

قابهای مهاربندی همگرای ویژه (SCBF)

مقدمه:

آمارهای تکان دهنده منتشر شده در مورد وضعیت ساختمانهای موجود، مشاهده ساخت و سازهای شهری و روستایی و نگرشی بر تلفات جانی و مالی زلزله ها در سالهای اخیر در ایران، حاکی از آسیب پذیر بودن اکثر خانه های روستایی و بخش بزرگی از ساختمانهای شهری در رویارویی با یک زلزله نسبتاً شدید می باشد که تلفات و خسارات زلزله های منجیل، اردکول، طبس، اردبیل و ... گواهی روشن بر این مدعاست. با عنایت به این مساله، کنترل دقیق بر محاسبات و اجرای ساختمانها به عنوان عاملی مهم در پیشگیری از تلفات و یا کاهش آن امری ضروری می باشد؛ البته ساختمانهای بسیاری نیز وجود دارند که در گذشته ساخته شده اند و برای بهبود عملکرد لرزه ای آنها باید تمهیداتی اندیشید. علاوه بر آن، ساختمانهای آسیب دیده از زلزله نیاز به تقویت سازه ای دارند، لذا به دلایل بسیاری برخی از سازه های موجود و یا سازه های آسیب دیده از زلزله نیز باید تقویت شوند. [۱]

در طراحی سازه بر اساس زلزله دو معیار اصلی باید برآورده شود، نخست، سازه باید برای حفظ تغییر شکلها در زیر حدی که خسارتهای زلزله های معمولی (Base Design Earthquake) BDE در آن به صورت غیر سازه ای بوده، سختی کافی داشته باشد و دوم اینکه، شکل پذیری آن در حدی باشد که در زلزله های شدید MCE (Maximum Critical Earthquake) دچار تخریب نشود.

به منظور بهبود و بالا بردن پاسخ سیستم در مقابل بارهای جانبی، مهندسان سازه، تکنیکهای متعددی را مورد استفاده قرار داده اند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- مسلح کردن و تقویت قابها با استفاده از دیوارهای سازه ای و یا افزودن المانهای قطری.
- ۲- استفاده از قابهای مقاوم خمشی به منظور ایجاد ظرفیت بالای شکل پذیری در المانهای سازه و به ویژه در اتصالات تیر و ستون.
- ۳- بهره گیری ترکیبی از دو تکنیک یاد شده.

قابهای با بادبندی همگرا (Concentric Braced Frame) CBF از نظر مقاومت و سختی بسیار مناسب هستند و از همین روی به طور گسترده ای به صورت مجزا یا همراه با قابهای صلب مورد استفاده قرار می گیرند. این سیستم از طریق عمل خرابایی، تغییر شکلها را به خوبی محدود می کند، اما در مناطق زلزله خیز به جهت

رفتار ضعیف غیرالاستیک بر اثر کمناش المانهای قطری تحت تاثیر فشار ، کاربرد آن مورد تردید است و قادر به ایجاد یک سازوکار مناسب و پایدار برای جذب انرژی نیست .

از طرف دیگر ، قابهای مقاوم خمشی شکل پذیر به علت تشکیل مناطق پلاستیک در انتهای تیرها دارای ظرفیت بالای جذب انرژی بوده و همواره به دلیل شکل پذیری و نرمی بالایی که دارند مناسب شناخته می شوند ، اما از نظر مقاومت و سختی ضعیف هستند و برای تامین احتیاجات تغییر مکانهای طبقه ای (Drift) نیاز به اعضای بزرگ دارند که بسیار گران و پرهزینه تمام میشوند .

از جمله سیستمهایی که هر دوی این معایب را بر طرف می کنند عبارتند از:

۱- سیستم مهاربندی واگرا EBF (Eccentric Braced Frame)

۲- سیستم مهار بندی زانویی تعویض پذیر DKB (Disposable Knee Bracing)

این سیستمها ترکیبی از خاصیت مقاومت و سختی قابهای با مهاربندی همگرا و خاصیت جذب انرژی مناسب در قابهای مقاوم خمشی را دارا هستند . [۲]

نمونه هایی از انواع بادبندها در اشکال (۱) و (۲) و (۳) نشان داده شده است .

