

باسمہ تعالیٰ



دانشگاه خوارزمی

# پروژه درس پایداری سازه‌ها

کمانش قاب مهاربندی شده با فنرهای ارتجاعی خطی  
(ترجمه و برداشت)

استاد مربوطه:

جناب آقای دکتر کیوانی

تهیه کننده:

مریم رحمتی 913682603

دانشکده فنی - دانشگاه خوارزمی

بهار 92

## ترجمه:

### کمانش قاب مهاربندی شده با فنرهای ارتجاعی خطی

در آیین نامه ها و دفترچه های مشخصات طراحی، فرمول های ساده شده ای برای مشخص کردن طول کمانش ستون های قاب بر اساس معیار رایج قاب های دارای حرکت جانبی یا فاقد حرکت جانبی داده شده است. به علت این که در فرمول های آیین نامه فقط توزیع سختی محلی به کار برده می شود، این فرمول ها در بعضی موارد، نتایج بسیار نادرستی را حاصل می دهد. در اکثر فرمول های آیین نامه یک حالت از قاب های ضعیف مهاربندی شده در نظر نگرفته شده است.

در این مقاله مدل کلاسیک Winter، که در اصل برای ستون ها توسعه یافته، برای سازه های قاب به کار رفته و با نتایج معادله پارامتری قاب های مهاربندی شده مقایسه شده است. تحلیل حساسیت بارهای بحرانی قاب به علت تغییرات سختی مهاربند انجام شده است و روشی برای محاسبه شرط نهایی سختی مهاربند پیشنهاد شده است.

واژه های کلیدی: قاب، کمانش، مهاربند، طول موثر

## 1. مقدمه

تعیین طول موثر کمانش ستون های قاب یکی از مهمترین نیازهای طراحی است. طول موثر ستون های قاب تاثیر زیادی در طراحی پروفیل های مقطع عرضی دارد. حتی تغییرات کوچک در طول موثر ممکن است منجر به تغییرات قابل توجهی در ضریب باربری مقطع عرضی شود. مهاربندهای گوناگون ممکن است طول موثر ستون های قاب را کاهش دهند. در خیلی از مسایل کاربردی طراحی قاب، طول کمانش حساب نمی شود بلکه توسط طراح فرض می گردد. در آیین نامه های طراحی طول های موثر قاب ها بر اساس طبقه بندی جابه جایی جانبی سازه دو گروه است: قاب های دارای حرکت جانبی و قاب های فاقد حرکت جانبی. در آیین نامه های طراحی فقط فرمول ها و دیاگرام های ساده شده ای برای تعیین طول های کمانش ستون های قاب داده شده است. در خیلی از سازه های با قاب مهاربندی شده، جایی که سختی جانبی سیستم مهاربندی کمتر از قاب بدون حرکت جانبی (قاب ضعیف مهاربندی شده) است، تاثیر سختی مهاربند بر پایداری جانبی قاب کاملاً نادیده گرفته می شود.

تنها تحقیقات خیلی محدودی بر روی کمانش قاب‌های چند طبقه مهاربندی شده انجام شده است. در قسمت (3) نشان داده می‌شود که فرمول‌های ساده شده برای تعیین طول کمانش ستون‌های قاب ممکن است منجر به نتایج نادرست شود. کاربرد فرمول‌های آیین‌نامه در برخی مثال‌های خطی نشان می‌دهد که نتایج نادرست ممکن است هم برای موده‌های کمانش دارای حرکت جانبی و هم برای قاب‌های فاقد حرکت جانبی رخ دهد. این مساله بیشتر به این علت اتفاق می‌افتد که در فرمول‌های آیین‌نامه فقط توزیع سختی محلی در نظر گرفته می‌شود. در حالی که رفتار عمومی قاب به حساب نیامده است.

قسمت (4) بر تعیین فرمول‌های ساده شده بارهای کمانش سیستم‌های دو گانه متمرکز شده است، جایی که قاب‌ها توسط ستون‌های عمودی مهاربندی شده‌اند. در این مقاله فرمول تقریبی صلبیت نهایی برای کفایت ستون مهاربندی شده قائم برای کمانش کردن به صورت مود فاقد حرکت جانبی در نظر گرفته شده است.

در این مقاله مطالعه‌ای بر کمانش قاب‌های مهاربندی شده ارائه می‌شود. سازه‌های قاب با مهاربندهای مدل شده توسط فنرهای الاستیک در نظر گرفته شده است. ارتباطی بین بار بحرانی قاب، طول موثر ستون‌های قاب و صلبیت مهاربند برقرار شده است. برای به دست آوردن یک حد پایین ایمنی از بار کمانش قاب مهاربندی شده در تابع سختی مهاربند، مدل کلاسیک Winter توسعه یافته است. نتایج با مطالعه پارامتری قاب‌های مهاربندی شده مقایسه شده است.

روش تحلیل حساسیت برای برقراری تغییرات کمترین بارهای کمانش، به علت تغییرات سختی مهاربند به کار برده شده است. تغییرات موده‌های کمانش با افزایش سختی مهاربند مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در مثال خطی به کار رفته توابعی که تاثیر مکان مهاربند واحد بر روی تغییرات اولیه بارهای بحرانی قاب توصیف می‌کند، حاصل شده‌اند. تقریبات خطی رابطه دقیق بارهای کمانش با تغییرات سختی مهاربند تعیین شده است.

صلبیت نهایی مهاربند نیز قابل بررسی است. صلبیت نهایی، به عنوان سختی مهاربند تعریف می‌شود که برای کمانش قاب‌ها تحت مود فاقد حرکت جانبی کافی باشد. یک روش بر پایه تحلیل حساسیت برای تخمین سختی مهاربند نهایی، برای مهاربندی کامل قاب‌ها پیشنهاد شده است. سختی نهایی مهاربند توسط روش پیشنهادی، با سختی حاصل از مطالعات پارامتریک قاب‌ها مقایسه شده است.

فواید روش پیشنهادی این است که مقدار ماکزیمم بار بحرانی اول در تابع سختی مهاربند ممکن است برای قاب فاقد مهاربند تعیین شده تعیین شود. فایده دیگر روش پیشنهادی این است که شرط مهاربند نهایی می‌تواند در تعداد کمی از گام‌های تقریب پیدا شود و تحلیل پایداری پارامتریک سعی و خطا برای قاب با سختی مهاربند گوناگون ضروری نیست. لازم به ذکر است که کاربرد تحلیل حساسیت در بسیاری موارد بیان شده است، اما کاربردش در تحلیل شرط مرزی مهاربندی کامل قاب‌ها بیان نشده است. روش ذکرشده به صورت کارا برای پیش‌بینی سختی مهاربند نهایی برای شرط مهاربندی کامل در حالت کمزش غیر مسطح یک خرپا به کار رفته است.

