

## فهرست :

۱	فهرست :
۳	فصل ۱؛ مقدمه
۱۱	فصل ۲؛ سیستم مهاربندی همگرا با بادبندهای قطری (Diagonal Braced CBF)
۱۱	۱-۲ مقدمه
۱۲	۲-۲ انواع بادبندهای قطری
۱۲	۱-۲-۲ از نظر مقاومتی
۱۳	۲-۲-۲ معایب سیستم بادبندی فقط کششی
۱۴	۳-۲-۲ از نظر شکل پذیری
۱۵	۳-۲ تناسب بندی بادبندها در سازه
۱۶	۴-۲ رفتار هیستریزیس بادبندهای قطری
۱۸	۱-۴-۲ تشریح یک سیکل کامل غیرارتجاعی
۲۱	۲-۴-۲ ویژگیهای رفتار هیستریزیس بادبند تحت بار محوری
۲۲	۳-۴-۲ رفتار کمانشی و جذب انرژی عضو فشاری
۲۴	۴-۴-۲ نوع صفحه کمانش بادبندهای قطری
۲۷	۵-۴-۲ اثر لاغری بر منحنی هیستریزیس بادبند $kl / r$
۳۱	۶-۴-۲ کاهش مقاومت بادبند فشاری
۳۳	۵-۲ رفتار گسیختگی بادبندها
۳۴	۶-۲ مدل دیگر برای پیش بینی رفتار بادبندها

۳۸.....	فصل ۳؛ سیستم مهاربندی همگرا با بادبندهای x - شکل ( x - braced CBF )
۳۸.....	۱-۳ مقدمه
۴۰.....	۲-۳ انواع بادبندهای X - شکل
۴۱.....	۱-۲-۳ از نظر مقاومتی
۴۳.....	۲-۲-۳ تقسیم بندی از نظر شکل پذیری
۴۳.....	۳-۳ رفتار هستیرزیس بادبندهای X - شکل
۴۴.....	۱-۳-۳ تشریح رفتار سیکلی غیرارتجاعی
۴۷.....	۲-۳-۳ مقایسه رفتار بادبندهای X - شکل با سایر سیستمهای CBF
۵۰.....	۳-۳-۳ کمانش بادبندهای X - شکل و تاثیر اتصال وسط
۵۸.....	۴-۳-۳ اثر لاغری بر منحنی هستیرزیس بادبندهای X - شکل
۶۲.....	فصل ۵؛ ضوابط طراحی لرزه ای CBF
۶۲.....	۱-۵ مقدمه
۶۴.....	۲-۵ بازبینی ارتقاء ضوابط طراحی CBF در AISC
۶۴.....	۱-۲-۵ نسخه ۹۲ - AISC
۶۵.....	۲-۲-۵ نسخه ۹۷ - AISC
۶۷.....	۳-۲-۵ نسخه ۲۰۰۱ - AISC
۶۹.....	۳-۵ ضوابط طراحی لرزه ای ( AISC ( Seismic Provision

## فصل ۱؛ مقدمه

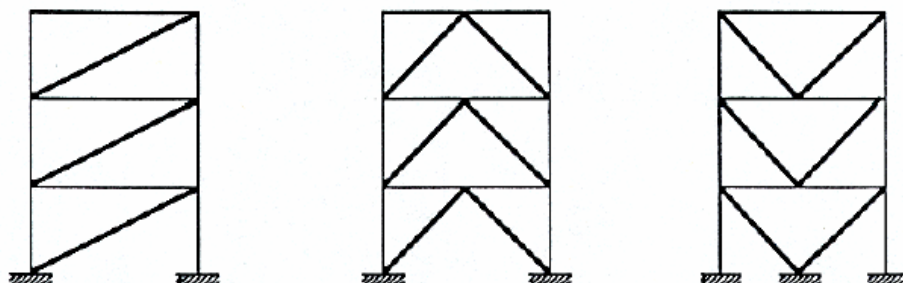
مرور تاریخچه طراحی بادبندهای CBF و فلسفه طراحی لرزه ای

با بررسی اجمالی خسارت وارد بر سازه ها در زلزله های گذشته، مشخص شده که سازه های فولادی به جهت شکل پذیر بودن مصالح و قابلیت جذب انرژی، عملکرد بهتر و اقتصادی تری نسبت به سایر سازه ها دارند. بطور کلی در مناطق لرزه خیز، از نظر اقتصادی مناسب و مسیر نیست که طراحی ساختمانهای رایج طوری باشد که این سازه ها در زلزله های شدید، در محدوده الاستیک باقی بمانند. قبلا تمام سازه ها در محدوده الاستیک بسته به شدت لرزه خیزی منطقه و اهمیت سازه طرح می شدند ولی اکنون طرح لرزه ای و با صرفه می طلبد که از رفتار جذب کنندگی انرژی با تغییرشکلهای غیر ارتجاعی در مقابل زلزله شدید استفاده شود. طراحی لرزه ای سازه ها معمولا بر این اساس صورت می گیرد که اعضای در سازه باشند که در زلزله های شدید، رفتار غیرارتجاعی از خود نشان داده و انرژی لرزه ای را جذب نمایند.

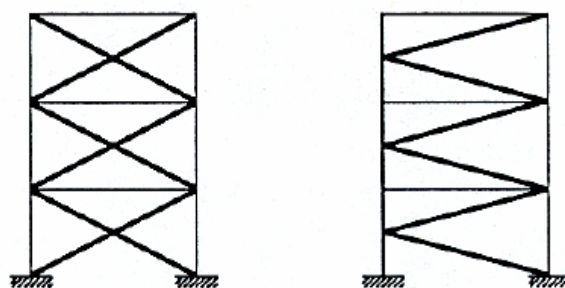
طراحی بر پایه اتلاف انرژی، مستلزم تعیین ضریب رفتار سازه ای ( ضریب کاهش نیروئی زلزله ) از طریق ایده ال سازی طیف پاسخ الاستیک می باشد. در طراحی لرزه ای که مبتنی بر طرح ظرفیتی است، مودهای شکست برای اعضای سازه ای کنترل میشود، طوری که سازه شامل مناطق شکل پذیر از پیش تعیین شده و ضریب افزایش مقاومت برای سایر اعضای سازه ای می باشد.

به خاطر هندسه بادبندهای همگرا، این نوع سیستم عمل خرابائی را بطور کامل با اعضائیکه در محدوده الاستیک و تحت بارهای محوری هستند، ایجاد کرده و با تأمین سختی و مقاومت جانبی زیاد و عملکرد مناسب آن در زلزله ها، از متداولترین سیستم های باربر جانبی است. از مزیت های دیگر سیستم بادبندی همگرا، قابلیت تعمیر پذیری در صدمات شدید و نیز تشکیل یک سیستم باربر جانبی مکمل با عملکرد مناسب بصورت سیستم مختلط می توان نام برد.

طبق فلسفه طراحی لرزه ای، انتظار می رود که سیستم مهاربندی همگرا تحت زلزله های شدید و کمیاب بتوانند پاسخ غیر ارتجاعی پایدار و مداومی از خود نشان دهند. بادبندهای همگرا با شکل پذیری ویژه می توانند تغییرشکلهای پلاستیک را تحمل نموده و انرژی هیستریزس را با رفتار پایدار و در طی سیکلهای متوالی با تسلیم کششی و کماتش غیرارتجاعی در فشار



(a) Diagonal Braced CBF (b) Inverted V-Braced CBF (c) V-Braced CBF



(d) X-Braced CBF (e) K-Braced CBF

شکل (۱-۱) اشکال مختلف بادبندهای همگرا

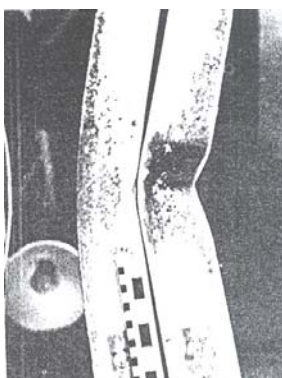
جذب نمایند. استراتژی این فلسفه طراحی طوری است که مطمئن شویم تغییر شکل های پلاستیک فقط در بادبندها اتفاق می افتد و سایر قسمتهای سازه مثل ستونها و تیرها و اتصالات بدون پذیرفتن خرابی، زلزله های شدید را تحمل کرده و باربری ثقلی سازه را حفظ نمایند. بدین مفهوم که بادبندها به عنوان عضو کنترل شونده توسط تغییر مکان (displacement controlled) و سایر اعضای سازه ای و اتصالات به عنوان عضو کنترل شونده توسط نیرو (force controlled) میشوند و در نتیجه رفتار شکل پذیر سازه تأمین میشود. در مقایسه با قاب های خمشی، در قابهای مهاربندی شده محدودیتهایی در تغییرشکلهای غیرارتجاعی برگشت پذیر وجود دارد و مطلوبست که مکانیسم غیرارتجاعی در نقاط خاصی از سازه باشد. مفصل پلاستیک تا حد امکان در سطوح مختلف سازه پخش شود تا اینکه مقدار تغییر شکل پلاستیک در مکان های خاص کاهش یابد. در اولین

سطح، بادبندها با کمانش غیرارتجاعی یا تسلیم خود انرژی را جذب می نمایند و سایر اعضای سازه تقاضاهای ( demand ) ناشی از رفتار غیرارتجاعی بادبندها را تحمل کرده، پایداری آنها را تأمین می نمایند.

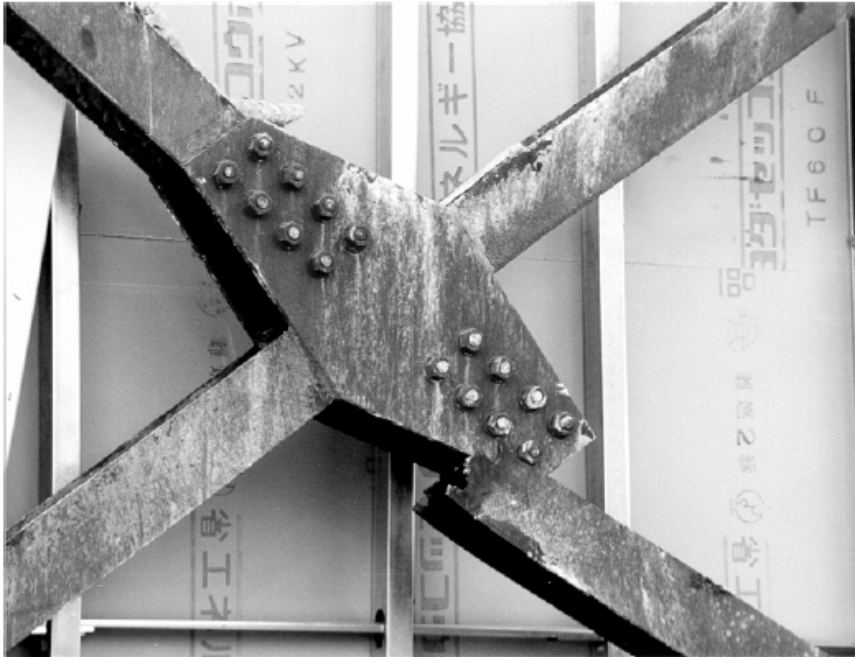
طراحی موجود که بر اساس روش تنش مجازاست و از آنالیز استاتیکی بهره می گیرد، ابهاماتی در این زمینه دارد. همچنین وجود خسارت‌های زیاد در قابهای مهاربندی شده ( در زلزله های شدید ) سبب میشوند تا تحقیقات و مطالعات در زمینه رفتار غیرارتجاعی بادبندها هم بصورت تجربی و هم تئوریک افزایش یابد.

رفتار سیکلی بادبندها شامل پدیده های کمانش غیرارتجاعی ، تسلیم بادبند، کمانش موضعی ، کاهش ظرفیت در رفتار پس از کمانش ، اثرات بوشینگر و سخت شده گی کرنش در کشش می باشد. این پدیده ها تقاضای قابل توجهی در سایر اعضا و اتصالات بادبندها بوجود می آورند.

زلزله های شدید گذشته نشان داده اند که سیستم بادبندی همگرا، گرچه یک سیستم مناسب در مقابل بار جانبی و زلزله می باشد ولی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند و رفتار ایده ال آنها که قبلا ذکر شد، حاصل نشود مگر اینکه سایر اعضای قاب و اتصالات آنها را مطابق الزامات لرزه ای طرح کرده باشیم و رفتار پایدار و ایمن آنها را در برابر مکانیسمهای شکست طراحی نشده، تثبیت کرده باشیم. نمونه هایی در زلزله های واقعی وجود داشته که در آن تیرها، ستونها، اتصالات جوشی و پیچی دچار خرابی شده‌اند و یا یکی از مکانیسم های شکست ترد در خود بادبند اتفاق افتاده است، که در نهایت با چنین رفتار غیرالاستیک کنترل نشده بادبندها، شکست کلی سازه بوجود آمده است.



شکل (۱-۲) کمانش موضعی در بادبندها



شکل (۳-۱) شکست مقطع خالص مقطع در پیچ ها



شکل (۴-۱) اعوجاج شدید تیر، بدون تکیه گاه جانبی در محل اتصال به بادبندهای شورن



شکل (۵-۱) گسیختگی اتصالات جوشی بادبندها



شکل (۶-۱) گسیختگی جوش

عملکرد غیرالاستیک قابل اطمینان بادبندها، نیازمند ایجاد مسیر مناسب و آزاد برای تغییرشکلهای پس از الاستیک و قابل پیشگویی بودن رفتار کمانشی است. از آنجائیکه استراتژی طرح لرزه ای در قابهای مهاربندی شده، اطمینان یافتن از رفتار غیرارتجاعی فقط در بادبندهاست، زیرا که تغییرشکل غیرارتجاعی پایدار بادبندها، منبع اصلی جذب انرژی زلزله است. برای اینکار و برای محافظت سایر اعضای غیرشکل پذیر و کنترل شونده به نیرو در سازه مهاربندی شده، باید تخمین واقعی و صحیح از رفتار غیرارتجاعی بادبندها و نیروهای بوجود آمده در آنها هنگام زلزله های شدید، داشته باشیم. برای رسیدن به اهدافی که در بالا ذکر شد و نیز رسیدن به پاسخ شکل پذیر مورد نیاز باید بر رفتار هیستریزس و غیرارتجاعی بادبندها شناخت کامل و مسلطی داشته باشیم زیرا با وجود آنکه تلاشهایی در جهت مشخص کردن رفتار هیستریزس بادبندها صورت گرفته ولی در آئین نامه های لرزه ای نکات مبهم و ناسازگار وجود دارد، برخی از آنها مطابق معیارهای طراحی اولیه می باشد و برخی نیز بر اساس روابط هندسی و محدودیتهای ابعادی می باشد.

بنا به دلایلی که ذکر شد و برای پیش بینی رفتار الاستوپلاستیک بادبندها، باید اطلاع دقیقی از روابط تغییر مکان- بار بادبندها تحت بارگذاری سیکلی داشت. هر چند که رفتار غیر الاستیک سیکلی بادبند کاملاً پیچیده است.

استفاده از جذب انرژی بادبند فشاری در قابهای مهاربندی همگرا، مفهوم جدیدی است که علاوه بر مزئیتهای اقتصادی، می تواند عملکرد لرزه ای مطمئن تری را در زلزله های شدید تضمین نماید. با کمانش بادبند، خمش در آن ایجاد میشود و در نهایت منجر به تشکیل مفصل پلاستیک در محل لنگر ماکزیمم (در وسط عضو) میشود. بوجود آمدن کمانش غیرارتجاعی باعث میشود که بادبند فشاری به منبع مهمی برای جذب انرژی لرزه ای تبدیل شود. به عبارت دیگر از مهمترین عوامل و پارامترهایی که بر رفتار لرزه ای قابهای مهاربندی شده تأثیر می گذارد، اثر بادبند فشاری است که در بسیاری از موارد نادیده گرفته میشود، ولی تعیین منحنی هیستریزس بادبند فشاری و مقدار جذب انرژی و نیز تأثیر آن بر عملکرد لرزه ای می تواند در شناخت بهتر و واقعی رفتار هیستریزس مؤثر باشد.

شاید متداولترین نوع بادبندهای همگرا، شکل بادبندی ضربدری یا X- شکل است. این نوع شکل بادبند که در حالتهای مختلف طرح و اجرا میشود، نسبت به شکل بادبندی قطری، دارای مزیت ها و احتمالاً معایبی باشد که باید به دقت مورد مطالعه



قرار گیرد. عمده مزیت بادبندهای X- شکل از اتصال وسط دو بادبند به همدیگر ناشی میشود، که بادبند کششی بصورت قید در وسط بادبند فشاری عمل می کند و اتکای جانبی قابل توجهی بوجود می آورد و در نتیجه رفتار غیر ارتجاعی بادبند فشاری و مکانیسم تشکیل مفصل پلاستیک را تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین با کاهش طول آزاد بادبند در این حالت و افزایش بار بحرانی آنها در فشار، مقاومت جانبی بادبندهای X- شکل نسبت به بادبندهای قطری افزایش چشمگیری می کند.

بنا به دلایل معماری و مقاومت جانبی زیاد، محبوبیت بادبندهای X- شکل در استفاده بیشتر شده است ولی بیشتر تحقیقات و مطالعات در بررسی رفتار و مدلسازی بادبندهای قطری متمرکز شده است و فقط مطالعات تجربی اندکی در رابطه با بادبندهای X- شکل تحت بارگذاری سیکلی انجام گرفته است.

اطلاعات فنی و مهندسی موجود در آیین نامه ها و ادبیت فنی، رفتار لرزه ای و پارامترهای غیرارتجاعی (k ضریب کمانش، R ضریب رفتار، Cd ضریب تغییر شکل پلاستیک و ...) بادبندهای X- شکل را بر مبنای رفتار و عملکرد مهاربندی قطری قرار می دهد. در حالی که این رفتارها و معیارها برای هر دو نوع شکل بادبندی متفاوت از هم بوده و بسته به مقدار سختی انتقالی و سختی خمشی که بادبند مکمل (کششی) برای بادبند فشاری تأمین می کندف منحنی هیستریزس جذب انرژی کاملاً تغییر می یابد. رفتار سیکلی سیستم بادبندی X- شکل، علاوه بر اینکه به رفتار بادبندهای انفرادی بستگی دارد بلکه بطور جدی به اندرکنش میان دو عضو بادبندی که به هم متصل اند، وابسته است. نوع و مقدار سختی که توسط اتصال وسط فراهم میشود، تأثیر مستقیم در رفتار بادبند می گذارد.

در بیشتر بررسی های صورت گرفته، تنها اثرات نیروهای محوری در شرایط تسلیم بادبندها در نظر گرفته شده ولی به خمش بوجود آمده و تشکیل مفصل پلاستیک ناشی از تغییر شکل غیرارتجاعی، توجه نشده است. نتایج آنالیزهای عددی در رفتار پس از کمانش بادبندهای فلزی نشان می دهد که تغییر شکل محوری پلاستیک در مفصل تشکیل شده، نقش اساسی در مشخصات بار- تغییر شکل بادبند دارد و باید اندرکنش پلاستیک برای ترکیب خمش و تغییر شکل محوری را در نظر بگیریم.

همانطور که ذکر شد، یک سیستم مقاوم لرزه ای باید دو خصوصیت کلی زیر را داشته باشد:

الف - در زلزله های خفیف و متوسط ، سازه بدون خسارت در محدوده الاستیک باقی بماند .

ب - در زلزله های شدید سازه با قبول خرابی تا یک سطح مشخص ، نباید به مرز انحدام برسد .