رفتار کلی بادبندها :

پیش از بررسی رفتار خاص بادبند هم مرکز ویژه ، لازم است هر چند به اجمال رفتار عمومی بادبندها مورد بررسی قرار گیرد :

الف) بادبندها با ایجاد یک خرپای طره ای در برابر بار جانبی مقاومت می کنند . در این خرپا تیرها و بادبندها نقش جان خرپا و ستونها نقش یال خرپا را دارا می باشند .

ب) تغییر شکل بادبندها در دو مود خمشی و برشی صورت می گیرد . مود خمشی در اثر تغییر شکل محوری ستونها و مود برشی در اثر تغییر شکل محوری بادبند و تغییر شکل خمشی تیر صورت می گیرد . شکل (۴) نشان دهنده چنین پدیده ای است .

ج) در مورد بادبندهایی که نسبت ارتفاع خرپا به دهانه بیش از ۱۰ باشد خطر بلند شدگی وجود دارد که در چنین حالتی اگر امکان به کارگیری بادبندها در چند دهانه وجود داشته باشد می توان این مشکل را همانند شکل (۵) حل نمود .

د) درمورد سیستمهای باد بندی در مواجهه با مسائل معماری ممکن است از چند شکل مختلف در دهانه های موازی استفاده شود. در صورتیکه سختی باد بندها با یکدیگر اختلاف زیادی داشته باشد، استفاده از دو نوع پیکر بندی با سختی های مختلف مجاز نیست. [۳]

شکل پذیری باد بندها :

مقتضیات معماری، طراحان و سازندگان را بر آن می دارد که از بادبندهای با اشکال گوناگون جهت مقابله با اثر زلزله استفاده کنند. در شکل (۱) انواع این بادبندها نمایش داده شده است. کاربرد اینگونه بادبندها معمولاً بدون در نظر گرفتن رفتارهای آنها با یکدیگر صورت می گیرد. شکل پذیری هر کدام از این بادبندها با یکدیگر متفاوت است، بنابراین در طراحی هر کدام از آنها در مقابل زلزله باید از ضریب رفتار خاص آن و در نتیجه نیروی طراحی خاص آن استفاده نمود. جهت روشن تر شدن این موضوع رفتار بادبندهای فوق را در زیر توضیح می دهیم.

- در بادبندهای نوع ۱، هر دو عضو مورب تحت فشار و کشش متوالی قرار می گیرند، اما عضو فشاری (در یک لحظه) هرگز به تنش تسلیم خود نمی رسد و پایداری خود را از دست می دهد. آزمایشات و تحقیقات نشان داده اند که تنش نهایی چنین عضوی برابر است با :

$$P_u = P_y (0.5 - 0.6 \lambda_e)$$

که این میزان کمتر از $0.5 P_y$ می باشد، به عبارت دیگر بر خلاف نتایج حاصل از آنالیز الاستیک که نیروی فشار و کشش را در این بادبندها برابر بدست میدهد، نیروها یکسان نخواهد بود و تیر محل اتصال اعضای مورب، تحت اثر نیروی بزرگی قرار خواهد گرفت که باید جهت مقابله با آن (در حد تنش نهایی) طراحی شود. (شکل ۵)

$$P_u = (P_y - 0.5 P_y) \sin \theta = 0.5 P_y \sin \theta$$

که در آن P_y نیروی تسلیم عضوهای مورب می باشد. در هر صورت کمانش عضو فشاری و رفتار خمشی تیر محل اتصال مورب، باعث کاهش شکل پذیری بادبند می گردد.

__ بادبندهای نوع ۲ که به بادبندهای نامحور با بند کوتاه (برشی) مشهورند، دارای رفتاری اساساً متفاوت با سایر انواع بادبندها می باشد. قطعه کوچک تیر در محل اتصال اعضای مورب و یا فاصله بین محل اتصال عضو مورب و ستون در بادبندهای S شکل به نحوی طراحی می شود که از کمانش اعضای مورب تحت فشار جلوگیری کند. (شکل ۶)

این قطعه که به بند (Link) معروف است، به نحوی طراحی می شود که تحت اثر زلزله، نخست به برش تسلیم شود. معیار چنین رفتاری طول بند (Link) است که نباید از حد معینی تجاوز کند. در این صورت بادبند دارای شکل پذیری بسیار خوبی خواهد بود.

__ بادبندهای نوع ۴ از انواع بسیار معمول بادبندها است، Eurocode کاربرد اینگونه بادبندها را با قید کلمه ((غیر شکل پذیر)) منع نموده است.

