تقویت قابهای خمشی فولادی با استفاده از مهاربند

* فرامرز عالمی، کارشناس پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه

۱- چکیده

به منظور پیشگیری از خسارات احتمالی بر ساختمانهای موجود در زلزله های آتی و نیز برای توسعه این ساختمانها، بررسی وضعیت کنونی و در صورت نیاز، مقاوم سازی آنها امری الزامی است. این تقویت بسته به نوع ساختمان و معیارهای طراحی به روشهای مختلف امکان پذیر می باشد.

در این مقاله به تقویت قابهای خمشی فولادی با استفاده از مهاربند به عنوان یکی از روشهای کاربردی مقاوم سازی، پرداخته شده است. در این راستا، به برخی از نکات کلی که باید در این نوع تقویت مدّنظر قرار گیرد اشاره و نمونه هایی از جزئیات اجرایی تقویت اجزای مختلف پی، ستون، تیر و اتصالات ارائه گردیده است.

کلیدواژه ها: مقاوم سازی، قابهای خمشی فولادی، مهاربند

۲- مقدمه

آمارهای تکان دهندهٔ منتشر شده در مورد وضعیت ساختمانهای موجود، مشاهدهٔ 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 خانه‌های روستایی و بخش بزرگی از ساختمانهای شهری در رویارویی با یک زلزلهٔ نسبتاً شدید می باشد که تلفات و خسارات زلزله های منجیل، اردکول، طبس، اردبیل و ... گواهی روشن بر این مدعاست.

با عنایت به این مسأله، 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 سازه‌ای دارند؛ لذا، به دلایل بسیاری از جمله موارد زیر برخی از سازه های موجود و یا سازه های آسیب دیده از زلزله را باید تقویت نمود:

۱- این سازه ها به دلیل نداشتن مقاومت و سختی جانبی کافی، نیاز به تقویت جانبی و کنترل تغییر مکان دارند.

۲- به دلیل برخی از ضعفها از جمله استفاده از میانقابها و دیوارهای آجری به عنوان قسمتی از سیستم لرزه بر و یا عدم استفاده از مهاربندی مناسب و یا سیستم های شکل پذیر، احتمال تخریب به صورت ناگهانی (انهدام ترد) وجود خواهد داشت و در نتیجه علاوه بر آسیبهای وارده به سازه بر اثر شکست ترد، ساکنان فرصتی برای ترک منازل خویش نداشته و تلفات بالا خواهد بود.

۳- ممکن است به دلایلی، افزایش تعداد طبقات (توسعهٔ عمودی)، افزودن به سطح طبقات (توسعهٔ افقی) و یا تغییر کاربری (مثلاً از مسکونی به مدرسه) مدّنظر باشد که با توجه به افزایش بارها و تغییر در مشخصات دینامیکی سازه، به تقویت اسکلت نیاز می باشد.

روشهای مختلفی برای تقویت سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد که در این مقاله به تقویت قابهای خمشی فولادی با استفاده از مهاربند به عنوان یکی از روشهای کاربردی پرداخته شده است.

۳- تقویت قابهای خمشی فولادی با مهاربند

ساختمانهای موجود را به دو روش مقاوم سازی و کاهش نیروهای اعمالی به سازه می توان تقویت نمود. در روش اضافه نمودن مهاربند به سازهٔ موجود، با توجه به اینکه سختی سازه افزایش و پریود کاهش می یابد نیروهای اعمالی به سازه در ساختمانهای کوتاه مرتبه و متوسط معمولاً کاهش نمی یابند، بنابراین تقویت در این نوع ساختمانها از نوع مقاوم سازی است.

برخی از مزایای استفاده از مهاربندی در تقویت سازه های موجود عبارتند از:

۱- افزایش مهاربند به سازهٔ موجود سبب افزایش درجات نامعینی سازه می گردد. در سازه های با درجات نامعینی بالا (سازه ای که

مسیرهای زیادی برای انتقال بار دارد)، تنش‌های اضافی در اعضا می‌توانند از مسیرهای دیگر انتقال بار و اعضای دیگر که دارای ظرفیت هستند باز توزیع شوند و این گونه سازه‌ها در مقابل نیروهای لرزه ای نسبت به سازه های با درجات نامعینی پایین، مقاومت بیشتری دارند. توضیح اینکه ظرفیت لرزه ای سازه های معین به ضعیفترین عضو سازه محدود می شود.