برای تأمین خصوصیت اول ، مقاومت و سختی سازه نقش اساسی دارد و برای تأمین خصوصیت دوم ، شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی لازم است تا از انهدام کلی سازه جلوگیری شود . قابهای همگرا CBF مقاومت و سختی بالائی دارند که استفاده از آنها هدف اول را به خوبی تأمین می کند . اما در مورد شکل پذیری و در زلزله های شدید اگر بادبند فشاری ، کمانش غیر ارتجاعی نکند یا کمانش غیر ارتجاعی ناپایداری داشته باشد ، در اثر بارهای سیکلی ، با کاهش سریع سختی و زوال مقاومت ، جذب انرژی صورت نگرفته و در نتیجه شکل پذیری سیستم کاهش می یابد .

در ارزیابی عملکرد بادبندها ، بیشتر در رفتار بادبند فشاری و ظرفیت جذب انرژی و کمانش پلاستیک آن متمرکز خواهیم شد ، زیرا که بادبندهای ضربداری زمانی عملکرد لرزه ای بهتری دارند که ضمن متحمل شدن تغییرشکلهای پلاستیک ، در تمام سیکلهای متوالی ، تسلیم در کشش و کمانش غیرارتجاعی پایدار در فشار با هم در جذب انرژی لرزه ای و منحنی هیستریزس شرکت کنند و به غیر از تسلیم ، سایر مکانیسمهای شکست ( مانند کمانش موضعی ) حاکم بر طرح نبوده و خللی در رفتار غیرارتجاعی آن ایجاد نکند .

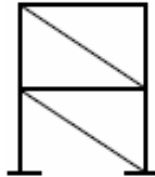
قبلا بادبندهای X- شکل بر این اساس طراحی می شدند که بادبندها فقط می توانند کشش را تحمل کنند . ( Tension Only ) در این روش طراحی ، فرض میشود که بادبندهای فشاری تحت بارهای خیلی کم کمانش کرده و در نتیجه در آنالیز شرکت نمی کنند و سازه بصورت استاتیکی و معین در می آید و طراحی ساده تر میشود . همچنین این فرضیات اجازه می دهند برای بادبندها از اعضای خیلی لاغر استفاده میشود . مثل : میله ، نبشی تکی ، تسمه ، کابل ...

گر چه بادبندهای ضربداری از نوع ( Tension Only ) توسط طراحان رواج یافت ولی در زلزله های گذشته عملکرد خوبی نشان ندادند و آیین نامه های ساختمانی معتبر آنها را بجز برای ساختمانهای کوچک و یا مناطق با خطر زلزله کم ، لغو کردند . از طرفی ، طراحی لرزه ای ایجاب می کند علاوه بر اینکه بادبند فشاری را باید در نظر گرفت بلکه در ظرفیت جذب انرژی سیستم بادبندی باید سهم قابل توجهی را به کمانش غیرارتجاعی آن تخصیص داد .

## فصل ۲؛ سیستم مهاربندی همگرا با بادبندهای قطری (Diagonal Braced CBF)

### ۱-۲ مقدمه

شاید بتوان گفت از ابتدائی ترین سیستم های باربرجانبی، سیستم بادبندی قطری می باشد. با توجه به اینکه رفتار سایر بادبندهای همگرا و منحنی هیستریزیس آنها در بارگذاری سیکلی، بر اساس رفتار بادبندهای قطری است، شناخت رفتار بادبندهای قطری ضروری به نظر می رسد. مقاومت لرزه ای قابهای مهاربندی به ظرفیت نیروی محوری اعضاء بستگی دارد. سختی جانبی نسبتا زیاد این سیستم در کنترل تغییر مکان جانبی از مزایای این گروه از بادبندهاست.



شکل (۱-۲) بادبند قطری

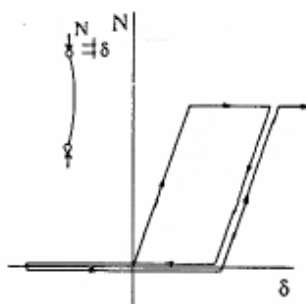
برای یک سطح شکل پذیری مشخص، شکل پذیری این گروه نسبت به سایر گروه های بادبندی همگرا، بیشتر است، زیرا که در طول کمانشی بیشتری، تغییر شکل جانبی در آن اتفاق می افتد و در نتیجه کمانش موضعی کمتری را متحمل میشوند. ولی در کل به علت زود ترک خوردن و شکست بادبندها یا اتصالات آنها طی تغییر شکلهای بزرگ سیکلی در ناحیه پس از کمانش، شکل پذیری سیستم کم می باشد. از آنجائیکه بارهای موجود در آیین نامه ها، تخمین حد پائین نیروهایی است که در زلزله های شدید در بادبندها تشکیل میشود، لذا بررسی اثر سیکلی بودن بارها و اضافه بار آن بر بادبندها و رفتار کلی سیستم مهاربندی قطری ضروری به نظر می رسد.

## ۲-۲ انواع بادبندهای قطری

### ۱-۲-۲ از نظر مقاومتی

الف - بادبندها فقط قادر به تحمل کشش هستند. ( Tension Only )

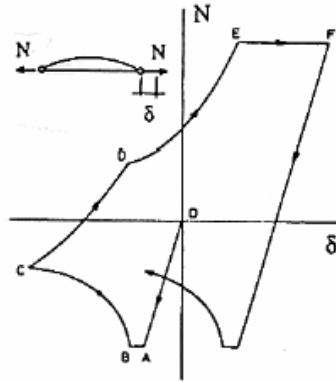
در این حالت تمام بار جانبی به بادبند کششی اختصاص داده میشود و از مقاومت بادبند فشاری صرف نظر میشود ، چون با وارد آمدن بار فشاری کم ، عضو کمانش می کند . بادبندها در این حالت لاغری خیلی زیادی دارند. مثل : میله ، نبشی ، تسمه ، کابل همانطور که منحنی هیستریزیس شکل (۲-۲) نشان می دهد این سیستم نمی تواند انرژی لرزه ای را بصورت فشاری جذب نماید.



شکل (۲-۲) منحنی هیستریزیس بادبند فقط کششی

ب - بادبندها کششی - فشاری هستند و علاوه بر کشش به فشار نیز کار می کنند.

بنا به دلایلی که ذکر خواهد شد، رفتار فقط کششی در محدوده غیرارتجاعی کاملاً نامناسب است. و در حالت کششی - فشاری رفتار پیچیده تر ولی یکنواخت تر میشود و بادبند کششی و فشاری با هم در جذب انرژی لرزه ای شرکت می کنند. با در نظر گرفتن اثر بادبند فشاری ، ابعاد بادبندها کوچک تر شده و تقاضا روی سایر اعضا کاهش می یابد . بادبندها در این حالت لاغری متوسطی دارند . شکل (۳-۲) منحنی هیستریزیس بادبندهای کششی - فشاری را نشان می دهد .



شکل (۲-۳) منحنی هیستریزیس بادبند کششی - فشاری

### ۲-۲-۲ معایب سیستم بادبندی فقط کششی

گر چه بادبندهای همگرا بصورت فقط کششی توسط طراحان رواج یافت ولی به دلیل وجود معایب و عملکرد نامناسب آنها در زلزله های گذشته ، آیین نامه های ساختمانی معتبر آنها را بجز برای ساختمانهای کوچک یا مناطق با خطر زلزله کم ، لغو کردند. زیرا که انتظار رفتار غیرارتجاعی از این سیستم نمی توان داشت .

اگر سیستم بادبندی فقط کششی تحت بارهای تکراری با دامنه تغییر مکان ثابت قرار گیرد که منجر به تغییر طول پلاستیک نشود ، اتلاف انرژی هم روی نخواهد داد ، لذا رفتار این سیستم که لاغری بادبندها نیز زیاد است ، بین یک حالت کماتش الاستیک ( که تقریبا هیچ نیرویی تحمل نمی کنند ) ، کشش الاستیک بصورت ناگهانی و سرانجام یک کشش غیرخطی در ناحیه جاری شدن متغیر خواهد بود . از این رو ظرفیت اتلاف انرژی این سیستم اولاً کم بوده و ثانیاً به شدت نزولی است . این سیستم برای جذب مقدار انرژی مورد نظر باید تغییر مکان جانبی زیادی داشته باشد که ممکن است به علت اثرات ثانویه گسیخته شود . یکی از اثرات ثانویه بوجود آمدن ضربه هنگام معکوس شدن جهت بار جانبی است .

بدین صورت که با اعمال بارگذاری سیکلی ، ابتدا بادبند کششی ، افزایش طول غیرارتجاعی می یابد و این افزایش طول تا زمانیکه مهاربند فشاری کماتش می کند ، ادامه می یابد ، با باربرداری و معکوس شدن جهت نیروی جانبی ، بادبندهای فشاری کماتش یافته ، تحت کشش قرار می گیرند ولی همچنان مقدار تغییر شکل محوری زیادی در بادبند کششی باقی مانده است و

چون بادبند کششی با باربرداری به طول اولیه خود نرسیده، بادبند فشاری (قبلی) نیز از حالت کمانشی خارج نشده و کار نمی کند و عملاً سختی جانبی صفر است و (time lag) ناپیوستگی در سختی و مقاومت داریم و در نتیجه افزایش تغییر مکان سازه زیاد میشود تا زمانی که تغییر طول بادبند کششی قبلی صفر شده و به تبع آن بادبند فشاری (قبلی) به کشش بیافتد. در این حالت سختی ناگهان از صفر به EA رسیده افزایش تغییر شکل ناگهان کم میشود. در نتیجه این تغییرات نیروی ضربه ای بوجود آمده و امکان گسیختگی بادبند کششی (بادبندی که اکنون کششی شده) بوجود می آید.

این اثرات زمانی شدت بیشتری دارند که کمانش بادبندها در فشار همراه با تشکیل مفصل پلاستیک در دو انتهای بادبند یا وسط بادبند باشد.

### ۳-۲-۲ از نظر شکل پذیری

بادبندهای قطری از نظر شکل پذیری توسط AISC به دو گروه تقسیم شده اند:

۱- با شکل پذیری ویژه SCBF

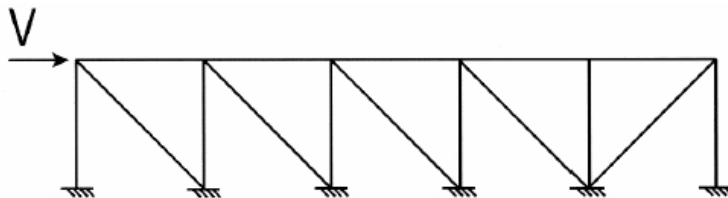
۲- با شکل پذیری عادی OCBF

بادبندهای با شکل پذیری ویژه برای عملکرد غیرارتجاعی پایدار طرح میشوند. در حالی که در شکل پذیری عادی بعضی از الزامات و سخت گیریهای شکل پذیری آزادتر میشود. در این حالت فرض میشود که به علت استفاده از ضریب رفتار کوچکتر سازه تحت تقاضای تغییر شکلهای غیرارتجاعی کوچکتری قرار می گیرد. به عبارت دیگر در OCBF، ضوابط شکل پذیری آزادتر ولی ضوابط مقاومت سخت گیرانه میشود. در هر صورت اگر زلزله ای بزرگتر از زلزله طرح بر سازه اعمال شود، به علت ظرفیت تغییر شکل غیرارتجاعی بالا SCBF عملکرد بهتر و مطمئن تری نسبت به OCBF خواهند داشت.

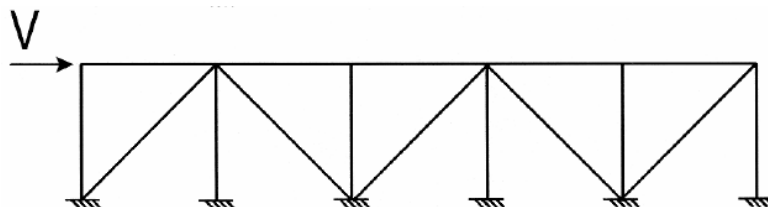
### ۳-۲ تناسب بندی بادبندها در سازه

اگر از سازه انتظار رفتار غیرارتجاعی داشته باشیم ، مسلم است که جذب انرژی در تسلیم کششی قابل اطمینان تر از جذب انرژی در کمناش فشاری بادبند است و در پیکره بندی سازه نباید مقاومت سازه بطور برجسته بر پایه مقاومت فشاری باشد . ولی قابهای مهاربندی همگرا زمانی رفتار لرزه ای بهتری خواهند داشت که تسلیم در کشش و کمناش غیرارتجاعی در فشار با هم در جذب انرژی لرزه ای و منحنی هیستریزس شرکت کنند . برای ایجاد تعادل و توزیع منطقی در جذب انرژی بوسیله اعضای کششی و فشاری و نیز افزایش نامعینی سازه ، تناسب بندی بین اعضای فشاری و کششی باید رعایت شود . طبق ضوابط لرزه ای AISC Seismic Provision در بادبندهای همگرا و در هر امتداد مهاربندی حداقل ۳۰٪ و حداکثر ۷۰٪ مقاومت جانبی توسط بادبند کششی و فشاری تأمین شود و سعی شود سهم کشش بیشتر از فشار باشد یا در بهترین حالت ، بطور مساوی از بار جانبی سهم ببرند .

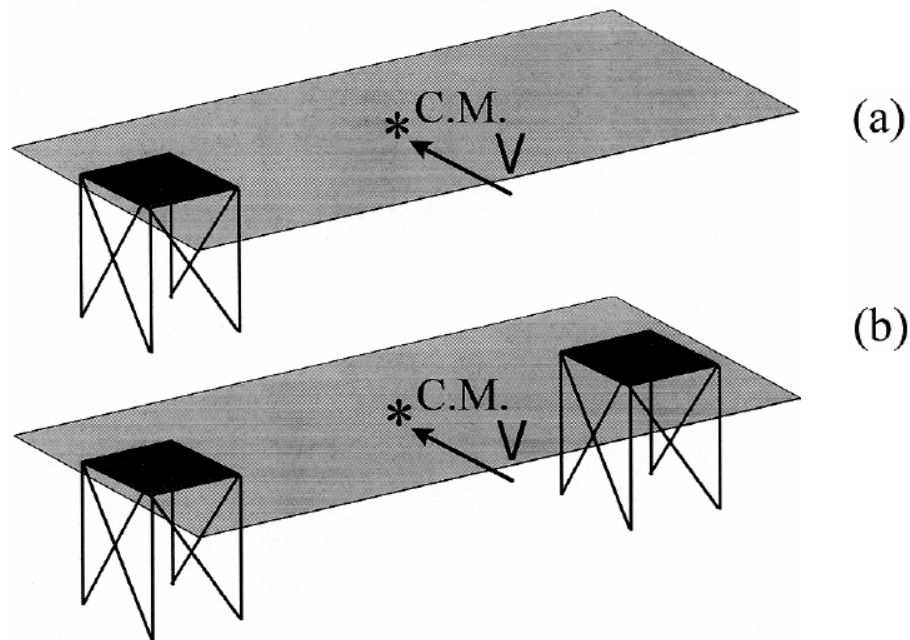
شکلهای (۲-۴) تا (۲-۶) چند نمونه آرایش بادبندهای قطری فشاری و کششی را نشان می دهد :



شکل (۲-۴) تناسب بندی نامناسب سازه (عمده مقاومت جانبی با بادبندهای فشاری تأمین شده)



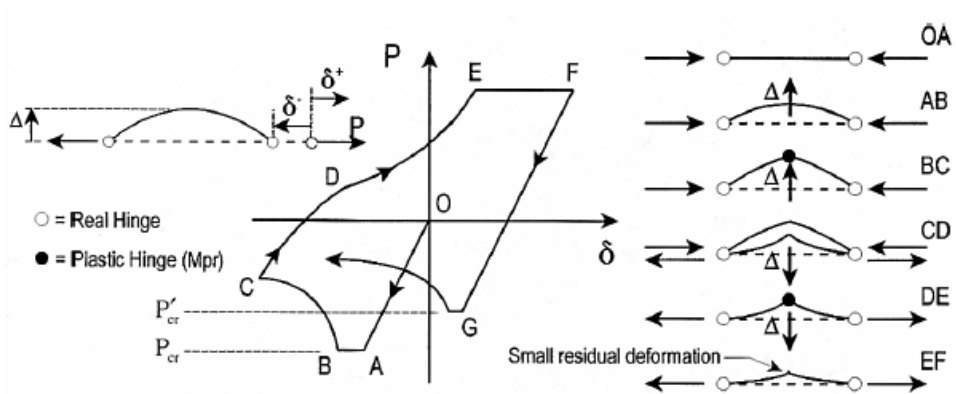
شکل (۲-۵) تناسب بندی مناسب بادبندها در سازه



شکل (۶-۲) a - تناسب بندی نامناسب (خروج از مرکزیت زیاد بین مرکز سختی و مرکز جرم)

b - تناسب بندی مناسب

### ۴-۲ رفتار هیستریزس بادبندهای قطری



شکل (۷-۲) منحنی هیستریزس بادبند تحت بارگذاری سیکلی (Bruneau et al ۱۹۹۸)



رفتار بادبند در بارگذاری سیکلی را می توان به ۴ بخش تقسیم کرد .

۱- ناحیه الاستیک

۲- ناحیه پلاستیک ( کمانش غیرارتجاعی )

۳- ناحیه تسلیم

۴- ناحیه کمانش الاستیک

به تبع آن تغییر مکان محوری  $\delta$  بادبند را نیز می توان به چند بخش تقسیم کرد :

۱- تغییر طول الاستیک

۲- تغییر طول هندسی ( ناشی از کمانش بادبند )

۳- تغییر مکان ناشی از تشکیل مفصل پلاستیک ( در خود مفصل )

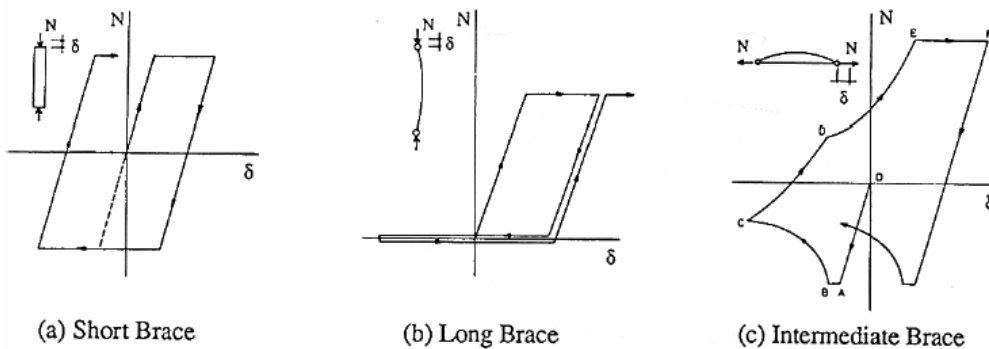
۴- تغییر مکان ناشی از تسلیم در کشش

۵- تغییر مکان باقی مانده ناشی از غیرخطی بودن مصالح

می دانیم که نسبت لاغری بادبند ، منحنی هیستریزس آن را تحت تأثیر قرار می دهد . شکل (۸-۲) ولی از آنجائیکه عمده

هدف ما استفاده از کمانش غیرارتجاعی بادبند برای جذب انرژی است ، بادبندی که مطالعه می کنیم دارای نسبت لاغری

متوسط است .

