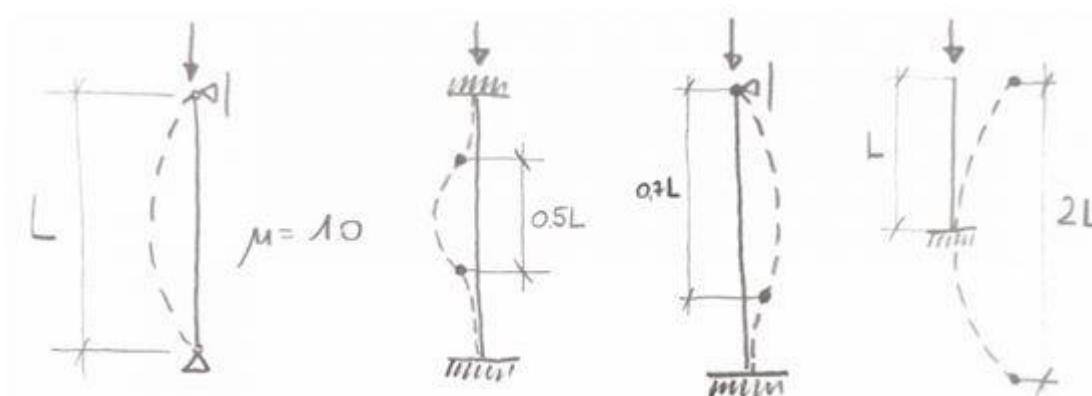


## طول کمانش در سازه‌های مهاربندی شده و مهاربندی نشده

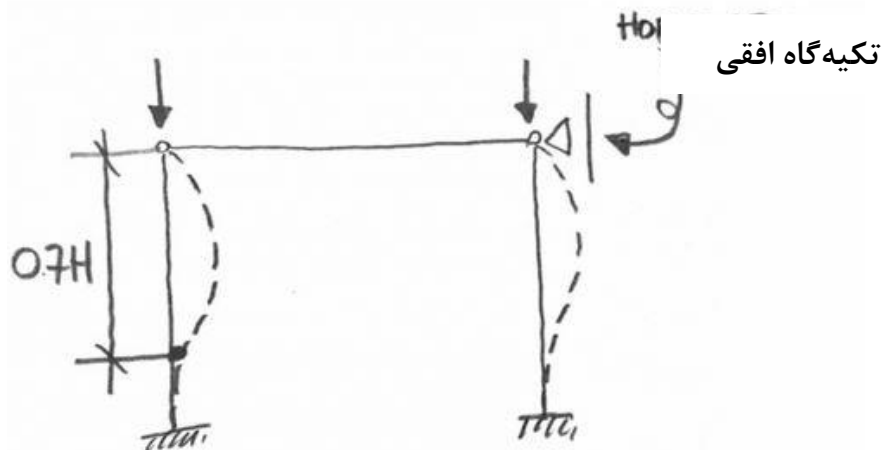
یکی از مشکلات مرتبط با طول کمانش این است که باید بدانید که سازه از نوع "مهاربندی شده" است یا "مهاربندی نشده". بررسی ساده آن به صورت متعارف از طریق جابجایی‌ها انجام می‌شود اما متأسفانه این کنترل باعث اشتباهات جدی خواهد شد!

