

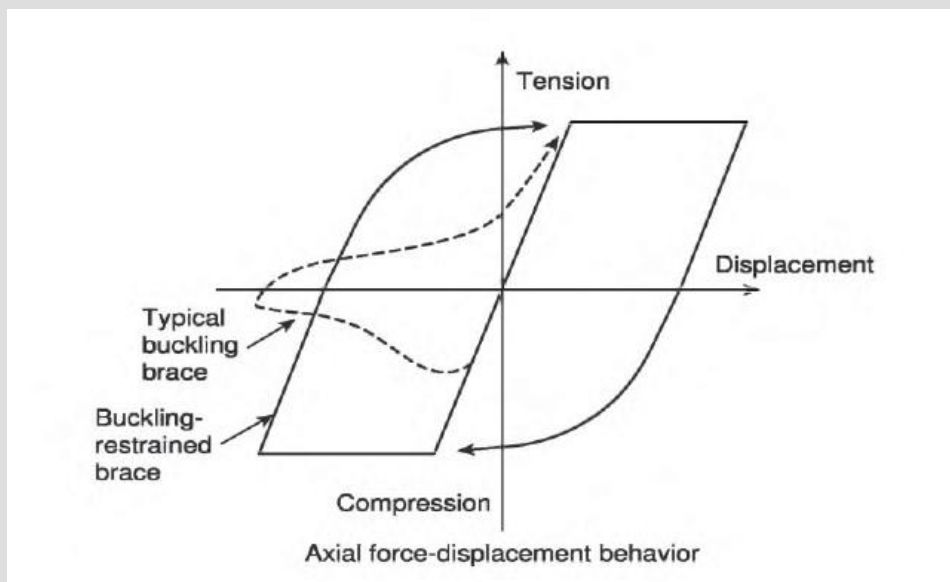
## طراحی قاب های مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر

معرفی

در مقایسه با قابهای مقاوم خمشی، علاوه بر قابهای مهاربند هم مرکز یا غیر هم مرکز، قابهای مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر یک سیستم نسبتاً جدید برای کاربردهای لرزه ای می باشد. این سیستم ابتدا در سال ۱۹۷۰ در ژاپن ساخته شده، از طریق تحقیقات بیشتر مقبولیت سریع بعد از زلزله سال ۱۹۹۴ Northridge پیدا کرده و در ایالات متحده در اندک زمانی قابل اطمینان شناخته گردید. این فصل ابتدا انگیزه و ایده اساسی پشت مفهوم قابهای مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر را معرفی می نماید. سپس اجزاء اساسی تشکیل دهنده یک قاب مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر معرفی می شوند.

### قابهای مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر در مقایسه با قابهای مرسوم

همانطور که می دانیم قابهای بطور ویژه طراحی شده و جزئیات بندی شده با بادبندی هم مرکز می توانند سختی الاستیک بالا برای محدود کردن تغییر مکان نسبی با تکیه بر بادبندهای قطری برای کمانش و تسلیم برای مستهلک کردن انرژی فراهم آورند. با وجود اینکه مشخصات فنی طراحی، نظیر AISC ۳۴۱ (۲۰۱۰) و CSA S16 (۲۰۰۹) الزاماتی را برای محدود کردن نسبت لاغری و نسبت عرض-ضخامت بادبند برای تضمین شکل پذیری کافی ارائه می نمایند، کمانش بادبند اجتناب ناپذیر است. بنابراین کمانش بادبند به افت مقاومت و سختی منتهی می گردد که می تواند در بعضی موارد، باعث تمرکز خرابی در تعداد خاصی از طبقات گشته، از این رو پتانسیل فروپاشی ساختمان را افزایش می دهد.



شکل ۱. رفتار بادبند معمول در برابر BRB

عدم تعادل بزرگ بین مقاومت های فشاری و کششی بادبند نیز به تقاضاهای بزرگ نیرو در هنگام پیروی از اصول طراحی ظرفیت منتهی می گردد. اگر بادبند بتواند در کشش و فشار بدون کماتش تسلیم شود(به شکل فوق بنگرید) به معایب سیستم **CBF** می توان غلبه کرد. یک قاب مهاربندی شده که این نوع بادبند را در خود جای میدهد، قاب مهاربند کماتش ناپذیرنامیده می شود. بعد از زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه، **BRBF**ها بطور گسترده ای برای کاربردهای لرزه ای در ژاپن مورد استفاده قرار گرفتند (Reina and Normile ۱۹۹۷). بعد از زلزله **Northridge** ۱۹۹۴، این نوع سیستم قاب بندی مقبولیت خود را در ایالات متحده کسب نمود (Clark) و دیگران (۱۹۹۹). شکل بعد مثالهای کاربرد **BRBF** برای اجرای جدید را نشان می هد. **BRBF**ها همچنین برای بهسازی لرزه ای ساختمانهای بتن آرمه نیز بکار برده شده اند (Brown et al ۲۰۰۱, Tremblay et al ۱۹۹۹). در این بخش مزایای **BRBF** را امروز می نمایم (Shuhaibar et al ۲۰۰۲):

(۱) در مقایسه با قابهای خمشی، **BRBF** سختی جانبی الاستیک بالایی در حرکت های ورودی لرزه ای تراز پایین نشان می دهد که برآورده کردن الزامات تغییر مکان نسبی آیین نامه را آسان می نماید.



الف) **BRBF** با اتصالات پیچی



ب) **BRBF** با اتصالات مفصلی

شکل ۲ نمونه هایی از BRBF

(۲) BRBF کمانش نامطلوب CBF های معمول را با تسلیم در کشش و فشار حذف نموده، در کنار آن اتلاف انرژی پایدار و بالاتری در سطوح بالای حرکات ورودی لرزه ای فراهم می کند.

(۳) BRBF نصب اقتصادی از طریق یک اتصال پیچی یا مفصلی به ورق بادبند فراهم می کند که جوشکاری و بازرسی پرهزینه در کارگاه را حذف می نماید.

(۴) بادبند به عنوان یک فیوز سازه ای قابل جایگزینی عمل می کند که خرابی به سایر المان ها را حداقل نموده و امکان جایگزینی بادبندهای خراب شده پس از حوادث لرزه ای عمده وجود دارد.

(۵) BRBF انعطاف پذیری طراحی عرضه می کند، زیرا سختی و مقاومت بادبندها می تواند به آسانی، تنظیم شود. به علاوه، مدل کردن رفتار سیکلی BRBF برای تحلیل غیر الاستیک آسان است.

(۶) در راستای بهسازی لرزه ای، BRBF نسبت به سیستم بادبندی رایج دارای مزیت باشد، زیرا ضوابط طراحی ظرفیت برای سیستم مذکور به احتمال قوی نیاز به هزینه های بالای تقویت پی و افزایش مقاومت دیافراگم کف خواهد داشت.

BRBF ممکن است بعضی معایب داشته باشد:

(۱) اکثر BRBF ها محیطی هستند.

(۲) اگر BRBF به درستی کنترل نشوند، فولادهایی که بطور رایج برای نصب قسمت تسلیم شونده مهار شده استفاده شده، ممکن است طیف وسیعی از مقاومت تسلیمی داشته باشند.

(۳) رواداری های نصب در محل عموماً کمتر از قاب های بادبندی مرسوم می باشند.

(۴) ممکن است تغییر شکل دائمی بزرگی تحت سطوح بالای ورودی لرزه ای رخ دهند، زیرا این نوع سیستم، دارای مکانیسم مرکزگرایی مجدد<sup>۱</sup> نیست.

(۵) می بایستی ضوابطی جهت شناسایی و تعویض بادبندهای خراب شده وضع گردد.

**مفهوم و مؤلفه های مهاربند کمانش ناپذیر**

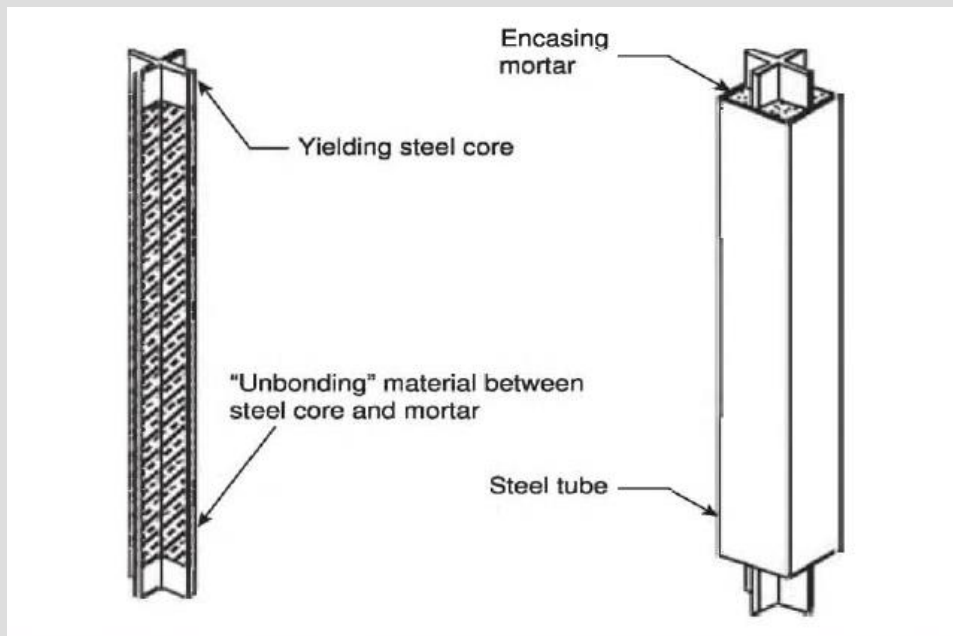
شکل ۱۳ اجزاء معمول این نوع بادبند را نشان میدهد. بادبند از یک هسته فولادی شکل پذیر تشکیل می شود که برای تسلیم در فشار و کشش طراحی می شود. برای پیشگیری کردن از کمانش سراسری در فشار، هسته فولادی ابتدا در داخل یک غلاف فولادی (برای مثال یک مقطع فولادی تو خالی (HSS) پیش از اینکه غلاف با ملات یا

<sup>۱</sup>-Recentering

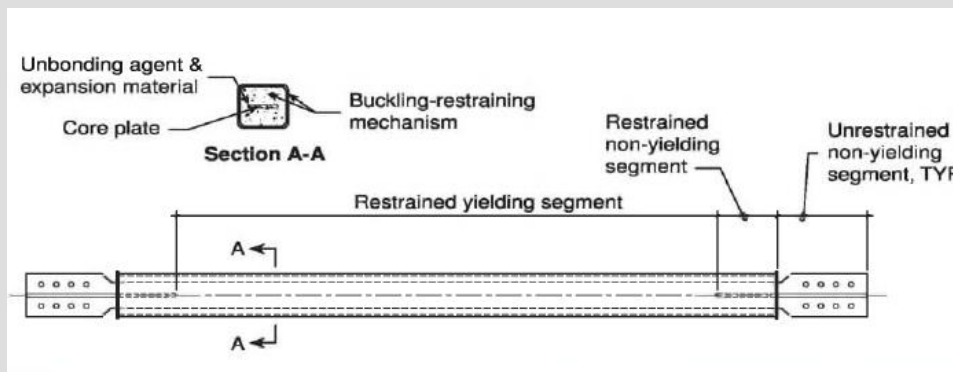
بتن پر شود، قرار می گیرد. قبل از ریختن ملات، یک مصالح چسبنده یا یک فاصله هوایی بسیار کوچک بین هسته فولادی و ملات فراهم شده تا اگر ممکن باشد انتقال نیروی محوری از هسته فولادی به ملات و HSS را حداقل یا حذف نماید. زیرا اثر پواسون باعث می گردد تا هسته فولادی تحت فشار انبساط یابد، این فاصله کوچک بین هسته فولادی و ملات برای ایجاد امکان انبساط هسته فولادی نیاز است.

شکل ۴ یک مثال از مهاربند کمانش ناپذیر را که از ۵ جزء تشکیل می شود، را نشان می دهد:

(۱) بخش تسلیم شونده مهار شده- این بخش فولادی می تواند در مقطع مستطیلی یا صلیبی شکل باشد. با وجود اینکه معمول است که یک ورق فولادی در یک غلاف احاطه گردد، بهتر است که بیش از ۱ ورق مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که این قسمت برای تسلیم تحت بارگذاری سیکلی طراحی شده است، فولاد نرمه ای که شکل پذیری بالا نشان دهد مطلوب است.



شکل ۳ مهاربند کمانش ناپذیر ساندویچی بین پانل های بتنی پیش ساخته



شکل ۴ اجزاء یک BRB



(۲) بخش غیر تسلیم شونده مهار شده - این بخش که توسط غلاف و ملات احاطه شده، معمولاً گسترشی از بخش تسلیم شونده مهار شده (ولی با یک مساحت بزرگ شده) برای تضمین پاسخ غیر الاستیک می باشد. این امر را می توان با عریض کردن بخش تسلیم شونده مهار شده یا جوش سخت کننده برای افزایش مساحت در یک ناحیه، بدست آورد.