۲- فاصلهٔ ساختمانهای مجاور باید به اندازه ای باشد که تحت نیروهای لرزه ای به یکدیگر ضربه نزنند. در صورت عدم رعایت این مسأله، ساختمان با سختی پایین تر و یا ساختمانی که تراز طبقاتش با ساختمان مجاور متفاوت است، تحت نیروهای جانبی به دیوارها و ستونهای ساختمان مجاور ضربه زده وآسیب می‌رساند [۱]. افزایش مهاربند سبب افزایش سختی سازه و کاهش خسارات ناشی از اثر پاندینگ (ضربه زدن دو ساختمان به یکدیگر بر اثر بارهای جانبی) می‌شود.

۳- چنانچه قاب خمشی موجود به دلیل ضعف در اتصالات و صلب عمل ننمودن اتصالات تیر- ستون، عملاً نتواند به عنوان یک قاب مقاوم خمشی عمل نماید، استفاده از مهاربندی، نیاز به تقویت اتصال و اجرای جوش در محل را که وقت گیر و پرهزینه می باشد، مرتفع می سازد (سیستم قاب ساده+ مهاربند).

٤- تبدیل قاب خمشی ضعیف به یک قاب سادهٔ مهاربندی شده، عملاً سبب کاهش لنگر و نیروهای محوری در ستونها و پی های دهانه های غیرمهاربندی می گردد و تقویت ستونها و پی های غیرمهاربندی، مورد نیاز نبوده و یا بشدت از میزان تقویت آنها کاسته می شود. روشن است که در دهانه های مهاربندی، بار محوری ستونها بسیار بالا رفته و پی ها و ستونهای دهانه های مهاربندی شده نیاز به تقویت خواهند داشت؛ بنابراین، تعداد تقویتهای محلی کاهش یافته و سرعت عملیات اجرایی بالا می رود.

۵- افزودن مهاربندی به یک قاب خمشی ضعیف می تواند سیستم قاب خمشی را به سیستم دوگانه تبدیل نموده (قاب خمشی+مهاربند) که در نتیجه افزایش ضریب رفتار *(R)* سیستم و کاهش نیروهای اعمالی به سازه را به دنبال خواهد- داشت.

٦- مهاربندی، سختی جانبی سازه را بشدت افزایش داده و با کنترل تغییرمکانها، علاوه بر کاهش تغییرمکان به کمتر از مقادیر مجاز آیین نامه‌ای، سبب کاهش خسارات به اجزای غیرسازه ای نیز می گردد.

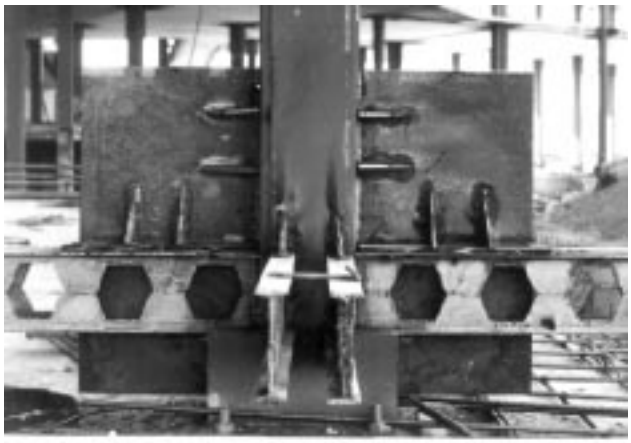
در قسمتهای بعد نحوهٔ تقویت هر یک از اعضاء توضیح داده- شده است.

٤- تقویت پی

یکی از روشهای تقویت پی، اجرای یک پی جدید بر روی پی موجود است. چگونگی انتقال بار ستون موجود که کف ستون آن بر روی پی موجود قرار دارد به پی جدید از نکات حائز اهمیت این روش می‌باشد.