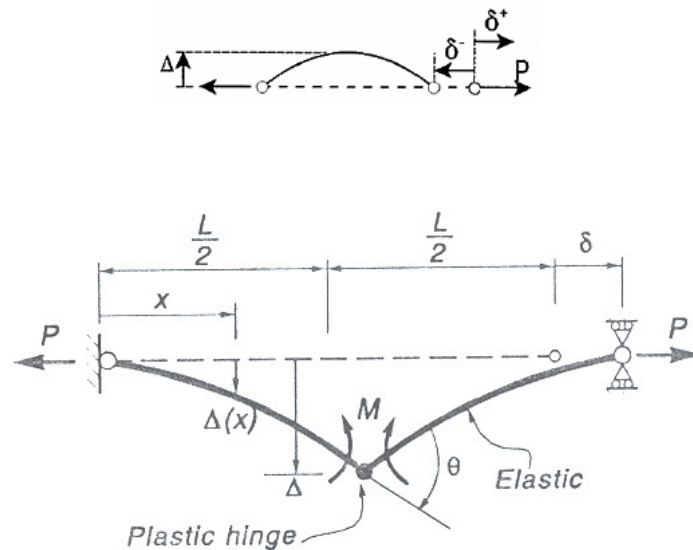


شکل (۸-۲) رفتار هیستریزس بادبند های کوتاه ، دراز ، متوسط

## ۲-۴-۱ تشریح یک سیکل کامل غیرارتجاعی

برای بررسی رفتار فیزیکی بادبندتکی، از منحنی هیستریزس ( نمودار بار محوری در برابر تغییر مکان محوری  $\delta$  ) میله دو سر مفصل تحت بارگذاری محوری رفت و برگشتی ( سیکلی ) استفاده خواهیم کرد. طبق معمول، نیروی کششی و افزایش طول را با مقادیر مثبت بیان می کنیم.

مدل فیزیکی اصلاح شده، در سال ۱۹۸۶ توسط Mahin & Ikeda بر اساس مدل مفصل نقطه مطابق شکل (۲-۹) شد. در این مدل مشارکت دو پارامتر مشخصات مصالح و هندسه عضو برای بیان بهتر نتایج تجربی در نظر گرفته شده است. این مدل زمانی رفتار را به خوبی شبیه سازی می کند که تغییر مکانها نسبتا کوچک باشد و در تغییر مکانهای بزرگ اثرات سخت شدگی کرنش و کماتش موضعی در مدل لحاظ نمیشود.



شکل (۲-۹) مدل هندسی بادبند

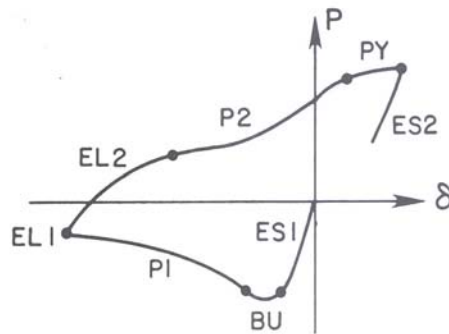
یک سیکل کامل تغییر شکل غیرالاستیک را می توان چنین بیان کرد. شروع منحنی از نقطه 0 با شرایط بدون بارگذاری قبلی می باشد، مطابق شکل (۲-۱۰) و (۲-۱۱) و (۲-۱۲). ابتدا عضو تحت بار فشاری قرار می گیرد و رفتار تا نقطه A الاستیک می باشد. OA ناحیه کوتاه شدگی الاستیک در فشار است و رفتار عضو در این منطقه به درستی قابل پیش بینی است

و تخمین درستی از بار کمانشی داریم. کمانش عضو از نقطه A شروع میشود (کمانش اولر) و تا نقطه B کمانش الاستیک ادامه می یابد. در این مرحله افزایش بار خیلی کم است. اگر در این مرحله باربرداری کنیم، با فرض شرایط ایده ال مطابق منحنی OAB تغییر شکلها به صفر می رسد. در طول کمانش طول عضو، ممان خمشی معادل نیروی محوری در تغییر مکان جانبی که حداکثر آن در  $\Delta_{Max}$  وسط دهانه است، بوجود می آید. در نقطه B مفصل پلاستیک در وسط عضو تشکیل می شود. در قطعه BC با افزایش  $\Delta$  که ناشی از افزایش از دوران پلاستیک در وسط عضو است و بوجود آمدن پدیده  $P-\Delta$ ، در اندرکنش خمش و نیروی فشاری، افت مقاومت محوری را مشاهده می کنیم. غیرخطی بودن منحنی  $P-\delta$  در این ناحیه نیز ناشی از این پدیده است. در نقطه C لنگر خمشی حداکثر است. باربرداری از نقطه C شروع میشود و افزایش طول عضو را در پی دارد.

در نقطه D بار محوری در عضو از بین میرود ولی همچنان تغییر مکان محوری نسبتاً بزرگی باقی می ماند و عضو به طول اولیه خود نمی رسد. همچنین در این نقطه جهت انحناء کمانش عضو و علامت ممان خمشی عوض میشود. (مقدار ممان خمش یک لحظه صفر است) از نقطه D تا E بار محوری کششی اعمال می شود و افزایش طول عضو ادامه می یابد. در ناحیه الاستیک CE، مقدار چرخش پلاستیک  $\theta$ ، تقریباً ثابت است و مقدار کاهش آن خیلی کم است. شیب ناحیه CE کمتر از OA است و سختی آن به علت کمانه کردن کمتر شده است.

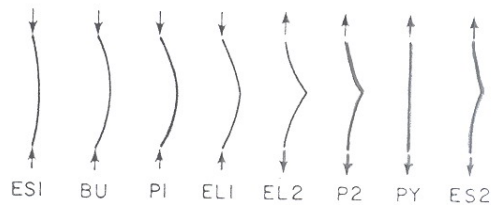
از نقطه E به بعد با افزایش بار محوری کششی، دوباره مفصل پلاستیک در وسط دهانه تشکیل میشود. در ناحیه EF اندرکنش میان بار محوری و ممان خمشی را داریم و مفصل پلاستیک در جهت عکس حالت قبلی (قسمت BC) دوران کرده و باعث کاهش  $\Delta$  (تغییر شکل وسط دهانه) میشود.

با افزایش بار بعد از نقطه E، میله به حالت مستقیم قبلی در نمی آید مگر اینکه در کشش تسلیم شود و افزایش طول پلاستیک زیادی را متحمل شود. در حقیقت به طور کامل مستقیم نشدن و داشتن انحناء باقی مانده، در سیکل بعدی باعث کاهش مقاومت کمانش عضو میشود که مقدار این کمانش به نسبت لاغری عضو وابسته است. در ناحیه FG به علت سخت شدگی کرنش، تا حدودی افزایش بار را شاهد هستیم ولی افزایش طول پلاستیک میله خیلی بیشتر است.

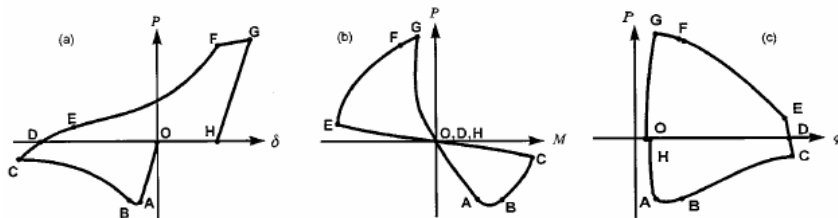


شکل (۱۰-۲) مشخصات مناطق مختلف

- ES1 : ناحیه کوتاه شدگی الاستیک در فشار
- BU : ناحیه کمانش
- P1 : ناحیه پلاستیک در فشار
- EL1 : ناحیه افزایش طول در فشار
- EL2 : ناحیه افزایش طول در کشش
- P2 : ناحیه پلاستیک در کشش
- PY : ناحیه تسلیم
- ES2 : ناحیه کوتاه شدگی الاستیک در کشش



شکل (۱۱-۲) رفتار در ناحیه های مختلف



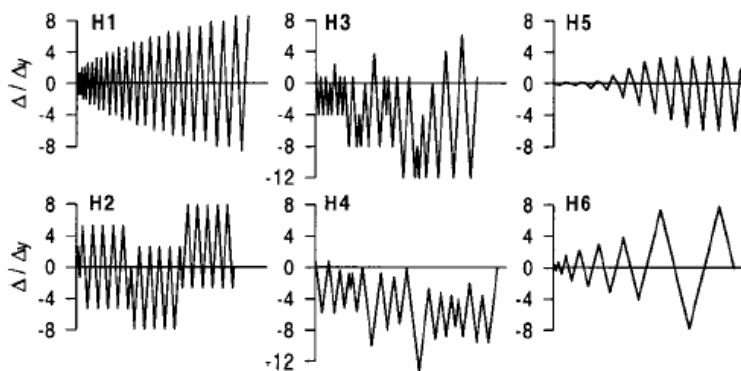
شکل (۱۲-۲) مشخصات ناحیه های مختلف : (a) منحنی  $P-\delta$  ، (b) منحنی  $P-M$  ، (c) منحنی  $P-\phi$

## ۲-۴-۲ ویژگیهای رفتار هیستریزیس بادبند تحت بار محوری

سیکل های متوالی کششی سبب افزایش طول تدریجی بادبند میشوند . بعد از تسلیم بادبند و افزایش طول پلاستیک آن ، افزایش طولی بصورت ماندگار در عضو می ماند که کاهش مقاومت کششی در سیکل های بعدی میشود . یعنی مقاومت تسلیم بادبند ، بعد از تغییر شکل محوری بزرگ در کشش احراز میشود .

با وجود اینکه اگر در سیکل های بارگذاری نیروی کششی را ثابت نگه داریم ( کمتر از حد تسلیم ) تغییر مکان محوری باز هم افزایش می یابد که به مقدار کوتاه شدگی سیکل قبل وابسته است .

بیشترین نیروی کششی که در بادبندها تشکیل میشود به تاریخچه بارگذاری اعمالی وابسته است که در شکل (۲-۱۳) چند نمونه از تاریخچه تغییر مکانها نشان داده شده است .



شکل (۲-۱۳) تاریخچه تغییر مکانهای اعمالی

ناحیه الاستیک به دو قسمت کوتاه شدگی الاستیک ( طول عضو کاهش و بار محوری زیاد می شود ) و افزایش طول الاستیک ( طول عضو و نیروی محوری افزایش می یابد ) تقسیم میشود. یکی از خصوصیات منحنی تغییر شکل- بار ( حلقه های هیستریزیس) برگشت ناپذیر بودن مناطق الاستیک به دلیل ناپیوستگی مدول مماسی در تاریخچه بارهای برگشت پذیر می باشد. یکی دیگر از مهمترین نکات در پیش بینی دقیق رفتار هیستریزیس بادبندها ، تاریخچهء مدول مماس در رفتار غیر لاسطیک

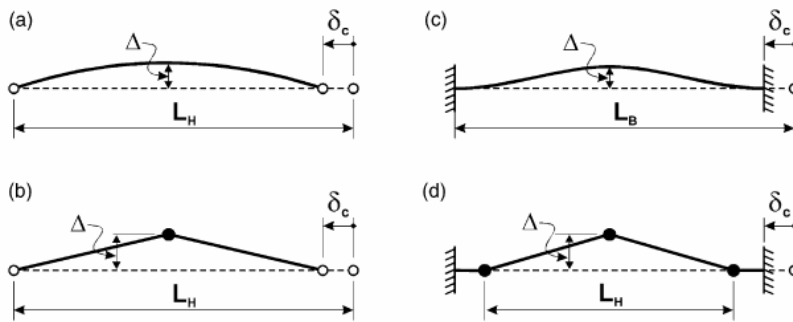
سیکلی است. بنا به نتایج تجربی، در اثر معکوس شدن بار مقطع تنشهای بزرگی را تجربه میکند و اثرات بوشینگر باعث کاهش قابل توجه مدول مماس فولاد در طول مرحله برگشتی (بازیابی) الاستیک میشود.

با افزایش سیکلها، پیکهای متوالی نیروهای فشاری کاهش میابد. عامل اصلی این کاهش، اثرات بوشینگر ناشی از رفتار غیر ارتجاعی سیکلهای قبلی و انحنا باقی مانده در عضو در شروع سیکل جدید فشاری میباشد. انحنا ماندگاری که در عضو بوجود میاید، حتی با تسلیم کششی نیز بطور کامل از بین نمی رود.

طبق تحقیقات پوپوف در مورد تأثیر شکل مقطع بر منحنی هیستریزس، هر مقطعی که قابلیت کمانش موضعی آن کمتر باشد، حلقه های هیستریزس پایدارتری دارد. مقاطع بسته تمایل کمتری به کمانش پیچشی دارند. اما مقاومت آنها در سیکلها به خاطر اعوجاج مقطع سریعتر کاهش مییابد، اثر نوع مقطع بادبند بر مشخصات هیستریزس زمانی مهمتر است که لاغری بادبند کم باشد زیرا که لاغری کم احتمال کمانش موضعی بیشتر است.

### ۳-۴-۲ رفتار کمانشی و جذب انرژی عضو فشاری

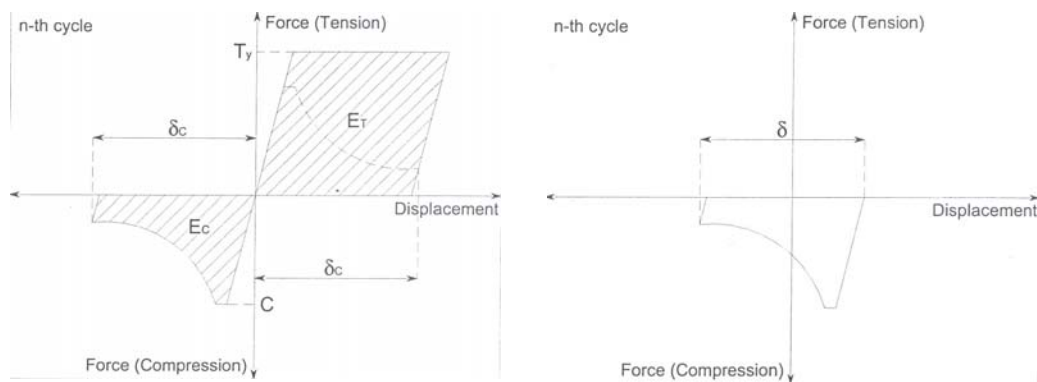
با اعمال بار جانبی به سازه بادبندی شده، بادبندهای فشاری، تحت بار اولر کمانش می کنند. با افزایش بار در مقطع بحرانی بادبند به جهت افزایش ممان خمشی، مفصل پلاستیک تشکیل می شود. با طی این مراحل انرژی لرزه ای بصورت غیر ارتجاعی جذب می شود. شکل (۲-۱۴) تشکیل مفصل پلاستیک در بادبند را نشان می دهد.



شکل (۲-۱۴) تغییر شکل خارج صفحه بادبندها

- (a) الاستیک با دو سر مفصلی  
(b) غیرالاستیک با دو سر مفصلی  
(c) الاستیک با دو سر گیردار  
(d) غیرالاستیک با دو سر گیردار

در این گزارش برای آشنائی با جذب انرژی بادبندهای فشاری و میزان کاهش مقاومت فشاری آنها در مقادیر مختلف تغییرشکلهای محوری، مطالعات عددی و آزمایشگاهی که بر روی بادبندها انجام گرفته، مورد بازبینی قرار می گیرد. البته این مطالعات طی سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۶ توسط محققان مختلف جمع آوری شده ولی بنا به دلایلی، بازبینی و نتیجه گیری کل انجام نگرفته است. که یکی از این دلایل نبودن تعریف دقیق برای لاغری  $kl/r$  این بادبندها می باشد. انرژی جذب شده بادبند برای یک سیکل فشاری  $E_c$ ، برابر است با کار انجام گرفته که حاصل ضرب نیروی فشاری در تغییرمکان محوری است که همان سطح زیر منحنی نیرو-تغییرمکان در شکل (۲-۱۵) است. در اینجا چون انرژی در هر سیکل هیستریزس مورد نظر است،  $\delta$  از نقطه ای که نیروی محوری کششی صفر میشود تا نقطهٔ بیشترین تغییرشکل فشاری، اندازه گیری میشود که ممکن است از صفر اصلی محور اندازه گیری نشود.



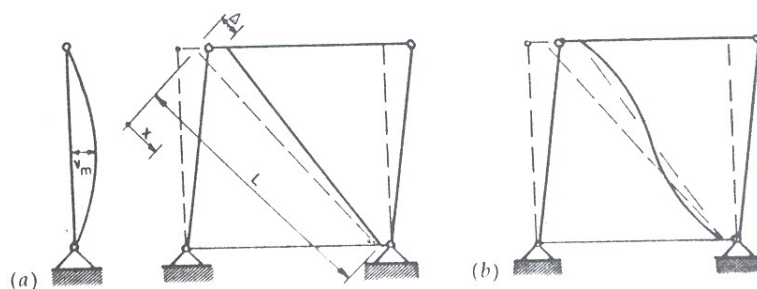
$$E_c = \text{انرژی جذب شده در فشار}$$

$$E_T = \text{انرژی جذب شده در کشش}$$

شکل (۲-۱۵)

## ۲-۴-۴ نوع صفحه کمانش بادبندهای قطری

همانطور که شکل (۲-۱۶) نشان می دهد تغییر شکل بادبندهای تکی متقارن بوده و کمانش بادبند قطری اغلب در یک مود خواهد بود ، کمانش داخل صفحه یا کمانش خارج صفحه . ( یا در صفحه ای ما بین آنها )



شکل (۲-۱۶) (a) بیشترین کمانش خارج صفحه (b) کمترین کمانش داخل صفحه

هر کدام از کمانش ها که صورت گیرد انرژی لرزه ای را جذب خواهند نمود ولی اگر شرایط رسیدن این تغییر شکل غیرارتجاعی فراهم نشود ، تبعاتی برای سازه بوجود خواهند آورد .

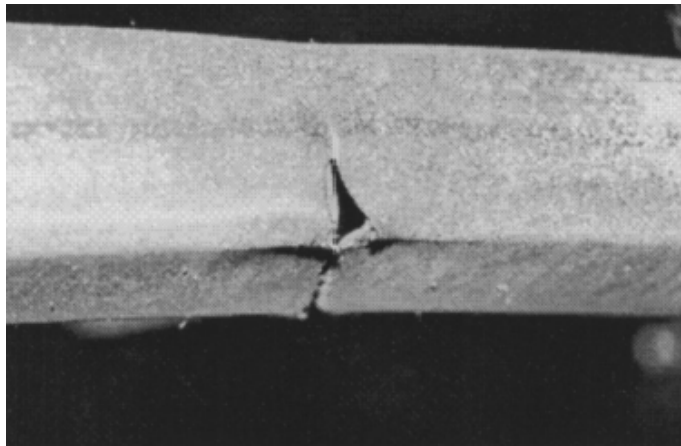
در کمانش داخل صفحه به لحاظ نوع قرارگیری ورق Gusset ، در اثر تشکیل مفصل در خود بادبند و یا ورق اتصال ، تقاضا (demand) زیادی به سایر اعضای سازه ( اتصالات بادبند ، ورق Gusset ، تیرها ، ستونها و ... ) تحمیل شده و امکان گسیختگی ترد سازه بوجود می آید . از طرف دیگر وجود اعضای غیرسازه ای در صفحه مهاربندی سختی کاذبی به بادبندها اعمال کرده و مانع کمانش بادبند شده و در نتیجه انرژی لرزه ای در نقاط کنترل نشده سازه جذب خواهد شد و گسیختگی باز هم ترد خواهد بود .

