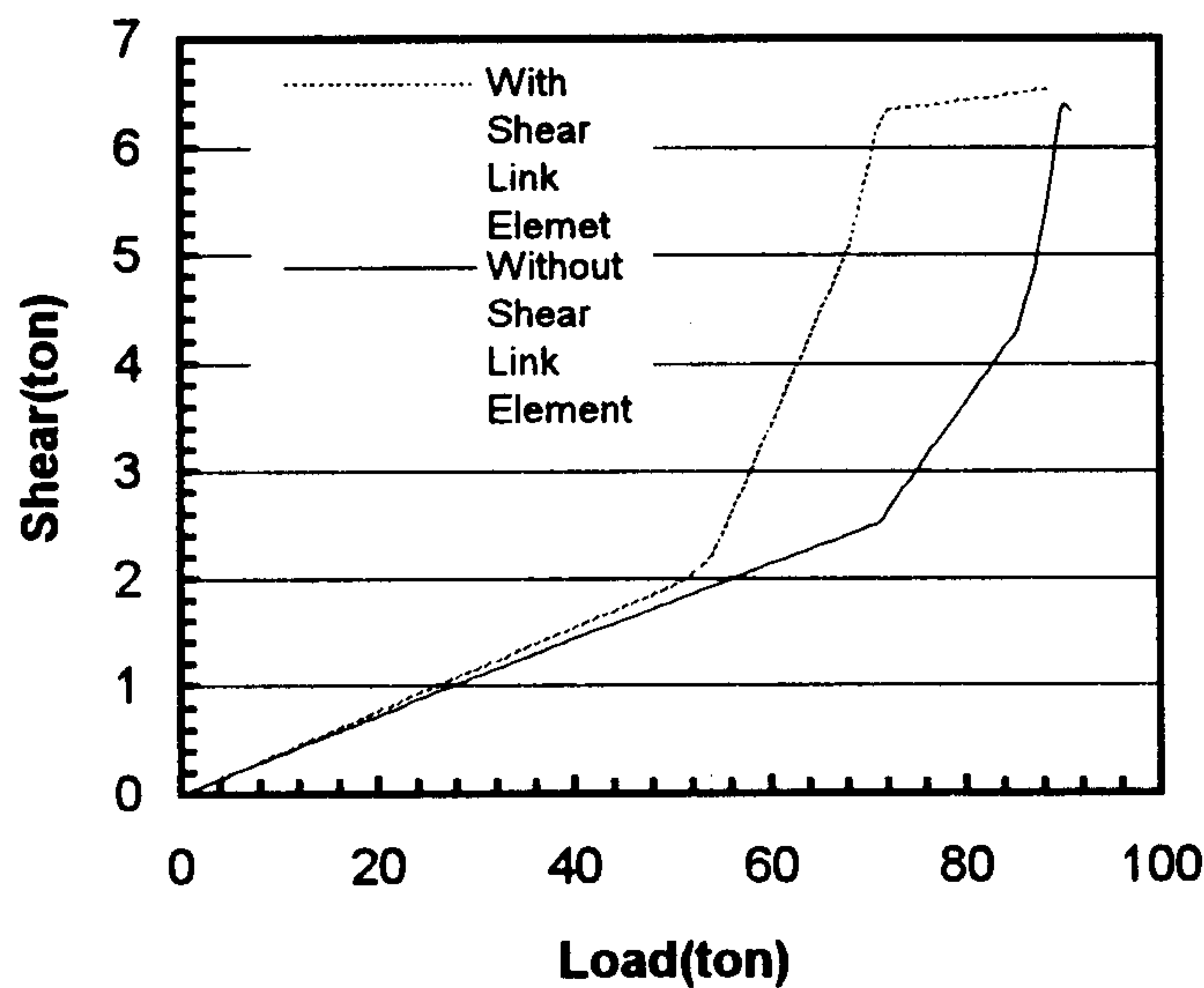
شکل ۱۱: ترتیب تشکیل مفاصل خمشی و کمانش مهاربند فشاری در قاب مثال (۱) - با المان تیر رابط.