برای این منظور مطابق تصویر (۱) از چند تیرآهن (ترجیحاً زنبوری) در چهار طرف ستون می‌توان استفاده نمود. بدین ترتیب قسمتی از بار ستون به پی جدید و به صورت غیرمتمرکز به پی موجود منتقل می‌گردد. این تیرآهنها برای نشیمن ورق اتصال مهاربند به پی (برای انتقال مؤلفهٔ افقی مهاربند به پی) نیز استفاده می گردند (تصویر ۲).

تصویر (۱): جزئیات اجرایی نحوه انتقال بار ستون موجود به پی جدید



تصویر (۲): ورق اتصال مهاربند و نحوه انتقال بار مهاربند به پی

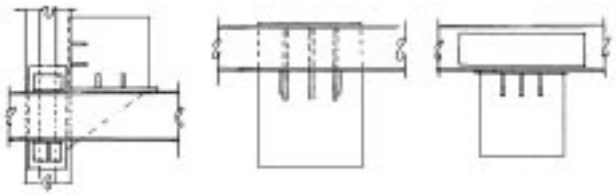
البته روشهای دیگری از جمله افزایش سطح پی موجود با محصور- کردن در پی جدید متصل به پی موجود و یا افزایش مقاومت خاک زیر پی نیز برای تقویت پی‌های موجود وجود دارد [۱]. در دهانه های مهاربندی شده، افزایش نیروهای محوری در ستونها سبب افزایش نیروهای کششی و فشاری به پی‌ها می گردد که باید برای جلوگیری از ایجاد کشش در پی تمهیداتی اندیشید. انتخاب پی نواری در دهانه‌های مهاربندی شده می‌تواند در توزیع مناسبتر بارها به خاک زیر پی کمک نماید.

۵- تقویت ستون

با توجه به تبدیل عملکرد قاب خمشی به قاب مهاربندی شده، لنگر در ستونها کاهش یافته و بر نیروی محوری ستونها در دهانه های مهاربندی شده بشدت افزوده می گردد. روشن است که نیروی محوری و لنگر در سایر ستونها به دلیل اینکه نیروهای جانبی توسط دهانه های مهاربندی شده تحمل می شود کاهش می یابد؛ بنابراین، ستونهای دهانه های غیرمهاربندی باید برای تشخیص نیاز به تقویت، کنترل گردند؛ اما، ستونهای دهانه های مهاربندی شده، قطعاً نیاز به تقویت خواهند داشت. این تقویت بسته به شکل ستون موجود می‌تواند با افزودن ورق پوشش به بالها و جانهای ستون موجود به همراه تقویت جوشها و یا با نصب چهار نبشی در گوشه ها و اتصال نبشی ها به یکدیگر و یا ژاکت کردن با بتن مسلح انجام پذیرد.

۶- چگونگی نصب ورق اتصال مهاربند به سازهٔ موجود

به منظور جلوگیری از تخریب زیاد در سقف موجود و حفظ یکپارچگی سقف به گونه‌ای که بتواند نقش دیافراگم صلب را بخوبی ایفا- نماید و نیز جهت انتقال مناسب بارها به عناصر باربر جانبی از جمله مهاربندها، به نحوهٔ نصب ورقهای اتصال مهاربندها باید توجه جدی نمود. شکل (۱) نمونه‌ای از نصب صحیح ورق اتصال به تیر موجود را نشان- می دهد. در شکل مذکور مشاهده می‌شود حتی الامکان باید ورق اتصال به نحوی طراحی گردد که جوشکاری در محل به صورت جوش سر بالا نباشد تا ضمن راحتی و تسریع در عملیات جوشکاری، کیفیت جوشها نیز مطلوب باشد.



شکل (۱): نمونه هایی از ورق اتصال مهاربند برای نصب ساده و صحیح به اسکلت موجود

در سقفهای تیرچه بلوک، تا حد امکان باید از برش تیرچه های سقف موجود برای حفظ یکپارچگی سقف ممانعت نمود؛ اما، چنانچه این امر اجتناب ناپذیر باشد پس از نصب و جوشکاری ورق اتصال در محل، باید تیرچه های بریده شده را ترمیم و بهسازی نمود.