## 2. تحلیل حساسیت بارهای بحرانی به علت سختی مهاربند

معادله تعادل برای سیستم سازه‌ای با ابعاد ریز می‌تواند مطابق زیر نوشته شود:

$$(K - PK_G)z = 0$$

که  $K$  سختی ماکزیمم است.  $K_G$  ماتریس هندسی است و  $Z$  بردار جابه‌جایی گره‌ای را بیان می‌کند. معادله اولین تغییرات بار بحرانی نسبت به تغییرات بردار متغیر طراحی  $u$  به فرم زیر نتیجه می‌شود:

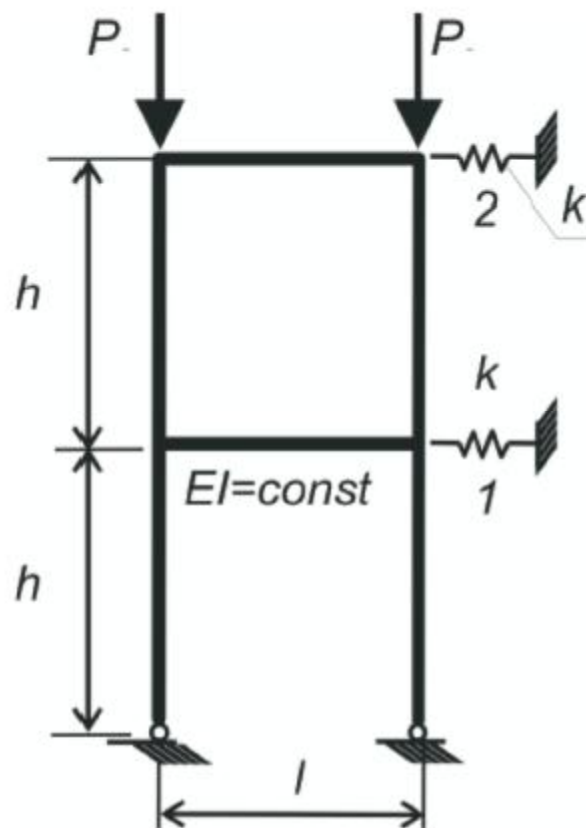
$$\delta P_{cr} = P_{cr,u} \delta u = z^T (K_{,u} - PK_{G,u}) z \delta u = \Lambda p_{cr,u} \delta u$$

از آن‌جا که بردار  $\Lambda p_{cr,u}$  تاثیر تغییرات واحد متغیر طراحی را توصیف می‌کند، برای مثال سختی مهاربند بر روی بار کمزش، قسمت‌هایی از سازه جایی که مهاربند به کار رفته، بیشترین تغییرات در بار کمزش را سبب شود، تعیین می‌کند. همچنین بار کمزش تقریبی به علت تغییرات سختی مهاربند محاسبه می‌کند.

### 3. مطالعه پارامتری یک قاب

#### 3.1. شرح مدل

همان‌طور که مطالعه پارامتریک، قاب دو طبقه نشان داده شده در شکل (1) را در نظر می‌گیرد. همه تیرها و ستون‌ها مقاطع عرضی ثابت دارند. ستون‌های قاب در انتهایشان نیرویی به اندازه  $P$  وارد شده است. ارتفاع طبقه  $h$  و دهانه تیر  $l$  است. قاب توسط فنرهای الاستیک افقی تکیه‌گاه دار شده است. فرض می‌شود که سختی مهاربند در هر طبقه ثابت است و خصوصیات نیرو-جابجایی مهاربند خطی است.



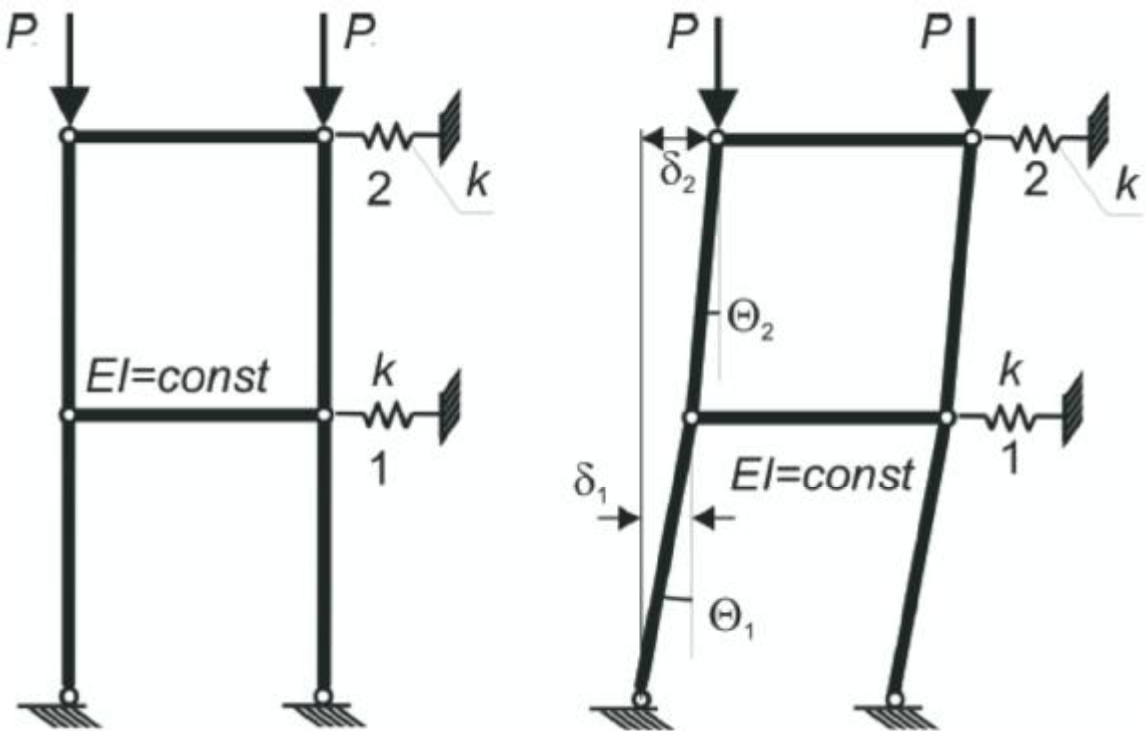
شکل 1. قاب با مهاربندی افقی

### 3.2. نتایج شبیه سازی خطی

#### 3.2.1. تعیین شرایط مهاربند برای قاب بر اساس روش Winter

در ابتدا قاب برای به دست آوردن یک مدل نوع Winter اصلاح می‌شود. در اتصالات تیر و ستون، مفصل‌های ساختگی فرض می‌شود. (شکل 2). هدف ایجاد مدل قاب نوع Winter، محاسبه یک حد پایین ایمنی سختی ضروری مهاربند است که اجازه می‌دهد ماکزیمم بار بحرانی ممکن قاب به دست‌آید. در مورد ستون‌ها بیان می‌شود که ارتباط بین نیروی بحرانی و سختی مهاربند به دست آمده برای مدل کمتر از ستون مشابه بدون مفصل است. بنابراین مدل اجازه می‌دهد حد پایینی از رابطه بین بار بحرانی و سختی مهاربند ستون‌ها به دست‌آید. مفصل‌های ساختگی در اتصالات تیر و ستون که در مدل قاب نوع Winter معرفی می‌شود این امکان را فراهم می‌کند که تیرها و ستون‌ها صلب در نظر گرفته شوند. انرژی پتانسیل کل برای مدل نوع Winter قاب از افزایش انرژی کرنشی ذخیره شده در فنرهای الاستیک و کاهش انرژی پتانسیل نیروی خارجی  $P$  تشکیل شده است.

$$V = \frac{1}{2}k\delta_1^2 + \frac{1}{2}k\delta_2^2 - 2P(2h - h \times \cos(\theta_1 - h\cos\theta_2))$$



شکل 2. قاب مدل نوع Winter با مهاربند و وضعیت حرکت جانبی قاب

در محل تعادل تغییرات انرژی پتانسیل کل صفر می‌شود، بنابراین:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial V}{\partial \delta_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k - \frac{4P}{h} & \frac{2P}{h} \\ \frac{2P}{h} & k - \frac{2P}{h} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

دترمینان ماتریس بالا صفر است:

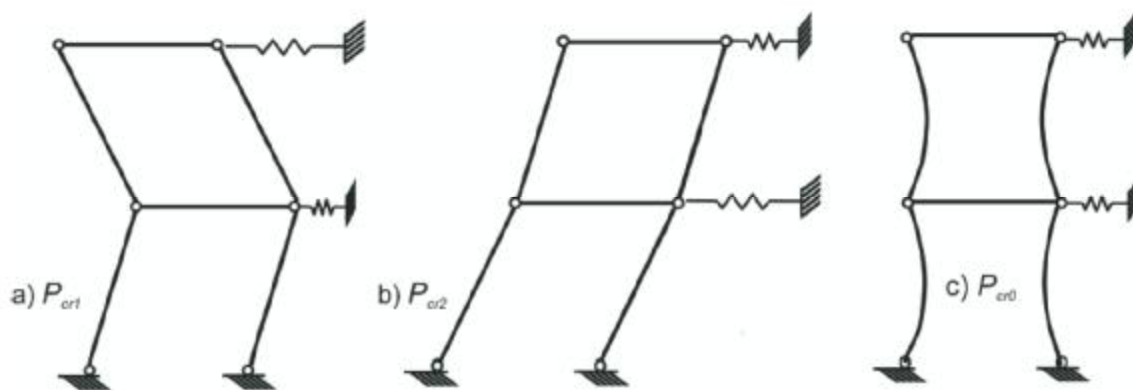
$$\det \begin{bmatrix} k - \frac{4P}{h} & \frac{2P}{h} \\ \frac{2P}{h} & k - \frac{2P}{h} \end{bmatrix} = 0$$

ما به دو بار بحرانی مطابق مودهای کمانش قاب مدل Winter رسیدیم. مودهای کمانش در شکل 3 نشان داده شده است.

$$P_{cr1} = 0.19098 \times hk$$

$$P_{cr2} = 1.30902 \times hk$$

$$P_{cr1} \leq P_{cr0} \quad P_{cr1} \leq P_{cr0} = \frac{\pi^2 EI}{h^2}$$

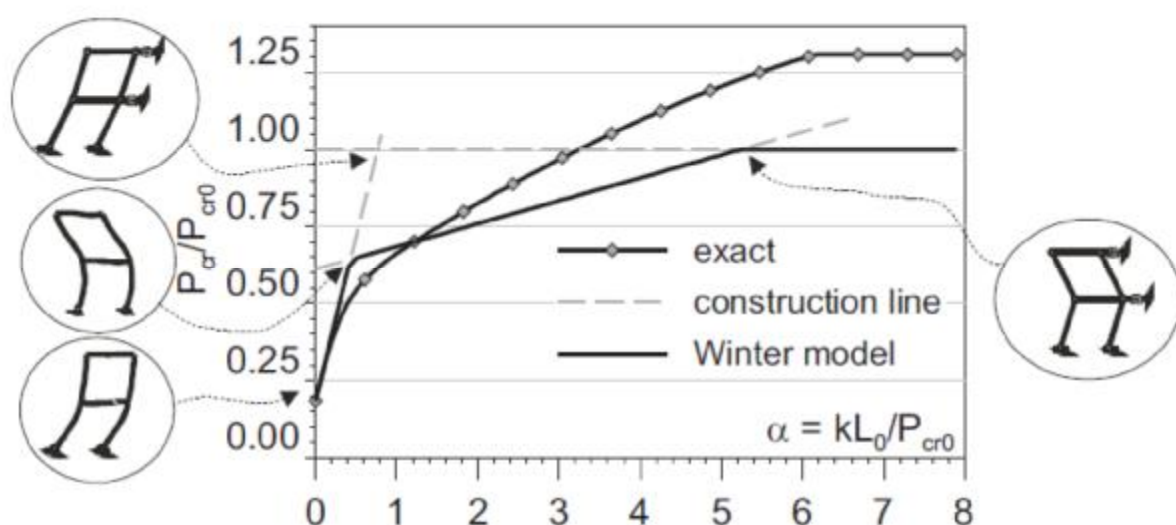


شکل 3. مودهای کمانش مطابق با بارهای کمانش محاسبه شده و بار کمانش ماکزیمم برای مدل نوع Winter قاب

چند وجهی Winter که رابطه بین بار کمانش و سختی مهاربند را توصیف می‌کند، توسط خطوط سازه ایجاد می‌شود. با فرض این که سختی مهاربند افزایش می‌یابد ما افزایش نیروهای بحرانی داده شده توسط معادله را به دست می‌آوریم. وقتی نیروها برابر نیروی کمانشی برای تکیه‌گاه ساده ستونی با طول  $h$  هستند، مود کمانش تبدیل به مود کمانشی نشان داده شده در شکل 3.C می‌شود و بار بحرانی با افزایش بیشتر سختی مهاربند ثابت می‌ماند. از این ایده نقاط نهایی خطوط ساخت چند وجهی Winter بیان می‌شود. نقاط شروع خط ساخت بر اساس اولین دو بار بحرانی قاب تحلیل یافته بدون مهاربند و بدون مفصل تنظیم شده است.  $(0, 0.184)$ ،  $(0.6111, 0)$ . پلی لاین محاسبه شده برای مدل نوع Winter قاب با رابطه دقیق بین نیروی بحرانی و پارامتر سختی مهاربند مقایسه شده است. بارهای کمانشی به نیروی بحرانی ستون با تکیه‌گاه ساده به طول  $h$  وابسته‌اند. از تحلیل ذکر شده نتیجه می‌شود که برای پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$  بین 0.4-1.2 بار کمانشی پیش‌بینی شده توسط روش Winter بزرگتر از بار محاسبه شده برای قاب مدل شده بدون مفصل ساختگی است. بنابراین برای این سختی مهاربند، روش Winter یک حد پایین ایمنی از بار بحرانی قاب فراهم نمی‌کند.

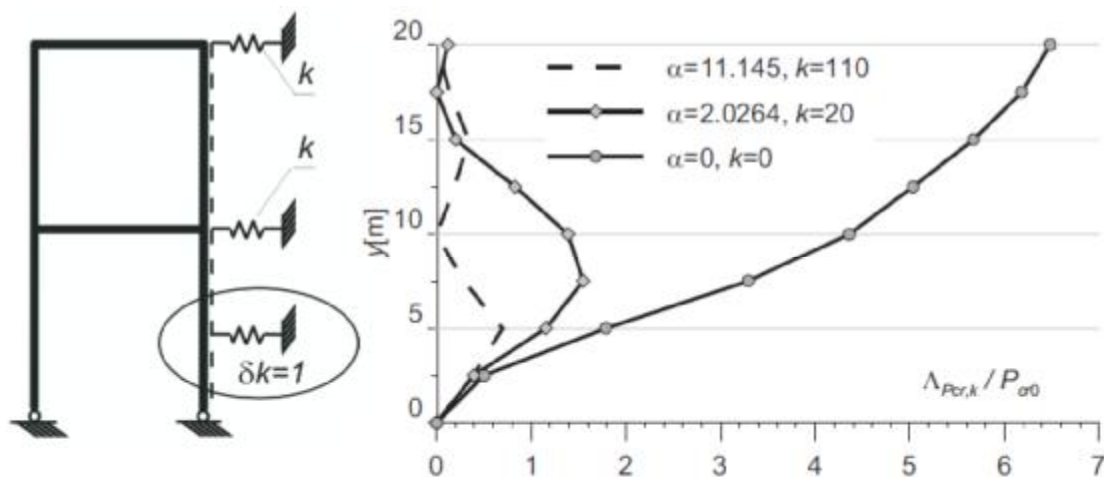
### 3.2.2. تحلیل حساسیت بار کمانشی یک قاب مهاربندی شده توسط فنرهای الاستیک

تحلیل حساسیت بار بحرانی به علت تغییر سختی مهاربند انجام شده است. مطابق فرمول (2) تغییر اول بار بحرانی کمانش خمشی به علت تغییر سختی مهاربند به دست آمده است.