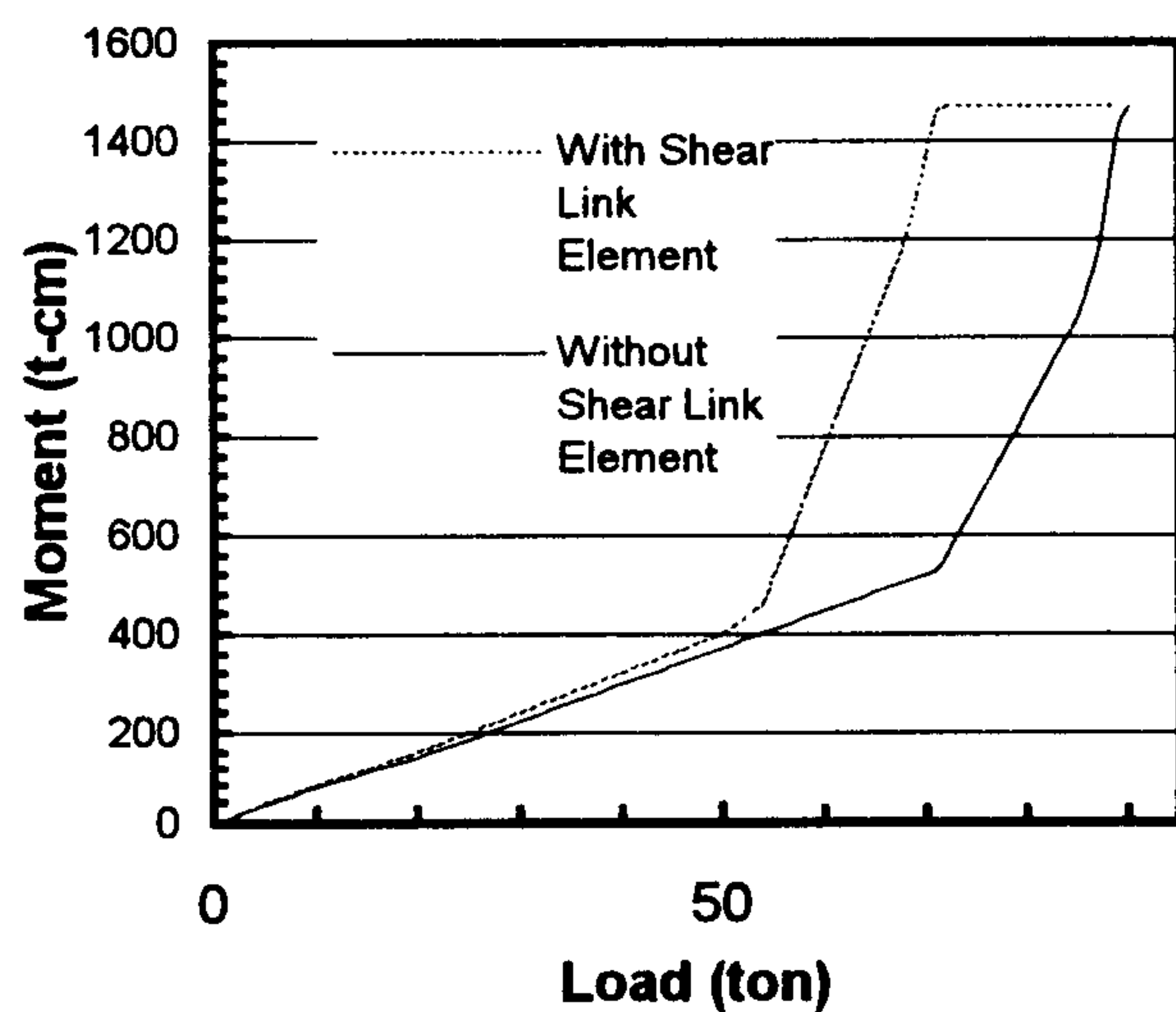
جاری شدن جان تیر رابط به سرعت افزایش می‌یابد و مفاصل خمشی سریعتر تشکیل می‌گردد.

**مثال (۲):**

به منظور مقایسه هر چه بهتر ما بین قابهای EBF و CBF در این مثال ۴ قاب ۶ طبقه و یک دهانه با مهاربندهای مختلف مطابق شکل (۱۶) تا مرز گسیختگی



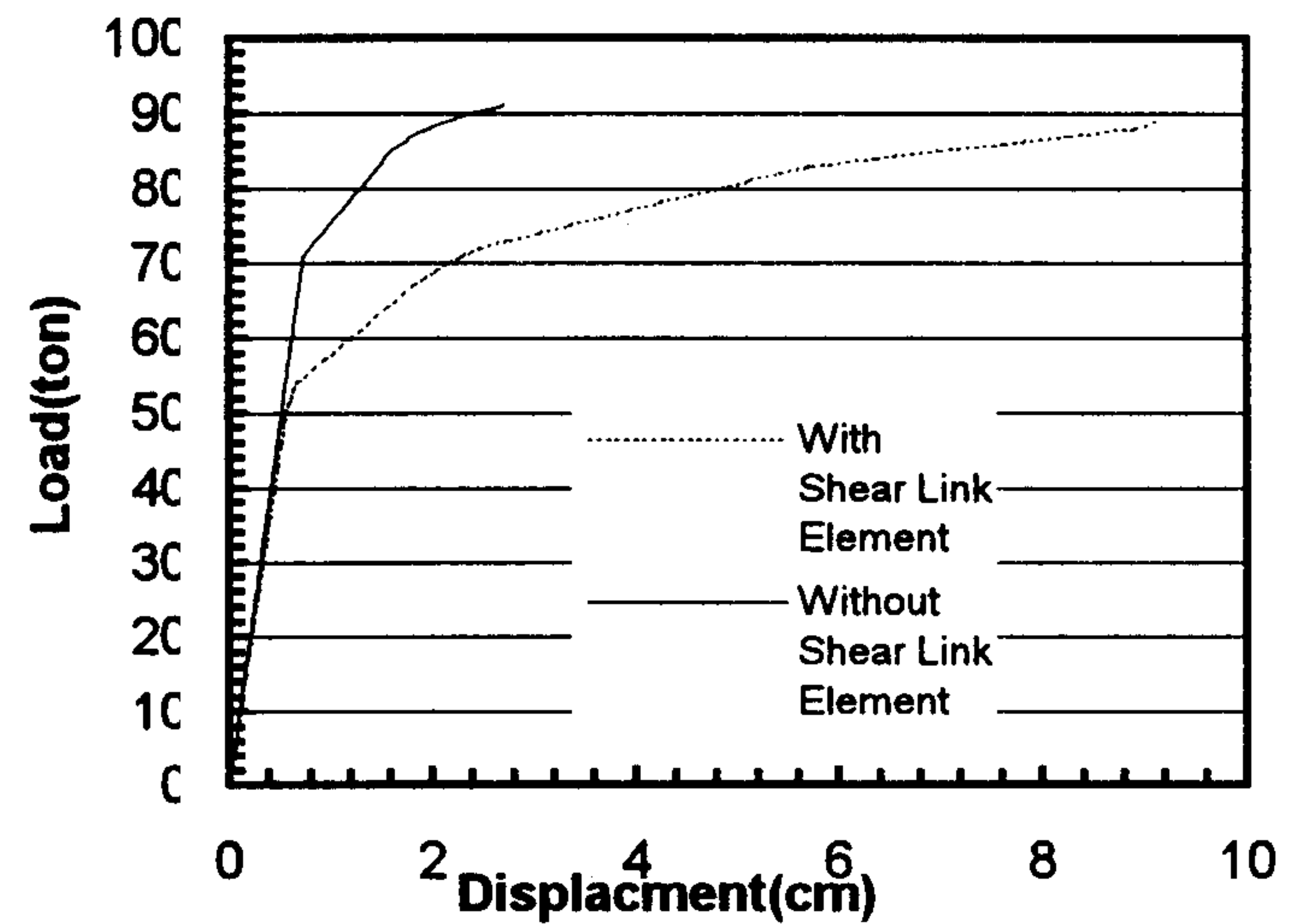
شکل ۱۴: نمودار برش انتهایی بالائی ستون سمت چپ.