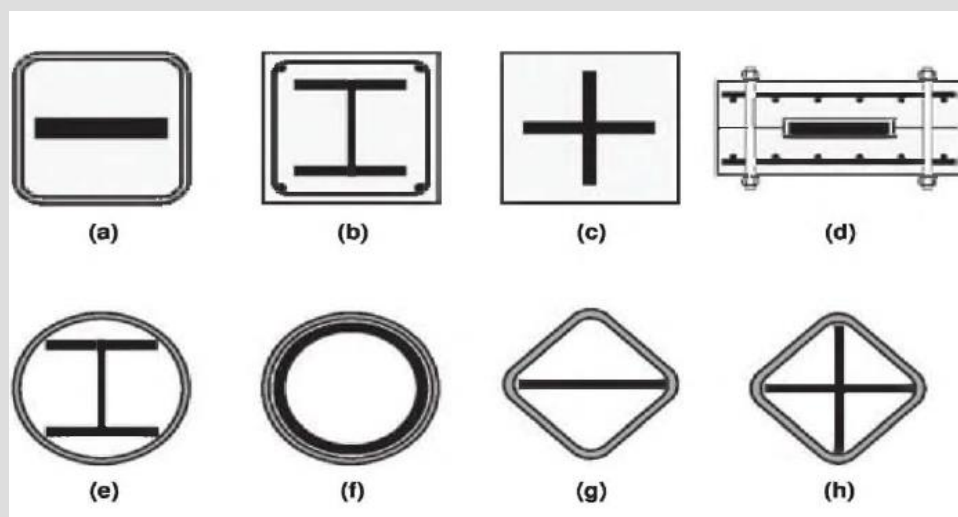
(۳) بخش غیر تسلیمی مهار نشده - این بخش معمولاً امتدادی از بخش تسلیم نشونده مهار شده است، جزاینکه از غلاف و ملات برای اتصال به قاب بیرون می زند. این بخش را می توان به عنوان یک اتصال پیچی، جوشی یا مفصلی برای نصب کارگاهی طراحی نمود. ملاحظات طراحی این بخش شامل: الف) رواداری ساخت جهت سهولت نصب در کارگاه و تسهیل برداشتن و ب) ممانعت از کماتش موضعی می باشد.

(۴) عامل نچسبده و مصالح انبساطی - مصالح خنثی شبیه لاستیک، پلی اتیلن و گریس سیلیکون یا نوار لاستیکی که می تواند بطور مؤثری انتقال نیروی برشی را بین بخش فولادی مهار شده و ملاترا به حداقل رسانیده یا حذف نماید، می تواند مصرف گردد.

(۵) مکانیسم کماتشی - مهار شده - این مکانیسم نوعاً متشکل از ملات و غلاف فولادی می باشد (برای مثال، شکل سازه ای تو خالی). ولی BRB صرفاً فولادی که در آن از ملات یا بتن استفاده نمی گردد، نیز پیشنهاد شده اند.

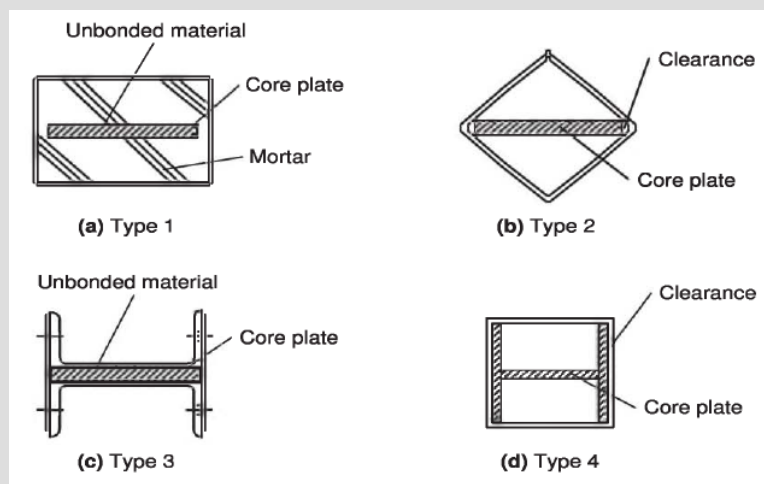
#### ۴ توسعه BRBها

انواع BRB با مصالح و هندسه مختلف پیشنهاد شده و بیش از ۳۰ سال در ژاپن تحت مطالعه قرار گرفته اند. مرور اجمالی از مطالعات منتخب در زیر ارائه شده است.



شکل ۶ سطوح مقاطع BRB مختلف ساخته شده در ژاپن.

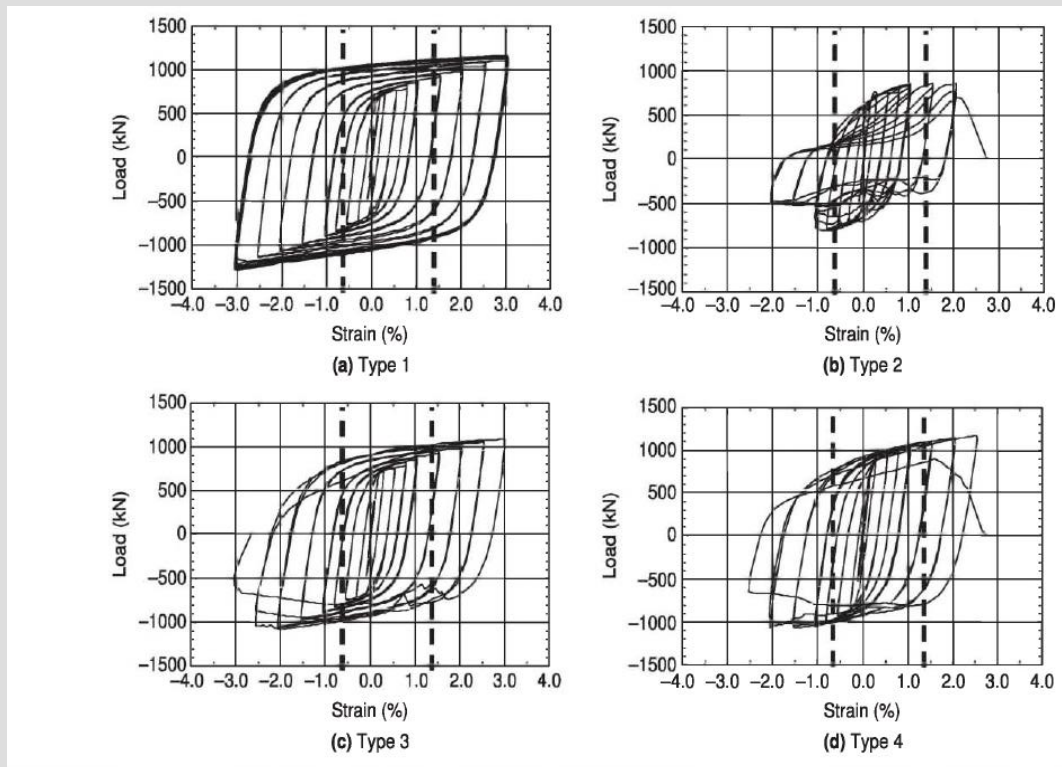
برای ممانعت از کماتش، المان فولادی تسلیم شونده می تواند هم بین پانل های بتنی از پیش ساخته یا مدفون در مقاطع فولادی پر شده با بتن ساندویچ شود. کارهای پیشتاز در بادبندهای کماتشی مهار شده بوسیله Wakabayashi و دیگران انجام شد (۱۹۷۳) که یک سیستم ساخت که در آن بادبندها ساخته شده تسمه های فولادی پهن بین یک جفت از پانل های بتنی پیش ساخته ساندویچ شده بودند. براساس مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی، که بطور مستقیم نیروهای اندرکنش بین بادبند و پانل ها را اندازه گیری کرد، محققان هم الزامات سختی و هم مقاومت را برای طراحی پانل های بتنی پیش ساخته توسعه دادند (اینوئو و دیگران ۲۰۰۱). با الهام از مفهوم Wakabayashi و دیگران (۱۹۷۳) توسعه و پیشرفت های متعدد در خصوص BRB با هسته فولادی محدود شده بوسیله غلاف فولادی ژاپن بین سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، ساخته شد. شکل فوق بعضی سطح مقاطع مورد تحقیق قرار گرفته اند، را نشان می دهد. Iwata و دیگران (۲۰۰۰) عملکرد سیکلی ۴ عدد BRB از لحاظ تجاری در ژاپن موجود را بازبینی کردند. شکل زیر سطح مقطع این محصولات را نشان می دهد. توجه کنیم که مصالح نجسبیده در هیچ یک از انواع ۲ و ۳ مورد استفاده قرار نگرفته است. مکانیسم کماتشی مهار شده نمونه نوع ۳ متشکل از ۲ ناودانی و ۲ ورق متصل با پیچ های پر مقاومت بود. ورق های نرم لاستیکی (ضخامت ۱mm) بین ورق هسته و مکانیسم کماتشی مهار شده برای نمونه های نوع ۱ و ۳ فراهم شدند.



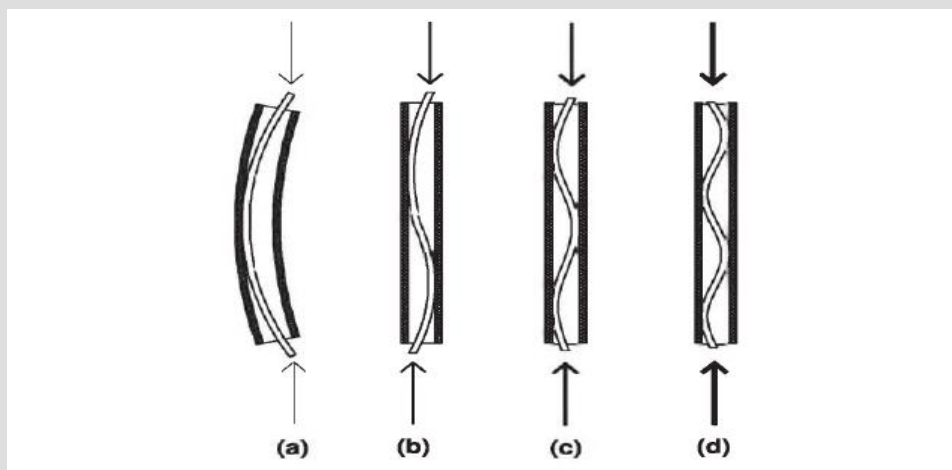
شکل ۷ مقطع ۴ نمونه آزمایشی.

شکل ۸ پاسخ سیکلی تمامی نمونه های آزمایش را نشان می دهد. توجه کنیم که گونه های ۲ و ۴ به خوبی عمل نکردند و احتمالاً این امر به واسطه آن است که هیچ ملاتی برای محدود کردن کماتش موضعی استفاده نشد. اثر محدود مهاری نمونه نوع ۳ به اندازه ای که بوسیله لوله فولادی و ملات در نوع ۱ فراهم شد، مؤثر نبود. همچنین یک BRB را می توان به عنوان یک میله یا فنر آزمایشی غلاف هسته بارگذاری شده، نگرست. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، هسته در یک ستون غلافدار بطور شل داخل یک مهره قرار گرفته و بار فقط به هسته اعمال می شود. ایده اصلی مجزا یا دکوپله کردن مقاومت بار فشاری هسته از مقاومت کماتشی خمشی غلاف است. مقاومت فشاری هسته فولاد در یک غلاف بستگی به سختی های نسبی هسته و غلاف دارد. هسته، تحت عمل بار اعمالی، در ابتدا به مود اول خود کماتش کرده و در مقابل سطح داخلی غلاف فشار وارد می کند،

بنابراین باعث تنش خمشی عمده ای در غلاف می شود. اگر تنش خمشی ماکزیمم در غلاف کنترل گردد، امکان اعمال بار اضافی وجود داشته که باعث پرش هسته به مودهای کماتر بالاتر می گردد. ظرفیت بار فشاری زمانیکه فاصله بین هسته و غلاف کاهش یافت، افزوده شد. علیرغم این امر، "فاصله صفر" به ظرفیت پایین تر منتهی می شود، زیرا هسته نمی تواند به مودهای بالاتر کماتر کند.