نکته مهم دیگر در طراحی این بادبندها، کمانش عضو فشاری بادبندی و در نتیجه اعمال نیروی بزرگی حین زلزله به ستون است که ستون باید دارای مقاومت کافی جهت مقابله با آن باشد. با توجه به نکات فوق به نظر می رسد که کاربرد این نوع بادبندی بسیار خطرناک است.

__ عضو مورب بادبندی نوع ۵ به لحاظ آنکه هم تحت تنش کششی و هم تحت فشار قرار می گیرد، باید به نحوی طراحی شود که هنگام کمانش تغییر شکل زیادی از خود نشان ندهد.

__ بادبند نوع ۶ مانند باد بند های نوع ۱ می باشند. مهمترین مساله در مورد اینگونه بادبندها طراحی اعضاء فشاری و انتخاب ضریب کمانش در امتداد عمود بر صفحه باد بند می باشد، زیرا کمانش اینگونه اعضاء (در صورت عدم محاسبه صحیح) باعث کاهش شکل پذیری باد بند خواهد شد.

__ باد بند نوع ۷ تنها باد بندی محسوب می شود که با اطمینان و با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ ضریب R را برای آن تعیین نمود ($R=7$). این نوع باد بندی دارای عضوهای قطری است که تنها به کشش کار می کنند. چنین رفتاری باعث "لقی" در بادبند می شود که شکل پذیری آنرا کاهش می دهد. آیین نامه SEAOC توصیه می کند که حداقل ۳۰٪ مقاومت کل سیستم، برای اعضای قطری فشاری در نظر گرفته شود و در این صورت $R=8$ را برای چنین سیستمی توصیه می نماید.

در عمل استفاده از بادبندهای شکل ناپذیر برای مقابله با اثر زلزله درست نیست، زیرا نیروهای واقعی زلزله قابل پیش بینی دقیق نیستند و مبتنی بر حساب احتمالاتند، بنابراین استفاده از سازه شکل ناپذیر یا "تردشکن" به هیچ وجه پذیرفته نیست. لذا بادبندهای ۳ و ۴ و تحت شرایطی ۵ برای مقابله با زلزله مناسب نیست، گرچه استفاده از آنها جهت مقابله با اثر باد غیر قابل قبول نیست. جالب اینجاست که استفاده از این بادبندها در کشور بسیار رایج است. [۴]

نحوه قرارگیری بادبندها:

در نحوه قرار گیری بادبندها در پلان و ارتفاع باید دقت شود تا ضمن کاهش نیروهای پیچشی به سازه، توزیع بارها به سازه و پی موجود مناسب تر صورت گیرد و تقویت‌های محلی که پر هزینه و وقت گیر می باشد کاهش یابد.

هرچه مهاربند ها در کل دهانه قاب بیشتر پخش شده باشند، با توجه به توزیع نیروهای جانبی به پی از طریق تعداد ستونهای بیشتر، ضمن اینکه میزان کشش احتمالی در پی ها کاهش می یابد، سیستم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر و از نظر رفتاری مناسب تر خواهد بود.

مشاهده میشود که با توزیع مناسب مهاربند ها در پلان و ارتفاع، می توان توزیع نیروها را تغییر و به سمتی که کمترین تقویدهای محلی نیاز باشد سوق داد که این یکی از مهمترین مزایای تقویت سازه ها با بادبند می باشد. [۱]

ارتفاع مجاز سازه فلزی:

ضریب رفتار و ارتفاع مجاز سازه فلزی، بستگی به نوع بادبند و نوع قاب از نظر شکل پذیری و تحمل نیروهای زلزله دارد.

در جدول (۱) ضریب رفتار RW و ارتفاع مجاز (H بر حسب متر) هر گروه سازه برای مناطق با لرزه خیزی شدید خلاصه شده است. از جدول (۱)، دیده می شود که برای سازه های مختلف، با قاب از نوع ممانگیر معمولی، مقادیر ضریب رفتار و ارتفاع مجاز مطابق قاب بدون بادبند تعیین شده است. از طرف دیگر ارتفاع سازه های مختلف با قاب ممانگیر ویژه $SMRF$ نامحدود شناخته شده و ضرایب رفتار بالایی به آنها اختصاص یافته است. از جدول (۱) دیده می شود که $SCBF$ ضریب رفتاری کمتر از سیستم EBF ولی بیشتر از OBF دارد. [۵]