تشکیل مفصل پلاستیک و دوران های پلاستیک بزرگ در میانه بادبند کمانش یافته ، باعث کمانش موضعی بادبند در این ناحیه میشود ، شکل (۲-۱۷) . کمانش موضعی کاهش ظرفیت فشاری و کاهش جذب انرژی و گسیختگی ترد بادبند را در مدت اعمال بار دوره ای در پی دارد . این پدیده در کمانش خارج از صفحه به جهت سختی کمتر ، متحمل تر از کمانش



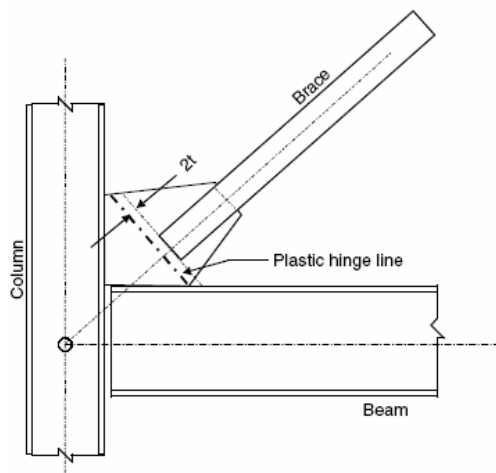
داخل صفحه است. همچنین ایجاد فضای مناسب برای تغییر شکل خارج صفحه بادبند (فاصله کافی بین بادبندها و دیوارهای خارجی) باید رعایت شود، در غیر اینصورت خسارت غیرسازه ای، ایمنی جانی را تهدید خواهد کرد.

جهت کماتش بادبند قطری بستگی به شرایط انتهایی و جهت قرارگیری مقطع دارد. (البته شرایط انتهایی بادبند در واقع به عوامل مختلف مانند پیکره بندی قاب، شرایط بارگذاری، نسبت لاغری عضو، شکل پذیری اتصال و رفتار غیرالاستیک اعضای مجاور وابسته است).



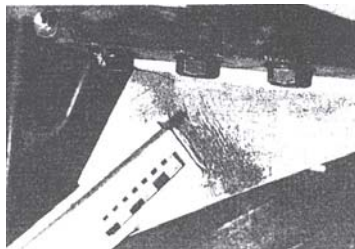
شکل (۲-۱۷) شکست بادبند در مفصل پلاستیک بعد از کماتش موضعی

اعضای بادبندی معمولاً طوری نصب میشوند که محور قوی مقطع، عمود بر صفحه مهاربندی باشد، با این حساب مقاومت کماتش خارج از صفحه کمتر میشود. در شرایط انتهایی نیز ضوابط لرزه ای اتصال بادبند ملزم می کند که در ورق Gusset فاصله  $2t$  (ضخامت ورق Gusset) را رعایت کنیم، شکل (۲-۱۸) در فاصله  $2t$  به جهت اینکه مقاومت خمشی حول هر دو محور کمتر از سایر نقاط ورق Gusset است، محل تشکیل مفصل در کماتش داخل صفحه و خارج صفحه میشود و چون در جهت خارج از صفحه مقاومت خمشی کمتری دارد، پس با این شرایط، کماتش خارج از صفحه بادبند محتمل تر میشود.



شکل (۲-۱۸) جزئیات ورق اتصال در SCBF

طبق طراحی لرزه ای، ورق اتصال (Gusset Plate) باید بدون اینکه دچار کماتش موضعی و یا سایر مودهای گسیختگی باشد، شرایط کماتش غیر ارتجاعی بابدند و تشکیل مفصل پلاستیک را برای بابدند فراهم نماید. به این دلیل و بر اساس تحقیقات آستانه اصل (۱۹۸۶) باید بین انتهای بابدند و خط فرضی، (عمود بر محور بابدند که از نقطه تقاطع ورق Gusset با تیر یا ستون می گذرد) فاصله ای به اندازه  $2t$  حفظ شود. (شکل ۲-۱۸) در غیر اینصورت به جهت سختی زیاد، تقاضای بیشتری نیز بر اتصال بابدند و ورق Gusset بوجود آمده که باعث گسیختگی جوشهای اتصال یا کماتش موضعی ورق Gusset یا خود بابدند می شود. با رعایت این فاصله  $2t$ ، و در صورت لزوم سخت کردن سایر قسمتهای ورق Gusset، در رفتار غیر ارتجاعی، مفصل پلاستیک در این ناحیه تشکیل می شود (شکل ۲-۱۹) و بدین ترتیب محدوده اتصال از طراحی لرزه ای به مقاومت مورد انتظار بابدند، معاف میشود و به مقاومت مورد انتظار این ناحیه از ورق Gusset ( $2t$ ) که خیلی کمتر است، طراحی می شود.



شکل (۲-۱۹) تشکیل مفصل پلاستیک در ورق اتصال

۲-۴-۵ اثر لاغری بر منحنی هیستریزیس بادبند  $kl/r$ 

در طراحی لرزه ای برای تعیین مقاومت فشاری بادبندها و ارزیابی ظرفیت جذب انرژی آنها، از ضریب طول موثر  $k$  یا نسبت لاغری  $kl/r$  بادبند استفاده می شود. تحقیقات قبلی نشان داده اند که لاغری موثر بادبند، تنها پارامتر مهمی است که در شکل هیستریزیس بادبند و به تبع آن در ظرفیت جذب انرژی آن تاثیر می گذارد. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۲ که الزامات طراحی لرزه ای برای CBF وارد آیین نامه ها شد، طراحی و detailing بر اساس لاغری  $kl/r$  کم و لاغری موضعی  $b/t$  کم بوده تا عملکرد لرزه ای بهتری حاصل شود. فلسفه این کار نیز بر این اساس بود که لاغری کم سهیم بودن بادبند فشاری در جذب انرژی را تضمین می کند. منظور از لاغری کم یعنی لاغری در حدی است که بار کمانشی کمتر از بار تسلیم است.

بطور کلی اعضای ضخیمتر و کلفتتر، حلقه های هیستریزیس پرتری نسبت به اعضای خیلی لاغر دارند. حلقه های هیستریزیس بادبندهای لاغر، دارای پدیده Pinching (لاغر شدن حلقه ها) می باشند، ولی لاغری کمتر بادبندها، ظرفیت شکل پذیری سازه را افزایش می دهد. بادبندهای قوی و ضخیم (لاغری کمتر) تقاضای شکل پذیری بالایی را در تیرها و ستونها می طلبند و اثر کمانش موضعی شدیدتر و تعیین کننده تر میشود. در این حالت، با تسلیم یا کمانش موضعی مقطع تغییر مکان جانبی بزرگی بوجود می آید.

با افزایش لاغری، چرخش پلاستیک ماندگار در عضو بیشتر شده در نتیجه کاهش پیک های فشاری در سیکل های متوالی بیشتر میشود. در این حالت بیشترین تغییر مکان جانبی طبقات افزایش می یابد. زیرا که با افزایش لاغری، نیروی فشاری ستونها افزایش یافته و مود تغییر شکل قاب با مود خمشی کنسولی انجام می گیرد. به پیشنهاد محققان بهتر است سختی بادبندها از پائین به بالا در ارتفاع سازه، به تدریج کاهش یابد.



در حالت کلی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی (EERC ۸۸/۰۱) چنین نتیجه ای بدست می آید که سیستم مهاربندی با بادبندهای ضعیف تر و تیر و ستون قوی تر، توزیع بهتر نیروی لرزه ای و تسلیم را در ارتفاع بالاتر سازه ناشی میشود.

در حالت کلی و طبق تقسیم بندی AISC داریم:

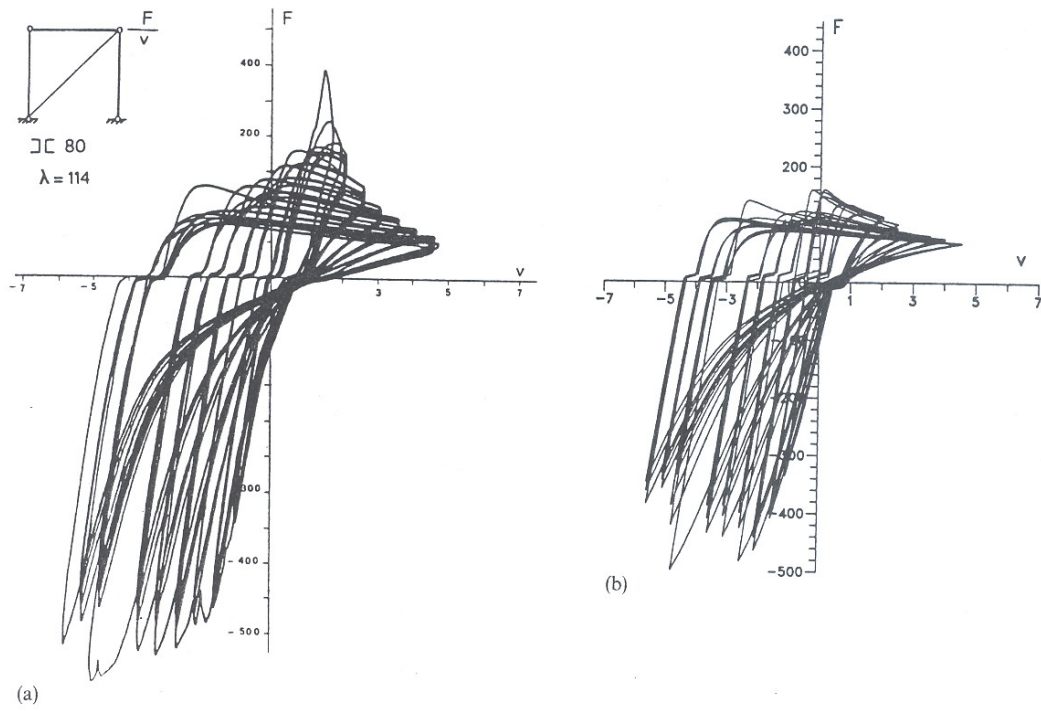
- لاغری بزرگ  $\lambda > 130$  تنشهای کمانشی الاستیک کمتر از نصف تنش تسلیم
- لاغری کوچک  $\lambda < 60$  بسته به نسبت عرض به ضخامت مقطع، تسلیم بابدند و کمانش موضعی حاکم بر طرح
- لاغری متوسط  $60 < \lambda < 130$  کمانش غیرارتجاعی بحرانی تر از کمانش موضعی و حاکم بر طرح

در طراحی بادندهای و اگر شرایط انتهایی گیردار نباشد اغلب ضریب طول موثر K را برابر یک می گیریم که ظاهراً به نفع اطمینان است ولی از آنجائیکه شرایط انتهایی کاملاً مفصلی نیست و عوامل دیگری نیز در ضریب K موثر است، بهتر است که ضریب K را کمتر از یک بگیریم تا تقاضای سایر اعضا بر اساس مقاومت کمانشی واقعی تری بدست آید و طرح بهینه شود.

برای تعیین مقدار واقعی K آزمایشات و مطالعات زیادی انجام شده است. (Goel & ElTayem ۱۹۸۶ ~ ۱۹۹۵) مقدار K را ۰/۸۵ تعیین کردند.

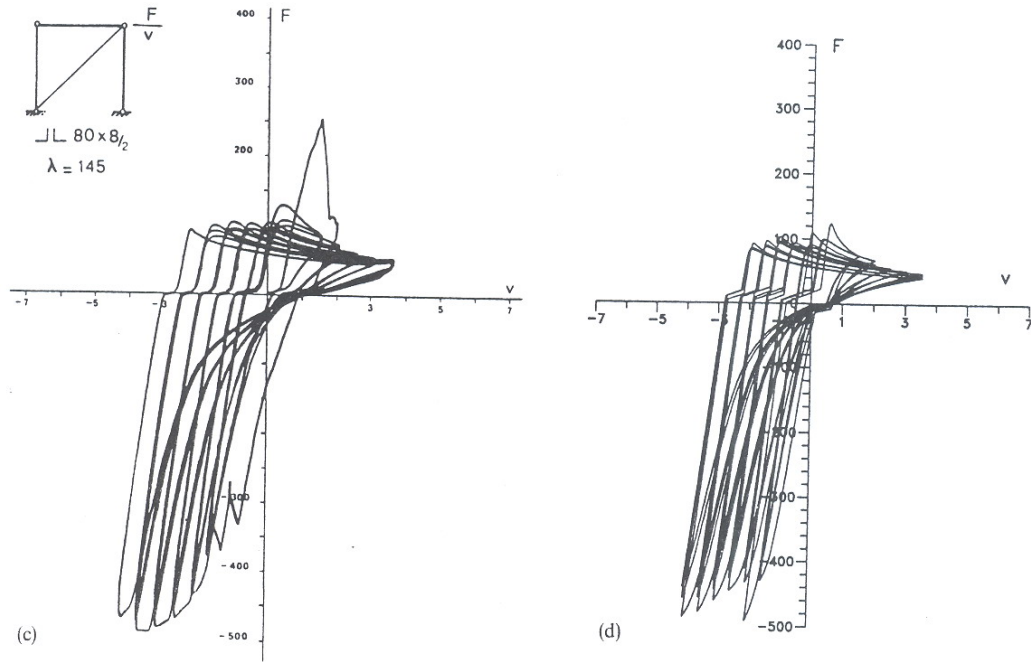
Tremblay (۲۰۰۳) این مقدار را بین ۰/۸۸ ~ ۰/۹۶ تعیین کرد.

شکلهای (۲-۲۰) و (۲-۲۱) اثر لاغری را بر منحنی هیستریزس عضو بادنبدی نشان می دهد.



شکل (۲۰-۲) (a) بر اساس مدل تجربی

(b) بر اساس مدل عددی و تئوریک

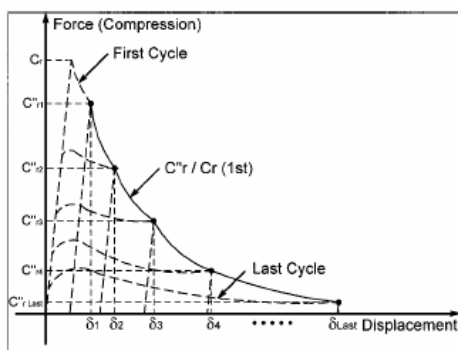


شکل (۲-۲۱) (c) بر اساس مدل تجربی

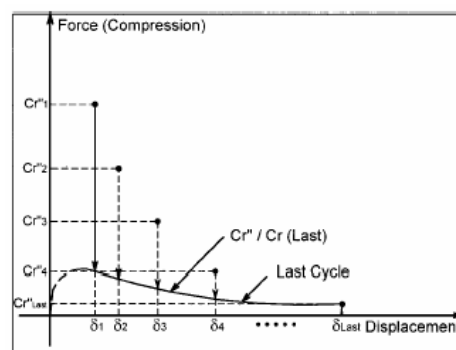
(d) بر اساس مدل عددی

## ۶-۴-۲ کاهش مقاومت بادبند فشاری

مقاومت فشاری و مقاومت کمانشی بادبند به محض اعمال تغییر مکان فشاری بزرگتر و یا با افزایش تعداد سیکلها (حتی اگر دامنه تغییر مکانی یکسان بماند) کاهش می یابد. بعد از اینکه کمانش اتفاق افتاد، کوتاه شدگی بادبندها لزوماً با چرخش پلاستیک مفصل افزایش می یابد و به تبع آن تغییر مکان جانبی بادبند بیشتر میشود. با این وضعیت بار محوری کمتری نیاز است تا چرخش مفصل پلاستیک بیشتر شود. همچنین افزایش طول دائمی بادبند تحت بارگذاری سیکلی، کاهش مقاومت فشاری بادبند را شدت می بخشد زیرا که بادبند طولانی تر، در تغییر مکان فشاری قبلی، تغییر مکان جانبی بزرگتری نشان می دهد. این مطلب را Bruneau & Lee نیز در سال ۲۰۰۲ در مطالعات خود نشان دادند، شکل (۲-۲۲). باید به این نکته توجه نمود که تغییر مکان محوری فشاری  $\delta_n$  با افزایش تعداد سیکلها ف بیشتر میشود. ( $\delta_n$  بیشترین تغییر مکان فشاری در هر سیکل)



(a) مشخصات نسبت ظرفیت کمانشی اولیه



(b) مشخصات نسبت ظرفیت کمانشی نهایی

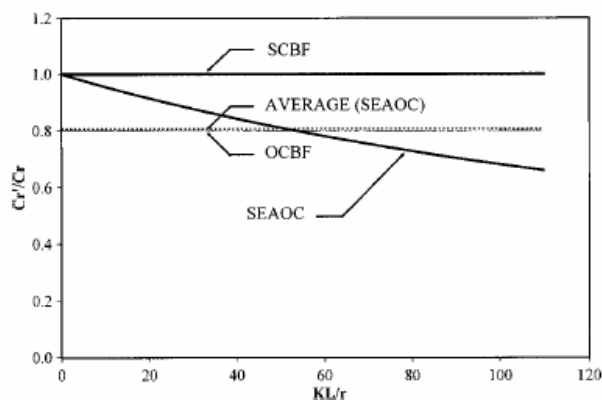
شکل (۲-۲۲)

مطالعات تجربی و عددی زیادی انجام شده تا منحنی هیستریزس بادبند فشاری و مقدار کاهش مقاومت فشاری در مقادیر مختلف لاغری  $kl/r$  بدست آید. با استفاده از نتایج تستها مشخص میشود که افت در رفتار فشاری برای بادبندهایی که لاغری  $kl/r$  بیشتر از ۸۰ دارند، نسبتاً زیاد است و مقاومت فشاری تقریباً ۲۰٪ کاهش می یابد.

در حالت کلی با تشکیل مفصل پلاستیک در کمانش بادبند، نیروی محوری بادبند متناسب با مقدار کمانش کاهش می یابد و این متناظر با کاهش مقاومت جانبی است.

در طراحی، کمترین بار فشاری که بادبند در بیشترین سطح شکل پذیری پیش بینی شده تحمل خواهد کرد، به عنوان بار محوری بحرانی در نظر گرفته میشود. به این دلایل، برای مقاومت فشاری بادبند، ضریب کاهش باید در نظر گرفت. AISC

برای قابهای OCBF ضریب  $0.8$  را توصیه می کند.  $P'_{cr} = P_{cr}$



شکل (۲-۲۳) ظرفیت کمانشی آئین نامه های مختلف

برای بادبندهای خیلی لاغر، در نظر گرفتن ضریب کاهش مقاومت فشاری لازم نیست چون این بادبندها در جذب انرژی سهمی نداشته و تحت بارهای سیکلی و فشاری خسارتی نمی بینند.

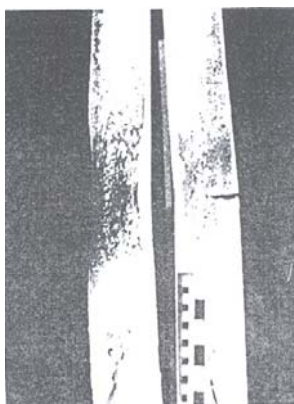
نکته مهمی که وجود دارد این است که SCBF به علت اینکه هنگام کمانش بادبند فشاری کاهش مقاومت ناچیزی دارد در نتیجه شکل پذیری بیشتری نیز نسبت به OCBF دارد.



## ۵-۲ رفتار گسیختگی بادبندها

با اعمال بارهای دوره ای رفت و برگشتی ، رفتار غیرارتجاعی بادبندها مثل کمانش و مستقیم شدن عضو در تسلیم کششی ، کمانش موضعی و کرنش بالا در راس محل کمانش تکرار میشود و با گذشت تعداد سیکلها خستگی و افت ناگهانی بوجود می آید . با رعایت الزامات طراحی، گسیختگی بادبندها در سطح شکل پذیری پیش بینی شده و در ناحیه مفصل پلاستیک صورت خواهد گرفت مگر اینکه به علت نقص در طراحی ، گسیختگی نا به هنگام در اتصالات بوجود می آید . مسر گسیختگی لرزه ای بدین صورت است که بادبندها چندین سیکل را به صورت کمانش غیرارتجاعی خارج از صفحه و تسلیم در کشش تحمل می کنند و افزایش طول دائمی پیدا می کنند و نهایتا در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک بادبند کمانش موضعی رخ داده و با کشش بعدی ، گسیختگی بادبند به سرعت اتفاق می افتد .