شکل ۱۵: نمودار لنگر خمشی انتهایی بالائی ستون سمت چپ.

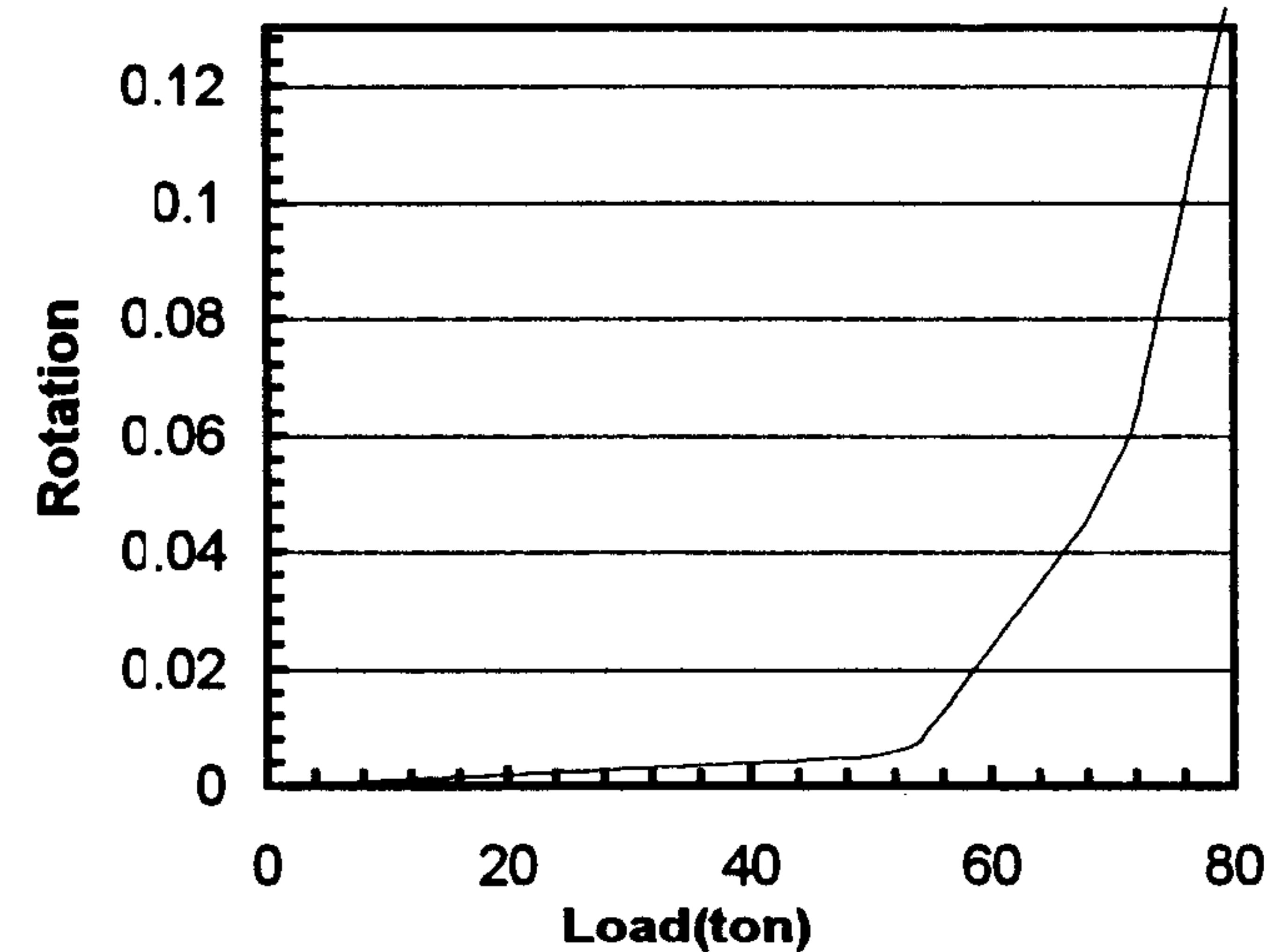
مورد تحلیل قرار می‌گیرند. طرح اولیه این قابها بر اساس روش تنش مجاز انجام شده است. بارگذاری جانبی مطابق با آئین نامه زلزله ایران محاسبه گردیده و بارهای ثقلی در هر گام ثابت نگه‌داشته میشود. بارهای جانبی به تدریج افزوده شده و افزایش بارگذاری برای کلیه قابها تا مرز گسیختگی ادامه می‌یابد. خصوصیات پروفیلها در جدول (۴) آمده است.