چرا باید به سیستم مهاربندی نشده و مهاربندی شده توجه داشته باشید؟

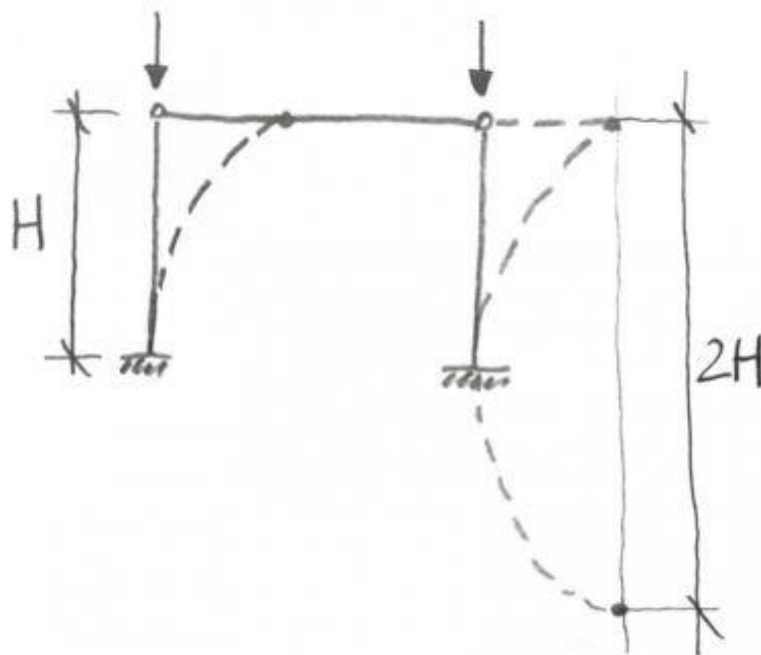
ابتدا می‌خواهم به شما نشان دهم که چرا نوع سیستم در طراحی کمانشی حیاتی است. قبلاً درباره طول کمانشی جدولی را در اختیار شما قرار دادم این جدول غالباً در کتبی که طول کمانشی شرح داده می‌شود، استفاده می‌شود:



این مجموعه تنها در سازه‌های مهاربندی شده بکار برده می‌شود و نادیده گرفتن آن بسیار راحت است! اگر قابی مشابه شکل زیر داشته باشید، همه چیز مناسب است:



متأسفانه، زمانی که تکیه‌گاه افقی از بالای سازه حذف شود، مشکلاتی اتفاق می‌افتد. ستون همچنان به صورت صلب در پایین و با یک مفصل در بالا متصل است. طبق تصویر فوق در این شرایط ضریب طول کمانشی باید برابر با  $0.7$  باشد؛ اما اتصال فوقانی در واقع به چیزی متصل نیست. سرتاسر بالای سازه (با تیر آن) در جهت افقی حرکت خواهد کرد! این حرکت تغییرمکانی را به صورت زیر نتیجه خواهد داد:



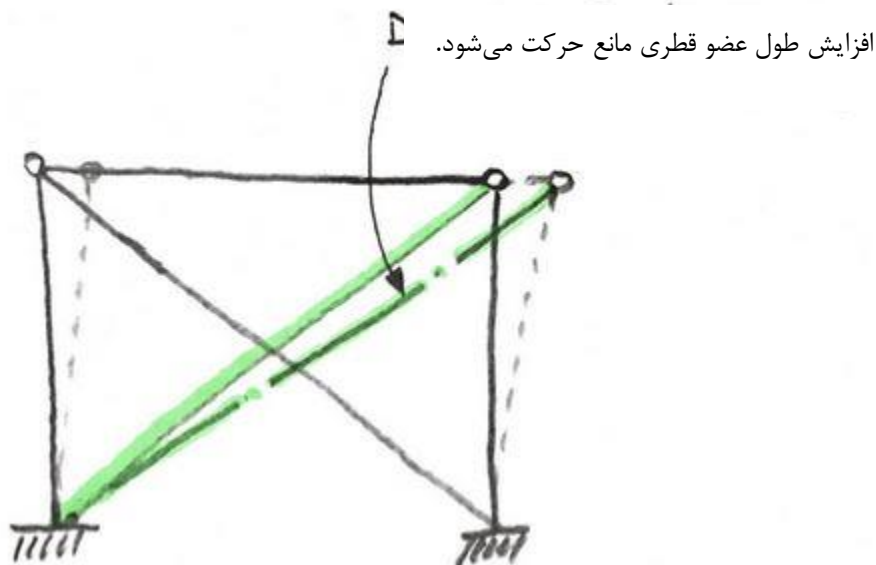
اگرچه که نوع اتصال تغییری نکرده (همچنان در یک طرف صلب و در طرف دیگر مفصل است) اما طول کمانشی تغییر کرده است! و این تغییر زیاد از  $0.7H$  تا  $2H$  متغیر است.

این همان دلیلی است که شما باید مطمئن شوید که با چه نوع سازه‌ای سروکار دارید!