گسیختگی بادبندها به نسبت لاغری و نیز به نسبت عرض به ضخامت مقاطع آنها وابسته است . بادبندهای لاغر می توانند سطح شکل پذیری بالایی را قبل از گسیختگی تحمل کنند که دلیل آن کاهش تقاضای کرنشی در مفصل پلاستیک با افزایش لاغری بادبند است . بنابراین برای بادبندهای با لاغری کمتر باید سخت گیری شدیدتری در نسبت عرض به ضخامت مقطع اعمال شود و با انجام تمهیداتی این نسبت را کاهش داده تا به سطح شکل پذیری مورد نظر برسیم . با این حال طراحی بادبندها معمولاً طوری صورت می گیرد که الزامات مقاومت فشاری را تأمین کند ولی محدودیتهای آئین نامه ای در مورد لاغری بادبندها و نسبت عرض به ضخامت مقاطع یا ملاحظات ساخت سازه می تواند بر ابعاد آنها حاکم باشد .

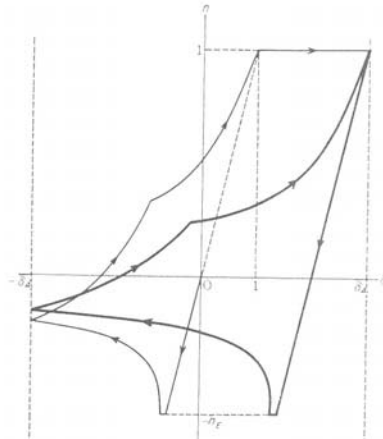


شکل (۲-۲۴) نمونه ای از تشکیل کمانش موضعی

## ۶-۲ مدل دیگر برای پیش بینی رفتار بادبندها

مدل دیگری که در برخی از مطالعات و آزمایشات برای شناخت منحنی هیستریزس بادبندهای قطری تحت بارگذاری

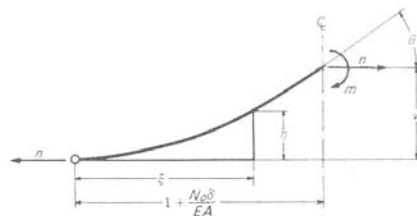
سیکلی استفاده میشود مدل الاستو - پلاستیک کامل (elastic - perfectly- plastic) است .



شکل (۲-۲۵) نمونه ای از بارگذاری سیکلی با دامنه تغییر مکان ثابت

که در آن خواص مصالح مفصل پلاستیک و نیز سایر قسمتهای بادبند الاستو - پلاستیک کامل است. یعنی تغییر حالت از الاستیک به پلاستیک در مفصل پلاستیک و یا هر جای دیگر بادبند بصورت ناگهانی است . این روش نسبت به سادگی آن برای شناخت رفتار سیکلی بادبندها مناسب به نظر می رسد و تقریب اولیه و مستدلی از رفتار بادبند قطری ارائه می دهد . ولی در پیش بینی دقیق رفتار دچار خطا میشود و به منظور رسیدن به منحنی هیستریزس واقعی بادبندها ، باید از مدل واقعی تری استفاده

کرد .



شکل (۲-۲۶) مشخصات نصف طول بادبند در مدل

$\delta = \delta_e + \delta_g + \delta_p + \delta_t$  تغییر طول محوری به چند بخش تقسیم میشود:

$\delta_e =$  تغییر طول محوری الاستیک

$\delta_g =$  تغییر طول محوری میله ناشی از هندسه میله (ناشی از تغییر مکان جانبی میله)

$\delta_p =$  تغییر طول محوری پلاستیک در مفصل پلاستیک

$\delta_t =$  افزایش طول محوری پلاستیک میله

$N$  : نیروی محوری موجود در میله

$N_0$  : نیروی خالص مقطع در کشش (ایده ال)

$$N_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2} < N_0 \quad , \quad \delta = \frac{EA}{N_0 l} \Delta \quad , \quad n = \left| \frac{N}{N_0} \right| \quad \text{نسبت نیروی محوری} = n$$

$\delta =$  نسبت تغییر مکان محوری

$v =$  نسبت تغییر مکان جانبی

میله ابتدا تحت کشش قرار گرفته و در  $n = 1$  تسلیم میشود و مطابق شکل (۲-۲۷) مراحل  $0 \sim 1 \sim 2$  را طی می

کند. تغییر مکان در نقطه ۲،  $\delta_t$  برابر است با:  $\delta_t = \delta_{e_t} + \delta_{t_t} = 1 + \delta_{t_t}$  در حالی که  $\delta_g$  و  $\delta_p$  صفر است. بعد از نقطه ۲

باربرداری و در نهایت بار فشاری اعمال میشود. اگر میله تا حدی لاغر باشد که  $n_E \leq 1$  (نسبت بار بحرانی اولر) میله در  $n_E =$

$n$  کمانش کرده و تغییر شکل الاستیک در وسط میله از صفر تا حد تسلیم افزایش می یابد. (مرحله ۳ تا ۴)

تغییر طول میله ناشی از تغییر مکان جانبی میله  $\delta_g$  (کمانش میله) از مرحله ۳ در تغییر مکان محوری نسبی شرکت می

کند. (طول ناحیه ۳ تا ۴). در نقطه ۴، مفصل پلاستیک تشکیل میشود و تغییر شکل میله افزایش زیادی دارد و مولفه دیگر

تغییر مکان یعنی تغییر مکان پلاستیک  $\delta_p$  بوجود می آید.

در مرحله ۴  $\sim 5$  با توجه به معادله ۱۲ و از طرف دیگر برای حفظ تعادل باید نیروی محوری فشاری کاهش یابد. در

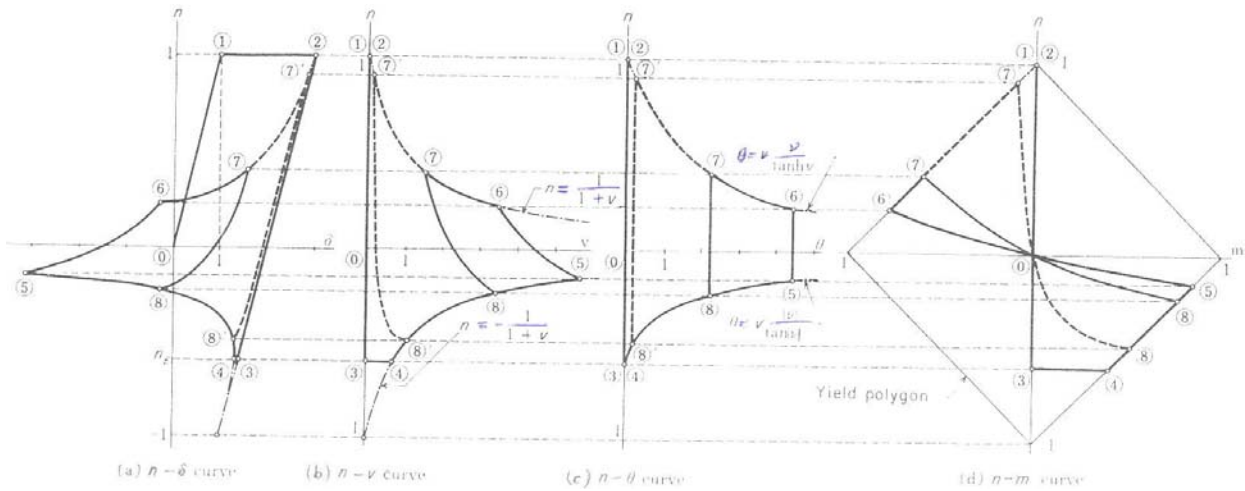
این مرحله هر ۴ مولفه  $\delta$  دارای مقادیر هستند.  $\delta_t$  این مرحله همان  $\delta_{t_t}$  (تغییر شکل محوری پلاستیک در کشش) می باشد.

مرحله ۵  $\sim 6$  مرحله بازیابی الاستیک است و مفصل پلاستیک از بین می رود، تغییر مکان جانبی  $v$  کاهش می یابد ولی  $\theta$  در

این مرحله ثابت مانده و همان  $\theta_0$  می باشد. در این مرحله  $\delta_p$  نیز بصورت ماندگار از مرحله قبل وجود دارد. از نقطه ۵ به بعد،

$\delta_p$  نیز بصورت ماندگار در تمامی مراحل ظاهر میشود. (همانند  $\delta_t$  در مراحل قبل)

رفتار الاستیک در نقطه ۶ متوقف شده و دوباره مفصل پلاستیک تشکیل میشود. در این مرحله  $\theta$  و  $v$  کاهش می یابند و تمام مولفه های  $\delta$  همانند مرحله ۴ ~ ۵ ولی با مقادیر مثبت  $n$  تعیین میشود.



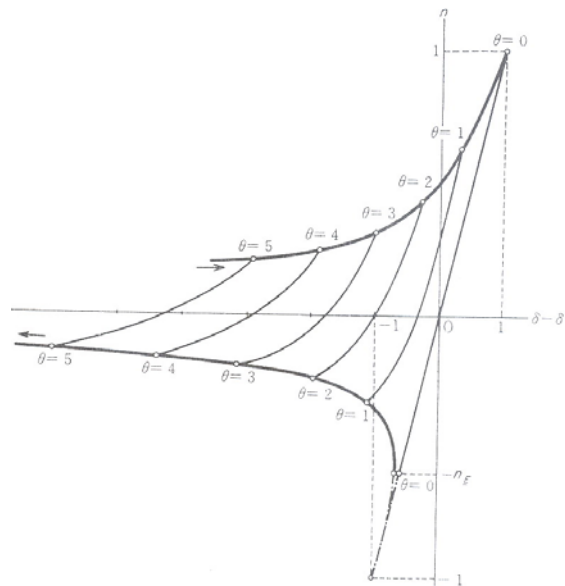
شکل (۲-۲۷) نمودار رفتاری میله تحت بار محوری تکراری

با افزایش بار وقتی  $n=1$  داریم:  $\delta = 1 + \delta t$  ،  $\delta p = \delta g = 0$  ،  $v = \theta = 0$

که مختصات نقطه ۲ می باشد. یعنی اینکه با ادامه مرحله ۶ ~ ۷ و افزایش نیروی کششی به نقطه ۲ خواهیم رسید. یعنی در نقطه ۷ میله هنوز انحناء دارد و در نقطه ۲ میله کاملاً مستقیم میشود. ( $v = \theta = 0$ ) به عبارت دیگر تا وقتی که میله به طول  $\delta = 1 + \delta t$  افزایش طول پیدا نکند، کاملاً مستقیم نمیشود و تمام مقاومت خود را باز نمی یابد. شکل (۲-۲۸) که در آن مقدار  $\delta t$  از تغییر مکان محوری کسر شده، این مسئله را نشان می دهد.

طبق این مدل، سیکل بارگذاری و باربرداری از نقطه ۲ تا نقطه ۲ هیچ گونه اثری در رفتار بعدی میله ندارد. به عبارت دیگر، سیکلی که از بیشترین تغییر مکان شروع میشود و پس از فشار و کششی که تحمل می کند دوباره به آن نقطه می رسد، هیچ تأثیری در رفتار بعدی میله ندارد.

در حالی که در میله الاستو پلاستیک واقعی ، با رسیدن تغییر مکان میله به بیشترین تغییر مکان مرحله قبل ، میله کاملاً مستقیم نشده و بطور کامل بازیابی نمیشود ، یعنی در  $\delta = \delta_r$  داریم  $n < 1$  و به علت توزیع یکنواخت کرنش باقی مانده هنوز مقداری تغییر شکل جانبی در میله باقی مانده است . مقاومت کامل در کشش ( $n = 1$ ) ، در تغییر مکان بزرگتر از  $\delta_r$  بدست می آید .



شکل (۲-۲۸) منحنی  $n$  در مقابل  $\delta - \delta'$

### فصل ۳؛ سیستم مهاربندی همگرا با بادبندهای X - شکل ( x - braced CBF )

#### ۱-۳ مقدمه

بادبندهای X - شکل به جهت تأمین سختی و مقاومت جانبی زیاد نسبت به سایر بادبندهای همگرا، در سازه های مختلف کاربرد فراوانی دارند. که به التبع دارای مزایا و معایبی نسبت به سایر اشکال بادبندی همگرا می باشد. بادبندهای X - شکل تغییر مکان نسبی طبقات را بطور زیاد کاهش می دهد، حتی اگر کمانش نیابند. عمده مزیت بادبندهای X - شکل از اتصال وسط دو بادبند به همدیگر ناشی میشود و با قیدی که بادبند کششی برای بادبند فشاری در وسط بوجود می آورد باعث کاهش طول کمانشی مهار نشده و افزایش بار کمانشی و تغییر رفتار غیر ارتجاعی کل میشود. در نتیجه توانائی آنها در تحمل تقاضای غیر ارتجاعی ناشی از زلزله بهتر میشود.

از طرفی مشاهدات زلزله های اخیر نشان داده اند که این نوع بادبندها به دلیل داشتن مقاومت کمانشی بالاتر مستعد به گسیختگی به علت کمانش موضعی در محل مفصل پلاستیک هستند. همچنین در بادبندهای بادبندهای X - شکل، چرخش مفصل پلاستیک بیشتری مورد انتظار است زیرا که طول مهار نشده بادبند کمتر شده و گسیختگی آنها را باید در رفتار و ظرفیت غیر الاستیک تعیین کنیم.

در محدوده رفتار غیر خطی این سیستم شکل پذیری کمتری نسبت به سایر اشکال CBF دارد. شکل پذیری کم این سیستم به علت زود ترک خوردن و شکست بادبندها یا اتصالات آن طی تغییر شکلهای بزرگ سیکلی در ناحیه پس از کمانش می باشد. بطور کلی می توان گفت که ظرفیت استهلاک انرژی این سیستم کمتر از قاب خمشی است.

اتصالات نیز نقش مهمی در رفتار بادبندهای X- شکل دارند و عملکرد نامناسب آنها، مانع رسیدن بادبندها به تغییر شکلهای غیرارتجاعی می شود. برای پیش بینی رفتار گسیختگی بادبندهای X- شکل در سالهای قبل مدلهای عددی و آزمایشات تجربی صورت گرفته است ولی کمبود داده های آزمایشگاهی برای تخمین رفتار غیرارتجاعی واقعی آنها احساس می شود.

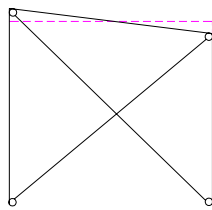
حالتهای مختلف بادبندهای ضربداری (X- شکل) که طرح و اجرا میشوند و هر کدام از آنها رفتار لرزه ای و معیارهای غیرارتجاعی متفاوتی نسبت به همدیگر دارند که بسته به شرایط اتصال وسط باید تک تک مورد ارزیابی قرار گیرند:

- اتصال دو بادبند در وسط بصورت پیوسته (گیردار) که هم دارای سختی محوری و هم سختی خمشی باشد.
- یکی از بادبندها در وسط قطع شده و به ورق Gusset متصل میشود و در اتصال وسط نقطه سختی محوری داریم.
- هر یک از بادبندها بصورت دو بل پروفیل هستند که در اتصال وسط یکی از پروفیلها ممتد و دیگری منقطع می باشد.
- دو بادبند بدون اتصال به هم و یا با اتصال به هم از روی همدیگر رد می شوند، یعنی صفحه هر کدام فرق می کند و مقداری خروج از صفحه (Eccentricity) داریم.

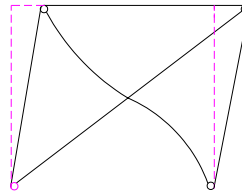
### ۲-۳ انواع بادبندهای X- شکل

در طراحی سازه دو روش را پیش می گیرند:

- سازه را در حد تغییر شکل‌های الاتیگ طرح می دهند و هیچ گونه خرابی را نمی پذیرند، در نتیجه اعضا قوی طرح میشوند. این نوع طراحی در CBF باعث می شود که سازه به صورت طره‌ای تغییر شکل پیدا کند. در این حالت، بادبندها تغییر شکل‌های غیرارتجاعی ندارند و یک ستون کشیده و ستون دیگر فشرده می شود شکل (۱-۳).
- با قبول خرابی تا یک سطح مشخص، شرایط غیرارتجاعی را ایجاد کرده و سازه را طوری طرح می دهند که یک سری اعضاء وارد تغییر شکل‌های غیرالاستیک شده و انرژی لرزه‌ای تنها در آن ناحیه جذب شود. این نوع طراحی در سازه CBF باعث میشود که ستونها تغییر شکل کمی داشته و در حالت الاستیک باقی بماند ولی بادبندها جابجایی زیادی داشته و در کشش تسلیم و در فشار کمزش غیرارتجاعی یابند. در نتیجه انرژی لرزه‌ای را فقط بادبندها جذب می نمایند و اتصالات و تیرها و ستونها در حد الاستیک باقی می مانند شکل (۲-۳).



شکل (۱-۳)



شکل (۲-۳)



## ۳-۲-۱ از نظر مقاومتی

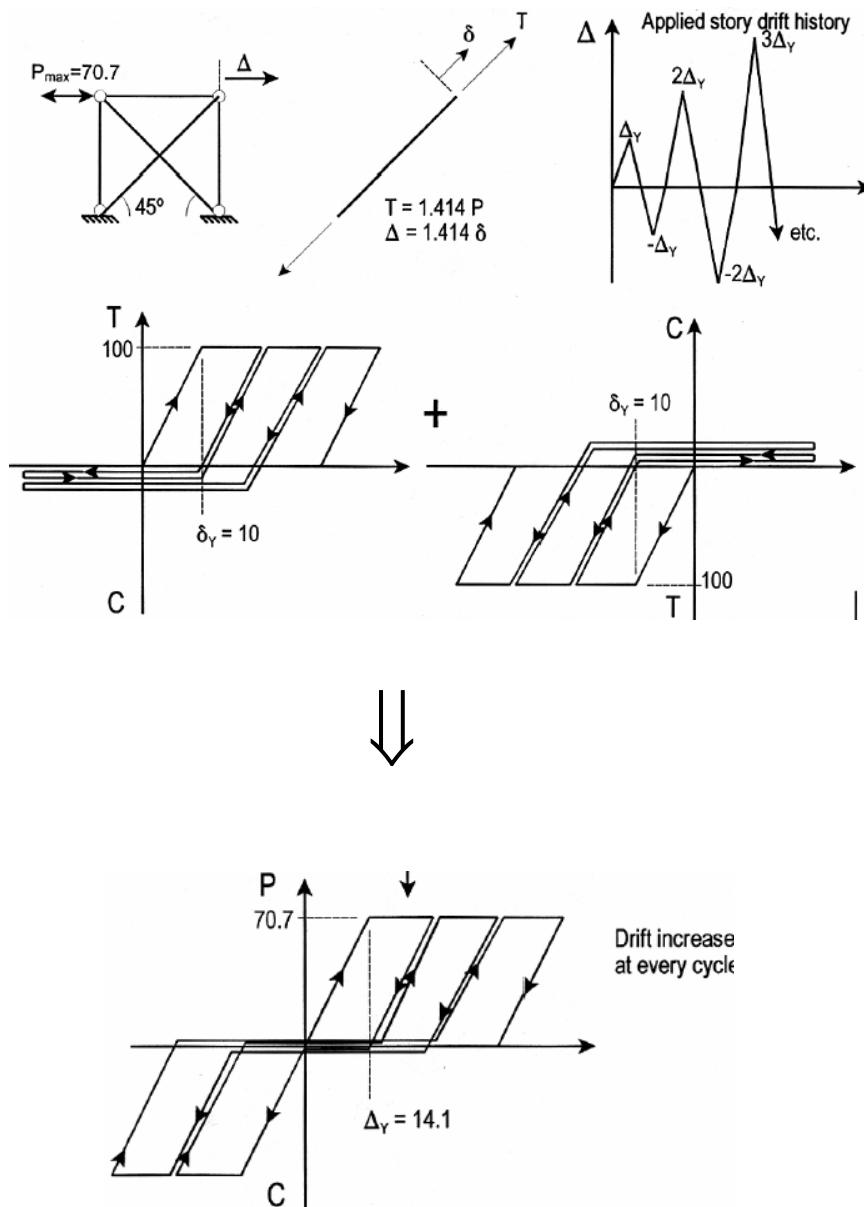
الف) بادبندها فقط قادر به تحمل کشش هستند . ( Tension Only )

ب) بادبندها کششی - فشاری هستند .