شکل 4. ارتباط بار بحرانی نسبی با پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$

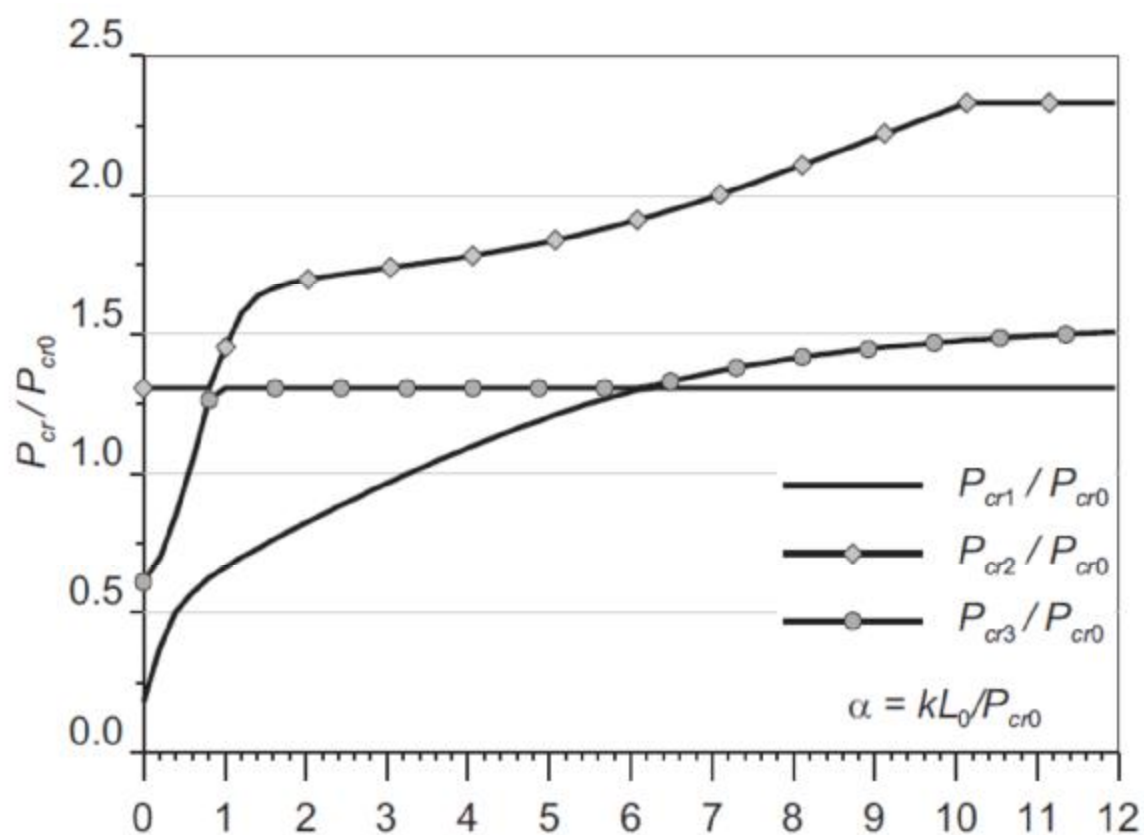




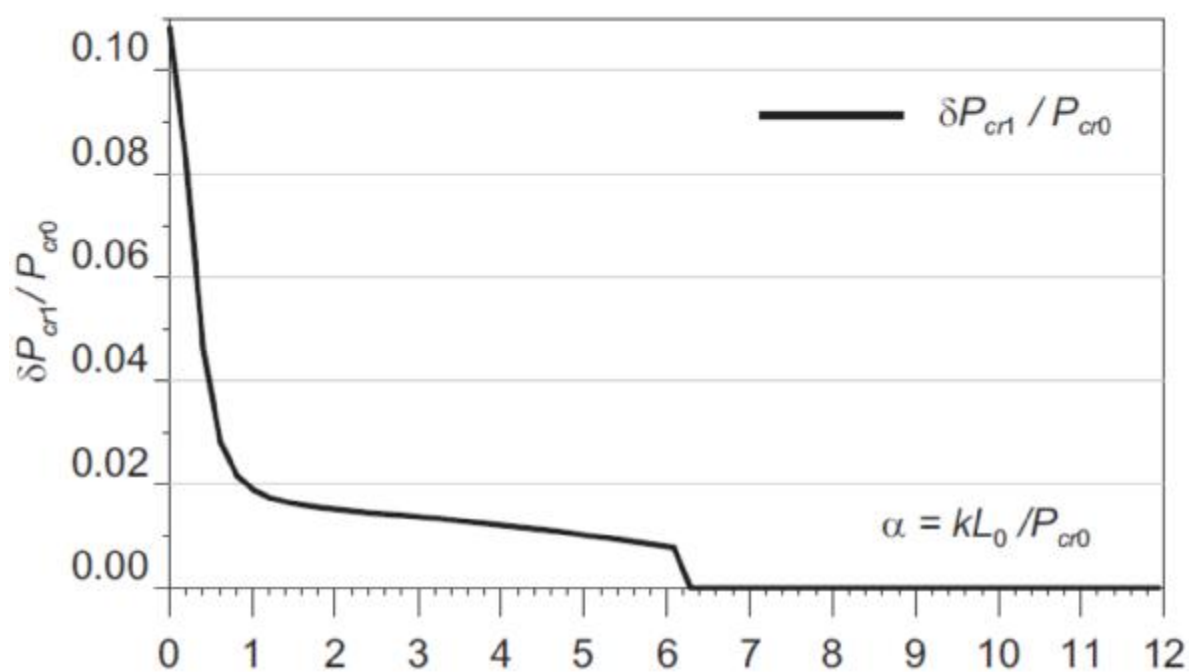
شکل 5. تاثیر خطوط متغیر نسبی بار بحرانی کمانش خمشی نسبت به مکان مهاربندی سختی واحد جدید برای پارامتری مهاربندی اولیه گوناگون  $\alpha$

تحلیل انجام شده توسط برنامه تحلیلی سازه، مود کمانش و محاسبات را به دست می‌آورد. تحلیل حساسیت طراحی تغییر بار کمانشی نسبت به محل مهاربند سختی واحد جدید در امتداد طول ستون را پیش‌بینی می‌کند. خط تاثیر بار کمانشی نسبت به مکان مهاربند سختی برای سختی اولیه متفاوت مهاربندها در قاب در شکل (5) بیان شده است. خطوط تاثیر به بار بحرانی ستون با تکیه‌گاه ساده و با طول  $h$  وابسته است که  $98.7 \text{ kN}$  ( $EI/h^2 = 10$ ). لازم به ذکر است اندازه خطوط به سختی مهاربند اولیه وابسته است. درحالتی که قاب بدون مهاربند است خط تاثیر مقدار ماکزیمم در انتهای قاب را دارد. بنابراین مکان مهاربند جدید نزدیک انتهای قاب بیشترین تاثیر را در افزایش بار کمانشی دارد. سپس تحلیل مشابه برای حالت قاب بامهاربند با سختی  $k = 20 \text{ kN/m}$  ( $\alpha = 2.0264$ ) انجام شده است. چنین برداشت می‌شود که در این حالت بیشترین تاثیر در افزایش بار کمانشی پس از محل برآیند مهاربند در مختصات  $y=7.5$  نسبت به انتهای قاب به دست می‌آید. سومین خط تاثیر برای قاب با مهاربند با سختی  $k=110 \text{ kN/m}$  ( $\alpha = 11.145$ ) به دست می‌آید. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سختی مهاربند در اتصالات بین تیرها و ستون‌ها، افزایش بار کمانش را سبب نمی‌شود. این خطوط نشان می‌دهند که افزایش بیشتر بار کمانش زمانی به دست می‌آید که مهاربند اضافه در وسط ناحیه فاقد مهاربندی ستون قرار داده شود.