H	RW	سیستم مقاومتی جانبی	سیستم سازه
75	10	EBF	قاب ساختمانی
75	9	SCBF	
50	8	OBF	
50	6	OMRF,EBF	سیستم مختلط بادبند با قاب معمولی ممانگیر
50	6	OMRF,SCBF	
50	6	OMRF,OBF	
نامحدود	12	SMRF,EBF	سیستم مختلط با قاب ویژه ممانگیر
نامحدود	11	SMRF,SCBF	
نامحدود	10	SMRF,OBF	
50	6	OMRF	قاب ممانگیر
نامحدود	12	SMRF	

قاب های مهاربندی همگرایی ویژه :

قاب های مهاربندی شده مخصوص همگرا (SCBF) به منظور تحمل تغییر شکلهای غیرارتجاعی زیاد، ناشی از نیروهای حاصل از حرکات زلزله طراحی و به کار می روند. SCBF به علت افت مقاومت کمتر هنگام کمناش مهارهای فشاری، شکل پذیری را نسبت به OCBF افزایش داده است. SCBF باید نیازهایی را که در این بخش بیان می گردد تامین کند.

۱- اعضای مهاري :

- ۱-۱ لاغری: اعضای مهاري باید دارای لاغری روبرو باشند. $(kl/r) \leq (1000/F_y^{.5})$
- ۱-۲ مقاومت فشاری مورد نیاز: نباید مقاومت مورد نیاز عضو مهاري تحت فشار محوری از $\phi_c P_n$ تجاوز کند.
- ۱-۳ توزیع فشار جانبی: باید مهارها در امتداد هر خط مهاربندی در جهات متناوب صف شوند تا در صورت وارد شدن بار در جهات موازی مهاربندی، مهاربندهای کششی با ۳۰ تا ۷۰ درصد نیروی افقی کل مقابله نمایند، که در غیر این صورت مقاومت اسمی P_n مربوط به هر مهاربند در فشار بزرگتر از مقاومت مورد نیاز P_u حاصل از تاثیر ترکیب بارهای مورد نظر خواهد گردید.
- ۱-۴ اعضای سازنده: باید فاصله بین بخیه ها به گونه ای باشد که نسبت لاغری l/r هر یک از المانهای بین بخیه ها از $0/4$ نسبت لاغری کنترل کننده عضو سازنده بیشتر نگردد.
- باید مقاومت برشی کل طراحی حداقل برابر با مقاومت کششی طراحی هر المان باشد. باید نحوه قرارگیری بخیه ها یکنواخت باشد و از ۲ بخیه کمتر استفاده نگردد. نباید بخیه ها پیچ شده در وسط یک چهارم طول مهاري قرار گیرند.
- استثنا: در جایی که می توان نشان داد که مهاري ها بدون ایجاد برش در بخیه ها کمناش خواهند کرد، باید موقعیت بخیه ها به گونه ای باشد که نسبت لاغری l/r هر المان بین بخیه ها از $0/75$ نسبت لاغری کنترل کننده عضو سازنده بیشتر نگردد.

۲- اتصالات مهاري:

- ۲-۱ مقاومت مورد نیاز: مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاري (مشمول بر اتصالات تیر به ستون در صورتی که قسمتی از سیستم مهاربندی باشد) باید مقدار کمتر از بین ۲ مقدار زیر باشد:
- الف _ مقاومت کششی محوری اسمی عضو مهاري، که مقدار روبروست: $R_y F_y A_y$
- ب _ نیروی ماکزیموم، که به وسیله تحلیل تعیین شده و می تواند به وسیله سیستم به مهاري منتقل گردد.

۲-۲ مقاومت کششی: باید مقاومت کششی طراحی در اعضای مهاري و اتصالاتشان، که بر اساس شرایط جدی گسیختگی کششی در سطح موثر خالص و مقاومت گسیختگی برشی قالبی استوارست، طبق مشخصات فصل D ، LRFD ، حداقل برابر با مقاومت مورد نیاز مهاري به گونه ای که در ۲-۱ بیان شده باشد.

۲-۳ مقاومت خمشی: باید در جهتی که تحلیل سازه کمانش مهاري را نشان می دهد، مقاومت خمشی اتصال مساوی یا بزرگتر از مقاومت خمشی اسمی مورد انتظار ($1/1 R_y M_p$) مهاري حول محور بحرانی کمانش باشد.

۲-۴ صفحات لچکی: در طراحی صفحات لچکی باید ملاحظات کمانش در نظر گرفته شوند.