جزئیات این تقسیم بندی مشابه مطالب ذکر شده در فصل بادبندهای قطری می باشد و معایب ذکر شده برای بادبندهای فقط کششی، در مورد بادبندهای X- شکل نیز صادق است . آئین نامه کاربرد این بادبندها را جز برای ساختمانهای کوچک یا مناطق با خطر زلزله کم ، مجاز ندانسته است و انتظار رفتار غیرارتجاعی از این نوع بادبندها نمی توان داشت . شکل (۳-۳) منحنی هیستریزس بادبندهای فقط کششی را نشان می دهد.

همان طور که از شکل (۳-۳) پیداست ، اگر سیستم بادبندی فقط کششی تحت بارهای تکراری با دامنه تغییر مکان ثابت قرار گیرد که منجر به تغییر طول پلاستیک نشود ، اتلاف انرژی هم روی نخواهد داد . این سیستم که لاغری اعضا در آن زیاد است برای جذب مقدار انرژی مورد نظر، باید تغییر مکان جانبی زیادی داشته باشد که ممکن است به علت اثرات ثانویه گسیخته شود. (پدیده ضربه)

اگر بادبندهای X- شکل کششی - فشاری باشند (نوع ب) برای تامین حداقل لاغری مورد نیاز آیین نامه ها طرح می شوند که در نتیجه اعضای بادبند قطور و کاملاً سنگین می شود و بحث طول مؤثر برای طرح بادبند فشاری مطرح می شود .



شکل (۳-۳) منحنی هیستریزیس بادبند‌های X-شکل فقط کششی (Bruneau et al 1998)

## ۲-۲-۳ تقسیم بندی از نظر شکل پذیری

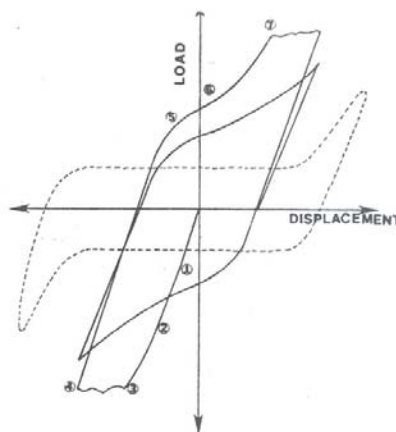
مطابق AISC، بادبندهای X- شکل نیز از نظر شکل پذیری به دو گروه تقسیم می شوند:

الف) شکل پذیری ویژه SCBF

ب) شکل پذیری عادی OCBF

با توجه به فلسفه طراحی، SCBF در زلزله های شدید رفتار غیرارتجاعی خواهد داشت و الزامات طراحی آن نیز باید براساس شکل پذیری باشد ولی در OCBF اساس مقاومت است و ضوابط شکل پذیری آزادتر و ضوابط مقاومت سخت گیرتر شده، ابعاد اعضای سازه بالاتر می رود. SCBF طوری طرح می شود که نسبت عرض به ضخامت اعضای بادبندی کمتر بوده و کماتش موضوعی در آنها حاکم نباشد و اتصال انتهایی و ورق اتصال باید بطور کافی مقاوم باشند تا رفتار غیرارتجاعی بادبندها مثل کماتش پلاستیک یا تسلیم کششی بدون هیچ محدودیتی تضمین شود.

## ۳-۳ رفتار هستیزیس بادبندی های X- شکل



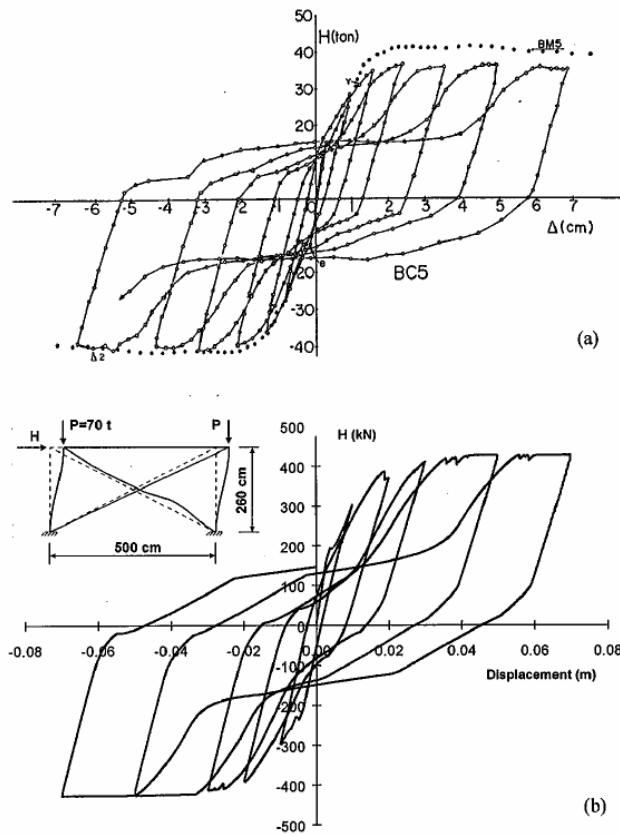
شکل (۳-۴) منحنی هستیزیس بادبندهای X- شکل با مقطع (دوبل نبشی)

با وجود محبوبیت بادبندهای شکل در استفاده، ولی بیشتر تحقیقات و بررسی ها در مطالعه رفتار و مدلسازی بادبندهای تکی متمرکز شده است و فقط مطالعات تجربی اندکی در رابطه با بادبندهای X- شکل تحت بارگذاری سیکلی انجام گرفته است. رفتار هستیرزیس بادبندهای X- شکل شباهت زیادی به منحنی هستیرزیس بادبندهای قطری تحت بارسیکلی است. با این تفاوت که در X- شکل اندرکنش دو بادبند بر هم باعث تغییر منحنی بار- تغییر شکل می شود که به التبع بر عملکرد سیستم مهاربندی تاثیر گذاشته و شاید تغییر بعضی از پارامترهای غیرارتجاعی در جهت نامطلوب باشد.

مطالعات تجربی و عددی صورت گرفته نشان داده اند که به دلیل کاهش مقاومت در فشار و انباشتگی تغییرمکان ماندگار در کشش، بادبندها X- شکل رفتار هستیرزیس نامتقارن و متفاوتی دارند. اگر لاغری بادبندها خیلی زیاد باشد و به اصطلاح بادبندها فقط کششی باشند، اندرکنش دو بادبند بر هم ناچیز بوده و رفتار مثل بادبندهای قطری فقط کششی می شود. همینطور اگر لاغری بادبندها خیلی کم باشد و تسلیم بادبندها در فشار زودتر از کماتش آنها صورت گیرد، باز هم اندرکنش دو بادبند بر هم و اتصال وسط آنها، تاثیر خیلی ناچیزی در منحنی هستیرزیس و رفتار آنها می گذارد. پس برای استفاده از ظرفیت جذب انرژی بادبند فشاری در کماتش غیر ارتجاعی باید لاغری بادبندها متوسط باشد.

### ۳-۳-۱ تشریح رفتار سیکلی غیرارتجاعی

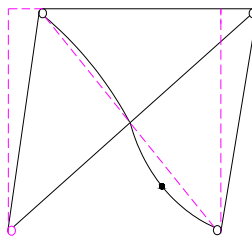
در حالت کلی سیکل کامل غیرارتجاعی که در بخش ۲-۴-۱ برای بادبندهای قطری اشاره شد، برای سیکل غیر ارتجاعی بادبندهای X- شکل نیز صادق و خصوصیات کلی منحنی هستیرزیس برای هر دو نوع یکسان است. شکل (۳-۵) منحنی هستیرزیس یک نمونه از بادبندهای X- شکل را بصورت تحلیلی و همینطور تجربی نشان می دهد.



شکل (۳-۵) (a) بر اساس مدل تجربی

(b) بر اساس مدل عددی و تئوریک

آزمایشات مختلف بادبندهای X- شکل نشان داده است که بعد از چند سیکل متوالی، تغییر شکل اعضای بادبندی نامتقارن می شود، زیرا که در اثر بارگذاری متناوب و تکراری به جای هر دو قطعه فشاری، تغییر شکل خمشی تنها در یک قطعه آن متمرکز می شود (شکل ۳-۶). اگر لاغری بادبند نیز زیاد باشد، نامتقارنی تغییر شکلها بیشتر از قبل میشود، بنابراین در مدلسازی غیرارتجاعی بادبندهای شکل فقط نصف طول بادبند اعمال می شود.



شکل (۳-۶)

رفتار پس از کمانش بادبند فشاری و نیز رفتار خمشی بادبند کششی، حلقه‌های هستیرزیس را به شکل S خوابیده در می‌آورد. وقتی که بادبندها تحت تسلیم کششی و کمانش غیرالاستیک متوالی قرار می‌گیرند، در تمامی آنها کمانش خارج از صفحه بوجود آمده و به تبع آن با افزایش دامنه تغییر مکان، مفصل پلاستیک در ورقهای اتصال انتهایی (Gusset) در فاصله  $2t$  و در طول بادبند تشکیل میشود.

تغییر شکل بادبندهای تکی متقارن بوده و مفصل پلاستیک در وسط آن تشکیل میشود ولی برای بادبندهای X- شکل، همانطور که اشاره شد، مفصل پلاستیک تنها در یک قطعه آن تشکیل می‌شود. اعمال کشش با دامنه مشخص در اولین سیکل افزایش طول دائمی در بادبندها بوجود می‌آورد که در سیکلهای بعدی نیز این افزایش طول دائمی کم کم (با سرعت کم) زیاد میشود. افزایش طول دائمی بادبندها (بصورت ماندگار) اتکای جانبی که بادبند کششی در کمانش خارج از صفحه برای بادبند فشاری در اتصال وسط فراهم می‌نماید را کاهش می‌دهد همینطور مقاومت کششی نیز با افزایش تعداد سیکلها کاهش می‌یابد.

وقتی کوتاه شدگی بادبند به حد کافی بزرگ میشود که می‌تواند چرخش بزرگی را در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک ایجاد کند، کمانش موضعی اتفاق می‌افتد و با باربرداری و اعمال کشش در ناحیه‌ای که کمانش موضعی رخ داده بود، ترکها تشکیل شده و عضو گسیخته میشود. یعنی در صورت رعایت الزامات طراحی لرزه ای، با افزایش تغییر مکان اعمالی گسیختگی فقط در مفصل پلاستیک بادبندها و در سطح شکل پذیری پیش‌بینی شده صورت خواهد گرفت.

کمانش خارج از صفحه، بادبند تقاضای زیادی در اتصال بادبند بوجود می‌آورد و لازم است که براساس نتایج آزمایشگاهی و تئوریک این تغییر شکلها راپیش‌بینی کنیم. از طرف دیگر، در بادبندهای X- شکل به علت کاهش طول کمانشی، تقاضای کمانش موضعی بیشتر شده و باعث افت مقاومت و سختی بادبندها در حلقه‌های هستیرزیس می‌شود.

از جمله اثرات منفی اندرکنش دوبادبند کششی و فشاری در سیستم X- شکل این است که با افزایش تغییر شکل جانبی

در بادبند فشاری، تنشهای خمشی در بادبند کششی تشکیل میشود که نتیجتاً بیشترین باربری آن در کشش کمتر از  $P_y$  میشود.

### ۲-۳-۳ مقایسه رفتار بادبندهای X- شکل با سایر سیستمهای CBF

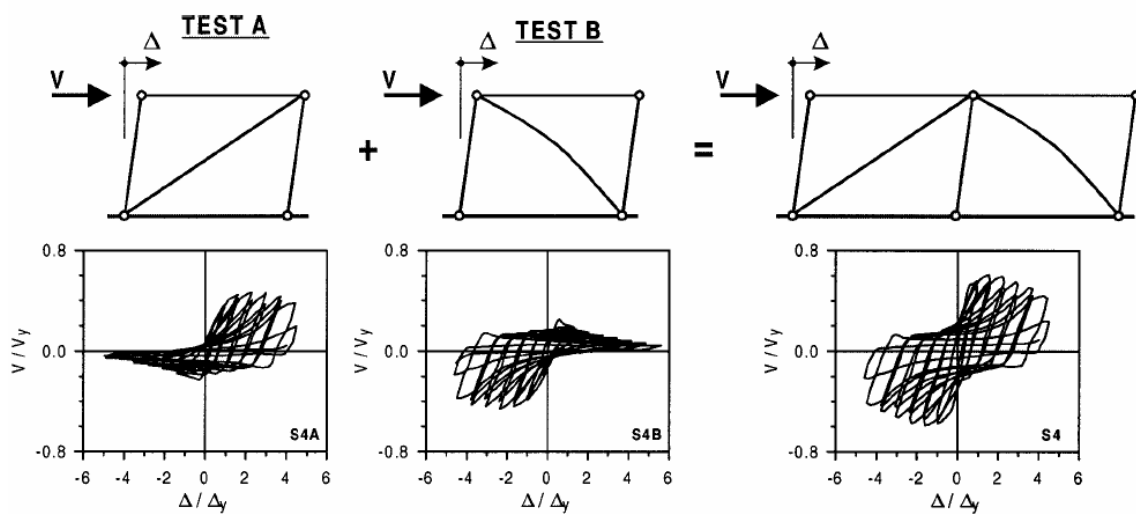
سیستم بادبندی X- شکل از نظر رفتاری شباهت زیادی به بادبندهای قطری دارد ولی از آنجائیکه اعضای فولادی متحمل افت مقاومت قابل توجه پس از کمانش می شوند، این سیستم پاسخ سیکلی غیرالاستیک بهتری نسبت به سیستم بادبندی قطری نشان می دهد. در سیستم مهاربندی X- شکل، به علت اینکه بادبند کششی هم در داخل صفحه و هم در خارج صفحه قید و اتکای موثری برای بادبند فشاری تامین می کند طول موثر بادبندهای X- شکل در مقایسه با بادبندهای قطری کمتر شده و تقریباً نصف آنها میشود. به علاوه اگر اتصال انتهایی سختی چرخشی مناسبی داشته باشد، بویژه در کمانش داخل صفحه ضریب طول موثر کمتر از قبل می شود.

در شکل (۷-۳) ابتدا منحنی هستیرزیس برای بادبندهای قطری (با لاغری متوسط) بطور جداگانه رسم شده و بعد بصورت یک سیستم واحد، منحنی هستیرزیس برای آنها رسم شده است. برای هر دو نمونه تاریخچه تغییر مکانی یکسانی اعمال می شود و در نهایت مجموع نتایج دو بادبند نیز بر حسب تغییر مکان نسبی طبقه ( $\Delta$ ) و برش طبقه (V) رسم می شود.

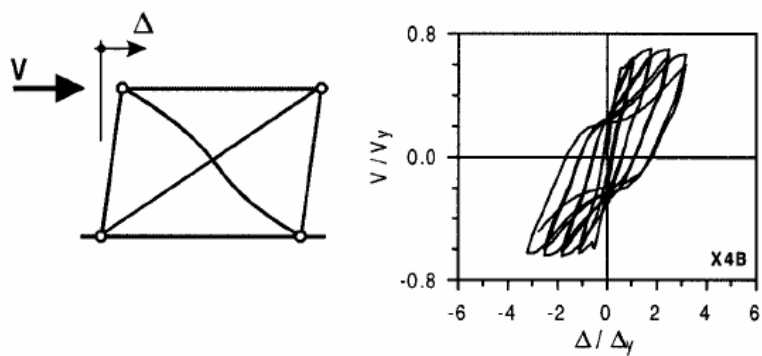
شکل (۸-۳) نیز منحنی هستیرزیس بادبندهای X- شکل را تحت همان تغییر مکان نسبی و برش طبقه نشان می دهد. در بادبندهای قطری کمانش در کل طول رخ می دهد ولی در بادبندهای X- شکل پیش بینی میشود مود کمانش S شکل با نقطه شکل پذیر آن در اتصال وسط دو بادبند اتفاق بیافتد.

با توجه به شکلها ملاحظه میشود که:

سطح مقاومت سیستم بادبندی X- شکل نسبت به سیستم بادبندی قطری افزایش می یابد. همچنین افزایش طول دائمی بادبند که با افزایش تعداد سیکلها باعث کاهش مقاومت کششی میشود، در بادبندهای قطری شدیدتر است وافت مقاومت بیشتری را شاهد هستیم. افت منحنی هستیرزیس (پدیده pinching) در سیستم قطری بیشتر است ولی در عوض همانطور که اشکال (۷-۳)، (۸-۳) نشان می دهند، شکل پذیری سیستم بادبندی قطری بیشتر از سیستم X- شکل است و تغییر مکان نسبی زیادی را بدون گسیختگی تحمل می کنند.



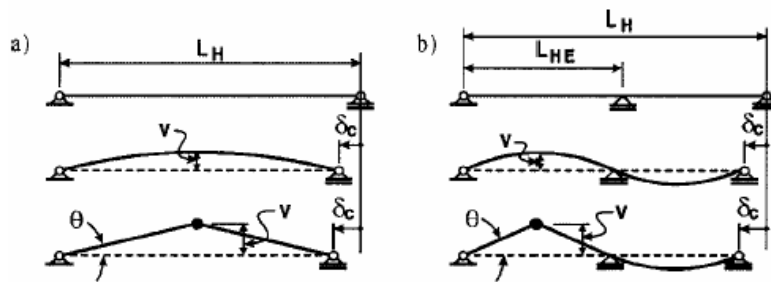
شکل (۷-۳)



شکل (۸-۳)



به عبارت دیگر، برای یک سطح شکل پذیری مشخص (مثلاً تغییر مکان جانبی نسبی طبقه  $\Delta$ )، به محض کماتش غیرالاستیک، تغییر شکل خارج از صفحه بادبندهای X- شکل بیشتر از مقدار معادل در بادبندهای قطری می شود. زیرا که در بادبندهای X- شکل، منحنی تغییر شکل دو انحنا می شود شکل (۳-۹) و چنین تغییر شکل جانبی بزرگی در طول کمتری تشکیل می شود، در نتیجه چرخش مفصل پلاستیک به علت تقاضای انحنای بیشتری که بر بادبندهای X- شکل تحمیل می شود، کماتش موضعی و گسیختگی آنها در سطح شکل پذیری کمتری (زود هنگام) نسبت به بادبندهای قطری اتفاق می افتد.