نمودار نیرو-تغییر مکان برای این قاب در شکل (۱۲) رسم شده است. در این منحنی تغییر مکان افقی بالای ستون سمت چپ ملاک بوده است. مشاهده میشود با در نظر گرفتن رفتار صحیح تیر رابط هنگام مدل کردن قاب، شکل پذیری سازه به خوبی مدل میشود و افزایش شکل پذیری در این نوع قابها به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: نمودار نیرو تغییر مکان قاب.

همچنین نمودار دوران تیر رابط بر حسب افزایش بارگذاری نیز در نمودار شکل (۱۳) رسم شده است.



شکل ۱۳: نمودار دوران تیر رابط بر حسب بارگذاری جانبی.

بنا بر توصیه‌های طراحی حداکثر مجاز دوران تیر رابط برای جلوگیری از تخریب سازه ۰/۰۶ رادیان است. بنابراین حداکثر بار قابل تحمل قاب از نمودار فوق قابل استخراج است.

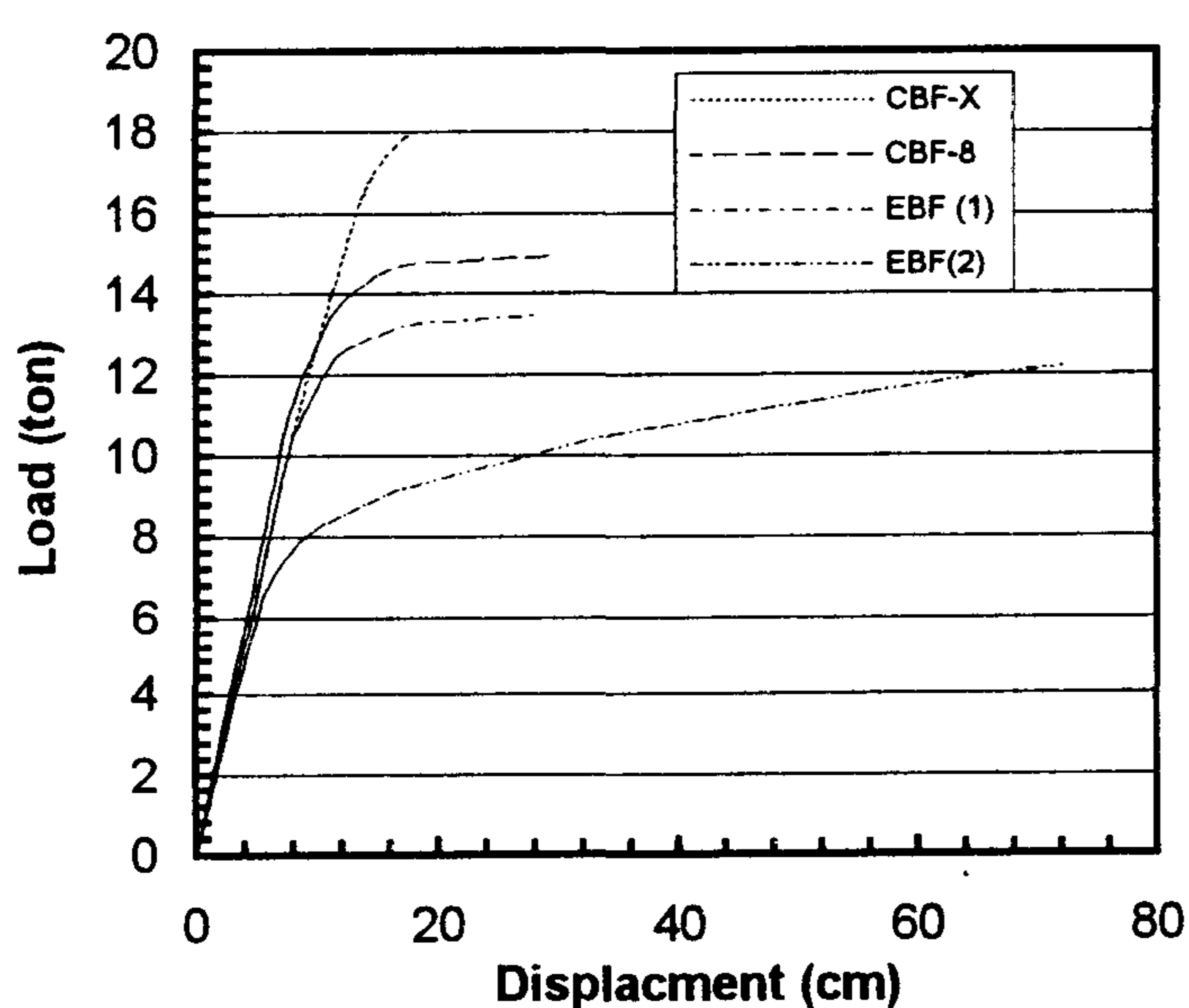
برای بررسی چگونگی تغییرات نیروهای داخلی در هر یک از اعضای قاب نمودارهایی جهت بررسی این نیروها در اشکال (۱۴) و (۱۵) رسم شده است. در بررسی اشکال فوق مشاهده میشود لنگر واقعی ایجاد شده در گره‌ها پس از

جدول ۴: خصوصیات پروفیلها در مثال ۲.