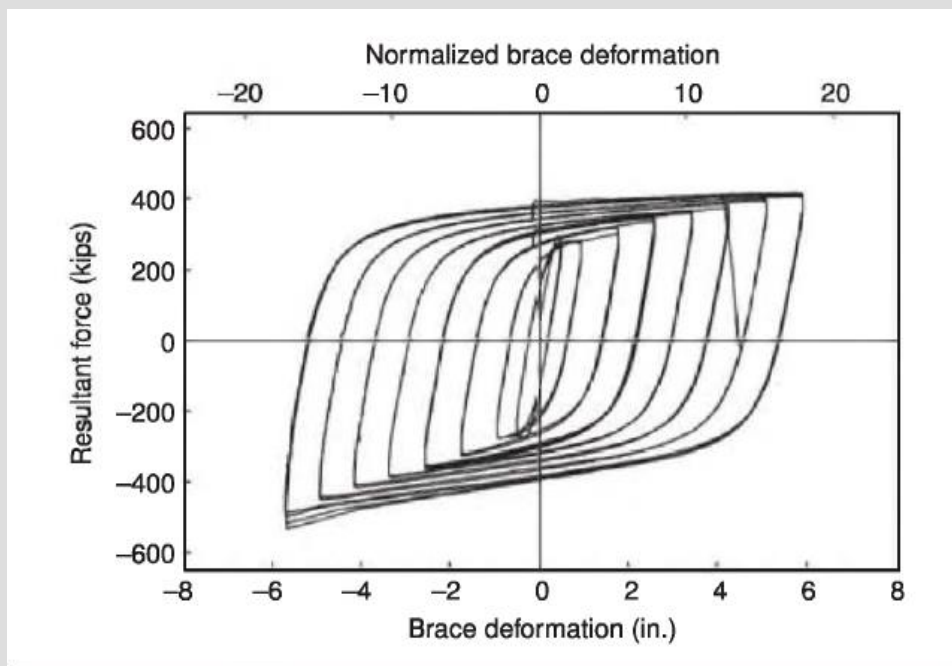
شکل ۸ پاسخ سیکلی ۴ نمونه آزمایشی



شکل ۹ مفهوم ستون غلاف دار

از آنجا که BRBF بطور فرآیندهای در حال محبوبیت یافتن است، نیاز به قانونمند و آیین نامه ای کردن این سیستم است. یک کار گروه مشترک از SEAOC-AISC ضوابط پیشنهادی برای طراحی و ساخت را تدوین نمودند (Sabelli ۲۰۰۴) که بعداً در AISC۲۰۰۵ (AISC۲۰۰۵) پذیرفته شد. پروتکل بارگذاری برای آزمایش ها در این ضوابط گنجانده شده است که عمدتاً براساس زحمات Sabelli و دیگران توسعه یافت که مجموعه ای از تحلیل های دینامیکی روی ساختمان های مدل برای مشخص کردن تقاضای لرزه ای BRBF انجام داد. بعداً آزمایش سطح زیر مونتاز و آزمایش سطح سیستم BRBF در ایالات متحده و سایر اماکن انجام گردید. پاسخ معمول BRB در شکل ۱۰ نشان داده شده است. پاسخ هیسترتیکس در مورد ظرفیت استهلاک انرژی بزرگ، بسیار پایدار است. پاسخ هیسترتیک ایده آل یک BRB نشان می دهد که مقاومت تحت کشش و خمش یکسان خواهد بود. با این حال برای یک تغییر شکل محوری معین، نتایج آزمایش معمولاً نشان می دهد که مقاومت فشاری بزرگتر از نیروی کشش است. این یک عدم تعادل کوچک است، ولی با این حال این باید از نقطه نظر طراحی ظرفیت لحاظ گردد.





شکل ۱۰ پاسخ هیسترتیس تیپ BRB

زمانیکه فولاد هسته در فشار است، به علت اثر پواسون گسترش یافته و ممکن است با ملات تماس پیدا کند. به علاوه، به محض اینکه کمانش موضعی مود بالاتر در هسته فولاد رخ می دهد، هسته فولاد کمانش یافته در برابر ملات و غلاف مقاومت می نماید که باعث می شود تا مؤلفه ملات- غلاف در تقسیم بار شرکت نماید. هر دو فاکتور به مقاومت فشاری بالاتر کمک می کنند.

### مودهای گسیختگی غیر شکل پذیر

برای تضمین اینکه مکانیسم تسلیم مورد انتظار در یک BRBF شکل خواهد گرفت، مودهای گسیختگی می بایست شناسایی شوند. آنگاه اصول طراحی ظرفیت برای اجتناب از این مودهای گسیختگی اعمال می گردند.

### غلاف فولادی

زمانیکه به درستی طراحی و جزئیات آن تعیین گردد، غلاف فولادی نباید هیچ مقاومتی در برابر بار محوری خاص داشته باشد. برای اجتناب از کمانش سراسری BRB، غلاف فولاد دارای سختی خمشی کافی است. با چشم پوشی از سهم ملات یا بتن، Watanabe (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند که غلاف فولادی برای سختی خمشی طراحی شود به نحوی که

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1.0 \quad (11.1)$$

که در آن  $P_y$  مقاومت تسلیم بخش تسلیم شونده مهار شده و  $P_e$  مقاومت کمانش الاستیک غلاف فولادی است:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI_{sc}}{L_{sc}^2} \quad (11.2)$$

در معادله (۲)  $E$  مدول یانگ،  $I_{sc}$  لنگر اینرسی غلاف فولادی و  $L_{sc}$  = طول نقطه کار<sup>۲</sup> تا نقطه کار بادبند است.

اگر فرض شود که سخت شوندگی کرنشی سیکلی، مقاومت فشاری فولاد را به اندازه ۳۰٪ افزایش می دهد و یک ضریب مقاومت  $\Phi$  در صورت کسر گنجانده شده، آنگاه:

$$\frac{\Phi P_e}{1.3 P_y} \geq 1.0 \quad (11.3)$$

or

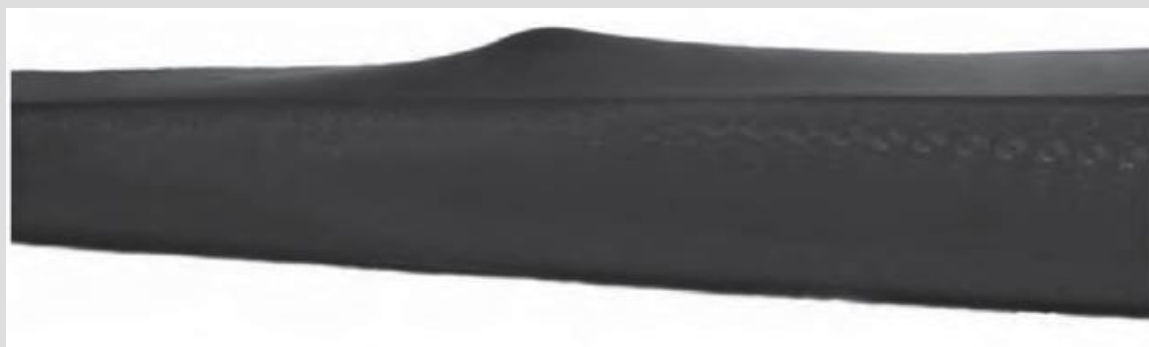
$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1.5 \quad (11.4)$$

عبارت فوق با رابطه پیشنهادی **Watanabe** و دیگران همخوانی دارد.

۲ مورد دیگر نیز باید در نظر گرفته شوند. ملات یا بتن باید سختی و مقاومت کافی برای سازگاری با کمناش مود بالای هسته فولادی زمانیکه ورق حول محور ضعیف کمناش یافته، در برابر ملات اطراف یا بتن فشار وارد خواهد کرد، را داشته باشد. اگر نه، گسیختگی موضعی همانند آنچه در شکل ۱۱ نشان داده شده به علت فشرده شدن بتن حاصل خواهد شد. اگر ضخامت دیواره غلاف کوچک و پوشش بتن بین لبه هسته فولادی و غلاف کم باشد، هسته فولادی تسلیم شونده نیز حول محور قوی خود کمناش می کند.

### اتصال بادبند

معمولاً انتهای بادبند به عنوان اتصال پیچی برای نصب در کارگاهی طراحی شوند ولی سایر طرح های اتصال نظیر اتصال مفصلی یا اتصال جوشی نیز ممکن هستند.



<sup>۲</sup> محل تلاقی خط آکس بادبند، ستون و تیر work point

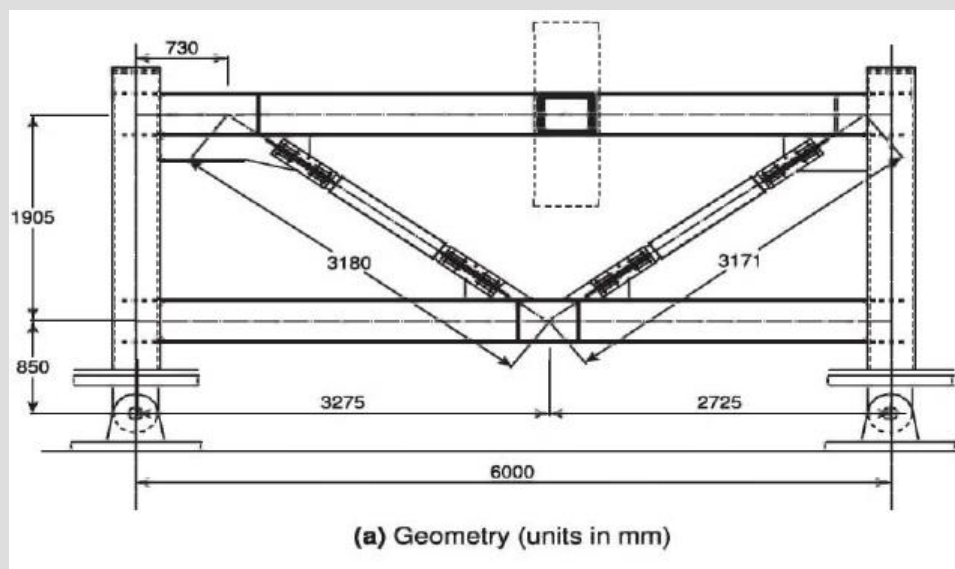
شکل ۱۱ گسیختگی موضعی به علت مقاومت ناکافی بتن

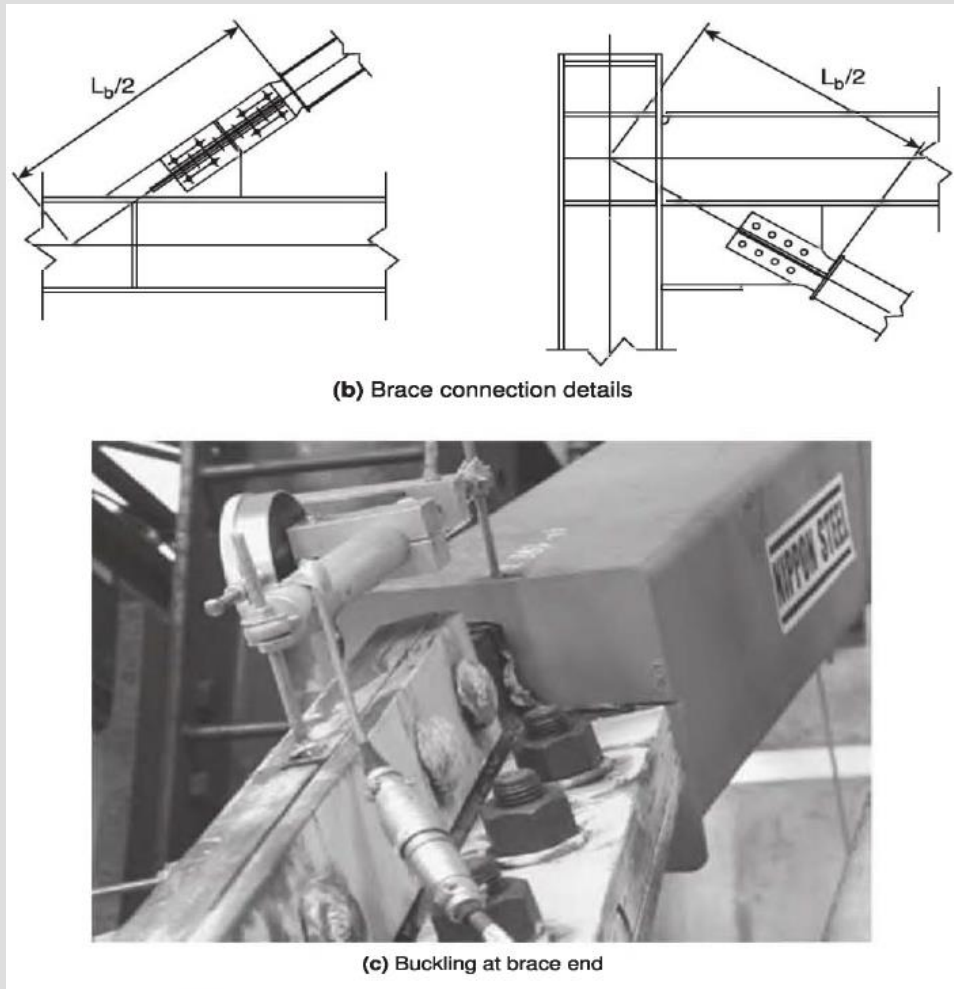


شکل ۱۲ کمانش مود بالاتر هسته فولادی

شکل ۲b مثالی را نشان می دهد که در آن اتصالات مفصل استفاده می شوند. برای آنکه یک BRB عملکرد مطلوب خود را به نمایش بگذارد، ضروری است که هیچ کمانش موضعی در اتصال انتهایی رخ ندهد. Tsai و دیگران (۲۰۰۲) آزمایش سیکلی یک زیر مونتاز نیم-مقیاس را انجام دادند. اشکال ۳a و b هندسه زیر مونتاز نیم-مقیاس و جزئیات تپ اتصال بادبند-تیر را نشان می دهد. در طول آزمایش، کمانش موضعی در اتصال بادبند-تیر مطابق شکل ۱۳c مشاهده گردید. برای ممانعت از کمانش ورق بادبند، Nakamura و دیگران (۲۰۰۰) پیشنهاد دادند که معیار زیر برای کمانش بیرون از صفحه رعایت گردد:

$$P_{e\_trans} = \frac{\pi^2 EI_{trans}}{(KL_b)^2} \geq C_{max} \quad (11.5)$$





شکل ۱۳ هندسه آزمایش زیر-مونتاز: الف) هندسه (بر حسب mm) ب) جزئیات اتصال بادبند؛ ج) کمانش در انتهای بادبند

که در آن  $C_{max}$  نیروی فشاری ماکزیمم بادبند،  $I_{trans}$  لنگر اینرسی کمانش بیرون-صفحه ای بخش تسلیم شونده مهار نشده بادبند است؛  $K$  ضریب طول موثر می تواند بطور محافظه کارانه برابر ۱ فرض شود؛ و  $L_b$  طول اتصال مهاربندی نشده تعریف شده در شکل ۱۳b است. توجه نمایید که مخرج سمت راست معادله ۱۵ معادل با استفاده از طول اتصال ورق بادبند به عنوان  $L_b$  و ضریب طول موثر برابر ۲ است.