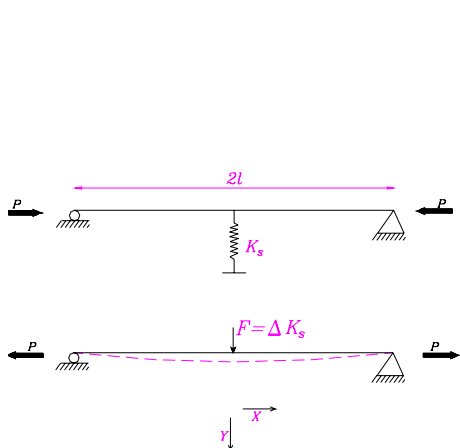
شکل (۳-۹) تغییر شکل غیرارتجاعی بادبندهای فشاری

(a) قطری (b) X- شکل

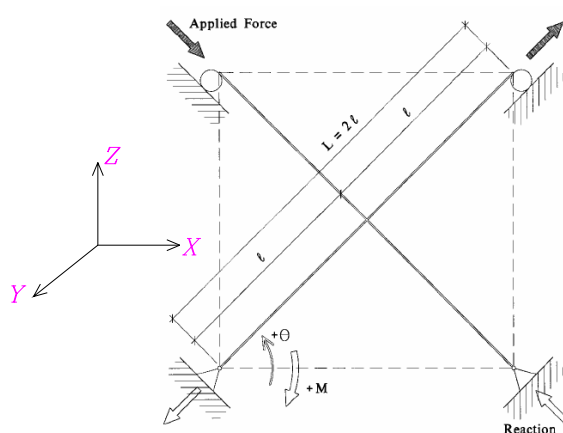
مطالعاتی که Stephan A. Mahin در سال ۱۹۸۸ در رفتار لرزه ای بادبندهای همگرا انجام داد به این نتیجه رسید که بادبندهای X- شکل برای مولفه قائم زلزله حساس تر و بحرانی تر از بادبندهای chevron (۷ و ۸ شکل) می باشد. ولی برای بار افقی عملکرد بهتری نسبت به آنها دارند. در کل و برای ترکیب مولفه قائم و افقی، بادبندهای X- شکل تقاضای شکل پذیری ستونها را نسبت به بادبندهای chevron افزایش می دهد.

### ۳-۳-۳ کمانش بادبندهای X- شکل و تأثیر اتصال وسط

در بادبندهای X- شکل ، با توجه به ماهیت اتصال دوبادبند به هم (در اتصال وسط) بادبند کششی نوعی اتکای جانبی برای بادبند فشاری تامین می کند. (اتکای جانبی می تواند شامل سختی چرخشی و سختی انتقالی باشد) حتی اگر هر دو بادبند در فشار باشند بادبند با نیروی فشاری کمتر، اتکای جانبی قابل توجهی برای بادبند با نیروی فشاری بزرگتر ایجاد می کند.



شکل (۳-۱۱)

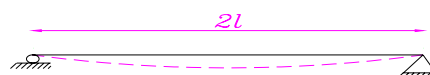
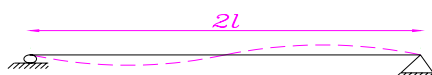


شکل (۳-۱۰)

در بادبندهای X- شکل ، بادبند کششی به عنوان تکیه گاه الاستیک برای بادبند فشاری عمل می کند یعنی می توان در اتصال وسط اتکای جانبی که بادبند کششی برای بادبند فشاری تامین می کند را به عنوان تکیه گاه فنری در نظر گرفت شکل (۳-۱۱). باید به این نکته توجه کرد که سختی فنر معادل ثابت نیست ، در ابتدا مقدار سختی کم می باشد و با افزایش نیروی کششی در بادبند کششی و افزایش تغییر مکان جانبی بیشتر می شود.

با توجه به مطالب ذکر شده ، در حالت کلی کمانش بادبندهای X- شکل را می توان در دو مورد تعریف کرد :

- اگر سختی خمشی بادبند کششی کم باشد و یا سختی اتصال وسط دو بادبند تا حدی کم باشد که اندرکنش دو بادبند، اتکای جانبی لازم برای کاهش تغییر مکان جانبی اتصال وسط را فراهم ننماید ، بادبند فشاری بصورت کمانش کلی تغییر شکل پیدا می کند که اصطلاحاً کمانش مود اول می نماید شکل (۳-۱۲). همینطور اگر بادبندها در وسط به هم اتصال نیابند، هر بادبند بطور مستقل از همدیگر رفتار نموده و بادبند فشاری در مود اول کمانش خواهد کرد.
- اگر سختی بادبند کششی قابل توجه باشد و اتصال وسط نیز بتواند اندرکنش دو بادبند را فراهم نماید ( اتصال وسط پیوستگی لازم را داشته باشد) کمانش بادبند فشاری در مود دوم خواهد بود شکل (۳-۱۴). در این حالت اتصال وسط پس از اینکه مقدار کمی تغییر مکان جانبی پیدا کرد ، متوقف شده و تغییر شکل بادبند فشاری بصورت دو انحنائی می شود . (در حالت ایده ال، تغییر مکان جانبی اتصال وسط را صفر در نظر می گیرند )



شکل (۳-۱۳) کمانش مود دوم

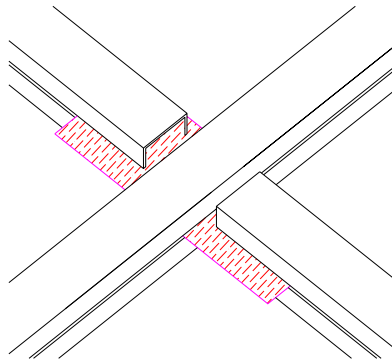
شکل (۳-۱۲) کمانش مود اول

اتصال وسط دوابند به هم می تواند طوری باشد که شرایط مفصلی یا گیردار را در کمانش بادبند فشاری تامین نماید :

۱. اتصال در وسط طوری است که در کمانش بادبند فشاری ، اثر بادبند کششی ، بصورت مفصلی است . در این

حالت یکی از بادبندها پیوسته و دیگری در وسط منقطع شده و به ورق Gusset متصل می شود . این نوع اتصال

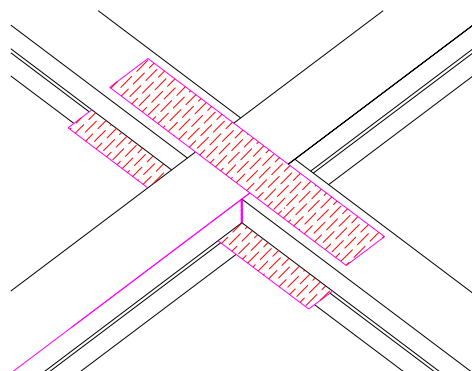
نقطه سختی محوری را تامین می کند .



شکل (۳-۱۴) اتصال مفصلی

۲. اتصال وسط، شرایط گیرداری را در کمانش بادبند فشاری تامین می کند بدین صورت که پیوستگی کامل در

اتصال وسط طوری فراهم می شود که سختی خمشی و محوری برای بادبند فشاری بوجود آید.



شکل (۳-۱۵) اتصال پیوسته

برای تأمین پیوستگی کامل در وسط به دو صورت عملی می کنند . در حالت اول مانند شکل (۱۶-۳) یکی از بادبندها منقطع و با جزئیات مناسب به ورق متصل می شود. در حالت دوم همانند شکل (۱۷-۳) یکی از پروفیل‌های هر بادبند پیوسته و دیگری منقطع است . بدین ترتیب سختی مناسب در هر دو بادبند نسبتاً تأمین می شود و وضع بهتری نسبت به قبل دارد .



شکل (۱۶-۳) اتصال پیوسته بادبندها در وسط



شکل (۱۷-۳)

(این عکس به موازات ورق اتصال گرفته شده است)

مستقل از ماهیت اتصال دوابند و اثر تقویتی سختی خمشی و محوری بادبند مکمل برای بادبند فشاری، مراحل

کمانش غیرارتجاعی بادبندهای X- شکل را می توان چنین بیان کرد:

بارسیدن بار فشاری در بادبند فشاری به بار بحرانی، کمانش کلی خارج از صفحه در بادبندها اتفاق می افتد و تغییر

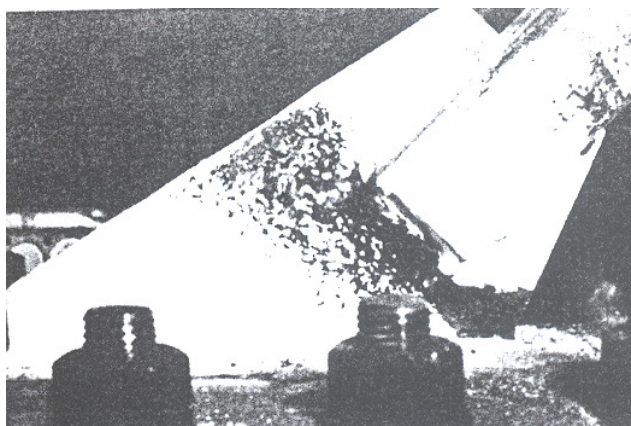
مکان جانبی اتصال وسط افزایش می یابد (مود اول کمانش) در این حالت بادبند کششی با تأمین سختی جانبی و پیچشی در

محل اتصال وسط، تا حدودی کمانش بادبند فشاری را محدود می نماید. (به عبارت دیگر کمانش مود اول را کمانش محدود

شده می نامند) در این مود و در صورت رعایت ضوابط لرزه ای در ورق اتصال انتهایی، مفصل پلاستیک در دو انتهای بادبند و

در فاصله ۲t ورق Gusset تشکیل شده (شکل (۳-۱۸)) ولی به علت بالا بودن سختی در اتصال وسط نسبت به سایر قسمتهای

بادبند، در این مود مفصل پلاستیک تشکیل نمیشود.



شکل (۳-۱۸) تشکیل مفصل پلاستیک در ورق اتصال انتهایی

در طول این کمانش محدود شده، مقاومت و سختی زیادی توسط بادبند کششی تأمین میشود تا بادبند فشاری بتواند به

کمانش خود ادامه دهد. با افزایش تغییر مکان جانبی و همچنین افزایش نیروی کششی در بادبند کششی، اتکای جانبی (سختی

فتر معادل) در وسط نیز افزایش می یابد. این محدودیت جانبی که بادبند کششی بوجود می آورد به حدی بزرگ می شود که

کمانش بادبند را در کل طول آن متوقف می کند. در این حالت تغییر مکان اتصال وسط متوقف شده و کمانش محدود نشده

حول محور ضعیف (داخل صفحه یا خارج صفحه) فقط در یک نیمه بادبند فشاری رخ می دهد. یعنی کمانش بادبند فشاری دو انحنائی شده و در مود دوم است (کمانش محدود نشده). در این مود با افزایش بار محوری و اندرکنش آن با خمش، مفصل پلاستیک فقط در وسط یک نصفه بادبند تشکیل می شود. (شکل ۳-۹)

ظرفیت جذب انرژی مود دوم بیشتر از مود اول می باشد، ولی برای رسیدن به مود دوم باید الزامات طراحی لرزه ای طوری باشد که در مود اول، سازه آسیب ندیده و نیز سازه بتواند تغییرشکلهای غیرارتجاعی و تشکیل مفصل پلاستیک در مود دوم را تحمل نماید. زیرا که تقاضای نیرویی و تغییرشکلی بیشتری در مود دوم به سازه تحمیل میشود و سایر قسمتهای سازه (اتصالات، تیرها و ستونها و...) نباید در مسیر تغییرشکلهای غیرارتجاعی بادبندها، آسیب ببینند.

با وجود اینکه کمانش محدود شده بادبند فشاری در کل طول خود (خارج از صفحه) در سطح تغییر مکانی کوچکی انجام می گیرد ولی ظرفیت باربری سیستم زمانی به حداکثر مقدار خود می رسد که کمانش محدود نشده در یک نصفه بادبند فشاری اتفاق بیافتد. ولی به علت کاهش کلی در سختی جانبی که بادبند کششی برای بادبند فشاری تامین می کند، ممکن است بادبند فشاری در مودهای پایینی گسیخته شود.

اتصال نوع ۱ که در همین بخش بدان اشاره شد، نمی تواند شرایط کمانش مود دوم را برآورده نماید و تنها در مود اول، انرژی لرزه ای را جذب می نماید. گرچه تا حدودی وارد کمانش مود دوم می شود ولی نمی تواند تغییرشکلهای غیرارتجاعی تشکیل مفصل در وسط نصفه بادبند را تحمل نماید. بنابراین جذب انرژی آن کمتر از اتصال نوع ۲ می باشد.

\* باید توجه شود که مطالب ذکر شده، فقط برای سیستم بادبندی X- شکل متقارن که با اعمال بار جانبی در بادبند مکمل، کششی ایجاد می شود ارزش دارد. پس باید سیستم طوری ساخته شود که بار فشاری کمتری ناشی از بار ثقلی سازه در بادبندها تشکیل شود و یا اینکه حدالمکان نصب بادبندها را به تعویق انداخت و پس از اتمام اسکلت سازه این کار را انجام داد.

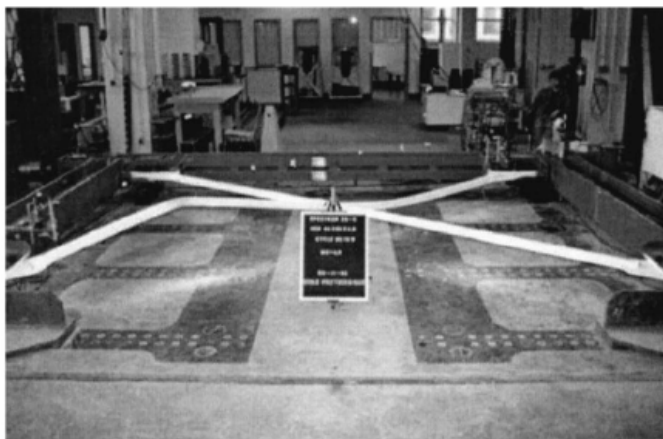
آزمایشات تجربی که Archambault & Tremblay (۲۰۰۳) انجام دادند، مراحل کمانش باند فشاری را بررسی کردند شکل (۳-۲۰). در این آزمایش در اتصال وسط پیوستگی لازم برای تامین سختی پیچشی و محوری فراهم شده است.

شکل a، کمانش خارج از صفحه باند های X- شکل را زمانی که جهت بار جانبی به طرف چپ می باشد نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود تغییر شکل باند به مود دوم کمانشی رسیده و در وسط قطعه پایینی مفصل پلاستیک تشکیل شده است. در طی تسلیم کششی و کمانش غیرالاستیکی باندها، افزایش طول دائمی و نیز انحناء ماندگار در باندها بوجود می آید که باعث بوجود آمدن تغییر شکل خارج از صفحه باقی مانده در تغییر مکان نسبی خیلی کم و نزدیک صفر میشود. شکل b این پدیده را زمانی که تغییر مکانی نسبی (drift) اعمالی صفر است، نشان می دهد.

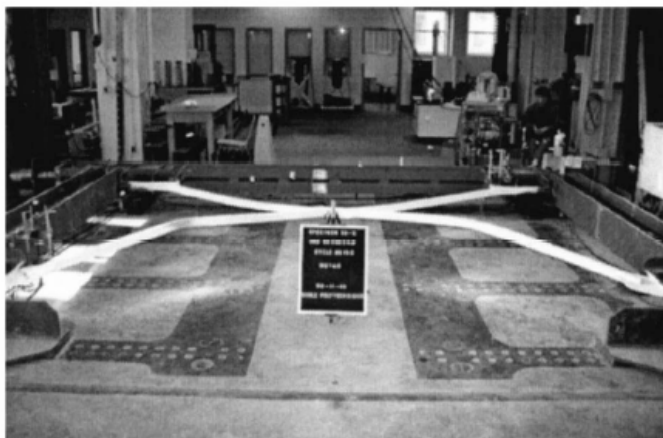
با عوض شدن جهت بار جانبی این بار در مود دوم کمانشی، کمانش محدود نشده در قطعه پایینی باند دیگر رخ داده و مفصل پلاستیک نیز در آن تشکیل می شود (شکل c).



a)



b)



c)



شکل (۳-۱۹)

### ۳-۳-۴ اثر لاغری بر منحنی هستیرزیس بادبندهای X- شکل

همانطور که در فصل دوم نیز اشاره شد، در طراحی لرزه ای برای تعیین مقاومت فشاری بادبندها و ارزیابی ظرفیت جذب انرژی آنها، از طول موثر یا نسبت لاغری بادبندها استفاده میشود. می توان چنین گفت که ویژگی های جذب انرژی سیستم بادبندی X- شکل را با استفاده از پارامتر لاغری بادبند  $\lambda$  و فرض وجود اتکای جانبی در اتصال وسط بادبند می توان به خوبی تعریف کرد.

آزمایشات زیادی در مورد اثر لاغری بر منحنی هستیرزیس بادبندهای X- شکل صورت گرفته و این مطالعات نشان داده اند که با کاهش لاغری بادبندها، ظرفیت جذب انرژی آنها بیشتر می شود شکل (۳-۲۰). این نتایج قبلاً در آئین نامه های لرزه ای آمریکا شمالی ۱۹۹۷ & AISC ۱۹۹۴ برای تامین رفتار شکل پذیر تحت زلزله های شدید گنجانده شده بود. در این آئین نامه ها بیشترین لاغری بادبند برای کمترین جذب انرژی مشخص شده است. بادبندهایی که نسبت لاغری آنها کمتر است، تغییرشکل های شدید پلاستیک پس از کمانش را متحمل میشوند و در نتیجه انحنای ناشی از بخش غیرارتجاعی، کمانش موضعی بزرگی بوجود می آید که منجر به گسیختگی بادبندها میشود.

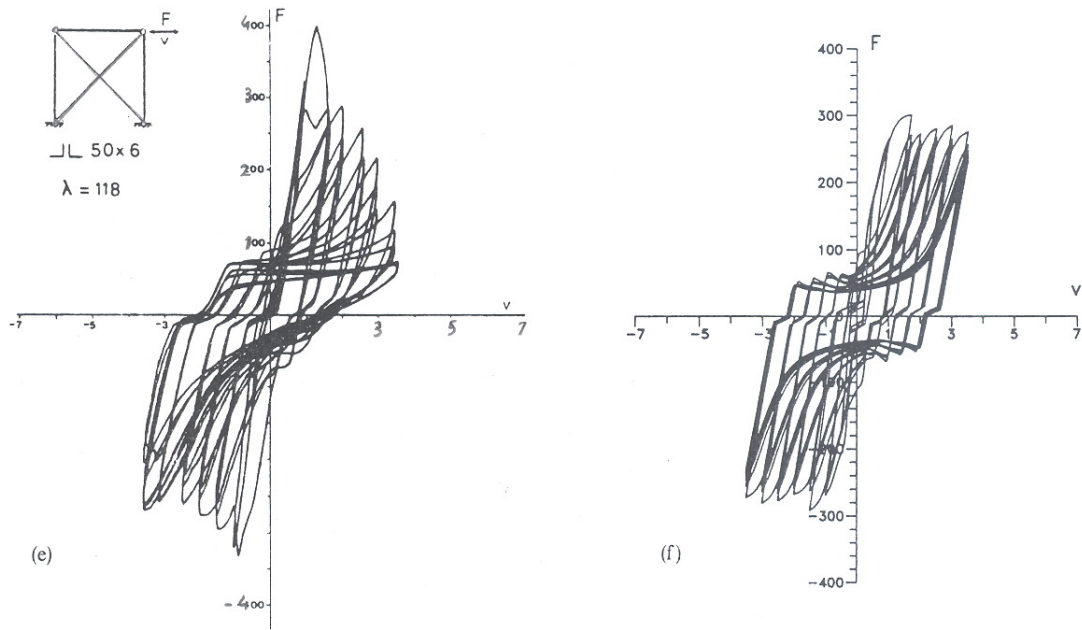
برای بادبندهای مختلف با شرایط انتهایی متفاوت در سالهای ۱۹۷۷ و ۱۹۸۱ تستهایی انجام گرفت و نشان داده شد که مفهوم طول موثر که از تئوری الاستیک توسعه یافته است در محدوده غیرالاستیک نیز برای تعیین توانایی بادبندها در جذب انرژی ورودی لرزه ای می تواند استفاده شود.

مطالعات تحلیلی که Stoman ۱۹۸۹ & Hohbach ۱۹۹۹ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بادبند کششی می تواند اتکای موثری در نقطه اتصال وسط برای بادبند فشاری تامین نماید. برای شکل بادبندی متقارن و دو سر مفصلی، ضریب طول موثر K هم برای داخل صفحه و هم برای خارج صفحه ۰/۵ پیشنهاد شد.