IPE 400	مقطع ستونها در ۲ طبقه پائینی
IPE 300	مقطع ستونها در ۲ طبقه وسطی
IPE 240	مقطع ستونها در ۲ طبقه بالایی
IPE 300	مقطع تیرها در ۳ طبقه پائینی
IPE 240	مقطع تیرها در ۳ طبقه بالایی
2*UNP120	مقطع مهاربندها در ۴ طبقه پائینی
2*UNP 80	مقطع مهاربندها در ۲ طبقه بالایی

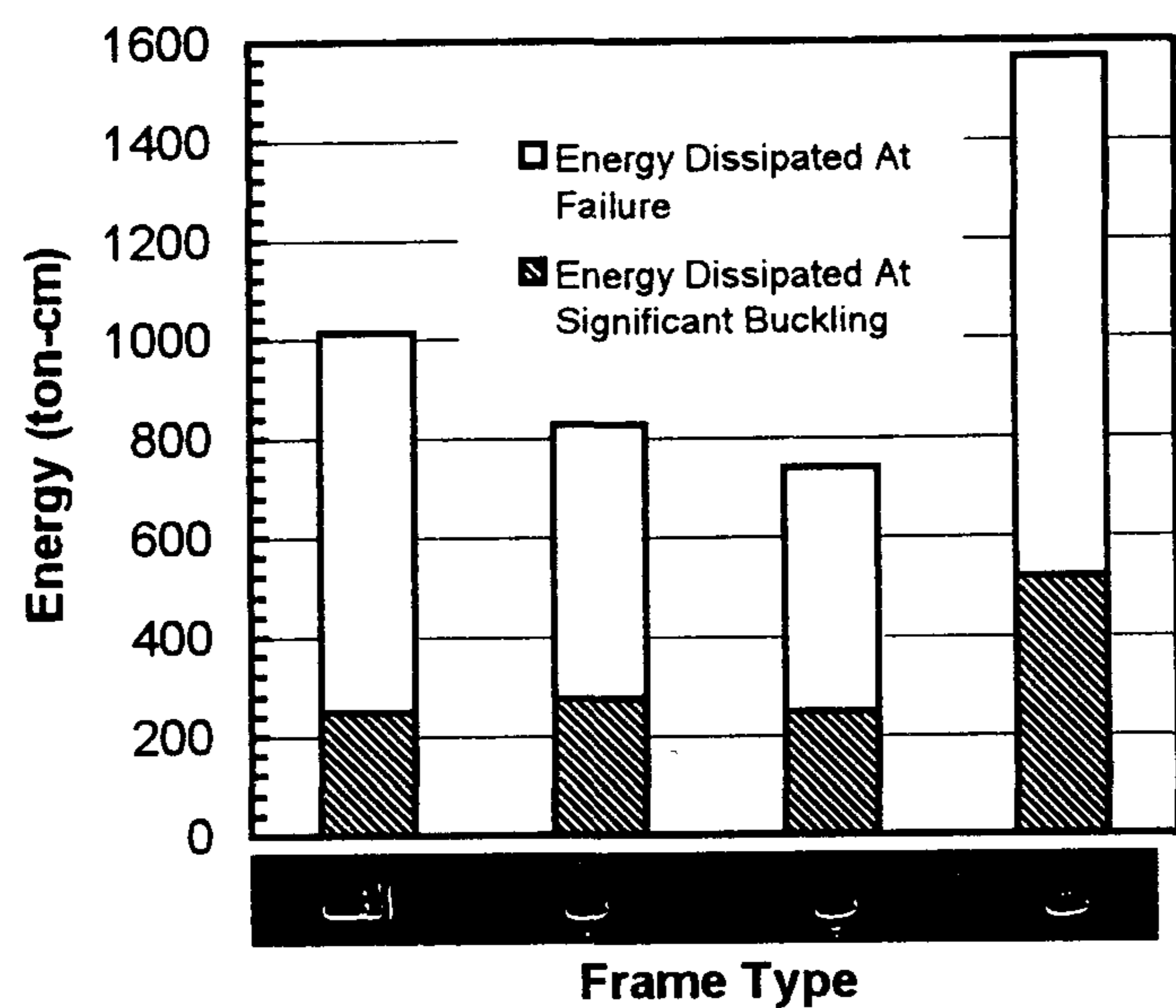
نمودار نیرو- تغییر مکان برای ۴ قاب فوق تا مرز گسیختگی در شکل (۱۷) رسم شده است. در شکل (۱۷) شکل پذیری قاب EBF با به کار بردن المان تیررابط نسبت به بقیه قابها به خوبی نشان داده شده است.