(Tsai and Hsiao ۲۰۰۸) نیز یک BRBF سه طبقه با مقیاس کامل ساختند. کمانش اتصال ورق بادبند بار دیگر مشاهده گردید (شکل ۱۴a را ببینید). مطالعه نشان داد که روش طراحی در راهنمای AISC برای محاسبه مقاومت فشاری یک ورق بادبند با ضریب طول موثر  $K$  برابر ۰.۶۵ غیرمحافظه کارانه است. چون اتصال بادبند-ورق مجاز به حرکت خارج از صفحه است، پیشنهاد می شود که یک مقدار  $k$  برابر ۲ اگر صفحه بادبند سخت نشده باشد، استفاده گردد. با این حال یک روش موثر برای تقویت مقاومت فشاری صفحه بادبند فراهم نمودن سخت کننده های لبه ای، مشابه شکل ۱۴b است. همچنین در شکل آخری به مهاربندی جانبی در میانه دهانه توجه



نمایید. برای ممانعت از کمانش برون-صفحه ای، Keotaka و دیگران ۲۰۰۸ نشان داده اند که مهم است هم مهاربندی جانبی و هم سختی پیچشی کافی تیر فراهم گردد.



(a) Unstiffened gusset connection



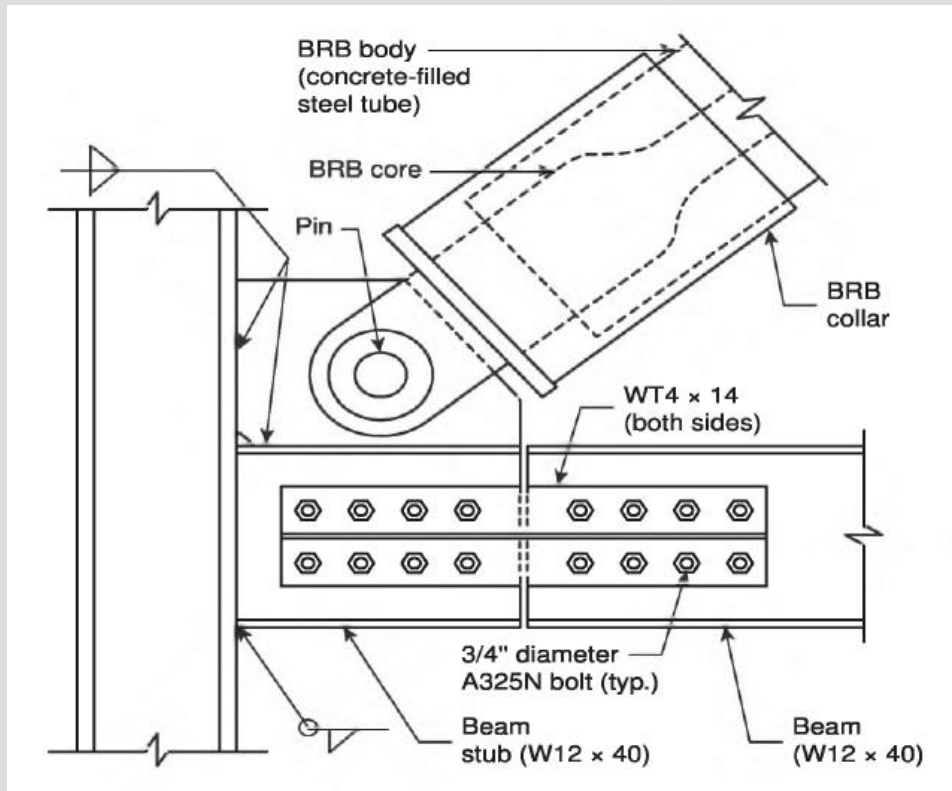
(b) Edge-stiffened gusset connection

شکل ۱۴ کمانش صفحه بادبند BRB و طرح یک سخت کننده: الف) اتصال صفحه بادبند سخت نشده؛ ب) اتصال صفحه بادبند لبه سخت شده.

### اثر اعوجاج قاب بر روی اتصال بادبند

برای بررسی اثر اعوجاج قاب (که تغییرشکل های خمشی و محوری به بادبندها وارد می کند) آزمایش سیکلی مونتاز مقدماتی یک طبقه کامل تیرها، ستونها و بادبندها انجام گردید (Lopez ۲۰۰۲, Aiken ۲۰۰۲). نتایج آزمایش نشان داد که BRB ها بخوبی عمل کرده و قادر به مقابله در برابر تغییرشکل های پیچشی بدون اثرات منفی بر روی ظرفیت های محوری شان می باشند. با این حال لبه آزاد یک صفحه بادبند تیر-ستون-بادبند زمانیکه بادبند در عوض فشار در کشش بود، کمانه کرد. چون حضور یک صفحه بادبند اتصال تیر-ستون را سخت

می کند، صفحه بادبندی که بادبند کششی به آن متصل است، بوسیله تیر و ستون به علت اعوجاج قاب گاز گرفته می شود (یعنی بسته شدن نسبی نبشی بین تیر و ستون در آن موقعیت) که باعث کماتش صفحه بادبند گردید. برای حذف کماتش صفحه بادبند، (Fahnestock (۲۰۰۷) یک دیتیل اتصال پیشرفته در مقیاس ۰,۶ قاب آزمایش BRBF ۴ طبقه برای امکان دوران هنگام محدودسازی تقاضاها روی نواحی اتصال را جای دادند (بنگرید به شکل ۱۵). BRB های مورد استفاده دارای اتصالات مفصل واقعی، مشابه با شکل ۲b می باشند.



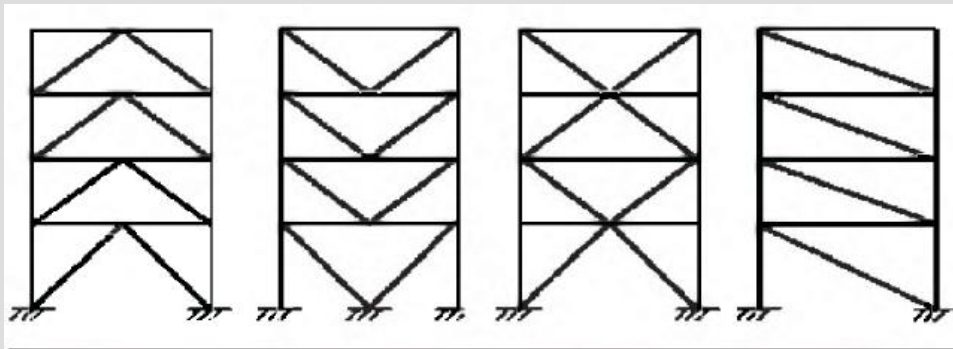
شکل ۱۵ دیتیل اتصال تقویت شده تیر-ستون-بادبند

بنابراین، مفصل لنگر ایجاد شده در BRB را محدود می سازد. یک وصله پیچی تیر با استفاده از صلیبی های سازه ای دوبله بین تیر و ریشه تیر برای انتقال نیروی محوری معرفی شد ولی مقاومت خمشی حداقلی را نشان داد. نتایج آزمایش نشان داد که این دیتیل اتصال قادر به سازگاری با یک تغییرمکان نسبی بسیار بزرگ در قاب بدون ایجاد هیچ کماتشی در اتصال صفحه بادبند بود. بست هایی که در انتهای BRB های مفصلی موجود بود نیز در ممانعت از کماتش برون-صفحه صفحه بادبند سودمند بودند. همچنین آزمایش نشان داد که تغییرمکان نسبی عرضی پسماند بزرگ می تواند پتانسیلی برای عیب و نقص آن نوع خاص از BRBF ها باشد، ولی این مشکل اگر یک سیستم دوگانه BRBF با یک قاب خمشی ویژه (به عنوان سیستم پشتیبان استفاده شود)، می تواند حداقل گردد (Uang و Kiggins ۲۰۰۶).

پیکره بندی BRBF

قابهای مهاربند کمانش ناپذیرمی توانند به روشهای متعددی با تمایزات بسیار اندکی در رفتار، پیکره بندی شوند. شکل ۱۶ پیکره بندی های بعدی قاب را نشان می دهد: مهاربندی V، مهاربندی V معکوس، ۲ طبقه X و قطری تک. توجه کنیم، مهاربندی یک طبقه X در مهاربندهای کمانش ناپذیرمیسر نمی باشد. قطری های تک اغلب برای ساخت کوتاه-مرتبه مفیدند، زیرا مهاربندهای کمانش ناپذیر می توانند برای نیروی محوری بسیار بالا با یک اجرت هزینه متوسط طراحی شوند. برعکس، مهاربندهای کمانش ناپذیر با مقاومت محوری پایین آنچنان صرفه جویی قیمتی ایجاد نمی کنند، زیرا کار مونتاژ قطعات اصولاً یکسان است.

طبیعتاً زاویه انحراف بادبند (و تعداد بادبندهایی که در برش طبقه سهیم هستند) اثری روی نیروی محوری داشته که یک بادبند منفرد می بایستی در برابر آن مقاومت کند. به علاوه، این زاویه انحراف درجه تأثیری بر روی سختی الاستیک سازه دارد. با اینحال، هیچ یک از پیکره بندی های مذکور تحت باز توزیع بزرگ نیروها، زمانیکه بادبند تسلیم شده وسازه فراتر از طیف لاستیک می رود نیست.

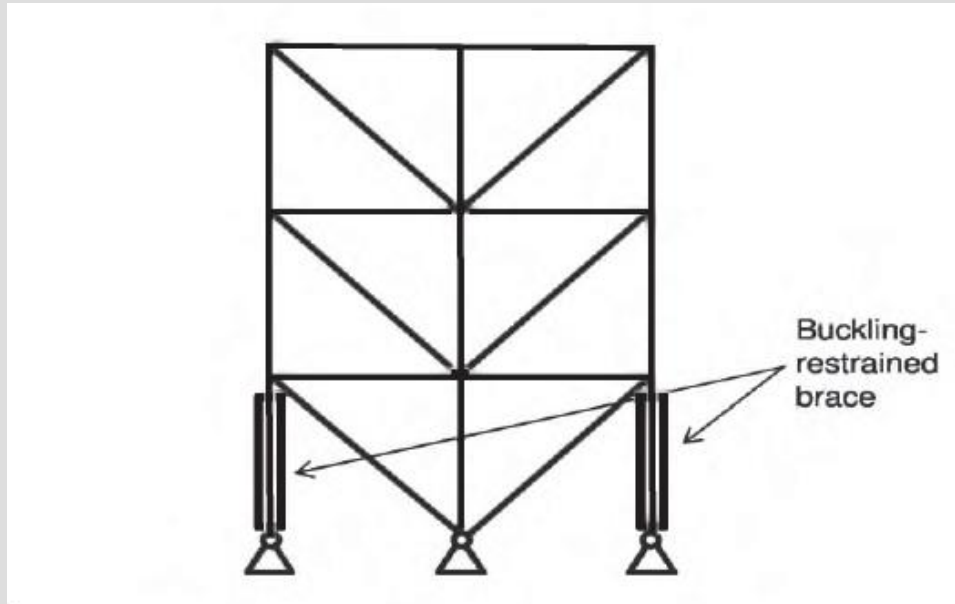


شکل ۱۶ پیکره بندی های تیپ BRBF

با این حال انتخاب پیکره بندی اثر غیرمستقیمی بر روی رفتار سیستم دارد، زیرا طول بادبند موجود برای بخش تسلیم شونده برای هر پیکره بندی متفاوت خواهد بود. برای مثال در یک اندازه دهانه معین، طول تسلیم شونده بادبند در پیکره بندی مهاربندی V، بطور قابل ملاحظه ای کوچکتر از مدل قطری تک خواهد بود. بنابراین بادبندها در پیکره بندی مهاربندی V کرنش های بالاتر و سخت شوندگی کرنشی بزرگتری را در ناحیه تسلیم شونده خواهند داشت.

یک قاب مهاربند کمانش ناپذیرنابایستی به صورت یک قاب که در آن تمامی بادبندها اعضاء کمانشی مهارشده هستند، فرض گردد. می توان این قاب را به عنوان یک قاب مهار بندی شده که در آن تغییر مکان نسبی غیر الاستیک، حاصل ظرفیت شکل پذیری محوری اعضاء کمانش ناپذیر است، در نظر گرفت. با این روش در نظر گرفته شده، آنها را می توان با استفاده از پیکره بندی های که عملکرد قابل ملاحظه و مزایای هزینه ای ارائه می کنند، طراحی نمود. شکل ۱۷ یک پیکره بندی مهاربندی دوگانه را نشان می دهد که در آن ظرفیت تغییر مکان نسبی غیرالاستیک محصولی از یک جفت پایه های قائم کمانش ناپذیر است. برش طبقه بوسیله بادبندهای معمولی تحمل و واژگونی در پی بوسیله پایه قائم کمانش ناپذیر تحمل می شود. در مقابل، اعضاء معمول یک خرپای قائم

تشکیل می دهند که می بایست بوسیله پایه های قائم تثبیت شوند. این سیستم به عملکرد الاستیک خرابی معمول وابسته بوده که می بایست برای نیروهای مربوط به ظرفیت "پایه های قائم" (Strut) شکل پذیر طراحی شود. برش های ایجاد شده توسط پاسخ دینامیکی مود بالاتر می تواند اثر شایان توجهی بر این خرابی قائم داشته باشد؛ این اثر برای سیستم های بلندتر بیشتر مورد تأکید است.