تحلیل پارامتری ارتباط بین اولین سه بار کمانشی بحرانی و ضریب سختی مهاربند در شکل 6 بیان شده است.



شکل 6. نسبت بارهای بحرانی نسبی به ضریب صلبیت مهاربند  $\alpha$

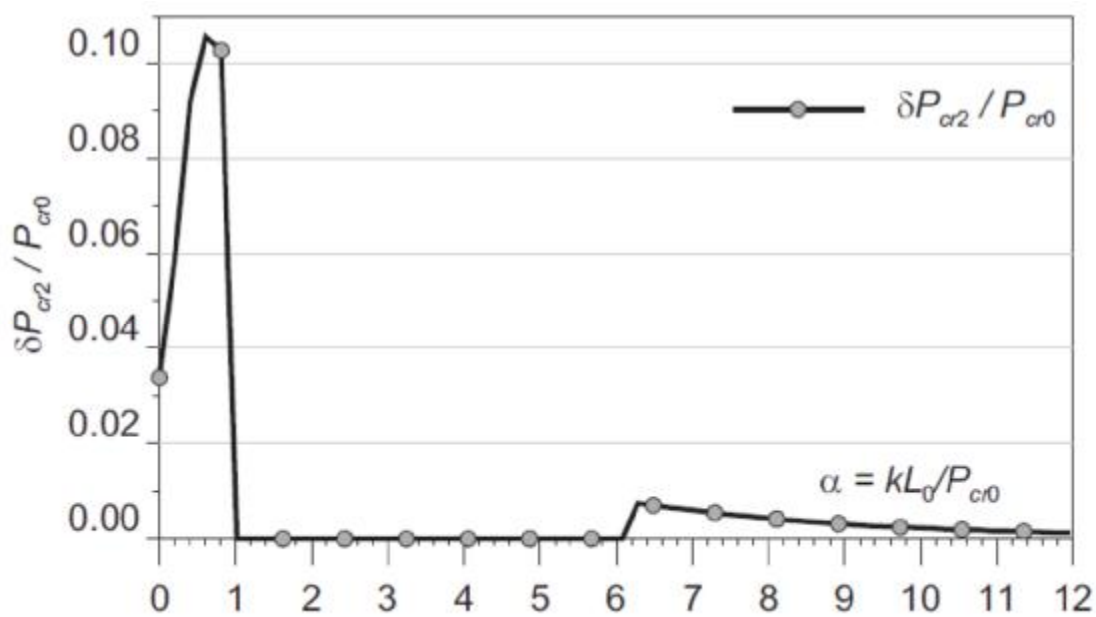


شکل 7. نسبت تغییر نسبی بار کمانشی اول به پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$

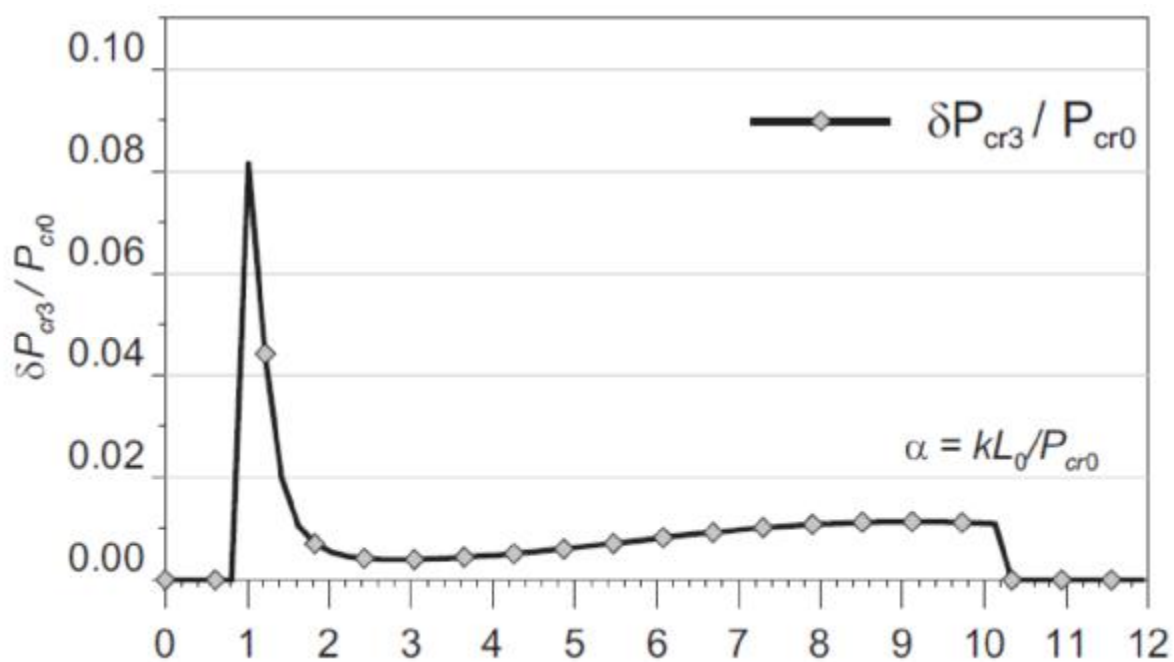
تغییر اول بار کمانشی دوم و سوم نسبت به تغییر سختی مهاربند واقع در گره‌های قاب نیز انجام شده است. نسبت بین اولین تغییر بارهای کمانشی و سختی مهاربند در شکل‌های 7-9 برای اولین، دومین و سومین بار به ترتیب نشان داده شده است. لازم به ذکر است که صلیبیت مهاربند پایین است.

$(\alpha < 0.82)$ . سومین بار کمانشی به افزایش سختی مهاربند حساس نیست، دومین بار کمانشی به افزایش سختی مهاربند در پارامتر سختی مهاربند بین  $(0.82 < \alpha < 6.2)$  غیرحساس می‌شود.

و در نهایت زمانی که سختی اولیه مهاربند بزرگتر از  $k > 62 \text{ kN/m}$  ( $\alpha > 6.28$ )، اولین بار کمانشی به تغییرات سختی مهاربند غیر حساس می‌شود. این سختی، حد نهایی سختی مورد نیاز برای مود کمانشی فاقد حرکت جانبی قاب است.