همچنین نمودار انرژی جذب شده قبل و بعد از کماتش مهاربند فشاری برای هر یک از ۴ قاب فوق در شکل (۱۸) رسم شده است. با بررسی این نمودار قابلیت جذب انرژی قاب EBF هنگامی که با المان تیررابط آنالیز می شود، نسبت به سایر قابها نشان داده شده است و مشاهده میشود که قاب EBF انرژی بسیار زیادی را

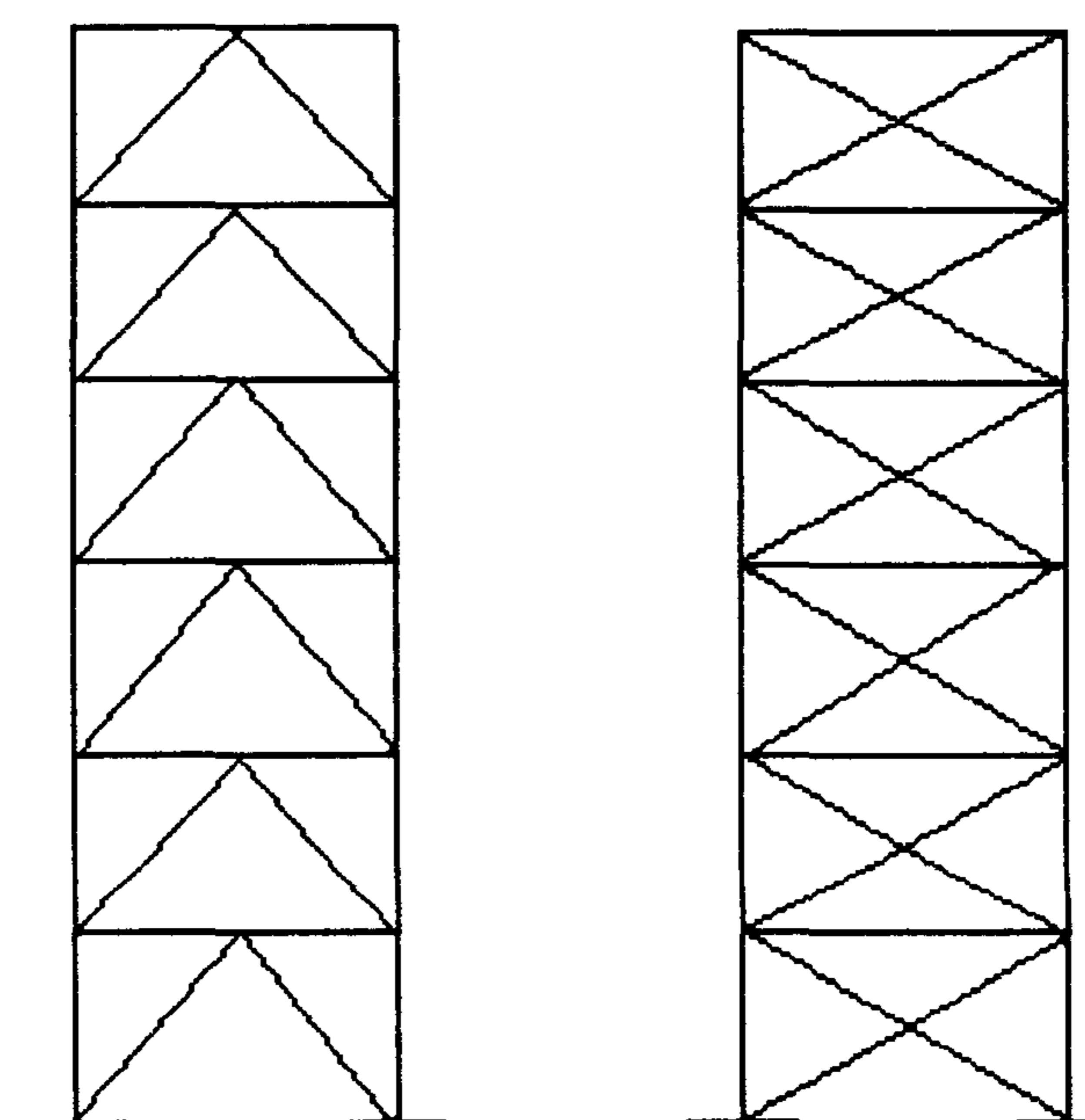


شکل ۱۷: نمودار نیرو-تغییر مکان برای تراز طبقه ۶.

قبل از کماتش کردن مهاربند فشاری مستهلک مینماید که در مورد بارهای زلزله بسیار مطلوب است.