شکل ۱۷ پیکره بندی مهار بند دوگانه

### طراحی بادبندهای کمانش ناپذیر

طراحی قاب های مهاربند کمانش ناپذیر در بسیاری از جنبه ها ساده تر از طراحی قابهای مهاربند ویژه هم مرکز (SCBF) یا سایر قاب های مهاربندی طراحی شده برای پاسخ لرزه ای شکل پذیر است. بسیاری از محدودیت ها و روش های در نظر گرفته شده ضروری برای SCBF به دلیل تمایز رفتار در کشش و فشار بادبندهای کمانش (هنگامی که مهاربند کمانش ناپذیر شکل پذیر تر استفاده می شوند) غیر ضروری می باشند.

### طراحی بادبند

طراحی قاب های مهاربند کمانش ناپذیر معمول شامل سایز بندی هسته های فولادی بادبند برای ارائه مقاومت محوری کافی است. این یک طراحی براساس مقاومت مصالح است. مقاومت طراحی محوری بادبند بشرح زیر تعیین می گردد:

$$\phi P_{y_{sc}} = \phi F_{y_{sc}} A_{sc} \quad (11.6)$$

که در آن  $F_{y_{sc}}$  = تنش تسلیم حداقل مشخص شده هسته فولادی،  $A_{sc}$  = مساحت مقطع بخش تسلیم شونده هسته فولادی و  $\phi = 0.9$  برای وضعیت حدی تسلیم می باشد. این مقاومت هم برای کشش و هم فشار اعمال می



شود، زیرا کمانش هسته کاملاً بوسیله غلاف مهار می شود. این مقاومت با مقاومت مورد نیاز باند‌های مربوط به برش پایه طرح مقایسه می شود.

### مدل سازی الاستیک

در روش معمول یک مدل الاستیک برای تعیین مقاومت مورد نیاز باند استفاده می شود. مدلسازی الاستیک برای تعیین مقاومت های مورد نیاز باند و تعیین مشخصات دینامیکی لاستیکی سازه استفاده می شود. در ساخت یک مدل الاستیک با مهاربند کمانش ناپذیر، نیاز است بعضی اصلاحات انجام گردیده تا بطور مناسبی سختی الاستیک این المان تعیین گردد. تنش های محوری باند عمده‌تاً به هسته فولادی محدود شده و فشار و انبساط این عضو باید بطور منطقی در این مدل ارائه شود. مدل باید پیکره بندی غیر منشوری این هسته را (بنگرید به شکل ۴) هم بطور مستقیم و هم غیر مستقیم، در نظر بگیرد. علاوه بر طول تسلیم و بخش های تسلیم نشونده، می بایست اندکی تقریب در مورد مساحت باند خارج از ناحیه تسلیم شونده انجام گردد. برای باند‌های تولید شده، تولید کننده می تواند تخمین های براساس اندازه اتصال موجود طول کلی باند و سایر فاکتورها، انجام دهد. برای باند‌های نصب شده، طراحی بوسیله طراح معادله زیر می تواند برای بدست آوردن سختی محوری مؤثر باند استفاده شود (Tsai و دیگران):

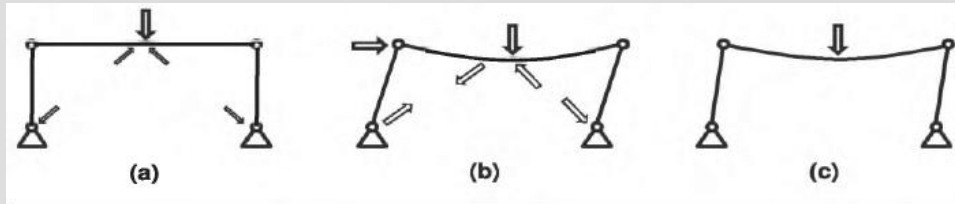
$$K_{eff} = \frac{E}{\left( \frac{L_{ysc}}{A_{ysc}} + \frac{L_{nysc}}{A_{nysc}} + \frac{L_{conn}}{A_{conn}} \right)} \quad (11.7)$$

که در آن E مدول یانگ،  $A_{ysc}$  مساحت هسته فولادی تسلیم شونده،  $A_{nysc}$  مساحت هسته فولادی خارج از ناحیه تسلیم شونده،  $A_{conn}$  مساحت اتصال (نوعاً تقریبی)،  $L_{ysc}$  طول ناحیه تسلیم شونده فولادی،  $L_{nysc}$  طول ناحیه تسلیم نشونده فولادی،  $L_{conn}$  طول اتصال است. این سختی مؤثر نوعاً در گستره ۱٫۳ تا ۱٫۸ برابر سختی یک هسته منشوری از نقطه کارکردی تا نقطه کارکردی می باشد. باند‌های کوتاه تمایل به داشتن سهم بزرگتری از طول معین شده روی ناحیه اتصال و تسلیم نشده دارند؛ همین امر در مورد باند با نیروی محوری بالا صادق است.

### بارهای ثقلی

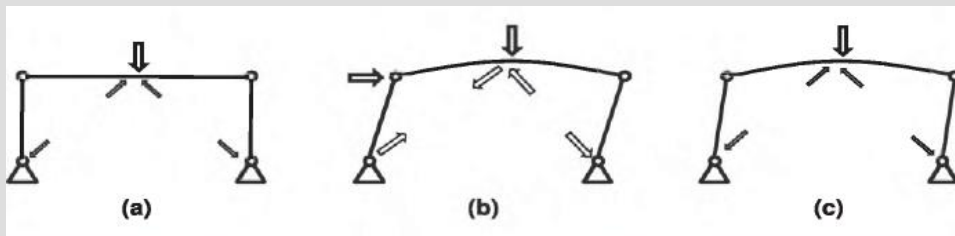
برخلاف اکثر سیستم های دیگر، طراحی مهاربند‌های کمانش ناپذیر از توزیع نیروی ثقلی تحلیل استفاده نمی کند. به عنوان مثال یک قاب مهاربندی V معکوس (جناقی) با باند‌های دارای مقاومت فشاری و کششی یکسان ( $\beta=1$ ) که در آن  $\beta$  ضریب اصلاح مقاومت فشاری است) را در نظر بگیرید. اثر نیروهای ثقلی در قاب، پیش فشار باند به نحوی است که مؤلفه قائم نیروی هر باند، ۵۰ درصد بار ثقلی است (شکل ۱۸a). این پیش فشردگی زمانیکه با نیروهای محوری باند به علت تغییر مکان جانبی ترکیب گردد، باعث می شود باند مقاوم در برابر بارهای لرزه ای بوسیله فشار افزون زودتر به کمانش رسیده (بدین معنی که در تغییر مکان نسبی پایین تر

و یک نیروی لرزه ای کمتر) و بادبند مخالف اندکی بعد کمانش نماید. بعد از اینکه بادبند در فشار کمانش می کند، بادبند در کشش روی تیر به پایین کشیده می شود تا وقتی که این بادبند نیز تسلیم گردد. وقتی هر دو بادبند با هم دیگر تسلیم می شوند، هیچ نیروی قائم خالصی روی تیر بیرون نمی دهند و بار ثقلی بوسیله خمش تیر تحمل می شود (شکل ۱۸ را ببینید). هنگامی که بادبندها از وضعیت تسلیم شده خودشان باربرداری می شوند، هر دوی فشار محوری رو به بالا از بادبند در فشار و کشش رو به پایین از بادبند در کشش، بطور هماهنگ کاهش یافته و هیچ تغییری در نیروی قائم روی تیر حاصل نمی شود؛



شکل ۱۸ اثر نیروی ثقلی روی قاب ( $\beta=1$ )

بارهای ثقلی مستمراً بوسیله تیر، مقاومت می شوند (شکل ۱۸C را ببینید). برای مورد معمول تر بادبند با مقاومت فشاری بزرگتر از مقاومت کششی ( $\beta>1$ ) رفتار مشابه است. نیروی ثقلی باعث پیش فشردگی اولیه در بادبندها می گردد (بنگرید به شکل ۱۹a). اگر این پیش فشردگی کمتر از تفاضل مقاومت بین کشش و فشار باشد، در ابتدا بادبندی که کشش ایجاد می کند تحت تغییر مکان جانبی تسلیم می گردد.



شکل ۱۹ اثر نیروی ثقلی روی قاب ( $\beta>1$ )

آنگاه بادبند در فشار روی تیر به بالا فشار می دهد تا آنکه این بادبند نیز تسلیم گردد (شکل ۱۹b). در وضعیت کاملاً تسلیم شده، تیر بوسیله تفاضل مؤلفه های قائم مقاومت بادبند فشرده شده و بوسیله بار ثقلی به پایین فشرده می شود (این ۲ در جهات مشابه در قاب های مهاربندی V عمل می کنند). زمانیکه باربرداری می شود، بار ثقلی در پیوند با نیروهای خمشی در تیر عمل نموده تا بادبند را برای سیکل های بعدی پیش فشار دهد (شکل ۱۹c). این پیش فشردگی به طور مؤثری بادبند را برای کشش مقاوم نموده و آنها را برای فشار ضعیف می کند. مقدار این پیش فشردگی باعث می شود تا بادبند در حدود همان تغییر مکان جانبی تسلیم شده، بطور مؤثری تفاضل مقاومت کششی و فشاری را خنثی نماید.

در هر مورد ( $\beta>1$  یا  $\beta=1$ ) برای تمامی به جز سیکل اول بارگذاری، گرانش اثر اندکی روی رفتار بادبندها دارد. بنابراین درجه ای که آنها سایزبندی شده اند تا علاوه بر گرانش در برابر بار لرزه ای مقاومت کنند، نشانگر اضافه

مقاومت است. این اضافه مقاومت بموازات ارتفاع ساختمان غیر یکسان خواهد بود. در بالای قاب (که در آن برش طبقات کمترین است) نیروهای بادبند به علت گرانش در مقایسه با بارگذاری لرزه ای قابل ملاحظه می باشد. در پایین قاب (که نیروهای لرزه ای بسیار بزرگترند) و بنابراین گرانش در مقایسه با نیروهای لرزه ای بسیار کمتر هستند.

یک قاب با اضافه مقاومت در بالا و اضافه مقاومت پایین در کف، احتمالاً شاهد یک تمرکز تقاضای شکل پذیری در سطوح پایین تر خواهد بود. بنابراین بهتر است که در طراحی شرط غیرالاستیک در نظر گرفته شود و هیچ نیروی ثقلی را به بادبندها تخصیص ندهیم. می بایستی مطمئن باشیم که اعضاء قاب مقاومت کافی برای مقابله در برابر نیروهای ثقلی را بدون پشتیبانی از بادبندها دارا می باشند. با وجود اینکه این امر بطور غیر مستقیم در AISC 341 برای ترکیبات باری که شامل بارگذاری لرزه ای می شوند الزام دارد، استفاده از این شیوه برای ترکیبات بار صرفاً ثقلی نیز محتاطانه می باشد.

### طراحی ظرفیت BRBF

طراحی باقیمانده بادبند (یعنی مکانیسم کمانش ناپذیر شامل غلاف)، اتصالات بادبند، تیرها و ستون ها با استفاده از یک روش طراحی ظرفیت انجام می شود. نیروی مکانیزم در این بادبند براساس مقاومت هسته فولاد (شامل اضافه مقاومت مصالح)، سخت شوندگی کرنشی مورد انتظار زیر بارگذاری سیکلی، اضافه مقاومت فشاری مورد انتظار پیشتر بحث شده و یک ضریب ایمنی ضرورتاً براساس قضاوت مهندسی ارزیابی می شود. AISC 341 الزام دارد که این ضرایب بوسیله آزمایش سیکلی تعیین شود.

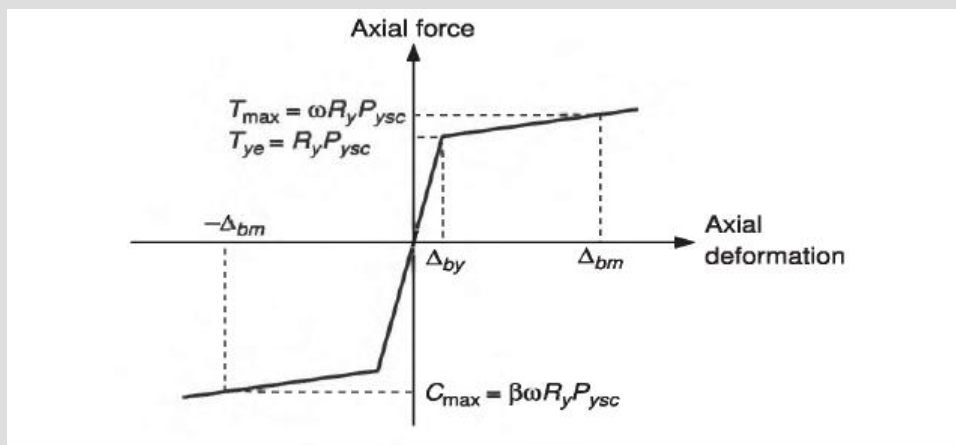
### الزامات آزمایش AISC

بادبندهای کمانش ناپذیر اساساً می توانند دارای پیکره بندی متفاوت بوده و هر پیکره بندی می بایستی به نحو مناسب به عنوان یک مکانیسم عمل نماید. برای تخمین عملکرد قابل اطمینان طرح بادبندها آزمایش نیاز است. برخی ملاحظات در ایجاد یک برنامه آزمایش ضروری می باشند. همان ملاحظات در ارزیابی قابلیت کاربرد یک برنامه آزمایش تولید کننده برای یک پروژه خاص ضروری می باشند. تمامی این ملاحظات، به همراه الزامات ظاهری خاص، پروتکل های آزمایش، الزامات گزارش دهی و معیار مقبولیت در بخش K3 از AISC 341 ارائه می شوند.

