## مقاوم سازی لبه‌ها

چیزی که اهمیت دارد این است که از گزینه‌ها و سازه‌های موجود قبل از این که شروع به برنامه‌ریزی درباره یک طرح مقاوم سازی کنید، آگاهی لازم را داشته باشید.

مقاومت، پایداری و سفتی همگی از عوامل مؤثر در طراحی یک سیستم اسکلت ساختمانی هستند؛ اما در مورد ساختمان‌های قدیمی که قرار است از آن‌ها استفاده جدید و متفاوتی نسبت به قبل شود، گاهی لازم است که به لحاظ سازه‌ای این ساختمان‌ها ارتقا داده شوند.

راه‌های مختلفی برای مقاوم سازی یک ساختمان یا یک سازه وجود دارد. گاهی اوقات ساده‌ترین روش این است که مسیر اعمال بار را از طریق اضافه کردن اعضای جدید تغییر داد. اگر طبقه و سطح مورد نظر شما بتنی باشد می‌توان اتصالات برشی را برای گیردار کردن بتن در حرکات ترکیبی اضافه کرد. روش دیگر اضافه کردن اجزای پیش‌تنیده است. در نهایت، باید روشی به کار گرفته شود که بتواند خواص سازه یا عضو مورد نظر را بهبود بخشد. در هر کدام از این روش‌ها که برای مقاوم سازی انتخاب می‌شود باید ایمنی و اثرات منفی بالقوه هنگام نصب را در نظر گرفت.

در اینجا ما به چند نکته اشاره خواهیم کرد تا آن‌ها را برای استفاده در زمان مقاوم سازی تیرها و ستون‌ها و همچنین در ملاحظات جوشکاری به خاطر بسپارید.