### مهاربندی یک راه نجات!

مسئله "مهاربندی نشده" و "مهاربندی شده" یکی از دلایلی است که ما تمایل به استفاده از مهاربندها در سازه‌ها داریم. یک مهاربند ساده ضربدری از حرکت قسمت فوقانی جلوگیری خواهد کرد بدین معنی که سیستمی "بدون حرکت جانبی" خواهیم داشت؛ اما آیا همواره این اتفاق می‌افتد؟

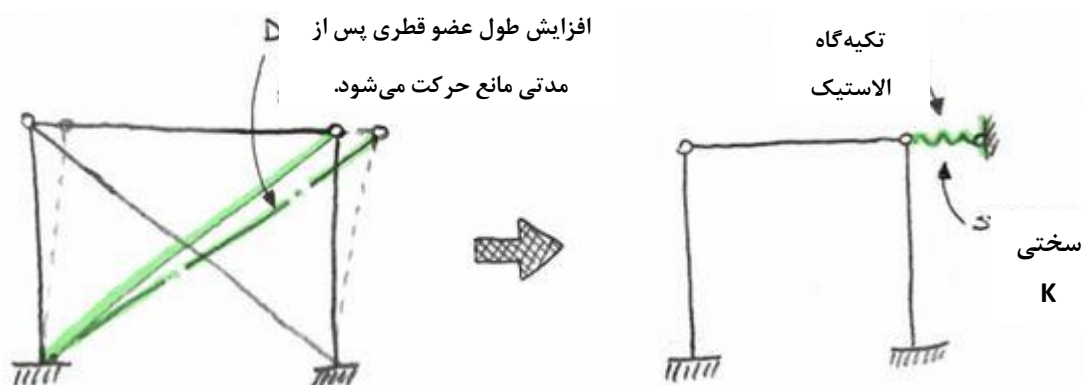
حال بیایید لحظه‌ای درباره اینکه مهاربندها واقعاً چه کاری انجام می‌دهند فکر کنیم. در یک مهاربند متعارف X شکل، یک قسمت از مهاربند تحت کشش افزایش طول پیدا می‌کند (درحالی‌که بخش دیگر تحت فشار دچار کمانش می‌شود). این افزایش طول در این بخش مهاربند بدین معنی است که یک نیرو در میله ایجاد می‌شود. هرچه سازه ما تغییر مکان جانبی بیشتری داشته باشد، این قسمت که تحت کشش است افزایش طول بیشتری خواهد داشت. همچنین این موضوع بدین معنی است که نیرو بیشتر و بیشتر خواهد شد؛ بنابراین، میله مهاربندی ما در برابر این حرکت افقی "مقاومت" می‌کند.



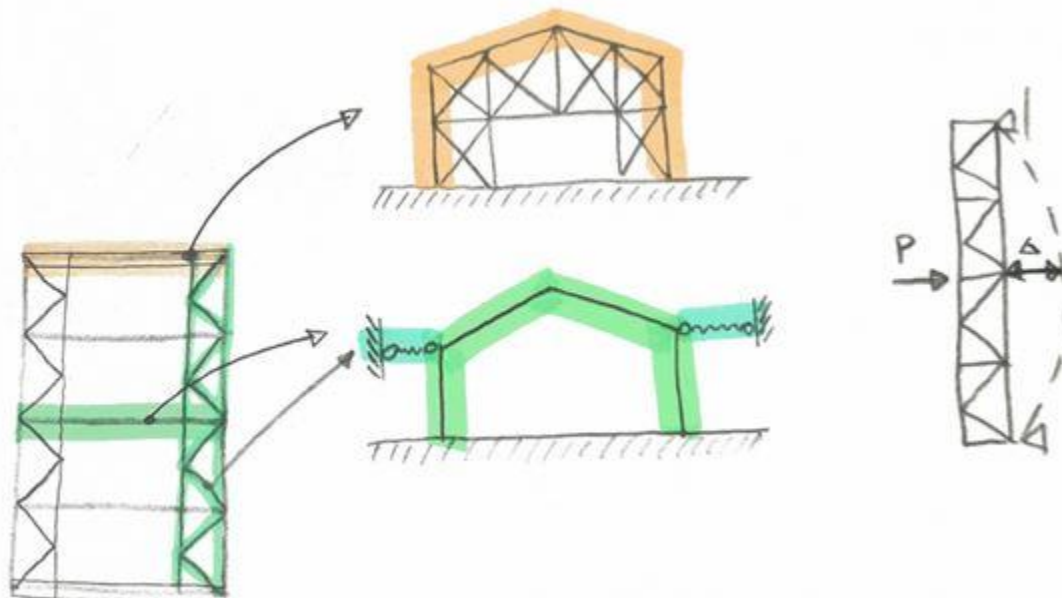
بالین حال، به منظور جلوگیری از حرکت، نیروی مشخصی در میله باید تولید شود. این بدین معنی است که مهاربند پس از مدتی به کار خواهد افتاد. علاوه بر این، هر چه مقطع عرضی مهاربند کوچک تر باشد، حرکت افقی بیشتری ممکن خواهد بود. محدوده مجاز این جابجایی قبل از اینکه قاب به هر نحوی مهاربندی شود چقدر است؟ وقتی به مسئله‌ای که حل آن دشوار است می‌رسیم، تلاش می‌کنیم که دو حالت را تصور کنیم.