ملاحظه اول مقاومت است. برنامه آزمایش بادبند می بایست شامل آزمایشاتی باشند که بطور منطقی از لحاظ مقاومت به بادبندهای پیشنهادی نزدیک می باشند. ملاحظه دوم، تغییر شکل های تحمیلی بر روی بادبندها شده که شامل تغییر شکل های محوری و چرخش های انتهایی می گردند. تغییر شکل های اعمالی روی بادبندهای آزمایش شده باید متناظر با موارد پیش بینی شده در سازه باشند. AISC 341 الزام می دارد که بادبندها برای ۲٪ تغییر مکان نسبی طبقه یا ۲ برابر تغییر مکان نسبی طرح طبقه باشند؛ این تغییر شکل محوری هدف بادبند به صورت  $\Delta_{bm}$  تعریف می شود. طبیعت تجربی روش های آیین نامه ساختمانی برای تخمین تغییر مکان نسبی به

صورتی است که نتایج پایین تری نسبت به تحلیل های تاریخچه پاسخ غیرخطی را ارائه دهند. در هر حال، تغییر شکل فزاینده بادبند نایستی معادل با فروپاشی ساختمان گرفته شود و انتظار می رود عملکرد مکفی تحت ۲ برابر تغییر شکل های محاسبه شده طبق آیین نامه ساختمانی تا حاشیه منطقی در برابر فروپاشی برای تغییر مکان های واقعی در طول یک زلزله، فراهم گردد.

هر دو میزبان سخت شوندگی کرنشی و نیز اضافه مقاومت فشاری از طریق آزمایش بادبند مشابه با مورد طراحی شده تعیین می شوند. زیرا سخت شوندگی کرنشی هم تابعی از کرنش غیرالاستیک ماکزیمم و هم کرنش غیرالاستیک تجمعی است، فرضیات خاصی برای تعیین این مقادیر برای یک طرح معین نیاز هستند. در یک طرح الاستیک، تغییر شکل مورد انتظار قاب از ضرب کردن تغییر مکان نسبی الاستیک در ضریب  $C_d$  برای بدست آوردن یک تغییر مکان نسبی غیر الاستیک مورد انتظار مربوط به خطر لرزه ای بدست می آید. تغییر مکان نسبی طبقه بدست آمده توسط این روش، تخمین های غیردقیقی می باشند. معمول است فرض کنیم که سهم پلاستیک طبقه کاملاً به علت شکل پذیری محوری بادبند است. این تغییر مکان نسبی پلاستیک طبقه می بایست تغییر مکان نسبی مورد انتظار منهای تغییر مکان نسبی الاستیک در نظر گرفته شود. تغییر مکان نسبی الاستیک ممکن است براساس نیروهای لازم برای ایجاد کمانش و سخت شدن کرنشی بادبند، محاسبه گردد.



شکل ۲۰ تعریف ضرایب  $\omega$  و  $\beta$  یک BRB

### تعریف ضرایب

برای طراحی ظرفیت، ۳۴۱ AISC الزام دارد که طراح مقاومت کششی اصلاح شده بادبند زیر را در نظر بگیرد (بنگرید به شکل ۲۰):

$$T_{max} = \omega R_y P_{ysc}$$

که در آن  $P_{ysc} (= F_{ysc} A_{sc})$  مقاومت تسلیم محوری هسته فولادی محاسبه شده براساس تنش تسلیم حداقل مشخصه می باشد. ضریب  $\omega$  ضریب تنظیم سخت شوندگی کرنشی است. مقاومت کششی بالا بیشتر بوسیله یک ضریب اصلاح مقاومت فشاری  $\beta$ ، برای محاسبه مقاومت فشاری اصلاح شده بادبند افزوده می شود:



$$C_{max} = \beta T_{max} = \beta \omega R_y P_{ysc}$$

شایان ذکر است، مقاومت فشاری یک BRB بزرگتر از مقاومت کششی است (برعکس بادبند مرسوم در یک SCBF).

۸،۲ غلاف بادبند

نوعاً در نظر گرفته می شود که غلاف دارای تنش محوری بسیار اندکی بوده و برای کماتش اوایلر  $P_e$  (بدون در نظر گرفتن لاغری آن) کنترل می شود. ضرایب ایمنی به علت مود تسلیم ناخواسته تحمیل می شوند. معادله (۴-۱۱) می تواند برای طراحی غلاف بکار رود.

۸،۳ اتصالات بادبند

اتصالات می بایستی برای ۱،۱ برابر  $C_{max}$  در معادله (۹-۱۱) طراحی می شوند؛ ضریب اطمینان ۱،۱ برای لحاظ نمودن جزئی عدم قطعیت مربوط به درجه سخت شوندگی کرنشی که انتظار می رود، استفاده می شود (AISC ۲۰۱۰). این نیرو باید برای طراحی صفحه بادبند جهت جلوگیری از کماتش استفاده شود. در بعضی طرح های بادبند کماتش ناپذیر این امکان وجود دارد که عضو بادبند مهار پیچشی برون صفحه ای کمتری را نسبت به آنچه معمولاً در ورق های صفحه ستون طرح فرض می شود، عرضه نماید. به این دلیل طراحان باید در تعمیم روش طراحی مورد استفاده در بادبندهای آزمایش شده، احتیاط کنند.

### تیرها و ستون ها

نیروهای طراحی ماکزیمم بادبند  $T_{max}$  و  $C_{max}$  در طراحی تیرها و ستون ها نیز استفاده می شوند. AISC ۳۴۱ الزام می دارد که تیرها و ستون ها بایستی برای "الاستیک اسمی" باقی ماندن در تراز نیروهای مربوط به بادبندهای سخت شوندگی کرنشی و کاملاً تسلیم شده، طراحی شوند. نوعاً یک تحلیل مکانیسم با فرض یک تغییر شکل مود اول انجام می شود (این روش در مثال طراحی نشان داده می شود). در چنین مکانیسمی، فرض می شود که بادبندها در برابر هیچ نیروی ثقلی مقاومت نمی کنند؛ در حقیقت آنها از مدل برداشته شده و در عوض نیروها متناظر با مقدار و جهت ظرفیت های بادبند سخت شونده کرنشی، اعمال می شوند.

این روش طراحی ظرفیت برای تعیین مقاومت مورد نیاز اعضاء قاب برای ممانعت از کماتش تیر و ستون، مطلوب است. ممانعت از تسلیم محدود در اعضاء قاب مطلوب نیست. بنابراین لنگرها در این اعضاء در ارتباط با این نیروهای محوری بزرگ، لحاظ نمی شوند. ترجیحاً ظرفیت دورانی از طریق استفاده از مقاطع کاملاً فشرده و حتی استفاده از تیر کاملاً مهار شده به اتصال ستون قادر به تحمل لنگرهای مربوط به مقاومت خمشی تیر (یا ستون) یا استفاده از اتصالات قادر به جا دادن دوران ۰،۰۲۵ رادیان، تضمین می شود.

### مدل سازی غیر خطی

استفاده از روش های طراحی ظرفیت ارائه شده در بالا می تواند به ستون های بسیار بزرگ برای ساختمان های بلندتر منتهی گردد. برای چنین سازه هایی فرض تسلیم کامل در پاسخ مود اول، غیر واقع گرایانه است. مدل های غیرخطی، نیروهای محوری را برای ساختمان های بلند به طور قابل ملاحظه کمتری نشان خواهند داد. بنابراین چنین مدل های غیرخطی، مزایای خاصی در طراحی فراهم می کنند، بشرط آنکه مدلسازی به درستی انجام شده، رکوردهای لحاظ شده مناسب و کافی بوده و نتایج به درستی برای ارائه قابلیت اطمینان کافی تفسیر شوند (بویره وقتی کمانش ستون در وضعیت حدی مدنظر است). مدل های المان بادبند غیرخطی می بایست سختی الاستیک بادبند و سخت شوندگی کرنشی مورد انتظار را بدست آورند. نوعاً مدل های ۲ خطی استفاده می شوند، با وجود اینکه مدل های ۳ خطی تطابق نزدیکی به رفتار آزمایش شده بادبند نشان می دهند. مدل های سیکلی می توانند بطور غیر مستقیم شامل هر دو سخت شوندگی ایزوتروپیک و کینماتیکی باشند.

بادبند هانوعاً برای طراحی در طیف تغییر شکل پذیر خودشان نگه داشته می شوند. بادبند ها به نحوی طراحی می گردند که به ظرفیت تغییر شکل خودشان نرسند (که اجازه فشار و تغییر شکل های قابل ملاحظه ایرا در غلاف داده تا کمانش سراسری بادبند شکل بگیرد). داده های بسیار اندکی در خصوص رفتار بادبند فراتر از این طیف موجود بوده و بنابراین دستیابی به چنین رفتاری در یک مدل غیرخطی مشکل ساز است.

### مثال طراحی

این قسمت طراحی قاب مهاربند کمانش ناپذیر را نشان می دهد. طراحی الزامات (۲۰۱۰) ASCE و AISC ۳۴۱ را اعمال می نماید. مثال قابل تعمیم به تمامی کاربردهائی باشد. در عوض مقصود نشان دادن تکنیک های کلیدی تحلیل و متناسب سازی است که برای تضمین پاسخ شکل پذیر سازه مطلوب هستند.

### بار گذاری و تشریح ساختمان

پارامترهای طراحی لرزه ای سیستم در جدول ۱ نشان داده شده اند. پلان تیپ در شکل ۲۱ و تراز تیپ قاب در شکل ۲۲ نشان داده شده است. براساس داده های طرح- لرزه ای، یک طیف پاسخ لرزه ای جامع با توجه به ASCE ساخته می شود.

### الزامات کلی

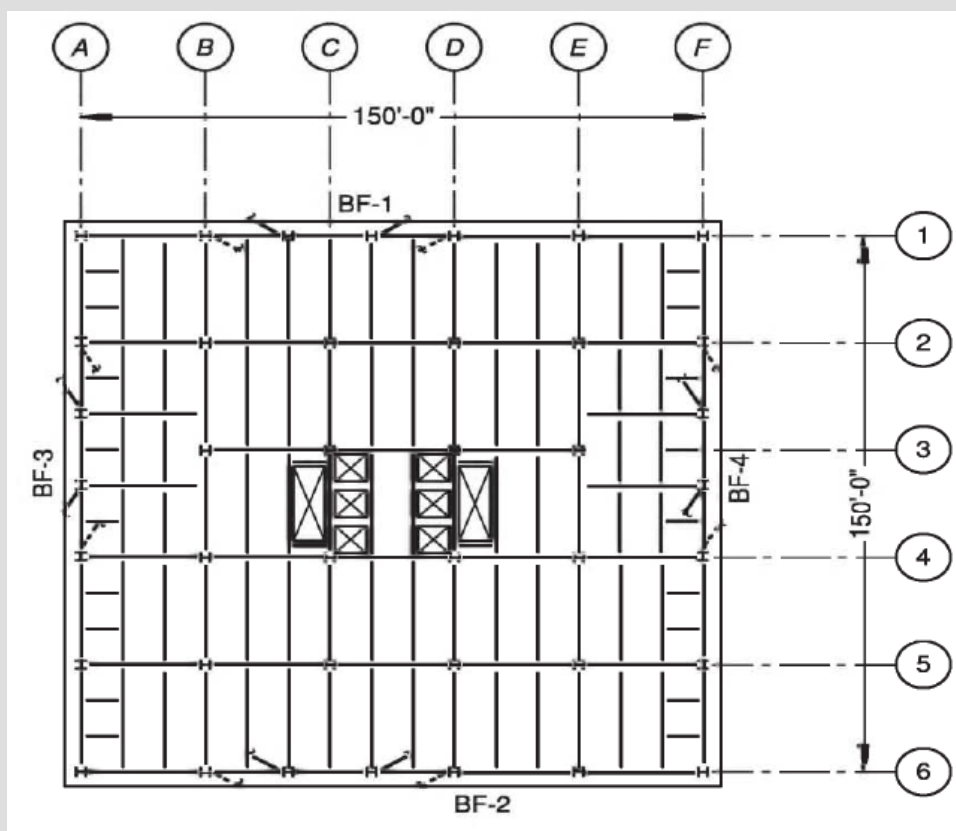
تمامی خصوصیات مربوطه به قاب مهاربند ویژه هم مرکز بخش نیز بطور معادل قابل کاربرد خواهد بود.