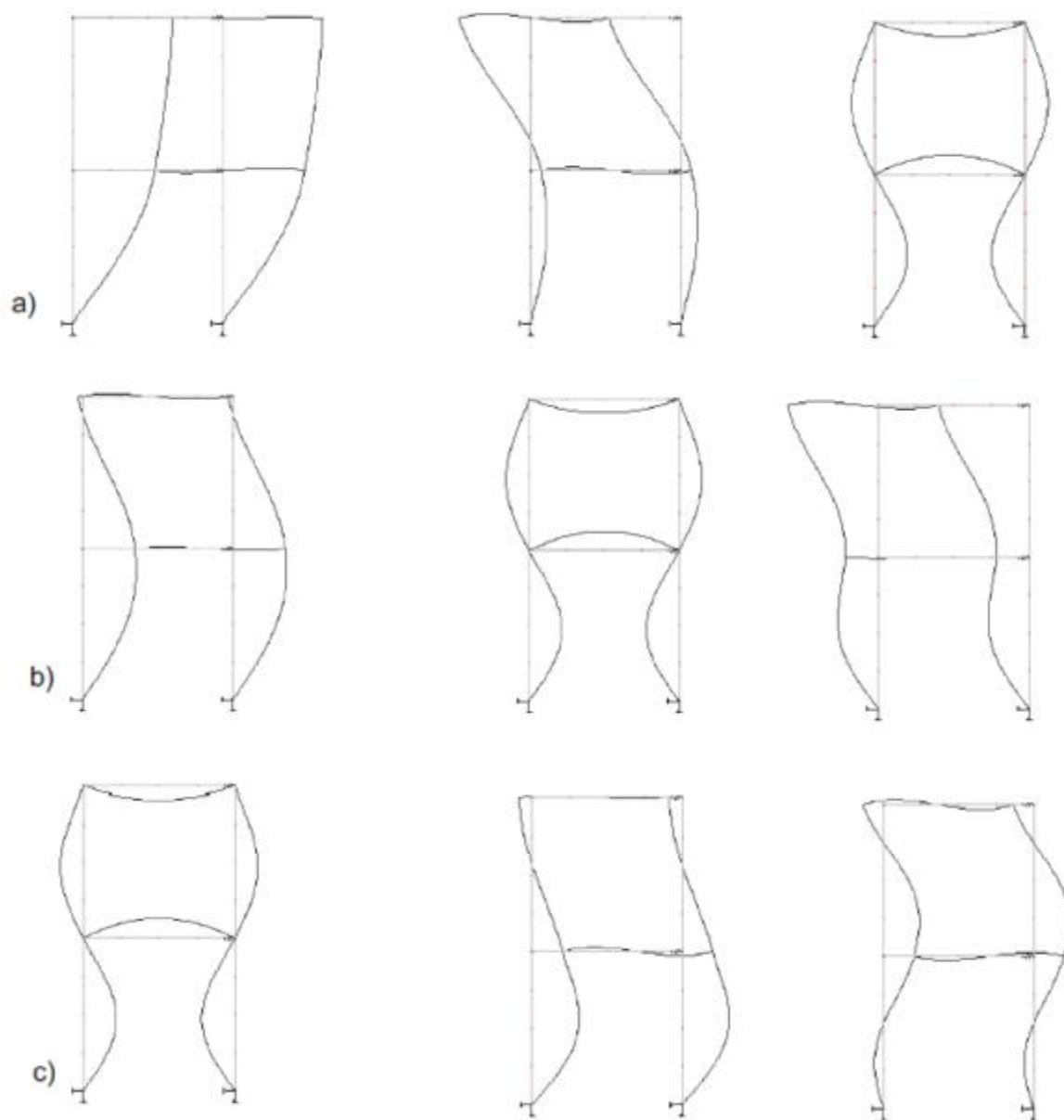


شکل 8. تغییر بار کمانشی دوم نسبی نسبت به پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$



شکل 9. تغییر بار کمانشی سوم نسبی نسبت به پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$

یک مشاهده جالب این است که افزایش سختی مهاربند سبب افزایش اولین بار کمانش می‌شود. اما ماکزیمم نیروی بحرانی که می‌تواند حاصل شود برابر بارهای کمانشی بحرانی مرتبه بالای اولیه‌ی یک قاب فاقد مهاربندی است که به تغییرات سختی مهاربند حساس نیست. بنابراین وقتی نیاز به تعیین اولین بار کمانشی است، می‌تواند از تحلیل حساسیت به دست آید. که بار کمانشی برای قاب فاقد مهاربندی به مکان قرارگیری مهاربند سختی واحد جدید غیر حساس است. مقدار بار کمانشی بحرانی که به تغییرات سختی مهاربند حساس نیست، ثابت است. همچنین لازم به توصیف بارهای کمانشی غیر حساس نسبت به سختی مهاربند قاب است. این ارتباط بین بارهای کمانشی و سختی کمانشی می‌تواند به عنوان تغییرات مود کلی کمانشی قاب توصیف شود. در سختی کمانشی پایین، مود اول کمانش قاب دارای حرکت جانبی است و سومین مود کمانشی فاقد حرکت جانبی است با افزایش سختی، مود کمانشی فاقد حرکت جانبی مطابق با دومین بار کمانشی و با افزایش بیشتر سختی مطابق با اولین بار کمانشی است وقتی بار کمانشی برای مود دارای حرکت جانبی بزرگتر از بار کمانشی برای مود فاقد حرکت جانبی است. در شکل (10) نشان داده شده است.

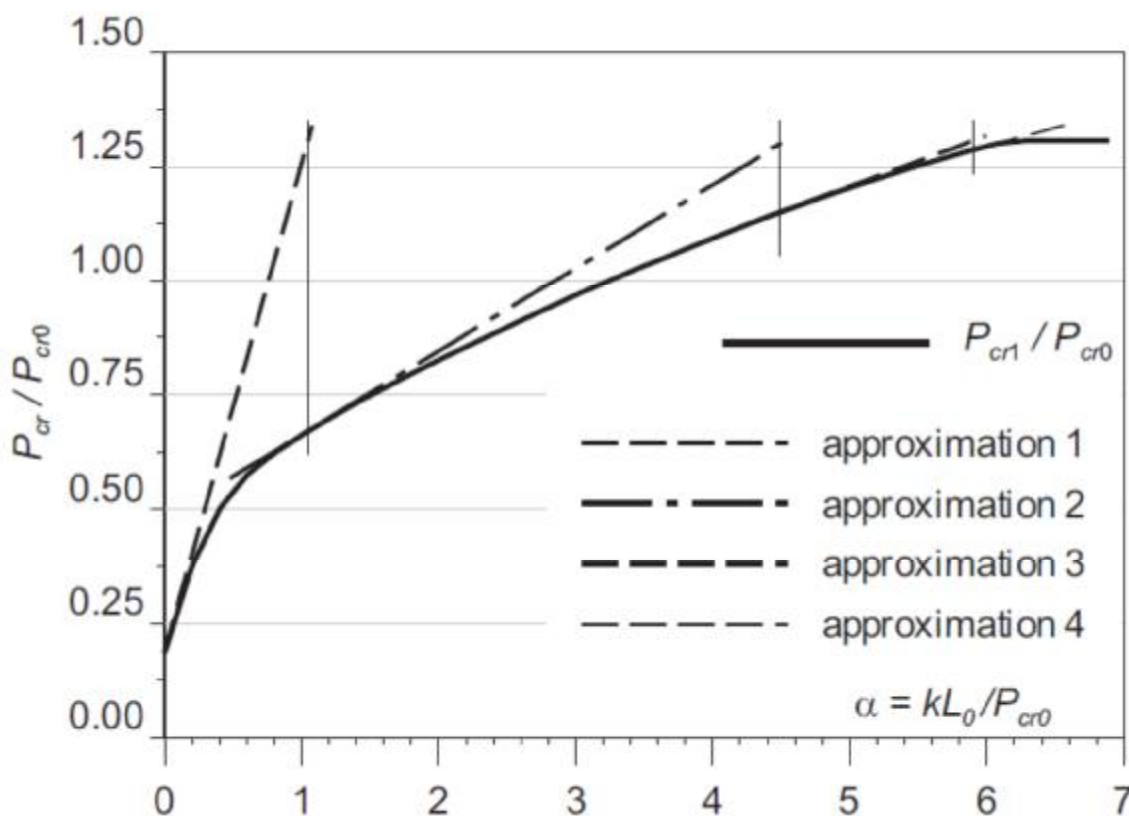


سه مود کمانشی اول برای  $a$  ( $\alpha = 0$ ) ،  $b$  ( $\alpha = 1.1$ ) ،  $c$  ( $\alpha = 6.5$ )