وقتی به مسئله‌ای که حل آن دشوار است می‌رسیم، تلاش می‌کنیم که دو حالت را تصور کنیم. در یک حالت، قطر میله می‌تواند ۱۰۰ میلی‌متر باشد (یک محدوده) و هیچ حرکتی وجود نخواهد داشت و سازه از نوع مهاربندی شده خواهد بود. در حالت دیگر، میله می‌تواند قطر برابر با ۰,۱ میلی‌متر داشته باشد. قبل از این که این میله بتواند به اندازه کافی افزایش طول دهد و نیروی قابل توجهی را متحمل شود، سازه فرو خواهد ریخت. در این حالت، واضح است که این سازه از نوع مهاربندی نشده خواهد بود.

می‌توانیم به طور ساده شده این گونه فکر کنیم: یک مهاربند چیزی بیشتر از یک تکیه‌گاه الاستیک در بالای قاب نیست:



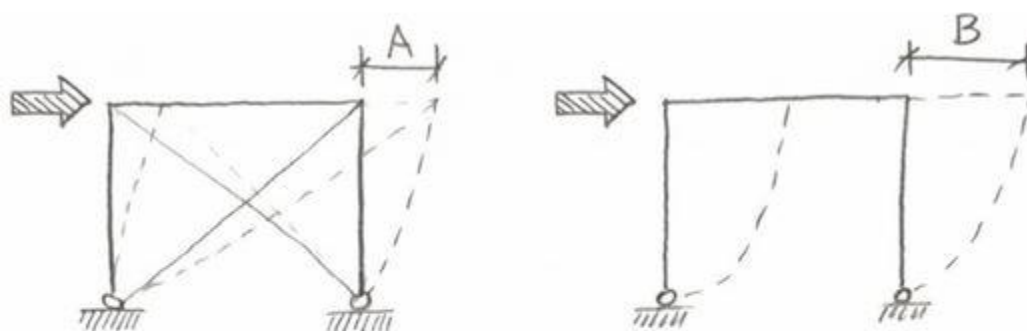
البته این مهاربند تنها راه دستیابی به تکیه‌گاه الاستیک در بخش فوقانی سازه نیست. می‌توانید به‌عنوان مثال یک سوله کوتاه را به همراه دیوارهای انتهایی بسیار صلب و خرپاهای افقی طولی در امتداد بام تصور کنید. این خرپاها حرکت افقی هر خرپا را در محدوده الاستیک نگه می‌دارند. این موضوع به شکل ساده‌شده‌ای در زیر نشان داده شده است:



حال باید پرسید: چگونه مهاربندی نبودن سازه را بررسی کنیم. متأسفانه سؤال ساده‌ای نیست.

### روش کلاسیک کنترل مهاربندی نبودن سازه

در کتاب‌های زیادی، روش کلاسیک بررسی مهاربندی نبودن سازه شرح داده شده است. مطابق با این روش، همه کاری که باید انجام دهید کنترل تغییر مکان‌های سازه با مهاربند و بدون مهاربندها است. سپس آن تغییر مکان‌ها را مقایسه می‌کنید. در صورتی که سازه بدون مهاربند بیش از ۵ برابر سازه دارای مهاربند تغییر مکان داشت، این سازه از نوع مهاربندی شده است.