### مبنای طراحی

طراحی BRBF براساس انتظار یک مکانیسم تسلیم سراسری است که در آن بادبندها در فشار و کشش تسلیم شده و مفصل های پلاستیک در کف ستون ها تشکیل می شوند. زمانیکه تیرهای قاب به طور صلب به ستون ها متصل می شوند، تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها یا ستون ها وجود دارد.

$R$	8
$I$	1.0
$C_d$	5
$\Omega_0$	2.5

جدول ۱ داده های طراحی لرزه ای

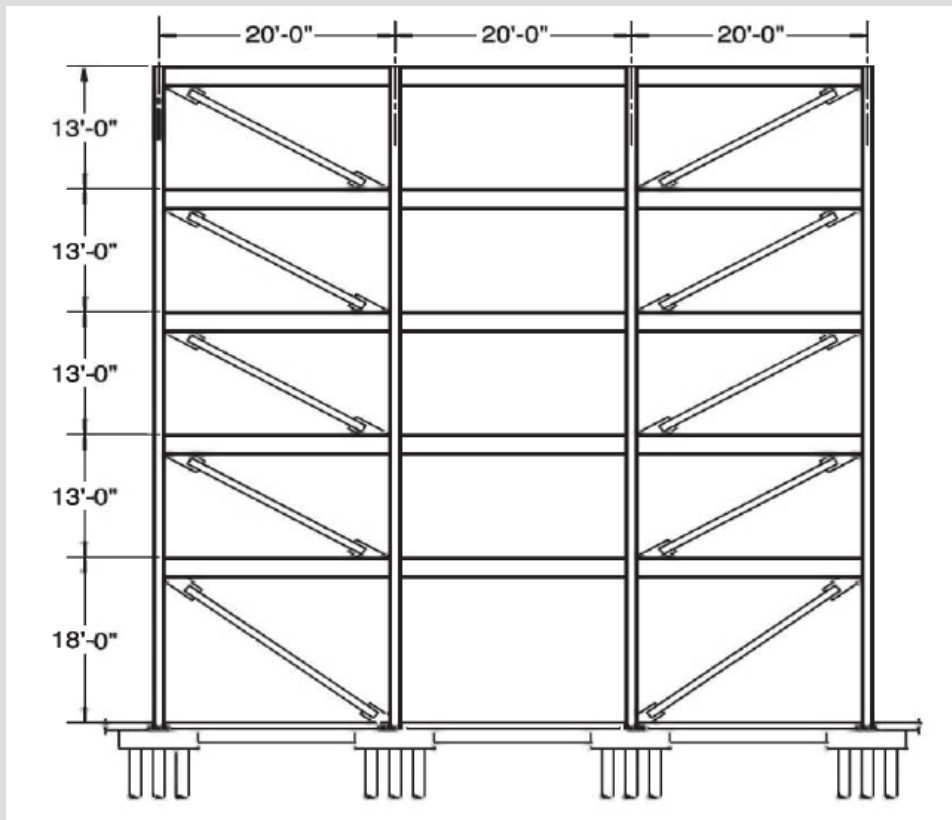


شکل ۲۱ پلان تیب طبقه

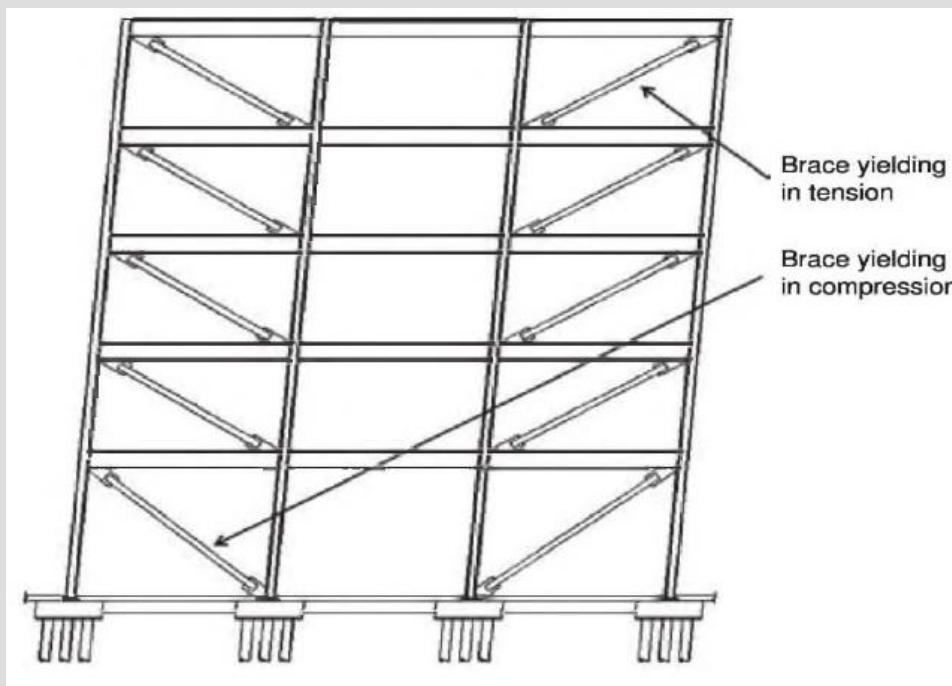
در غیر اینصورت باید در اتصالات تیر به ستون دوران های بزرگ گنجانده شود. شکل ۲۳ این مکانیسم را نشان می دهد. روش تحلیل مورد استفاده نوعاً یک تحلیل طیف پاسخ مودی خطی است (MRS). این امر نوعاً به واسطه کاهش نیروهای طراحی که ASCE7 برای این روش مجاز می داند و کاهش لنگر واژگونی که از این روش در مقایسه با توزیع نیروی قائم بوسیله روش نیروی جانبی معادل ASCE7 (ELF) حاصل می شود، سودمند است. با این حال برای طراحی اولیه ارائه شده در این مثال، روش ELF استفاده خواهد شد. مطابق الزام ۳۴۱ AISC، طراحی از یک نوع بادبند که بوسیله آزمایش تعیین کیفیت شده است، سود می برد. بعضی الزامات مقاومت طراحی ظرفیت برای سایر اجزاء قاب های مهار بندی شده از ظرفیت کاملاً سخت شونده بادبندها، استخراج شده اند. این مقادیر بشرح زیر بدست می آیند:

$$T_{max} = \omega R_y P_{ysc}$$

$$C_{max} = \beta T_{max} = \beta \omega R_y P_{ysc}$$



شکل ۲۲ تراز تیپ قاب



شکل ۲۳ مکانیسم تشکیل شده



که در آن  $G_{max}$  مقاومت اصلاح شده بادبند در فشار،  $T_{max}$  مقاومت اصلاح شده بادبند در کشش،  $\beta$  ضریب اصلاح مقاومت فشاری،  $\omega$  ضریب اصلاح سخت شوندگی،  $P_{yisc}$  مقاومت تسلیم محوری هسته فولادی ( $F_{yisc}A_{sc}$ )،  $F_{yisc}$  حداقل مقاومت مشخصه تسلیم هسته فولادی و  $A_{sc}$  مساحت سطح مقطع هسته فولادی است.

مقادیر  $\omega$  و  $\beta$  مستقیم یا غیر مستقیم از آزمایش بدست می آیند. در مورد بادبندهای تولید شده، تولید کننده این مقادیر را از آزمایشات مربوط بادبندهای از پیش تولید شده اش ارائه خواهد نمود. برای بادبندهای نصب شده (که برایشان آزمایش به دنبال طراحی انجام خواهد گردید)، فرضیات منطقی می بایست با مقادیر کاملاً کفایت شده مفروض  $\omega$  و  $\beta$  انجام شود به نحوی که مقادیر بدست آمده از آزمایش نیاز به طراحی مجدد هیچ یک از اعضاء اتصالات نداشته باشد. برای مثال طراحی فرض است که یک بادبند تولید شده [کارخانه ای] استفاده خواهد شد. بنابراین تعدادی از خواص BRB در طول مرحله طراحی می بایست فرض شوند (زمانیکه تأمین کننده نهایی در آن موقع نامعلوم است) و این مثال طراحی از آن روش تبعیت می کند. اول، فرض می شود که نوع بادبند بطور جامع برای تغییر شکل های مربوط به ۲ درصد تغییر مکان نسبی پلاستیک طبقه مشخص آزمایش شده است. برای آن سطح از تغییر شکل مقادیر زیر مفروض خواهند بود:  $\omega=1,60$  و  $\beta=1,20$

همانطور که پیشتر تشریح شد، فرآیند تولید BRB به نسبت سیستم های دیگر امکان متناسب سازی نسبتاً دقیقی را تا نقطه ای که در آن متغیر بودن مصالح می تواند بطور نسبی قابل ملاحظه باشد، را ارائه می دهد. در این مثال، فرض می شود که مصالح هسته بادبند (نامعلوم تا وقتی که تولید کننده BRB انتخاب نماید) با یک تنش تسلیم  $F_{yisc}$  بین  $28Ksi$  و  $46Ksi$  انتخاب می شود. بادبندها با فرض حد پایینی این طیف سازه بندی شده و ضریب اضافه مقاومت مصالح مورد استفاده برای طراحی ظرفیت عبارتست از:  $R_y=46/28=1,21$

### تحلیل تکراری و تعیین نسبت

برای طراحی اولیه، نیروهای عضو می تواند با استفاده از روش نیروی جانبی معادل بدست آید. در بدو امر پریرود ساختمان معادل با حد بالایی ASCEY برای تحلیل استاتیکی  $C_uT_a$ ، فرض می شود. برای شروع طراحی اولیه گام های زیر طی می شوند:

- تعیین برش پایه.
- توزیع عمودی نیروها.
- توزیع قائم نیروها روی قاب ها.
- سازه بندی بادبندها.

برای اهداف طراحی می توان فرض نمود که برش در قاب به طور کلی توسط بادبندها تحمل می گردد. از اثرات خروج از مرکزی تصادفی در سازه بندی اولیه با دانستن اینکه برش پایه طرح برای تحلیل طیف پاسخ مودی بعدی احتمالاً کمتر از تحلیل روش نیروی جانبی اولیه خواهد بود، چشم پوشی می شود. بنابراین برای این پیکره بندی، نیروی محوری بادبند در هر تراز:

$$P_u = V_i / \cos\theta$$

که در آن  $P_u$  نیروی محوری بادبند،  $V_i$  برش قاب در تراز  $I$  و  $\theta$  زاویه بادبندنسبت به افق است. در قاب های BRB معمول است که از نیروهای ثقل در طرح بادبندها چشم پوشی کنیم. این امر به علت اثرات مخالف ممکن است که برگرفته از اضافه مقاومت به دلیل طراحی برای نیروهای ثقلی نتیجه می شود. با فرض نیروهای ثقلی مشابه در تمامی ترازها در سطوح بالایی، که در آن نیروهای لرزه ای طرح کمترین هستند درجه اضافه مقاومت بالا خواهد بود. در ترازهای پایین تر، نیروهای لرزه ای طرح احتمالاً بسیار بالاتر بوده و اضافه مقاومت بسیار پایین تر می باشد. چنین توزیع مقاومت برای تسلیم توزیع شده نامطلوب خواهد بود. این نقطه مقابل بادبندها در قابهای مهاربندی ویژه هم مرکز است که در آن بارهای ثقلی می بایست در طراحی نیروهای لرزه ای برای ممانعت از کماتش در ترازهای پایین تر نیروی لرزه ای گنجانده شود. مقاومت مورد نیاز بادبند در جدول ۲ نشان داده شده است. مساحت هسته فولادی با مساوی قرار دادن مقاومت طراحی و مقاومت مورد نیاز بدست می آید.

$$\Phi P_{y_{sc}} = P_u$$

$$\Phi P_{y_{sc}} = \Phi F_{y_{sc}} A_{sc}$$

$$A_{sc} = P_u / \Phi F_{y_{sc}}$$

که در آن  $\Phi = 0.9$  برای وضعیت حدی تسلیم است. اندازه مساحت اولیه هسته بادبند در جدول ۳ ارائه می شود.