### 3.2.2 شرط نهایی مهاربند برای یک قاب مهاربندی شده توسط فنرهای الاستیک

تحلیل حساسیت می‌تواند در محاسبات شرط مهاربندی کامل سودمند باشد. که به عنوان یک سختی نهایی مهاربند تعریف شود که بار بحرانی ماکزیمم قاب به دست آید. این شرط می‌تواند به عنوان شرط عدم حرکت جانبی قاب توجیه شود. برای محاسبه سختی مهاربند نهایی روش زیر معرفی می‌گردد. اولین تغییر بارهای کمانشی اول باید محاسبه شود. به دو نتیجه مهم از نتایج تحلیل باید پی برده شود. اولین نتیجه این است که بار کمانش به تغییرات سختی مهاربند غیر حساس نیست. مقدار بار ماکزیمم مقدار بار کمانشی اول است که ممکن است نسبت به افزایش سختی مهاربند حاصل شود. نتیجه دوم اولین تغییر بار کمانشی اول نسبت به تغییر سختی مهاربند است. پس یک تقریب خطی از رابطه دقیق بین بار کمانشی و سختی مهاربند  $k$  می‌تواند توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$P_{cr1} = P_{cr1,0} + \frac{\partial P_{cr1}}{\partial k} \delta k$$



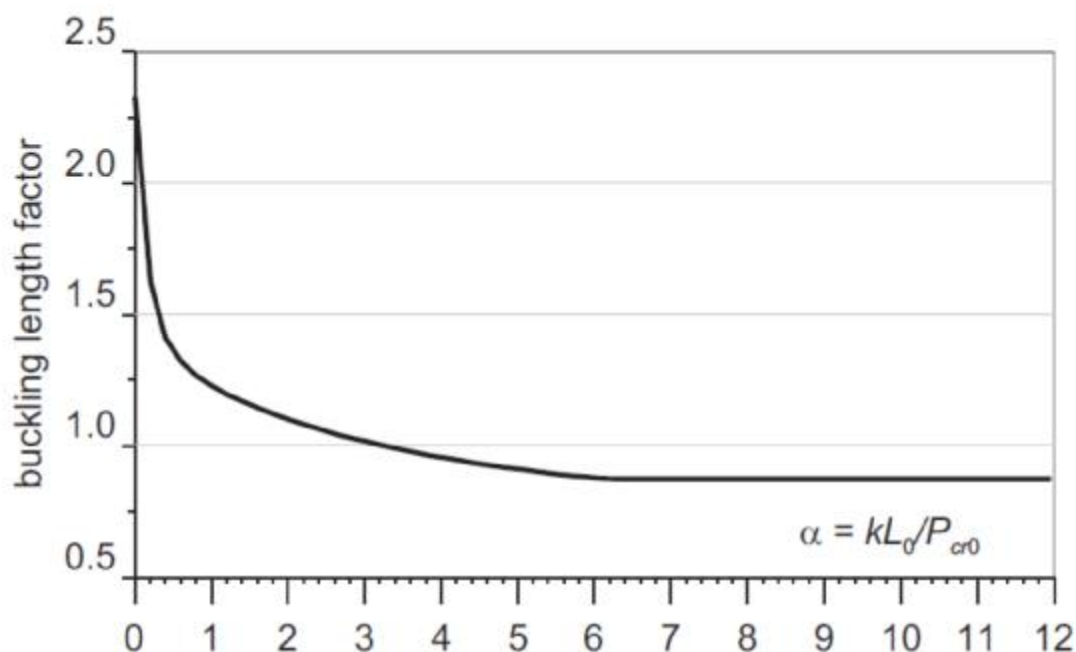
شکل 11. تغییر بار کمانشی نسبی اول نسبت به سختی نسبی مهاربند و تقریب‌های آن برای به دست آوردن شرط مرزی سختی مهاربند

اولین افزایش سختی مهاربند می‌تواند پس از فرض این که مقدار مورد نیاز بار کمانشی اول برابر با مقدار بارهای کمانشی بزرگتر برای قاب فاقد مهاربندی است، به دست آید که به تغییر مهاربند حساس نیست. سپس بار کمانشی و تغییر اولیه برای سختی مهاربند جدید باید پیدا شود و افزایش بعدی سختی مهاربند محاسبه گردد. محاسبات تا جایی که دقت مورد نیاز حاصل گردد، تکرار می‌شود. در این صورت مقدار نهایی سختی مهاربند برای شرط مهاربندی کامل برای قاب مورد بررسی تعیین شده است. روند تقریب در شکل 11 به صورت شماتیک نشان داده شده است. نتایج محاسبات در جدول 1 بیان شده است.

ضریب سختی مهاربند برای برآوردن شرط مهاربندی کامل  $\alpha = 6.161$  در سختی برابر  $k = 60.803 \text{ kN/m}$  است.

$k$	$P_{cr1}$	$P_{cr3}$	$\delta P_{cr1}$	$\delta k$
0.000	18.213	129.03	10.703	10.354
10.354	66.275	129.03	1.825	34.394
44.354	113.64	129.03	1.106	13.910
58.264	127.03	129.03	0.813	2.460
60.724	128.97	129.03	0.759	0.079
60.803	129.03	129.03	0.758	

جدول 1. قاب با مهاربند افقی



شکل 12. ضریب طول موثر نسبت به پارامتر سختی مهاربند



### 3.2.4. ضریب طول کمانش

وقتی بار کمانش  $P_{cr}$  تعیین می‌شود. طول کمانش برای ستون تکی می‌تواند محاسبه شود. نسبت طول کمانش وابسته به ارتفاع ستون‌های طبقه به سختی مهاربند مورد بررسی قرار گرفته است (شکل 12). ضریب طول موثر برای قاب فاقد حرکت جانبی 0.875 است و برای قاب دارای حرکت جانبی 2.328 است. بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی برای قاب‌های ضعیف مهاربندی شده، طول موثر برای قاب‌های دارای حرکت جانبی محاسبه می‌شود. این دیدگاه یک مقدار ایمن از طول کمانش را می‌دهد اما دقیق نیست و منجر به طراحی غیراقتصادی می‌شود.

## 4. نتیجه‌گیری

تاثیر سختی مهاربند بر روی بار کمانشی بحرانی قاب معین مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج تحلیل خطی و تحلیل حساسیت منجر به برداشت نتایجی راجع به تاثیر سختی مهاربند بر روی بار کمانشی بحرانی می‌شود.

- بار کمانشی بحرانی به سختی و موقعیت مهاربندها بستگی دارد.
- مدل نوع Winter قاب با مفصل‌های ساختگی یک حد پایین بار بحرانی قاب برای همه محدوده مقادیر سختی مهاربند فراهم می‌کند.
- با تحلیل حساسیت خطوط تاثیر تغییر بار کمانشی نسبت به مکان مهاربند سختی واحد جدید به دست می‌آید.
- نسبت بین بار کمانش و سختی و سختی مهاربند نتیجه می‌دهد که می‌توان تاثیر مثبت مهاربند را هم چنین برای قاب‌های ضعیف مهاربندی شده، مطابق ضوابط آیین‌نامه به عنوان سازه‌های دارای حرکت جانبی محاسبه نمود.
- ضریب طول کمانش برای ستون‌های قاب‌های ضعیف مهاربندی شده کمتر از سازه‌های دارای حرکت جانبی اند و از این تاثیر در فرمول‌های ساده شده آیین‌نامه چشم‌پوشی می‌شود.
- سختی نهایی مهاربند قاب معین می‌تواند توسط تحلیل حساسیت محاسبه شود. بار بحرانی مرتبه بالای محاسبه شده برای قاب بدون مهاربند که به تغییر مهاربند حساس نیست، ماکزیمم بار کمانشی اول است که نسبت به افزایش سختی مهاربند حاصل می‌گردد. در سختی نهایی مهاربند، قاب مهاربندی شده تحت مود فاقد حرکت جانبی کمانش می‌کند.