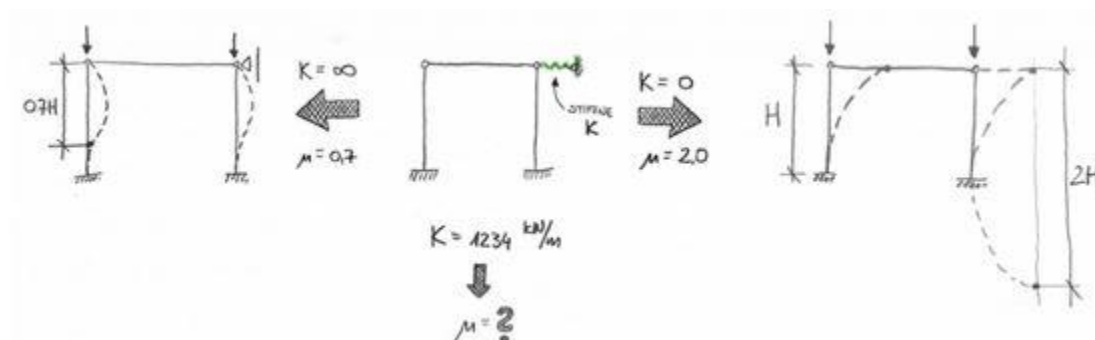
$$B > 5 \cdot A$$

توجیهی که به دنبال این روش می‌آید ساده است. در صورتی که تغییر مکان‌های همراه با مهاربند خیلی کوچک باشند، آنگاه مهاربندها "کارآمد" خواهند بود. در این صورت می‌توانیم فرض کنیم که قسمت فوقانی حرکت نخواهد کرد و سازه هیچ حرکت جانبی نخواهد داشت.

اما همیشه با این روش‌ها، یک سؤال منطقی باید پرسیده شود... چرا ۵ برابر؟ چرا ۱۰ یا ۲ برابر نه؟ و در انتها، آیا مقدار ۵ برابر مقداری صحیح است؟

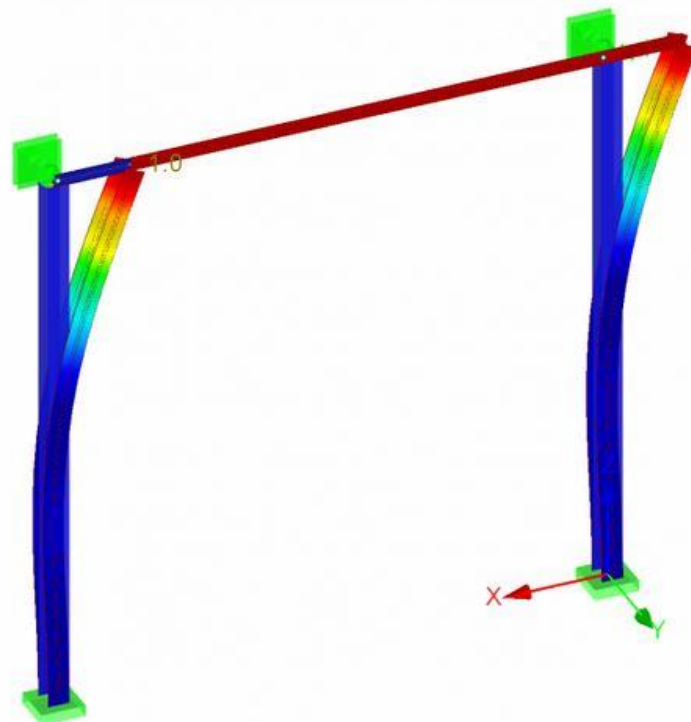
متأسفانه به نظر می‌رسد که مقدار صحیحی نیست و من این موضوع را با مثالی از طریق قاب نشان می‌دهم.

از قبل می‌دانید که می‌توانیم با مهاربندها به صورت تکیه‌گاه الاستیک دارای سختی  $K$  برخورد نماییم. همچنین در صورتی که هیچ مهاربندی وجود نداشته باشد ( $K=0$ ) ضریب کماتش در این شرایط برابر با ۲ خواهد بود. از طرفی دیگر، در صورتی که مهاربندها غیرقابل تخریب باشند ( $K$  به سمت بین‌هایت میل کند) ضریب کماتشی برابر با ۰٫۷ است. چیزی که ما نمی‌دانیم این است که بین دو حالت مذکور چه اتفاقی می‌افتد. این موضوع را به صورت ساده در شکل زیر نشان داده‌ایم:



خوشبختانه، LBA می‌تواند تمامی پاسخ‌هایی که نیاز داریم را در اختیار بگذارد. من مدل ساده‌ای از این قاب را ایجاد خواهم کرد و ضریب بار بحرانی را برای سختی‌های مختلف این تکیه‌گاه الاستیک کنترل خواهم کرد. از این طریق می‌توانیم به نتایجی درباره اینکه چگونه سختی مهاربند بر روی طول کماتشی ستون‌ها تأثیر می‌گذارد، دست یابیم!