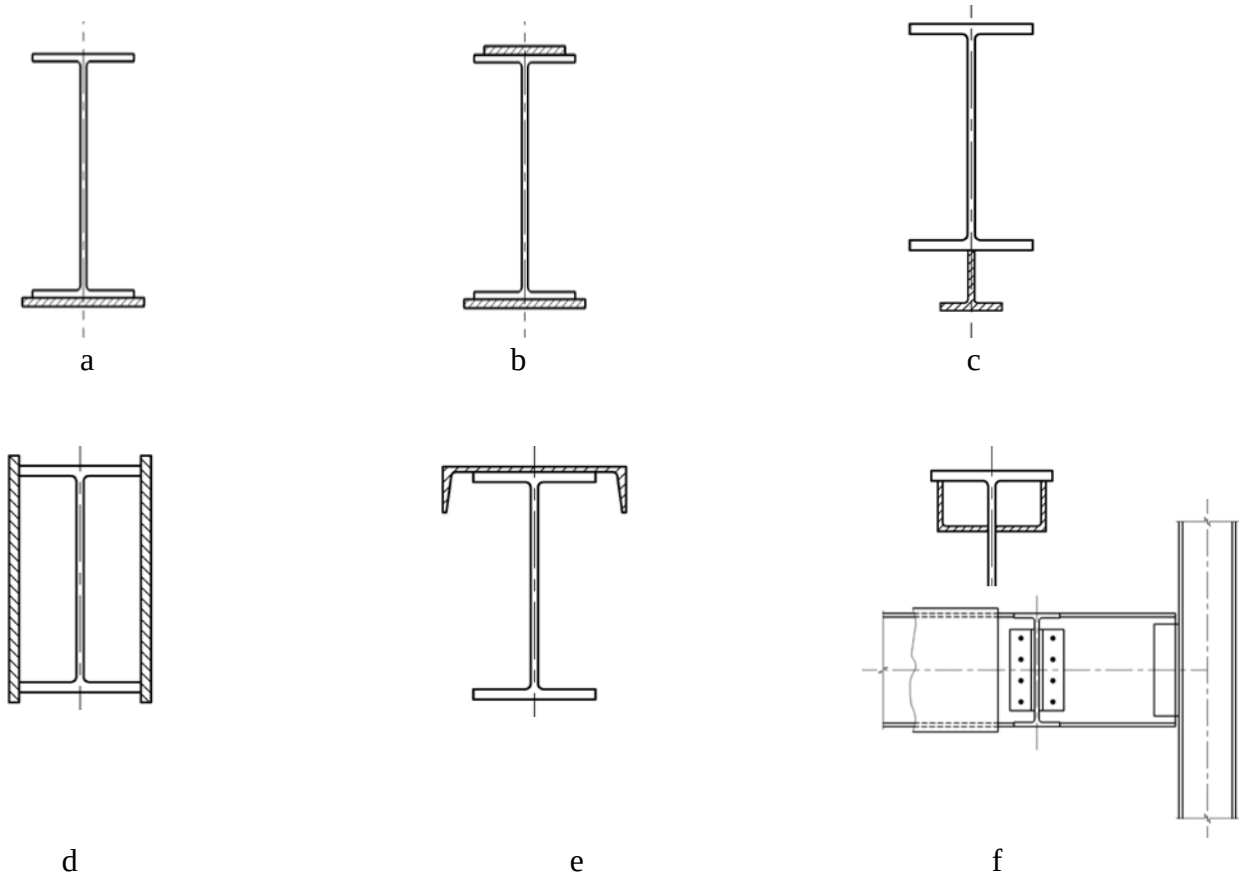
*تیرها:*

اجازه دهید که با تیرها شروع کنیم. سیستم‌های کف، سقف و دیگر موانع ممکن است سبب محدودیت در دسترسی یا حتی ایجاد مانعی در جوشکاری دو لبه یک تیر شوند. این دسترسی محدود، همراه با تقاضای حذف جوش سربار، معمولاً منجر به این می‌شود که اشکالی به وجود آید که به تنهایی متقارن هستند. بخش F4 در مشخصات در مورد اعضای I شکلی استفاده می‌شود که به تنهایی متقارن هستند و مرکز این تقارن محور اصلی آن‌ها است. از روش‌های محاسبه AISC در نشریات دیگر مانند آیین نامه معیارهای طراحی پایدار در سازه‌های فلزی ( Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures) می‌توان در تعیین بارهای کمانش جانبی در اعضای دیگر به جز I شکل استفاده کرد.

روش‌های معمول مقاوم سازی در تیرها در شکل شماره یک نشان داده شده‌اند. زمانی که لبه پایین در یک تیر در دسترس باشد، اقتصادی‌ترین گزینه این است که یک صفحه تکی به آن جوش داده شود، همان گونه که در شکل 1a نشان داده شده است. به دلیل این که صفحه گفته شده دارای عرض بیشتری به نسبت عرض این لبه است، جوشکاری در حالت افقی انجام می‌شود که سرعت آن حدود چهار برابر سرعت جوش سربار است. در این حالت همچنین قوس رو به بالایی به دلیل انقباض در جوش به وجود می‌آید، در نتیجه صفحه به راحتی در محل مناسب محکم می‌شود. اگر مقاومت یا سفتی بیشتری مورد نظر باشد، یک صفحه دیگر را نیز می‌توان به لبه بالایی تیر جوش داد، همان گونه که در شکل 1b نشان داده شده است. با این حال، لبه بالایی معمولاً باریک‌تر از لبه تیر در نظر گرفته می‌شود تا جوشکاری در حالت افقی امکان پذیر باشد.

یکی دیگر از گزینه‌ها برای مقاوم سازی به‌صورت T شکل است، همان گونه که در شکل 1c نشان داده شده است. این روش سبب افزایش بسیار زیادی در میزان مقاومت و سفتی می‌شود اما برای انجام آن نیاز به جوشکاری سربار است. از صفحاتی که در شکل 1d و 1e نشان داده شده است، در مواردی استفاده می‌شود که عضو مورد نظر در برابر خم شدن حول محوری ضعیف است. در نتیجه قسمت محصور شده در برابر چرخش مقاومت خوبی خواهد داشت. زاویه این صفحات همان گونه که در شکل 1d و 1f نشان داده شده است، باید لحاظ شود. در مواردی

که نگرانی در خصوص کمانش جانبی وجود دارد می‌توان از روش‌های ارائه شده در شکل‌های 1d، 1e و 1f استفاده کرد.




شکل ۱

در تعیین روش مقاوم سازی، یکی از ملاحظات مهم و کاربردی، نوع موانعی است که ممکن است با آن روبرو شد. برای مثال، تقویت لبه پایینی همان گونه که در شکل 2a نشان داده شده است، باید قبل از رسیدن به انتها متوقف شود. اگر لازم باشد تا مقاوم سازی تا انتهای تیر ادامه داشته باشد ممکن است نوع دیگری از روش‌های مقاوم سازی در این مورد مقرون به صرفه‌تر باشد. یک مورد از این نمونه را می‌توان در شکل 2b مشاهده کرد.