۷- تقویت تیرها

در محلهایی که ورق اتصال مهاربند نصب می گردد، برش در تیر بشدت افزایش می‌یابد. برای تقویت برشی تیرها می‌توان از ورق تقویت جان استفاده نمود. علاوه بر آن، چنانچه تیرها به تقویت خمشی نیاز داشته باشند می‌توان با نصب ورق پوشش در بال، این تقویت را انجام داد.

۸- تقویت اتصالات ستون به ستون

به دلیل کوچک بودن ابعاد ورق اتصال و ضعف جوشکاری در اتصالات موجود ستون به ستون، بالاخص در ستونهای دهانه های مهاربندی شده به دلیل افزایش نیروی محوری، اتصالات ستون به ستون باید تقویت شوند.

این تقویت می‌تواند با حذف ورق ضعیف قدیم، نصب ورق ضخیم تر و با ابعاد بزرگتر و یا در صورت ضعف جوشکاری، با سنگ زنی جوشهای قدیم و اجرای جوش مجدد با بعد و طول کافی توسط جوشکاران ماهر انجام پذیرد (تصویر ۳).

برای تقویت اتصال ستون به ستون و همچنین چنانچه توسعهٔ عمودی

تصویر (۳): تقویت جوش ورق موجود و اضافه نمودن ورق جدید به جان ستون موجود به منظور تقویت اتصال

ساختمان مدنظر باشد، برای اتصال ستون جدید به قدیم، وقتی ابعاد ستون قدیم با جدید تفاوت چشمگیری داشته و یا انتهای ستون قدیم از بال فوقانی تیرهای سقف پایین تر قرار داشته باشد، می‌توان از جعبه اتصال مطابق تصویر (٤) استفاده نمود. تصویر مذکور نشان می دهد که جعبه ساخته شده درون ستون قدیم قرار گرفته و از همه طرف به ستون موجود جوش شده است. همچنین کف ستون بالای جعبه، با فاصله از تیرهای موجود، هیچ گونه باری را به تیرهای موجود منتقل نکرده و با استفاده از این نوع اتصال، امکان تصحیح محل قرارگیری ستونهای جدید با توجه به ناشاقولی احتمالی ستونهای موجود وجود دارد.

۹- تقویت اتصالات تیر به ستون

وجود مهاربندی سبب انتقال بارهای بیشتری به تیرها در محل تکیه گاه می گردد؛ بنابراین، نبشی های نشیمن موجود تیرها را می توان با نصب لچکی در محل تقویت نمود تا از لهیدگی آن تحت بار جدید جلوگیری به عمل آید. همچنین جوش ناقص در نبشی‌های نشیمن با سنگ زنی و جوش با کیفیت مطلوب باید تقویت گردد. علاوه بر آن، از صفحه لچکی *(Gusset Plate)* و دستک در اتصالاتی که نبشی نشیمن موجود ظرفیت باراعمالی را ندارد می توان استفاده نمود [۱].

تصویر (٤): جعبه اتصال ستون به ستون (جان ستون موجود که قبل از نصب جعبه، سوراخ شده و با دقت به جعبه جوش گردیده است). نبشی نشیمن تقویت شده با لچک نیز در شکل مشاهده می شود.

۱۰- نحوه قرارگیری مهاربندها

در نحوهٔ قرارگیری مهاربندها در پلان و ارتفاع باید دقت شود تا ضمن کاهش نیروهای پیچشی به سازه، توزیع بارها به سازه و پی موجود مناسبتر صورت گیرد و تقویتهای محلی که پر هزینه و وقت گیر می‌باشد کاهش یابد.