به منظور انجام این بررسی، من مدلی ساختم که یک دیوار را در یک ساختمان سوله مهارشده شبیه‌سازی می‌کند. ستون‌ها دارای مقاطع I شکل هستند (اما محور قوی آن‌ها در جهتی دیگر قرار دارد). المان افقی لوله‌ای دایره‌ای است (که به صورت بخشی از سیستم مهاربندی عمل می‌کند). اجرای تیرهای عرضی بام و غیره قابل چشم‌پوشی است. فرض کردم که این تیرها صحیح بوده و تکیه‌گاهی را در جهت Y در بالای سازه ایجاد کرده‌ام. همچنین یک تکیه‌گاه الاستیک در گوشه سمت راست بالای قاب در جهت X وجود دارد.

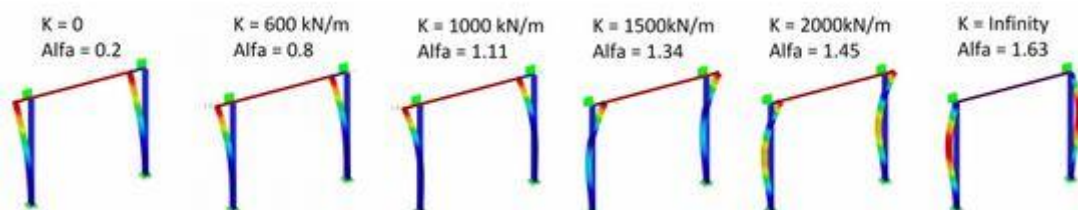


حال زمان انجام تحلیل فرارسیده است!

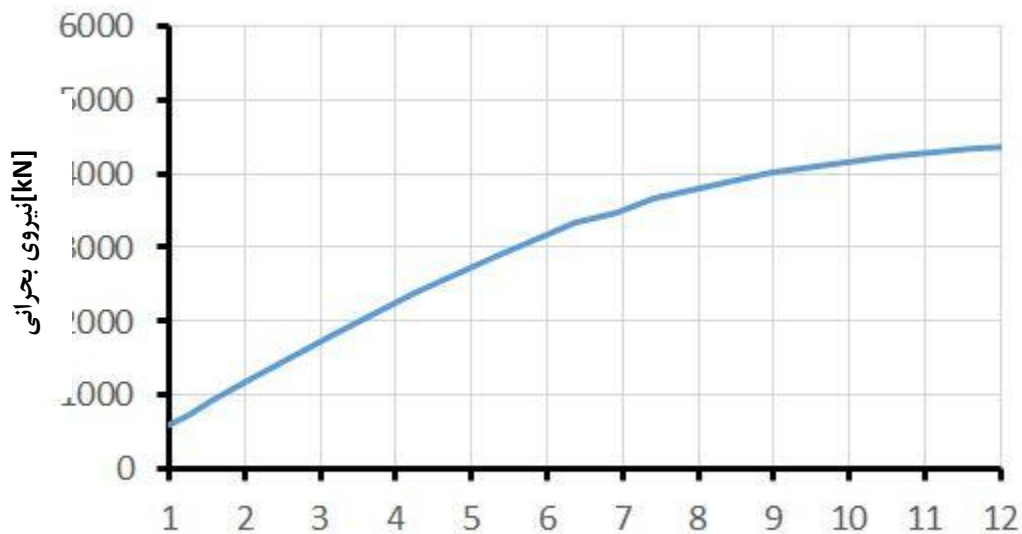
ابتدا تحلیل را بدون این تکیه‌گاه الاستیک انجام دادم ( $K=0$ ). تغییر مکان الاستیک حاصل از بار آزمایشی اعمالی برابر با ۳۸ میلی‌متر بود. ضریب بار بحرانی برابر با ۰٫۳ بود.