Level	Required Brace Strength (kips)
Fifth Floor	92
Fourth Floor	166
Third Floor	219
Second Floor	253
First Floor	305

جدول ۲ مقاومت اولیه مورد نیاز بادبند

Level	Required Brace Core Area (in <sup>2</sup> )	Provided Brace Core Area (in <sup>2</sup> )
Fifth Floor	2.70	3.0
Fourth Floor	4.85	5.0
Third Floor	6.40	6.5
Second Floor	7.40	7.5
First Floor	8.92	9.0

جدول ۳ اندازه مساحت اولیه بادبندها

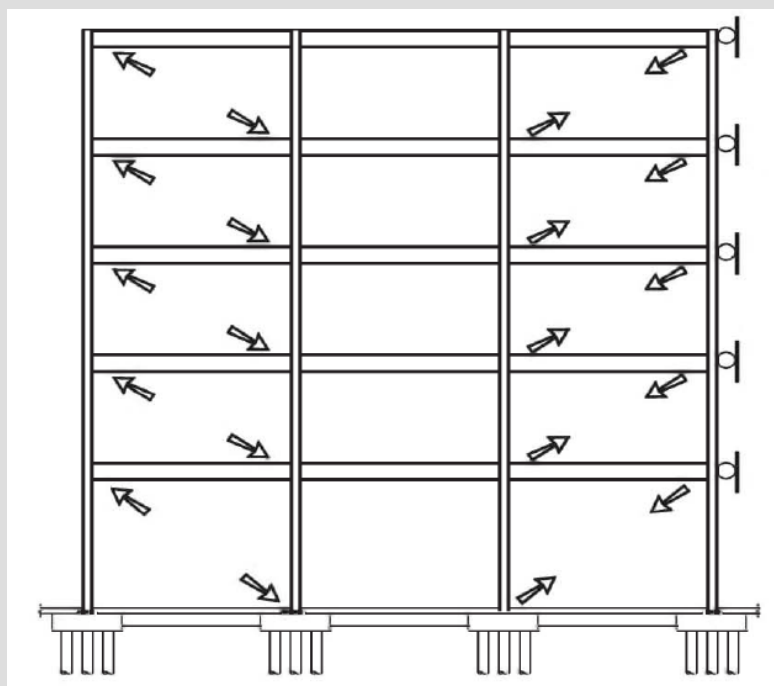
اندازه تیر و ستون می تواند بر اساس اندازه بادبند انتخاب شده، تعیین شود. نیروهای مربوط به مقاومت اصلاح شده بادبند در فشار و کشش برای محاسبه حداکثر نیروهای محوری در تیر و ستونها، استفاده می شوند. چون در

بخش ۳، ۴ از AISC۲۴۱ اجازه داده شده است، از نیروهای خمشی ناشی از تغییرمکان نسبی عرضی چشم پوشی می شود. این امر امکان استفاده از یک روش مستقیم را برای استخراج نیروهای طراحی از المانهای سازه ای احاطه کننده بادبندها را فراهم می آورد. نتیجه عملی چشم پوشی از این نیروها این است که تسلیم خمشی احتمالاً در تغییرمکان نسبی طرح طبقه رخ می دهد. بدین دلیل برای تیرها و ستونها اعضاء کاملاً شکل پذیر نیاز می باشند. برای استخراج نیروهای تیر و ستونها، مقاومت اصلاح شده بادبند در فشار و کشش با استفاده از معادله (۱۰) و (۱۱) محاسبه می گردد. مقادیر حاصله در جدول ۴ ارائه می شود. مکانیسم نشان داده شده در شکل ۲۳، به این بادبندهای تحمیلی روی قاب منتهی می شود (همانطور که در شکل ۲۴ نشان داده شده است). یک مدل تحلیلی مشابه با این شکل ممکن است ساخته شده یا مثلثات ساده برای بدست آوردن نیروهای تیر و ستون استفاده شود. این مثال از روش آخری استفاده می کند. نیروی محوری لرزه ای ستون روی بادبند در فشار عبارتست از:

$$E_h = \sum_1^n C_{max_i} \sin \theta_i \quad (11.16)$$

Level	C <sub>max</sub> (kips)	T <sub>max</sub> (kips)
Fifth Floor	265	221
Fourth Floor	442	368
Third Floor	574	478
Second Floor	662	552
First Floor	795	662

جدول ۴- مقاومت اصلاح شده بادبندها



شکل ۲۴ نیروهای مکانیسم موثر بر قاب

این نیروها با نیروهای ثقلی با استفاده از ترکیب زیر، ترکیب می شوند:

$$R_u = (1,2 + 0,2 S_{ds})D + 0,5L + E$$

نیروی محوری لرزه ای ستون، روی ستون در کشش عبارتست از:

$$E_h = \sum_1^n T_{max_i} \sin \theta_i \quad (11.18)$$

این نیروها با نیروهای ثقلی با استفاده از ترکیب زیر، ترکیب می شوند:

$$R_u = (0,9 - 0,2 S_{ds})D - E$$

در این مثال ستونها فقط یکبار ۴ فوت (۱۲۰ سانتیمتر) بالای طبقه سوم، وصله می شوند. اندازه اولیه ستون در جدول ۵ نشان داده می شود. در این پیکره بندی ستونهای خارجی (نزدیکترین به محیط ساختمان) نیروهای لرزه ای از تمامی بادبندها دریافت می کنند که بموجب آن ستونهای داخلی فقط از ۴ بادبند بالایی نیروهای لرزه ای دریافت می کنند.

	Exterior Column	Interior Column
Upper Column	W14 × 82	W14 × 68
Lower Column	W14 × 159	W14 × 132

جدول ۵ اندازه اولیه ستونها

تیرها بطور مشابه بر اساس ظرفیت بادبند با مکانیسم تشکیل شده در ذهن طراحی می شوند. در هر ترازوی ظرفیت برشی قاب می تواند به بادبندها نسبت داده شود:

$$V_{mech(i)} = C_{max(i)} \cos \theta_i$$

که در آن  $V_{mech}$  برش قاب مربوط به مکانیسم موجود است. نیروی محوری در تیر بالا بشرح زیر تخمین زده می شود:

$$P_{u(i)} = V_{mech(i)}$$

وقتی فرض می شود کل نیرو از طریق قاب هم از بادبند بالا و هم از جمع کننده در برابر اتصال بادبند زیرین جاری میشود، نیروی محوری تیر را تا حدی بیشتر تقریب می زند. در چیدمان پلان این ساختمان ویژه سهم کوچکی از نیرو احتمالاً از کلکتور نزدیک ترین اتصال بادبند وارد می شود. در بعضی پیکره بندی ها، یک سهم بزرگ از نیرو می بایست از طریق قاب به علت بادبندهای واقع در نزدیک انتهای یک خط کلکتور برداشته شود. در چنین



مواردی، نیروی محوری تیر بادبند ممکن است از مقادیر محاسبه شده به این حالت، تجاوز کند. نیروهای محوری تیر در جدول ۶ ارائه می شوند. این نیروها با لنگر با استفاده از معادلات AISC 360-H1-1a ترکیب می شوند. توجه نمایید، مهاربندی نوع V معکوس (جناقی) و V استفاده شد، تقاضای خمشی بار قائم نامتعادل حاصل از تفاضل فشار مورد انتظار ماکزیمم بادبند و مقاومت کششی می بایست به ترتیب به لنگر ثقلی در تیر بادبند افزوده یا استخراج شود (محاسبه شده با چشم پوشی از تکیه گاه در میانه دهانه فراهم شده بوسیله بادبندها).

Level	Beam Axial Force (kips)
Roof	222
Fifth Floor	370
Fourth Floor	481
Third Floor	555
Second Floor	591

جدول ۶ نیروهای محوری اولیه تیرها

Level	Beam Size
Roof	W18 x 50
Fifth Floor	W21 x 62
Fourth Floor	W21 x 73
Third Floor	W21 x 83
Second Floor	W21 x 83

جدول ۷ اندازه اولیه تیرها

هر دو ترکیب بار زیر در نظر گرفته می شوند:

$$R_u = (1.2 + 0.2S_{ds})D + 0.5L + E$$

$$R_u = (0.9 - 0.2S_{ds})D - E$$

اندازه اولیه تیرها در جدول ۷ ارائه شده است. با استفاده از این اندازه های اولیه یک مدل کامپیوتری ۳ بعدی ساخته می شود. همانطور که می دانیم، پیکره بندی غیرمنشوری بادبند در مدل باید مورد توجه قرار گیرد. سختی موثر بادبند نوعاً با اصلاح مدول یانگ بادبند مدل شده به عنوان مساحت هسته فولادی تسلیم شونده گسترش یافته از نقطه کار تا نقطه کار می باشد. مقدار اصلاح شده برابر است با:

$$E' = K_{ef}L / A_{y_{sc}}$$

که در آن  $E'$  مدول اصلاح شده یانگ برای در نظر گرفتن عضو غیرمنشوری،  $K_{eff}$  سختی بادبند،  $L$  طول کامل بادبند در مدل است. برای پیکره بندی بادبند دارای طول مشابه از همان نوع مقدارمدول اصلاح شده یانگ اغلب برای تمامی بادبندها یکنواخت گرفته می شود. یک ضریب  $C=E'/E$  بین ۱٫۳ و ۱٫۸ معمولاً استفاده می شود. در این مثال دول یانگ در یک ضریب ۱٫۵ ضرب می شود تا سختی صحیح بادبند تقریب زده شود. یک تحلیل طیف پاسخ مودی روی این مدل با استفاده از طیف پاسخ طراحی انجام می گردد. تغییر مکان های نسبی بین طبقه ای بادبند با تغییر مکان های نسبی مجاز مقایسه شده و اندازه اعضاء بادبند کنترل می شوند. از آنجا که تحلیل طیف پاسخ مودی به مقیاس ۸۵ درصد برش پایه استاتیکی است، اندازه اولیه مکفی یافته می شود. در این مرحله بهینه سازی ممکن است اندازه بادبند کاهش داده شده نیروهای محوری مبتنی بر مکانیسم حاصله در تیر و ستون و به دنبال آن اندازه اعضاء را کاهش دهد. معمولاً ۱ یا ۲ تکرار کفایت نموده و تکرارهای بعدی ممکن است به تغییر اندک و یا هیچ تغییری منتهی گردد. اندازه نهایی اعضا در جدول ۸ نشان داده شده است.

Level	Brace Area (in <sup>2</sup> )	Level	Beam		Exterior Column	Interior Column
Fifth Floor	3.0	Roof	W18 × 50	Upper Column	W14 × 74	W14 × 68
Fourth Floor	4.5	Fifth Floor	W18 × 60			
Third Floor	6.0	Fourth Floor	W21 × 73			
Second Floor	7.0	Third Floor	W21 × 73	Lower Column	W14 × 145	W14 × 132
First Floor	8.0	Second Floor	W21 × 83			

جدول ۸ اندازه نهایی عضو

### اعتبار سنجی و آزمایش بادبند

بعد از آنکه تولیدکننده BRB را انتخاب کردیم، طرح را مجدد بازبینی می کنیم تا از اعتبار فرضیات اولیه و خروجی طرح اطمینان حاصل گردد. در اینجا فرض می شود که با مشاوره تولیدکننده بادبند، طرح بادبندها در جدول ۹ بدست می آید. بویژه با مشخص بودن مشخصات BRB، می بایستی از صحت ضریب سخت شونده گی کرنشی  $\omega$ ، ضریب اضافه مقاومت  $\beta$ ، مفروض در طراحی با مقادیر بدست آمده از آزمایش تولیدکننده BRB اطمینان حاصل نماییم. به این منظور کرنش های بادبند در ۲ برابر تغییر مکان نسبی طرح در هر تراز ( $\Delta_i$ ) محاسبه می شوند.

Level	Brace Area (in <sup>2</sup> )	Brace Length (in)	Yielding Length (in)
Fifth Floor	3.0	248	166
Fourth Floor	4.5	242	160
Third Floor	6.0	236	152
Second Floor	7.0	230	146
First Floor	8.0	260	175

### جدول ۹- طرح بادبندها

برای اهداف تعیین کرنش بادبندها، این تغییرمکان نسبی نباید کمتر از درصد گرفته شود. تغییرمکان نسبی طرح طبقه به شرح زیر تعیین می گردند:

$$\Delta_i = C_d \Delta_{ei}$$

که در آن  $\Delta_{ei}$  تغییر شکل بادبند تغییرمکان نسبی طرح طبقه و  $C_d$  ضریب تقویت خیز است. تغییر شکل محوری غیرالاستیک بادبند از تغییرمکان نسبی طرح طبقه بر اساس هندسه قاب تعیین می شود:

$$\Delta_{bri} = \Delta_i \cos \theta_i$$

که در آن  $\Delta_{bri}$  تغییر شکل بادبند در تغییرمکان نسبی طرح طبقه است. در ارتباط با طول تسلیم نشان داده شده در جدول ۹، این تغییرشکلها می تواند به کرنش برای استفاده در تأیید ضرایب سخت شوندگی کرنشی استفاده شود (توجه نمایید تبدیل به کرنش نیاز به داشتن دانش در خصوص طول تسلیم داشته و بنابراین مختص به نوع بادبند و پیکره بندی می باشد؛ این امر نمی تواند بطور جامع انجام گردد). جدول ۱۰ کرنش های بادبند برای بادبندهای قرار گرفته در جهت شمالی-جنوبی را نشان می دهد. این کرنش برای استخراج مقادیر ضریب سخت شوندگی کرنشی  $\omega$  و ضریب اضافه مقاومت فشاری  $\beta$  از آزمایش تولید کننده، استفاده شود. اگر این مقادیر کمتر از مقادیر مفروض در مراحل اولیه طراحی باشد، هیچ طراحی مجددی ضرورت ندارد.

Level	Elastic Story Drift, $\Delta_{ei}$ (in)	Design Story Drift, $\Delta_d$ (in)	1% Story Drift (in)	Brace Deformation (at twice the design story drift), $2\Delta_{bri}$ (in)	Brace Core Strain (at twice the design story drift), $\epsilon_{br}$
Fifth Floor	0.18	0.91	1.56	2.62	0.0158
Fourth Floor	0.27	1.34	1.56	2.62	0.0163
Third Floor	0.28	1.41	1.56	2.62	0.0172
Second Floor	0.28	1.42	1.56	2.62	0.0179
First Floor	0.32	1.60	2.16	3.22	0.0183

### جدول ۱۰ تغییر شکل و کرنش بادبند

## تکمیل طراحی

چند مورد برای تکمیل طراحی باقی می ماند:

- اتصالات بادبند
- وصله های ستون
- پی ها
- دیافراگم ها، وترها و جمع کننده ها

باوجود اینکه هر یک از این موارد ضروری هستند، روش کار شبیه بسیاری دیگر از اجزای یک طرح ساختمانی است.