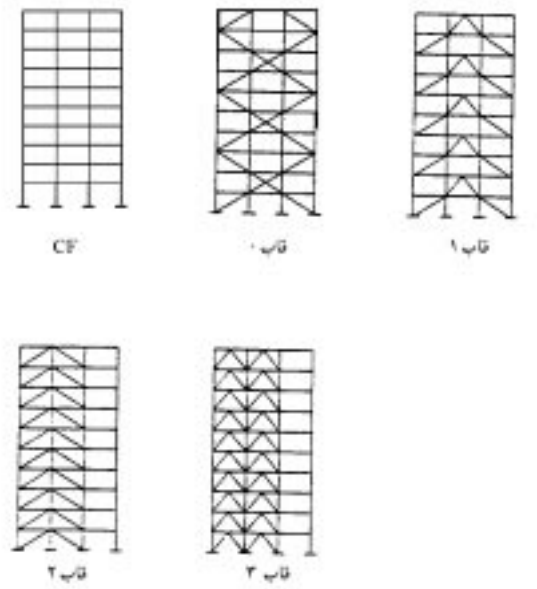
هرچه مهاربندها در کل دهانهٔ قاب بیشتر پخش شده باشند با توجه به توزیع نیروهای جانبی به پی از طریق تعداد ستونهای بیشتر، ضمن اینکه میزان کشش احتمالی در پی ها کاهش می‌یابد، سیستم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر و از نظر رفتاری مناسبتر خواهد بود [۲ و۳]. به عنوان نمونه یک قاب ساختمان بتنی ۱۰ طبقه که مطابق شکل (۲) به صورت قاب مقاوم خمشی و چند حالت مهاربندی هم مرکز در نظر گرفته شده است با استفاده از برنامه *DRAIN-2D* تحلیل گردید که نتایج جا به جایی جانبی، نیروهای وارده به پی ها و میزان فولاد وبتن مصرفی درجدولهای (۱) و (۲) و شکل (۳) آمده است.

شکل (۳) مقادیر فولاد و بتن مصرفی در هر یک از قابهای *(CF)* و (۰) تا (۳) را به همراه جذب انرژی و سختی آنها نشان می دهد. شکل مزبور نشان می دهد که قاب (۱) کمترین مقادیر بتن و فولاد را مصرف نموده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر می باشد. این افزایش وزن در افزایش نیروی وارده به سازه نیز نقش دارد. از نظر هزینه اولیهٔ ساخت، قابهای (۰) و (۱) مقرون به صرفه تر از قابهای (۲) و (۳) می باشند.

نتایج تحلیل خطی قابهای شکل (٤) که همه دارای مقاطع یکسان ستون، تیر و مهاربند بوده و بارهای قائم وجانبی اعمالی به آنها یکسان هستند (جدول ۳) نیز حاکی از تأثیر جدی نحوهٔ قرارگیری مهاربندها

بر رفتار کل سازه می باشد [۳]. مشاهده می شود قاب (۵) بهترین و قابهای (۱) و (۲) نامناسبترین نتایج را در بین قابهای تحلیل شده داشته اند.

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



شکل (۲): اشکال قابهای تحلیل شده [۲]

جدول (۱): بیشینه جا به جایی های طبقات بر حسب اینچ [۲]

قاب / طبقه	قاب ۰	قاب ۱	قاب ۲	قاب ۳	قاب CF
۱۰	٤/۱۱	۳/۹۳	۳/۹٦	٤/۲۱	۳/۹۳
۹	۳/۹٥	۳/۷٥	۳/۷۸	٤/۰٤	۳/۸۱
۸	۳/٦۹	۳/٤۷	۳/٤۹	۳/۷٥	۳/٦۰
۷	۳/۳۸	۳/۱۸	۳/۱۹	۳/٤٥	۳/۳۹
٦	۲/۹۸	۲/۸٤	۲/۸۹	۳/۰٥	۳/۱۲
٥	۲/٥٦	۲/٤۸	۲/٥٦	۲/٦۱	۲/۸۳
٤	۲/۱۲	۲/۰۹	۲/۱۷	۲/۱۹	۲/٤۷
۳	۱/٦۲	۱/٦٦	۱/۷۰	۱/۷۰	۲/۰٥
۲	۱/۰۲	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/٤۱
۱	۰/٤۲	۰/٤۸	۰/٤٦	۰/٤٥	۰/٦٤