شکل ۲

به دلیل موانع موجود و ملاحظات اقتصادی، مقاوم سازی اغلب در بخشی از طول یک عضو انجام می‌شود. از آن جایی که تغییرات ناگهانی در سفتی اعضای تقویت شده رخ می‌دهد، روشی که استفاده می‌شود باید دربردارنده عضو پله‌ای باشد تا ثبات عضو تعیین شود. در مقاله «کمانش جانبی الاستیک در تیرهای پله‌ای I شکل (Elastic Lateral Buckling of Stepped I-Beams)»، Trahair و Kitipornchai، یک معادله ساده برای محاسبه لحظه کمانش جانبی تیرها را بسط دادند که در آن انتهای تیرها دارای شکست بود، همان گونه که در شکل 3a نشان داده شده است. تقویت بخشی از طول به‌صورت T شکل اغلب نیازمند این است که صفحات انتهایی پایداری جانبی در مقابل این نوع مقاوم سازی را فراهم کنند، همان گونه که در شکل 3b نشان داده شده است.

بخش F13.3 در مشخصات AISC نیازمند این است که مقاوم سازی بخشی از طول فراتر از نقطه برشی تئوری باشد (شکل 3a را نگاه کنید). نیرویی که باید فراتر از طول مورد نظر توسعه داده شود و drt را می‌توان از طریق استفاده از توزیع الاستیک که تفسیر آن در بخش F13.3 مشخصات AISC محاسبه کرد. به این ترتیب این نیرو برابر است با:

$$F = MQ/I$$

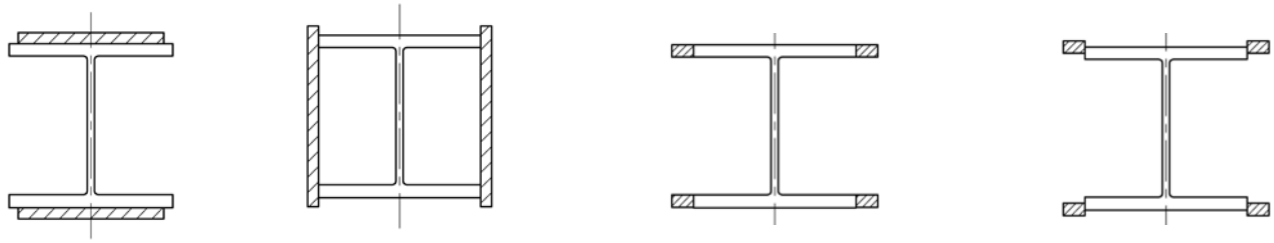
a b

شکل ۳

یکی از ملاحظات قابل استفاده مهم، پیچش تیرهای تقویت شده تحت بار است. پیچش کل برابر است با مجموع پیچش در پیش تقویت شده‌ها و پس تقویت شده‌ها. اگر مدل تجزیه و تحلیل سازه بر اساس مشخصات بخش تقویت شده باشد، تنها شکست اعضای تقویت شده تحت بار کلی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی شکست اولیه با ویژگی‌های اعضای تقویت شده محاسبه می‌شود، شکست واقعی بیشتر از خروجی محاسبات کامپیوتر است. علاوه بر این، ملاحظاتی نیز در رابطه با تغییر شکل ناشی از انقباض جوش که می‌تواند منجر به تغییر شکل به طرف بالا و یا به طرف پایین شود، باید حتماً در نظر گرفته شود. این تغییر شکل‌ها وابسته به توالی جوش، خصوصیات اعضا، دمای ورودی و بار اولیه در زمان جوشکاری هستند.