۳- شکل مهاربندی ویژه، الزامات ویژه:

۳-۱ مهاربندی V شکل و V وارونه: قابهای مهاربندی شده با V یا V وارونه باید نیازهای زیر را بر آورده کنند:
 الف _ باید تیری که با مهارها در تقاطع است در بین ستونها بصورت یکسره باشد.
 ب _ باید تیری که با مهارها در تقاطع است قادر به تحمل تاثیرات تمامی بارهای فرعی مرده وزنده.
 LRFD مربوط به مشخصات بار A4-2 و A4-1 و A4-3 با فرض موجود نبودن مهاربندی باشد.
 ۳-۲ مهاربندی K شکل: قابهای مهاربندی شده K شکل مجاز به استفاده در SCBF نمی باشند.

۴- ستونها:

ستونها باید قادر به تامین نیازهای زیر باشند:

۴-۱ نسبت های پهنا به ضخامت: باید نسبت های پهنا به ضخامت المانهای فشاری مقید شده یا نشده ستونها نیازهای اعضای مهاري بخش (۱۳-۲-d) را برآورده نمایند.

۴-۲ پیوندی ها: لازم است تا پیوندی های ستونها علاوه بر برآوردن نیازهای بخش 8-3 حداقل مقاومت برشی اسمی عضو اتصالی کوچکتر و ۵۰ درصد مقاومت خمشی اسمی سطح اتصالی کوچکتر را افزایش دهند. باید پیوندی ها در وسط یک سوم ارتفاع ستون قرارگیرند. [۶]

نتیجه گیری:

سیستم مهاربندی هم مرکز که از سالها پیش متداول بوده است نسبت به قاب مقاوم خمشی معادل، سختی بسیار بالاتری دارند، اما به دلیل شکل پذیری پایین، در زلزله های شدید عملکرد مناسبی از خود نشان نداده است. برای افزایش شکل پذیری قابهای مهاربندی شده، سیستم مهاربندی خارج از مرکز پیشنهاد شد که به دلیل عملکرد مناسب به سرعت وارد اکثر آیین نامه های زلزله از جمله آیین نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش دوم) گردید.

البته بادبند خارج از مرکز نیز نارسایی هایی دارد از جمله اینکه تیر پیوند (Link Beam) که عامل اصلی جذب انرژی در این سیستم می باشد قسمتی از تیر اصلی است و پس از زلزله تیر اصلی باید تعمیر و یا تعویض و سقف ترمیم شود، لذا، محققان به دنبال روشی بودند که علاوه بر بالابردن شکل پذیری قابهای مهاربندی شده، نقیصه مذکور را نیز برطرف نمایند که به عنوان یکی از روشها، سیستم بادبندی زانویی پیشنهاد گردید، که این سیستم جوابگوی نیازها در مناطق زلزله خیز شدید می باشد.

باتوجه به بررسی هایی که در این مقاله انجام شده است و با توجه به اینکه کشورما جزء کشورهای زلزله خیز می باشد، پیشنهاد می شود علی رغم اینکه در حال حاضر در کشور ما بادبندهای همگرا و واگرا بیشتر اجرا می شود، با توجه به ضعفهای این گروه بادبندها بالاخص بادبندهای همگرا، بادبندهای زانویی بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند و با آگاهی کامل نسبت به رفتار این گروه بادبند ها نسبت به اجرای آنها اقدام شود تا ما شاهد خسارات مالی و جانی کمتری هنگام وقوع زلزله باشیم.

منابع:

- ۱- عالمی، فرامرز . "تقویت قابهای خمشی فولادی با استفاده از مهاربند". پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، سال سوم ، پائیز ۷۹
- ۲- تهرانی زاده ، محسن : رازدار ، محمد علی . " شکل پذیری و رفتار انواع بادبندها در مقابل زلزله ". بنا ، شماره سوم ، زمستان ۱۳۷۴
- ۳- تقی خانی ، تورج . : "نگرشی جدید بر رفتار سیستمهای بادبندی ". عمران شریف ، شماره هفدهم .
- ۴- اسماعیل زاده ، بابک . " رفتار لرزه ای بادبند ها در سازه ها ". عمران شریف ، شماره سیزدهم . خرداد ۱۳۷۳
- ۵- " بادبندها در ۱۹۹۴ و UBC " ، زمین لرزه ، سال اول ، شماره دوم

6-Seismic Provisions for Structural Steel Building , April , 1997 (AISC)