جدول (۲): بیشینه نیروی فشاری و کششی وارده به پی ها (kips) [۲]

قاب/ستون	ستون A		ستون B		ستون C		ستون D	
	C	T	C	T	C	T	C	T
۰	٤٥٦/۱	-۳۲/٥	۳۲۲/۸	-	۳۲۲/٦	-	٤٥۷/٥	-۳٤/۱
۱	٤۳۳/۱	-۲۰/۷	۳۸۸/۱	-	۳۸۸/٥	-	٤۳٤/٤	-۲۰/٤
۲	٥۳٤/۰	-۱۰۰/٥	۳۰٥/٦	-	٥٤٥/۱	-	۳۰۹/۹	-
۳	٥۲۸/۳	-۱۰۲/۰	۳۱۷/۱	-	٥۳۹/۰	-	۳۱٤/۹	-
CF	٤٤٦/٥	-۱۹/۷	۳۲۲/۰	-	۳۲۰/۰	-	٤٥۲/۳	-۱۸/۲

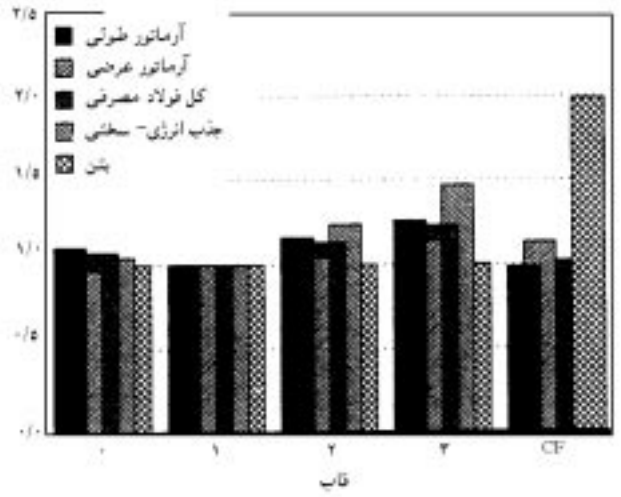
T علامت کششی بودن و C علامت فشاری بودن است.

جدول (۳): نتایج تحلیل قابهای ۱ تا ٥ [۳]

طبقه	قاب	تغییرمکان افقی	نیروی فشاری	نیروی کششی	نیروی ستون C2	نیروی ستون C1	حداکثر نیروی	حداقل نیروی

		کل (میلیمتر)	مهاربند (تن)	مهاربند (تن)	(تن)	(تن)	وارده به پی (تن)	وارده به‌پی (تن)
۱	۱	۲/۶۳	۱۳/۶	۸/۹	۴۱/۳	۹/۰	۴۹/۵C*	۱۳/۵T*
	۲	۲/۹۹	۱۸/۶	۱۳/۹	۳۴/۰	۹/۰	۴۹/۵C	۱۳/۵T
	۳	۲/۵۶	۱۴/۰	۸/۵	۲۹/۷	۲۰/۳	۲۹/۸C	۲/۸T
	۴	۲/۸۰	۱۴/۸	۷/۷	۲۲/۳	۱۶/۱	۲۲/۷C	۲/۵T
	۵	۱/۹۴	۱۶/۱	۶/۴	۱۵/۹	۱۲/۸	۲۲/۴C	۲/۱C
۲	۱	۵/۸۴	۱۰/۹	۷/۸	۲۳/۴	۶/۰	–	–
	۲	۶/۶۱	۱۵/۸	۱۱/۲	۱۶/۸	۶/۰	–	–
	۳	۵/۵۶	۱۰/۹	۷/۹	۱۸/۷	۱۰/۸	–	–
	۴	۵/۱۲	۱۴/۴	۴/۳	۱۰/۱	۶/۰	–	–
	۵	۳/۸۷	۱۲/۵	۶/۲	۱۲/۰	۹/۸	–	–
بام	۱	۹/۰۲	۸/۰	۳/۲	۷/۹	۳/۰	–	–
	۲	۱۰/۶۱	۱۰/۴	۵/۸	۴/۱	۳/۰	–	–
	۳	۸/۴۵	۸/۰	۳/۲	۷/۹	۳/۰	–	–
	۴	۷/۱۷	۱۰/۴	۵/۸	۴/۱	۳/۰	–	–
	۵	۵/۴۷	۵/۰	۶/۳	۶/۰	۶/۸	–	–