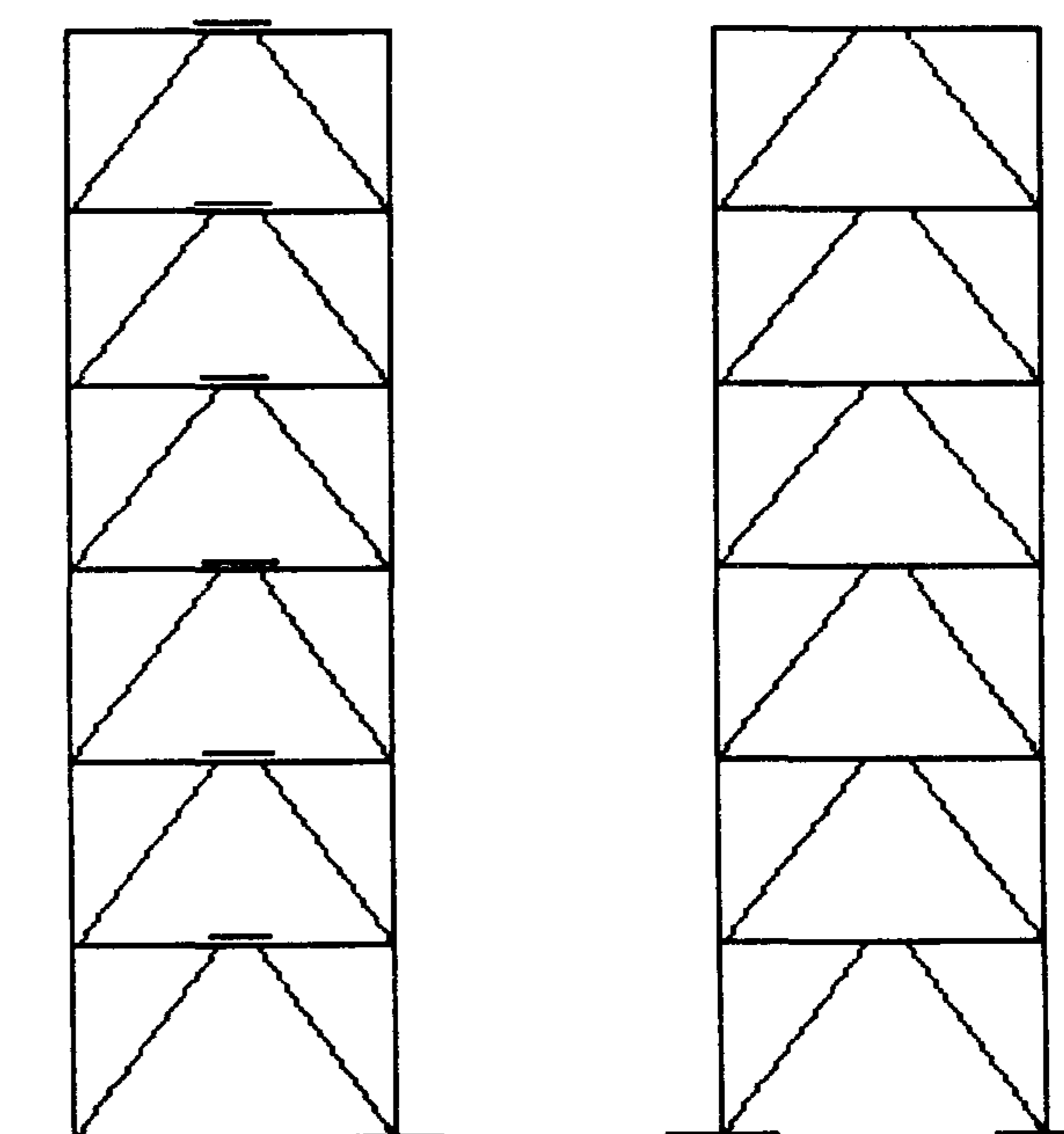


شکل ۱۸: نمودار انرژی جذب شده قبل و بعد از کماتش مهاربند.



CBF-8  
(ب)

CBF-X  
(الف)



EBF(2)  
(ت)

EBF(1)  
(پ)

With Link Beam Element

Without Link Beam Element

شکل ۱۶: قابهای مثال ۲.



## نتیجه گیری

با بررسی اثرات المان تیر رابط بر رفتار قابها نتایج

زیر حاصل می شود.

۱- با توجه به تحقیقات انجام گرفته تا کنون، مشاهده شده که قابهای EBF نسبت به انواع دیگر قابها دارای شکل پذیری بهتری می باشند. در این مقاله مدلی ارائه شد تا رفتار صحیح این قابها را نشان دهد و مشاهده گردید که در صورت آنالیز صحیح تیر رابط در قابها، شکل پذیری این نوع قابها به خوبی مدل میشود.

۲- با به کار بردن المان تیر رابط و آنالیز سازه معلوم می گردد که کماتش مهاربند فشاری در سازه به تعویق می افتد و این سبب عملکرد مناسب قاب و جلوگیری از وارد شدن ضربه به سازه می شود.

۳- به دلیل پدید آمدن مفصل برشی در جان تیر رابط سازه دارای شکل پذیری مناسبی می گردد. در نتیجه قابهای EBF سیستم مطلوبی برای مستهلک کردن انرژی بارهای جانبی می باشند.

۴- جاری شدن کامل تیر رابط نیازمند طی مسیر بارگذاری بوده و این عمل به سرتاسر جان تیر رابط گسترش می یابد.

۵- با به کار بردن المان تیر رابط دیده میشود که پس از تشکیل مفصل برشی در جان تیر رابط، لنگر در پای ستونها سریعتر افزایش یافته و مفصل خمشی در انتهای ستونها سریعتر از موعد پیش بینی شده تشکیل میشود.