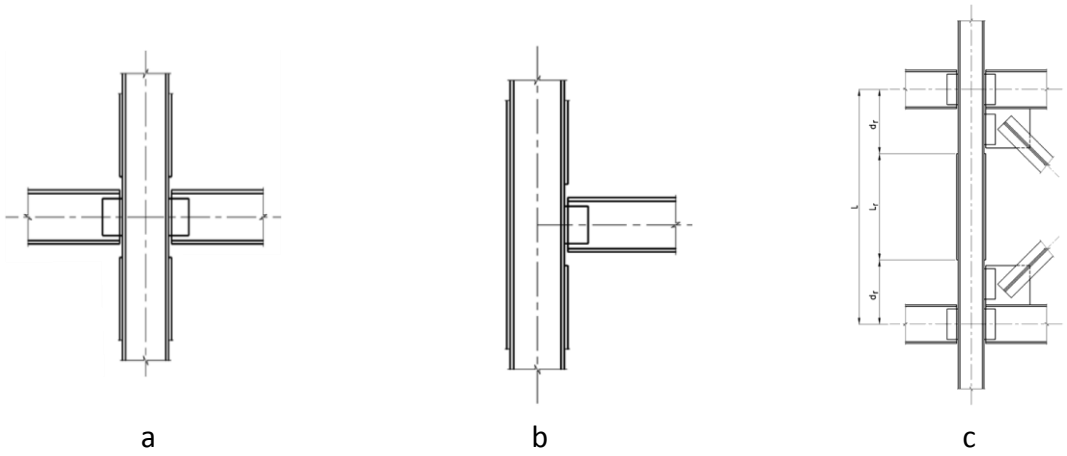
*ستون‌ها:*

به سراغ ستون‌ها می‌رویم. چند روش مقاوم سازی در شکل ۴ نمایش داده شده است. از آنجا که گریز از مرکز بین بار محوری و مرکز جرم سطح مقطع تقویت شده باید در طراحی محاسبه شود، مقاوم سازی زمانی در بهترین حالت است که اقدام به‌صورت متقارن نسبت به مرکز جرم اعضا انجام شده باشد. با این حال، گیرت ها (اعضای سازه‌ای افقی شکل در دیوارهای قاب‌بندی شده که نقش تکیه‌گاه جانبی را در پنل‌های دیواری ایفا می‌کنند و در درجه اول به مقاومت در برابر باد می‌پردازند)، دیوارها و دیگر موانع ممکن است سبب ایجاد محدودیت در دسترسی و جلوگیری از جوشکاری در هر دو لبه یک عضو شوند. روشی مه در شکل 4a نشان داده شده است، معمولاً مقرون به صرفه‌ترین راه به حساب می‌آید.




شکل ۴

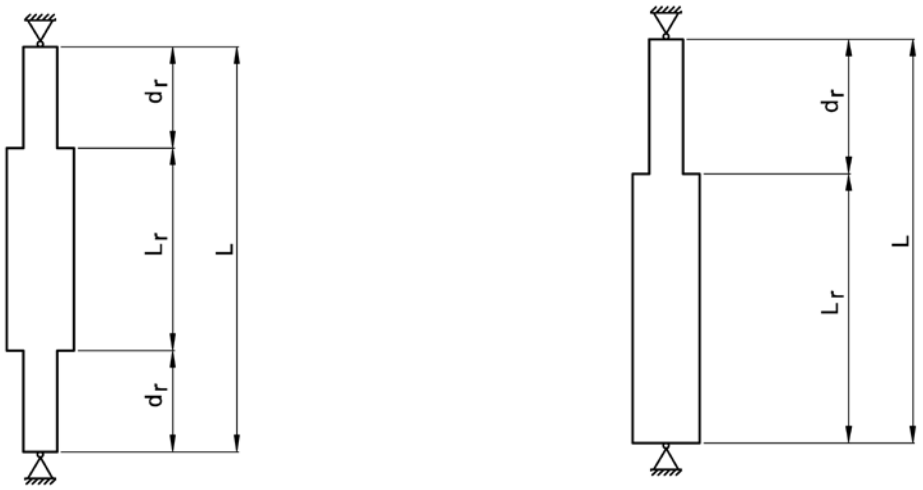
مقاوم سازی بخشی از طول ستون در برخورد با موانع در شکل ۵ نشان داده شده است. در بسیاری از شرایط، مقاوم سازی به‌صورت ناپیوسته در بندهای جانبی انجام می‌شود. در این موارد، ستون باید به‌صورت یک عضو پله‌ای طراحی شود. علاوه بر این، قسمت‌های تقویت شده ستون باید به لحاظ جاری شدن مورد بررسی قرار بگیرند.




شکل ۵

در موارد نادر که قسمت‌های تقویت شده ستون تحت تنش‌های بسیار زیادی هستند، سطح مقطع را می‌توان از طریق اضافه کردن صفحاتی به شکل بال بین صفحات پوشش افزایش داد. صفحات بال مانند هم تراز که در شکل 4c نشان داده شده است، نیاز به جوش شیاری دارند، بنابراین معمولاً مقرون به صرفه‌ترین گزینه خم کردن ورق بال است که در شکل 4d نشان داده شده است. در این روش یک پشت بند به ستون جوش داده می‌شود.