- در محاسبه سختی نهایی مهاربند تاثیر نقص‌های گوناگون باید قبل از این که به طور عملی استفاده شود در نظر گرفته شود. زیرا مهاربند بار افقی را که تنش را هم به عضو مهاربند، هم به قاب اعمال می‌کند را تحمل می‌کند. این بار ممکن است کاهش سختی عضو مهاربند را سبب شود. وقتی ستون مهاربند توسط نیروهای عمودی بارگذاری می‌شود، قسمتی از سختی جانبی باید برای جلوگیری از کمانش توسط نیروی محوری استفاده گردد. بنابراین سختی استفاده شده برای مقاوم کردن پایداری جانبی قاب کاهش می‌یابد. تاثیرات مذکور باید قبل از این که روش پیشنهادی برای محاسبه شرط مرزی مهاربند در عمل استفاده شود، محاسبه شود.

## برداشت:

در آیین نامه های طراحی، فرمول های ساده شده ای برای مشخص کردن طول کمانش ستون های قاب بر اساس معیار رایج قاب های دارای حرکت جانبی یا فاقد حرکت جانبی داده شده است. اما چون در فرمول های آیین نامه فقط توزیع سختی محلی به کار برده می شود، این فرمول ها در بعضی موارد، نتایج بسیار نادرستی را حاصل می دهد.

در این مقاله مدل کلاسیک Winter، که در اصل برای ستون ها توسعه یافته، برای سازه های قاب به کار رفته، برای به دست آوردن یک حد پایین ایمنی از بار کمانش قاب مهاربندی شده در تابع سختی مهاربند، مدل کلاسیک Winter توسعه یافته است. نتایج با مطالعه پارامتری قاب های مهاربندی شده مقایسه شده است.

روش تحلیل حساسیت برای برقراری تغییرات کمترین بارهای کمانش، به علت تغییرات سختی مهاربند به کار برده شده است. تغییرات مودهای کمانش با افزایش سختی مهاربند مورد تحلیل قرار گرفته اند. یک روش بر پایه تحلیل حساسیت برای تخمین سختی مهاربند نهایی، برای مهاربندی کامل قاب ها پیشنهاد شده است. سختی نهایی مهاربند توسط روش پیشنهادی، با سختی حاصل از مطالعات پارامتریک قاب ها مقایسه شده است.

ابتدا قابی با ارتفاع طبقه  $h$  و دهانه تیر  $l$  که توسط فنرهای الاستیک افقی تکیه گاه دار شده است، مدل شده است. فرض می شود که سختی مهاربند در هر طبقه ثابت است و خصوصیات نیرو-جابه جایی مهاربند خطی است. سپس قاب برای به دست آوردن یک مدل نوع Winter اصلاح می شود. در اتصالات تیر و ستون، مفصل های ساختگی فرض می شود. هدف ایجاد مدل قاب نوع Winter، محاسبه یک حد پایین ایمنی سختی ضروری مهاربند است که اجازه می دهد ماکزیمم بار بحرانی ممکن قاب به دست آید. سپس از طریق روش انرژی به محاسبه بار بحرانی قاب می پردازیم:

$$P_{cr1} = 0.19098 \times hk$$

$$P_{cr2} = 1.30902 \times hk$$

سپس چند وجهی Winter که رابطه بین بار کمانش و سختی مهاربند را توصیف می کند، توسط خطوط سازه ایجاد می شود. پلی لاین محاسبه شده برای مدل نوع Winter قاب با رابطه دقیق بین

نیروی بحرانی و پارامتر سختی مهاربند مقایسه شده است. از تحلیل ذکر شده نتیجه می‌شود که برای پارامتر سختی مهاربند  $\alpha$  بین 0.4-1.2 بار کمانشی پیش‌بینی شده توسط روش Winter بزرگتر از بار محاسبه شده برای قاب مدل شده بدون مفصل ساختگی است. بنابراین برای این سختی مهاربند، روش Winter یک حد پایین ایمنی از بار بحرانی قاب فراهم نمی‌کند.

تحلیل حساسیت بار بحرانی به علت تغییر سختی مهاربند انجام شده است. تغییر اول بار بحرانی کمانش خمشی به علت تغییر سختی مهاربند به دست آمده است. تاثیر خطوط متغیر نسبی بار بحرانی کمانش خمشی نسبت به مکان مهاربندی سختی واحد جدید برای پارامتری مهاربندی اولیه گوناگون  $\alpha$  در شکل 5 نشان داده شده است. از این شکل می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سختی مهاربند در اتصالات بین تیرها و ستون‌ها، افزایش بار کمانش را سبب نمی‌شود. این خطوط نشان می‌دهند که افزایش بیشتر بار کمانش زمانی به دست می‌آید که مهاربند اضافه در وسط ناحیه فاقد مهاربندی ستون قرار داده شود.

تحلیل پارامتری ارتباط بین اولین سه بار کمانشی بحرانی و ضریب سختی مهاربند در شکل 6 بیان شده است. یک مشاهده جالب این است که افزایش سختی مهاربند سبب افزایش اولین بار کمانش می‌شود. اما ماکزیمم نیروی بحرانی که می‌تواند حاصل شود برابر بارهای کمانشی بحرانی مرتبه بالای اولیه یک قاب فاقد مهاربندی است که به تغییرات سختی مهاربند حساس نیست.

محاسبه سختی مهاربند نهایی: اولین تغییر بارهای کمانشی اول باید محاسبه شود. دو نتیجه مهم از نتایج تحلیل این است که بار کمانش به تغییرات سختی مهاربند غیر حساس نیست. مقدار بار ماکزیمم مقدار بار کمانشی اول است که ممکن است نسبت به افزایش سختی مهاربند حاصل شود. نتیجه دوم اولین تغییر بار کمانشی اول نسبت به تغییر سختی مهاربند است. پس یک تقریب خطی از رابطه دقیق بین بار کمانشی و سختی مهاربند  $k$  می‌تواند توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$P_{cr1} = P_{cr1,0} + \frac{\partial P_{cr1}}{\partial k} \delta k$$

. محاسبات تا جایی که دقت مورد نیاز حاصل گردد، تکرار می‌شود.

ضریب طول کمانش: ضریب طول موثر برای قاب فاقد حرکت جانبی 0.875 است و برای قاب دارای حرکت جانبی 2.328 است. بر اساس آیین نامه های طراحی برای قاب های ضعیف مهاربندی شده، طول موثر برای قاب های دارای حرکت جانبی محاسبه می شود که دقیق نیست و منجر به طراحی غیراقتصادی می شود.

نتایج زیر برداشت می شود:

- بار کمانشی بحرانی به سختی و موقعیت مهاربندها بستگی دارد.
- مدل نوع Winter قاب با مفصل های ساختگی یک حد پایین بار بحرانی قاب برای همه محدوده مقادیر سختی مهاربند فراهم می کند.
- با تحلیل حساسیت خطوط تاثیر تغییر بار کمانشی نسبت به مکان مهاربند سختی واحد جدید به دست می آید.
- نسبت بین بار کمانش و سختی و سختی مهاربند نتیجه می دهد که می توان تاثیر مثبت مهاربند را هم چنین برای قاب های ضعیف مهاربندی شده، مطابق ضوابط آیین نامه به عنوان سازه های دارای حرکت جانبی محاسبه نمود.
- ضریب طول کمانش برای ستون های قاب های ضعیف مهاربندی شده کمتر از سازه های دارای حرکت جانبی اند و از این تاثیر در فرمول های ساده شده آیین نامه چشم پوشی می شود.
- سختی نهایی مهاربند قاب معین می تواند توسط تحلیل حساسیت محاسبه شود. بار بحرانی مرتبه بالای محاسبه شده برای قاب بدون مهاربند ماکزیمم بار کمانشی اول است که نسبت به افزایش سختی مهاربند حاصل می گردد. در سختی نهایی مهاربند، قاب مهاربندی شده تحت مود فاقد حرکت جانبی کمانش می کند.
- در محاسبه سختی نهایی مهاربند تاثیر نقص های گوناگون باید قبل از این که به طور عملی استفاده شود در نظر گرفته شود.