حالت دوم تکیه‌گاه X شکل دارای صلبیت بین‌هایت بود. در این حالت تغییر مکان افقی برابر با ۰ میلی‌متر است. ضریب بار بحرانی برابر با ۱٫۶۸ خواهد بود.

همچنین نتایج میانگینی را نیز به دست آوردم. می‌توانید برخی از آن‌ها را در زیر مشاهده کنید:

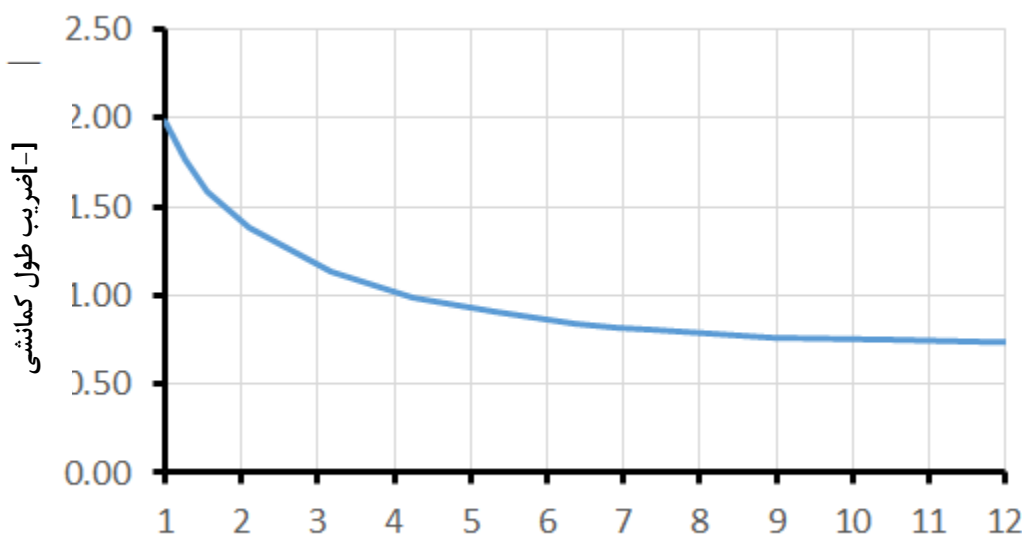


با این نتایج من جدولی را تهیه کردم که نشان می‌دهند چگونه مقادیر تغییر می‌کنند. از نسبت جابجایی افقی بین سیستم مهار نشده و سیستم دارای مهاربندی ( $B/A$  از یکی از تصاویر بالا) به‌عنوان نقطه مرجع استفاده کردم. در این مقیاس بندی مطابق با روش کلاسیک، عدد ۵ نشان‌دهنده سیستم مهاربندی شده است.



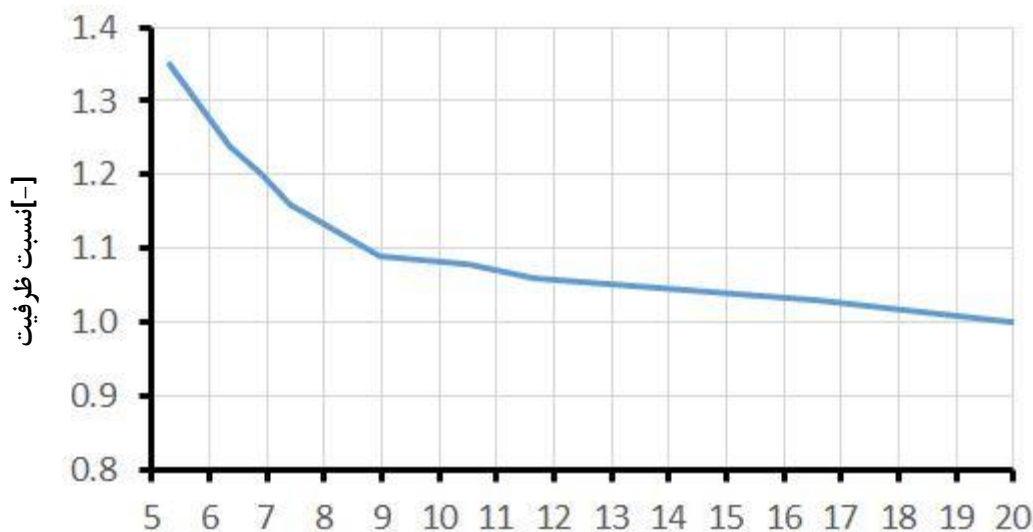
نسبت تغییر مکان حالت بدون مهاربند به حالت دارای مهاربند