* T علامت کششی بودن و C علامت فشاری بودن است



شکل (۳): مقادیر فولاد و بتن مصرفی درهریک‌از قابهای CF و ۰ تا ۳ [۲]

۱۱- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق عبارتند از:

۱- در دهانه های مهاربندی شده، نیاز به تقویت ستون، کلیهٔ اتصالات ستون به ستون، تیر به‌ستون و تقویت برشی و خمشی تیر در محل اتصال مهاربند جدید به تیر باید مورد توجه‌قرار گیرد.

۲- حتی الامکان باید از مهاربندهایی استفاده نمود که برای نصب ورقهای اتصال آنها، کمترین تخریب درسقفهای موجود موردنیاز باشد تا در میزان صلبیت دیافراگم سقف، کاهش‌جدی ایجاد نشده و انتقال بارهای جانبی به اعضای باربر جانبی به صورت مناسب صورت پذیرد.

۳- ورقهای اتصال مهاربند به تیرها و ستونها بهتر است به صورت T شکل و با سخت‌کننده های مناسب باشد تا ضمن احتراز از جوشکاری سربالا در محل، بارهای محوری بزرگ مهاربندها به صورت موضعی به تیرها و ستونهای سازهٔ موجود وارد نیایند.

۴- در قابهای مهاربندی شده، با توجه به نیروی‌کششی و فشاری بزرگ وارد شده به پی، انتخاب پی نواری‌برای‌توزیع مناسبتر بارها به خاک زیر پی و کنترل میزان کشش احتمالی در پی، مناسب می‌باشد.

۵- توزیع مناسب مهاربندها در پلان و در ارتفاع می تواند از تمرکز نیروها کاسته، تقویتهای محلی و بویژه میزان کشش احتمالی در پی را کاهش دهدکه از نظر اقتصادی نیز تأثیر بسزایی در کاهش هزینه کل مقاوم سازی دارد.

۶- کاهش قابل توجه در تغییرمکانهای جانبی که کاهش خسارات اجزای غیرسازه ای در زلزله ها را نیزبه همراه دارد، کاهش خسارات ناشی از اثر پاندینگ، افزایش درجات نامعینی سازه و

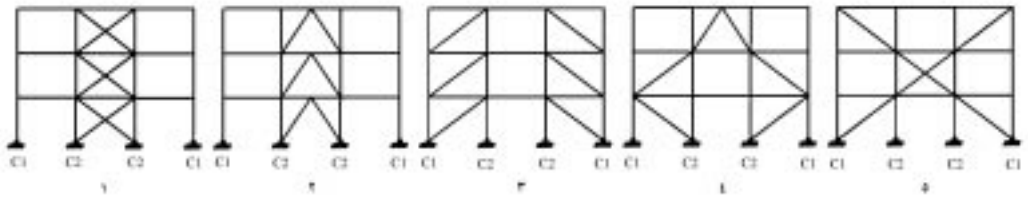
امکان باز توزیع نیروهای لرزه ای، از مزایای دیگر تقویت سازه ها با مهاربند می‌باشد.

۱۲- مراجع

1-Federal Emergency Management Agency, FEMA 172, "Techniques for Seismically Rehabilitating Exitting Buildings", May 1989.

2-Sonia, E.R., Olga, E. V. & Francisco, L.S., "Influence of the Spatial Distribution of Energy-Dissipating Bracing Elements on the Seismic Response of Multistory Frames", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 24, PP. 1511-1525, (1995).

۳- عالمی، فرامرز؛ حاجی کاظمی، حسن. "بررسی مقایسه ای رفتار مهاربندها در سازه های فولادی". سومین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۸.



شکل (٤): قابهای ۱ تا ٥ [۳]

* f-alemi@dena.iiees.ac.ir