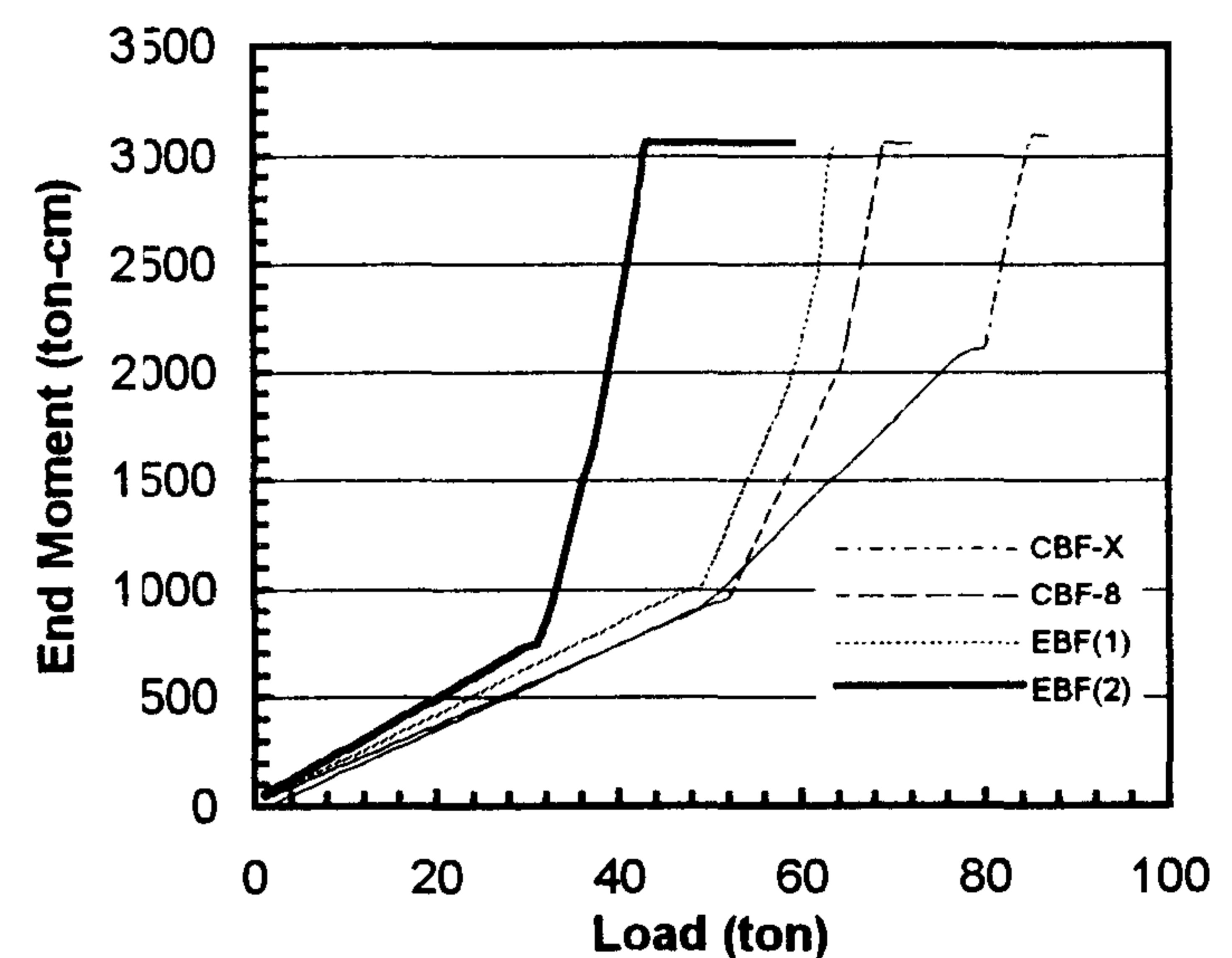
۶- تشکیل مفصل برشی در جان تیر رابط از درجات نامعینی سازه نمی کاهد و از نظر تئوری، ناپایداری سازه همزمان با تشکیل تعداد مشخصی از مفصل های خمشی خواهد بود.

برای بررسی نیروهای داخلی نمودار لنگر خمشی پای ستون در شکل (۱۹) رسم شده است. در بررسی این نمودار مشخص میگردد که پس از جاری شدن جان تیر رابط لنگر خمشی به سرعت افزایش می یابد و مفصل خمشی سریعتر از آنچه در دیگر تحلیلها اتفاق افتاده، تشکیل میگردد.

همچنین میتوان ضریب شکل پذیری سازه را برای قابهای فوق مقایسه نمود. این ضریب از رابطه زیر بدست می آید:

(حداکثر تغییر مکان قابل تحمل سازه)

$\mu = \frac{\text{حداکثر تغییر مکان قابل تحمل سازه}}{\text{تغییر مکان در اولین عملکرد غیر ارتجاعی}}$



شکل ۱۹: نمودار لنگر انتهائی پای ستون طبقه زیرین بر حسب افزایش بارگذاری.

جدول ۴: مقایسه ضریب شکل پذیری.

ت	پ	ب	الف	قاب
۱۴/۳۵	۳/۸۳۴	۳/۹۷	۲/۳۷۱	$\mu$

مشاهده میشود که با در نظر گرفتن مدل صحیح تیر رابط شکل پذیری قابهای EBF به خوبی در نظر گرفته میشود.

## مراجع

- 1 - Chen, W. F. and Han, D. J. (1988). "Plasticity for structural engineers."
- 2 - Chen, W. F. and Lui, E. M. (1986). "Frame analysis with panel zone deformation." *J. of Solids Structures*. Vol 22. No.12. PP 1599 - 1627.
- 3 - Chen, W. F. and Lui, E. M. (1987). "Structural stability". Elsevier Science Publishing Co. inc. New York.
- 4 - Hjelmstad, K. D. and Popov, E. (1983). "Cyclic behavior and design of link beams." *J. of Structural Engineering*. Vol. 109. No.10.

- 5- Popov, P. and Ricles, M. (1994). "Inelastic link element for EBF seismic analysis." *J. of. Structural Engineering* . Vol. 120, No . 2.
- 6 - Ramadan, T. and Ghobarah, A. (1995). "Analitical model for shear link behavior." *J. of. Structural Engineering* . Vol. 121, No. 11.
- ۷ - امیدوار، ب. "بررسی بار گسیختگی قابها." پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران - شهر یور (۱۳۷۴).
- ۸ - دوست محمدی، د. "بررسی رفتار قابهای با مهاربندی غیر متقارب با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی تیر رابط." پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران - بهمن (۱۳۷۷).
- ۹- ناطق الهی و اکبر زادگان. "رفتار و طراحی لرزه ای قابهای خارج از مرکز." مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

### واژه نامه:

1 - Link Beam

تیر رابط

2 - Associated Normality Rule

قانون جاری شدن وابسته