همان طور که می توان دید، نیروی بحرانی بین سیستم مهاربندی نشده (که در محور افقی برابر با ۱ است) و سیستم مهاربندی شده (که در سمت راست جدول به صورت تئوری برابر با ۵ است) تغییر می کند. تغییرات در نیروی کمانشی بحرانی به این معنی است که ضریب طول کمانشی نیز در حال تغییر است و این تغییر را می توان در شکل زیر دید:



نسبت تغییر مکان حالت بدون مهاربند به حالت دارای مهاربند

با این حال، به نظر می رسد هر دو مقدار، مقادیری "مطلق" هستند، لذا مثالی ساده می زنم و در ادامه می توانید نحوه تغییرات ضریب ظرفیت را ببینید. این نمودار برای ستون دارای فشار مطلق در قاب من است و در سیستم های مختلف، این مقدار متفاوت خواهد بود؛ اما می تواند مقدار مرجع مناسبی باشد:



نسبت تغییر مکان حالت بدون مهاربند به حالت دارای مهاربند

هیچ نتایجی برای المان‌های دارای نسبت تغییر مکانی کوچک‌تر از ۵ وجود ندارد. نیروی فشاری بیشتر از بار کمانشی بحرانی بوده و غیرقابل طراحی است. همچنین توجه کنید که محور قائم از ۰,۸ شروع می‌شود نه از صفر.

#### نتایج و برداشتها

- حتماً به خاطر داشته باشید که ضرایب طول کمانشی در کتب تنها برای سازه‌های مهاربندی شده است!
- در صورتی که سازه در مود تغییر مکان جانبی بود، مسائل مربوط به پایداری بسیار بدتر خواهد بود.
- گاهی اوقات تخمین اینکه سازه شما در مود تغییر مکان جانبی است یا خیر دشوار است.
- در صورتی که شما از مهاربندهایی استفاده می‌کنید که معمولی به نظر می‌رسند، کار شما درست است. معمولاً نسبت‌های تغییر مکانی برای آن مهاربندها حوالی مقدار ۱۰ است.
- باین حال گاهی اوقات ممکن است از مهاربندهای بسیار لاغر استفاده کنید یا به المان‌های دیگر اعتماد کنید (مانند خرپاها در جهت عمود). در این حالات پاسخ به این سؤال که سازه مهاربندی شده است یا مهاربندی نشده ساده نیست. بهترین کار مدل کردن سازه و انجام آنالیز LBA است. در صورتی که نسبت‌های تغییر مکانی بالا مدنظرتان است. به نظر من مقدار ۱۰ منطقی خواهد بود؛ اما آگاه باشید که مقدار "کلاسیک" برابر با ۵ است.
- اگر از نسبت ۵ (مقدار کلاسیک) برای تمایز بین سیستم‌های مهاربندی نشده و مهاربندی شده استفاده کردید، گاهی اوقات می‌تواند مشکل‌زا بوده و گاهی اوقات نباشد. در مثال من، اختلاف در نسبت ظرفیت بین یک سیستم کاملاً مهاربندی شده و سیستم دارای نسبت تغییر شکل ۵ برابر با ۳۵٪ بود. اختلاف ۳۵٪ بزرگ است، اما به احتمال زیاد مقدار فاجعه باری نیست. در صورتی که این مقدار در پروژه‌های شما قابل توجه است، خودتان می‌توانید قضاوت کنید؛ اما آگاه باشید که می‌تواند بسیار بهتر یا بدتر باشد! ظرفیت حاصل از کمانش به فاکتورهای زیادی بستگی دارد و امکان نتیجه‌گیری‌های کلی نیز وجود ندارد.



- جداول فوق برای مثال من است. آنها عمومیت ندارند! تنها می‌خواستم به شما نشان دهم که چگونه کار می‌کنند و اینکه چگونه می‌توان تحلیل را انجام داد!

مترجم: علی برزگر

منبع:

<https://enterfea.com/buckling-length-in-sway-structures/>