تستهای Wakabayashi ۱۹۷۴ در قابهای خمشی با بادبندهای X- شکل و مقطع H شکل نشان داد که طول موثر بادبند می تواند طول میان نقطه اتصال وسط و انتهای ورق Gusset گرفته شود (ملاحظه کاری غیر ضروری است). این محقق در سال ۱۹۷۷ چنین پیشنهاد کرد که طول موثری که پاسخ غیرالاستیک را مشخص می کند می تواند ۰/۶ در کمانش داخل

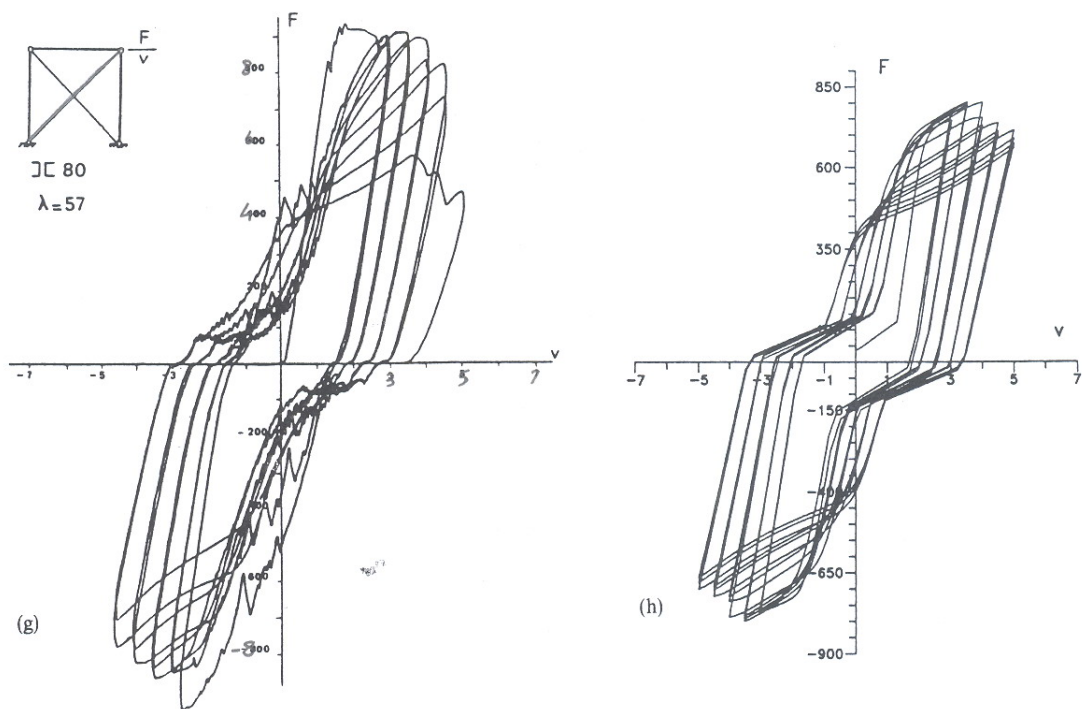
صفحه و ۰/۷ در کمانش خارج صفحه باشد. در سال ۱۹۹۲ همین محقق در گزارش خود در مورد بادبندهای X- شکل چنین نتیجه گیری کرد که مقدار K بسته به نوع اتصالات و صفحه کمانشی می تواند از ۰/۴ ~ ۰/۶۵ تغییر یابد.

همچنین تستهای انجام شده توسط ( Goel & ElTayem ۱۹۸۶~۱۹۹۵ ) نشان داد که طول موثر در بادبندهای X- شکل را می توان ۰/۸۵ برابر نصف طول بادبند قطری گرفت. وی در آزمایشات تجربی دیگری نیز با فرض اینکه بادبند کششی اتکای جانبی موثری برای بادبند فشاری تامین کند ضریب طول موثر را ۹۰٪ ~ ۸۳٪ نصف طول بادبند پیشنهاد کرد.



شکل (۳-۲۱) (e) بر اساس مدل تجربی

(f) بر اساس مدل عددی و تئوریک



شکل (۲-۲۱) (g) بر اساس مدل تجربی

(h) بر اساس مدل عددی

## فصل ۵: ضوابط طراحی لرزه ای CBF

### ۱-۵ مقدمه

همانطور که قبلا اشاره شد، انتظار می رود که سیستم مهاربندی همگرا با تسلیم کششی و رفتار هیستریزیس پس از کماتش اعضای بادبندی، بتواند انرژی لرزه ای را جذب نماید. برای رسیدن به چنین تغییرشکلهای غیرارتجاعی، ضوابط شکل پذیری ویژه ای برای بادبندها و سایر اعضای قاب نیز است که در صورت عدم رعایت این ضوابط، در زلزله های بزرگ انتظار رفتار غیرارتجاعی از سازه نمی توان داشت و گسیختگی بادبندها و اتصالات و نیز سایر اعضای سازه ای بوقوع می پیوندد.

الزامات لرزه ای ( Seismic Provision ) برای تحلیل، طراحی و جزئیات بندی قابهای مهاربندی شده با بادبندهای همگرا ( CBF ) به تدریج از اواخر دهه ۷۰ در آئین نامه های کالیفرنیا وارد شد ( SEAOC ۱۹۷۸ ) و در سطح بین المللی نیز از اوایل دهه ۹۰ این ضوابط وارد آئین نامه ها شد ( AISC ۱۹۹۲ ). ولی تکمیل شده این ضوابط در آئین نامه های SEAOC - ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ - BSSC ( الزامات لرزه ای برای ساختمانهای جدید NEHRP )، AISC - ۱۹۹۷ مشاهده میشود. در این آئین نامه ها بحث شکل پذیری ویژه مطرح شد و بادبندهای CBF در دو گروه با شکل پذیری ویژه SCBF و شکل پذیری متوسط OCBF و تقسیم بندی شدند. SCBF بدون کاهش قابل توجه در مقاومت، تغییرشکلهای غیرارتجاعی بزرگی را در دو ناحیه تحمل می نماید:

- ۱- بخش شکل پذیر کششی که ناحیه شکل پذیر در تمام طول عضو مهاربند تشکیل میشود.
- ۲- بخش شکل پذیر فشاری که در مهاربندهای تحت فشار، کماتش غیرارتجاعی در دو سر و وسط عضو مهاربند، مفصل پلاستیک ایجاد می کند.

برای حصول عملکرد مورد انتظار و نیز برای تضمین پایداری تغییرشکل‌های غیرارتجاعی؛

سایر اعضای سازه ای شامل:

- ستونهای طرفین دهانه مهاربندی و وصله های آنها
- تیرهای دهانه مهاربندی و وصله های آنها
- اتصال پای ستون
- اتصالات تیر به ستون در مسیر انتقال نیروهای جانبی به بادبندها
- دیافراگم ها
- اتصالات مهاربندی ها

طور مناسب طراحی و جزئیات بندی شوند .

در این حالت بادبند ها به عنوان اعضای کنترل شونده توسط تغییرشکل ( displacement controlled ) و سایر اعضائیکه ذکر شد ، کنترل شونده توسط نیرو ( force controlled ) هستند . بدین صورت که بادبندها با معیارهای مقاومت و سختی ( کنترل تغییر مکان نسبی drift ) طراحی میشوند و سایر اعضاء سازه بر اساس ظرفیت نهایی ( capacity ) بادبندها ، طراحی میشوند .

\* طراحی لرزه ای سازه های فولادی CBF به روش تنش مجاز ، علاوه بر رعایت ضوابط مندرج در فصل های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و ۱۰-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران و استاندارد ۲۸۰۰ ، باید ضوابط لرزه ای گفته شده در این مجموعه را نیز بر آورده نماید .

## ۲-۵ بازبینی ارتقاء ضوابط طراحی CBF در AISC

از سال ۱۹۹۲ الزامات طراحی CBF در AISC ( Seismic Provision ) دچار تغییرات قابل ملاحظه ای شده است ، با

وجود اینکه نتایج آزمایشگاهی جدید زیاد نبود . این تغییرات را به ترتیب مرور می کنیم . ( واحد  $F_y$  ، ksi می باشد )

## ۱-۲-۵ نسخه ۹۲ - AISC

در چاپ ۱۹۹۲ آیین نامه AISC ، الزامات طراحی لرزه ای برای CBF ها گنجانده شد . این الزامات عمدتاً به نسبت

عرض به ضخامت مقطع ، لاغری اعضای بادبندی ، الزامات اتصال و ترکیب بندی قاب مربوط می شد . در این بین ضریب رفتار ۵ برای CBF در نظر گرفته شد .

- لاغری بادبند  $(\frac{kl}{r})$  به  $\frac{720}{\sqrt{F_y}}$  محدود شد .

- نسبت عرض به ضخامت اعضای بادبندی  $(\frac{b}{t})$  می تواند فشرده یا غیر فشرده باشد ولی نباید لاغر باشد .

برای مقطع دایره ای باید کمتر از  $\frac{1300}{\sqrt{F_y}}$

برای مقطع مستطیلی  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$

- مقاومت طراحی بادبند در نیروی محوری فشاری با در نظر گرفتن افت مقاومت در اثر بارگذاری تکراری سیکلی ، برابر ۸۰٪ مقدار محاسبه شده توسط رابطه  $\phi_c P_n$  باشد . این ضریب تقریباً مقدار متوسط رابطه ای است که در ( SEAOC , ۱۹۹۰ ) پیشنهاد شده است .

$$C'_r = \frac{C_r}{1 + 0.50 \left( \frac{KL}{\pi r} \sqrt{\frac{0.5 F_y}{E}} \right)} = \frac{C_r}{1 + 0.5 \left( \frac{KL/r}{C_c} \right)}$$

که در آن  $C_r$  مقدار بار کمانشی در اولین کمانش است و  $C'_r$  مقاومت کمانشی کاهش یافته است .

با فرض  $F_y = ۳۶$  ksi مقدار لاغری برابر  $۷۲۰ / \sqrt{36} = ۱۲۰$  ←  $C'_r = ۰,۶۸ C_r$



- تمام اتصالات بادبندها باید بتوانند نیروی ناشی از جاری شدن بادبند را تحمل کنند .  $P = A_g F_y$
- بادبندهای شورن ( V & V معکوس ) مجاز شده اند که حداقل به ۱/۵ برابر مقاومت مورد نیاز طرح شوند.
- تیر دهانه مهاربندی که بادبندها به آن متصل شده اند ، باید پیوسته باشد و با فرض عدم وجود بادبندها بتوانند کل بار مرده و زنده ای که به آن دهانه میرسد را تحمل کند .
- بادبندهای K شکل نیز با همین فلسفه طراحی میشوند .
- الزاماتی که مطرح شد را می توان برای ساختمانهای کم ارتفاع ، دو طبقه یا برای طبقه بام حذف نمود .

#### ۲-۲-۵ نسخه ۹۷ - AISC

اصل مهمی که در این نسخه آئین نامه مورد تأکید قرار گرفته ، افزایش شکل پذیری CBF نسبت به قبل بود. مثلاً جذب انرژی بادبند فشاری که بعد از کمانش کلی آن صورت می گیرد مورد توجه قرار گرفت . لازمه این کار، ممانعت از گسیختگی ترد بادبندها به علت کمانش موضعی و مسائل پایداری و شکست اتصالات بود . در این نسخه بادبندهای همگرا با شکل پذیری ویژه SCBF در متن آئین نامه گنجانده شد . SCBF مایل به نشان دادن پایداری بالا و رفتار شکل پذیر مناسب در طول زلزله های بزرگ می باشد . الزامات OCBF نیز در این نسخه حفظ شد .

- ضریب رفتار ۶ برای SCBF معرفی شد و برای OCBF ضریب رفتار ۵ حفظ شد .

- نسبت لاغری  $(\frac{kl}{r})$  برای SCBF  $(\approx 171)$   $\frac{1000}{\sqrt{F_y}}$

- نسبت لاغری  $(\frac{kl}{r})$  برای OCBF  $(\approx 123)$   $\frac{720}{\sqrt{F_y}}$

Tang & Goel ۱۹۸۹ و نیز Lee & Goel ۱۹۹۲ نشان دادند که گسیختگی کمانشی در رفتار بعد از

کمانش ، با افزایش نسبت لاغری به تعویق می افتد . بنابراین محدودیت لاغری تا رسیدن به سطح منطقی

مقاومت فشاری آزادتر میشود.

- ضریب کاهش مقاومت ۰/۸ برای SCBF حذف شد، زیرا به نظر می رسد این ضریب در رفتار لرزه ای SCBF که شکل پذیری بالای آن تضمین شده، اثر ناچیزی خواهد داشت. ولی این ضریب ۰/۸ برای OCBF حفظ شده است.

- محدودیت نسبت عرض به ضخامت  $(\frac{b}{t})$  تغییری نکرده، بجز اینکه محدودیت فشردگی برای نبشی ها افزوده شده و فشردگی آنها نباید بیشتر از  $\frac{52}{\sqrt{F_y}}$  باشد.

- برای در نظر گرفتن اضافه مقاومت مصالح فولادی از نسبت مقاومت تسلیم مورد انتظار  $F_{yc}$  برای نیروی طراحی اتصالات استفاده شده است. این اثر را با ضریب  $R_y$  برای OCBF و SCBF نشان داده اند.

$$F_{yc} = R_y F_y \quad , \quad P = A_g F_y$$

- SCBF برای بادبند های همگرای K شکل مجاز نکرده است. زیرا در حالت SCBF رفتار بادبند غیر ارتجاعی شده و به علت عدم تعادل نیرو در اعضای بادبندی، نیروئی در وسط ارتفاع ستون بوجود می آید که ممکن است منجر به گسیختگی ستون شود.

- الزامات طراحی بادبند های ۷ و ۸ شکل (شورن)، در حالت OCBF تغییری نکرده و همان الزامات نسخه ۱۹۹۲ می باشد. ولی برای SCBF، قید طراحی این بادبند ها به حداقل ۱/۵ برابر مقاومت مورد نیاز، حذف شده است. زیرا لازم نیست که ستونها طبق فلسفه طراحی - ظرفیتی طراحی شوند. به عبارت دیگر، بادبند هائی که ظرفیت زیادی دارند (over strength) در حالت SCBF باعث کماتش ستونها میشوند و گسیختگی ناگهانی را بوجود می آورند. علاوه بر آن در حالت OCBF تیرها باید به تمام نیروی نامتعادل که ممکن است در اثر تغییرشکل های غیرارتجاعی بزرگ بادبند ها بوجود آید، طراحی شود. یعنی  $A_g F_y$  در بادبند کششی و  $0.3 \phi_c P_n$  در بادبند فشاری.

به این دلایل، قابهای مهاربندی شده با این بادبند ها، دارای بادبند های ضعیف تر و تیرهای قوی تر هستند.

## ۳-۲-۵ نسخه ۲۰۰۱ - AISC

در این نسخه از آئین نامه نیز، اصطلاحاتی در الزامات طراحی SCBF و OCBF صورت گرفت. شاید به این دلیل که در زلزله های شدید رفتار OCBF مناسب نخواهد بود.

- الزامات OCBF که در نسخه ۹۷ بود حذف شد. بجز در موارد خاص مثل ساختمانهای کم ارتفاع. بنابراین زمانی که شکل پذیری قابل توجه مورد نیاز است، باید از SCBF استفاده شود. در ساختمانهای کوتاه و با اهمیت کم که از OCBF استفاده می کنیم، برای اطمینان از رفتار مناسب آنها، ترکیب بارهایی ارائه شده که از سال ۹۲ وجود داشته است.

$$1/2 D + 0/5 L + 0/25 S + \Omega \cdot Q_E$$

$$\Omega \cdot \text{ضریب مقاومت افزایش یافته} = 0/9 D - \Omega \cdot Q_E$$

- در تمامی موارد، مقاومت طراحی اتصالات بادبند باید معادل یا بیشتر از مقاومت کششی مورد انتظار بادبند

$$P_{nt} = R_y F_y A_g \quad \text{ها باشد.}$$

$$P_{nt} = \text{مقاومت کششی اسمی بادبند ها}$$

$$R_y = \text{ضریب تبدیل مقاومت تسلیم مشخص شده } F_y \text{ به مقاومت تسلیم مورد انتظار } F_{yc}$$















$$A_g = \text{سطح مقطع بادبند ها}$$

همچنین باید به این نکته توجه کنیم که در نسخه ۹۷ - AISC برای طراحی اتصالات مجاز بودیم که یا از رابطه  $P_{nt} = R_y F_y A_g$  استفاده کنیم و یا اینکه از بیشترین نیرویی که از سایر اعضاء به بادبند ها منتقل میشود، استفاده کنیم. (به عبارت دیگر، کمترین آنها) ولی در این نسخه حتما باید از حداکثر مقاومت مورد انتظار بادبند، برای طراحی اتصالات استفاده کنیم.

- برای بادبند های ۷ و ۸ شکل، باید از الزامات طراحی SCBF که در نسخه ۹۷ بود استفاده کنیم.

- بادبند هایی که لاغری آنها  $(\frac{kl}{r})$  بیشتر از  $123 \approx \frac{720}{\sqrt{F_y}}$  باشد، مجاز به استفاده در بادبندهای ۷ و ۸ شکل نیستند .

تغییراتی که در آئین نامه AISC ( Seismic Provision ) درباره CBF از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۱ صورت گرفته ، بصورت شماتیک در جدول زیر مشخص شده است .

Categories	1992 Edition	1997 Edition		2001 Provisions*	
		OCBF	SCBF	OCBF**	SCBF
R	5	5	6	5	6
$C_r'$	$0.8\Phi_c P_n$	$0.8\Phi_c P_n$	$\Phi_c P_n$	$0.8\Phi_c P_n$	$\Phi_c P_n$
$(KL/r)_{max}$ .	$\frac{720}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{720}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1000}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{720}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1000}{\sqrt{F_y}}$
$(b/t)_{max}$ .	$\frac{1300}{F_y}$ for  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$ for 	$\frac{52}{\sqrt{F_y}}$ for  $\frac{1300}{F_y}$ for  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$ for 	$\frac{52}{\sqrt{F_y}}$ for  $\frac{1300}{F_y}$ for  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$ for 	$\frac{52}{\sqrt{F_y}}$ for  $\frac{1300}{F_y}$ for  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$ for 	$\frac{52}{\sqrt{F_y}}$ for  $\frac{1300}{F_y}$ for  $\frac{110}{\sqrt{F_y}}$ for 
Connection Force***	$A_g F_y$	$R_y A_g F_y$	$R_y A_g F_y$	$R_y A_g F_y$	$R_y A_g F_y$

\* تمام الزامات OCBF بجز برای ساختمانهای کم ارتفاع و با اهمیت کم حذف شده است .

\* فقط برای ساختمانهای با ارتفاع کم و با اهمیت کم و طبقه بام

### ۳-۵ ضوابط طراحی لرزه ای (AISC (Seismic Provision)

#### الف) ضوابط SCBF

هندسه مهاربندهایی که در این جا به آنها اشاره میشود ، فقط شامل مهاربندهای قطری ، مهاربندهای ضربدری ، مهاربندهای V و ۸ شکل میشود . استفاده از مهاربند K شکل ممنوع است .

#### ۱-۳-۵ اعضای مهاربندی

۱-۲-۳-۵ طراحی مهاربندهای فشاری و کششی ، بر اساس ترکیب بارهای مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران و نیز بر اساس ترکیب بارهای زیر ولی بدون افزایش ۳۳ درصد تنش مجاز مندرج در بند ۱۰-۵-۰-۱۰ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران ، انجام می گیرد . مقطع مهاربندها چه به صورت مقطع تکی و چه ساخته شده از نیمرخ های نورد شده یا ورقی باشند ، باید بصورت متقارن نسبت به صفحه مهاربندی به کار روند .

D +