Dalal در یک مجله مهندسی و در مقاله‌ای با عنوان «بعضی از موارد غیر معمول در طراحی ستون‌ها» عوامل طول مؤثر را به صورتی که در شکل ۶ نشان داده شده است، طبقه بندی کرد. از این عامل به همراه الزامات کمانش جانبی می‌توان در بخش مشخصات E3 استفاده کرد.




a b

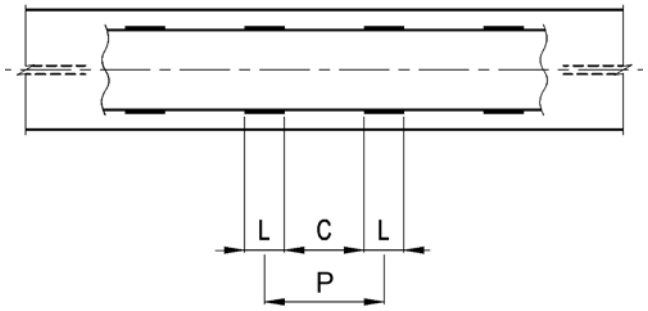
شکل ۶

*جوشکاری:*

لازم است که عوامل بسیاری هنگام جوشکاری یک عضو تقویت شده در نظر گرفته شود.

*بخش M3.5. حذف پوشش‌ها:* این بخش نیازمند سطح‌هایی در حدود ۲ اینچ در ناحیه جوش است تا مانعی بر سر راه جوشکاری ایجاد نکنند و همچنین گازهای سمی در طول عملیات جوشکاری تولید نشوند. با این‌که بسیاری از پوشش دهنده‌ها آسیبی به جوش وارد نمی‌کنند، اما لازم است که این پوشش‌ها حذف شوند چرا که نکته حائز اهمیت این است که باید عوامل تهدید کننده سلامت فرد جوشکار برطرف شوند.

*جوش بخیه‌ای:* برای کاهش پیچش و تغییر شکل جوش و همچنین هزینه‌ها معمولاً صفحات تقویتی را از طریق جوش بخیه‌ای به عضو مورد نظر متصل می‌کنند، همان گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است. اگر سازه در محیط‌های خورنده قرار گرفته باشد، جوش به‌صورت پیوسته باید انجام شود. با این حال، اگر رنگ کردن به نحو درستی پس از جوشکاری روی قطعه انجام شود، جوشکاری بخیه‌ای را می‌توان برای اکثر سازه‌ها که در شرایط آب و هوایی معمولی قرار دارند، استفاده کرد.




شکل ۷

*قابلیت جوشکاری:* برای به حداقل رساندن خطر ترک خوردگی در جوش و فلز پایه، قابلیت جوشکاری فولاد موجود باید تجزیه و تحلیل شود. همان طور که در Aws D1.7 از راهنمای مقاوم سازی سازه‌های موجود گفته شده، چند معادله مشابه با کربن متفاوت ارائه شده است تا قابلیت

جوشکاری یک فلز بر اساس ترکیب شیمیایی فولاد تخمین زده شود. هر چقدر میزان کربن افزایش یابد به همان میزان قابلیت جوشکاری نیز کاهش می‌یابد.

مقدار مواد شیمیایی در فولاد را می‌توان از طریق آزمایش آسیاب گلوله‌ای یا آزمایش شیمیایی نمونه‌های برداشته شده از قطعات سازه موجود، تعیین کرد. راه دیگر برای تشخیص قابلیت جوشکاری در سازه، مشاهده موفقیت‌ها و یا عدم موفقیت‌ها در جوشکاری‌های قبلی انجام شده در سازه است. آزمایش خم نیز برای تعیین قابلیت جوشکاری توسط D.Ricker در یک مجله مهندسی و در سال ۱۹۸۸ تحت عنوان مقاله‌ای به نام «ناحیه جوشکاری در سازه‌های موجود»، مطرح شد.

*جوشکاری اعضای توپر:* علاوه بر طرح نهایی، مقاومت اعضا در طول عملیات نصب و جوشکاری باید حتماً در نظر گرفته شود. جوشکاری دارای اثرات زیان باری بر روی اعضای توپر است چرا که خصوصیات مواد را در دمای بالا در نزدیکی قوس جوش دچار دگرگونی و کاهش می‌کند. در برخی موارد، مواد داخلی را می‌توان از عضو تقویت شده به‌صورت موقت تا پایان جوشکاری خارج کرد؛ با این حال، این کار ممکن است عملی نباشد و یا حتی لزومی به انجام آن نباشد چرا که حرارت جوشکاری بسیار متمرکز است.

مقاومت یک عضو را می‌توان بر اساس کاهش مقطع عرضی ارزیابی کرد، جایی که دمای بالا در نزدیکی قوس جوش نقشی در بار مقاومتی ندارد. عرض مصالح غیر فعال متناسب با دمای ورودی است که خود بستگی به جریان، ولتاژ و سرعت حرکت قوس دارد. در جوش‌هایی با دمای ورودی کم، عرض مواد غیر فعال کمتر از سه اینچ است. با این حال، عرض مواد غیر فعال می‌تواند در فرآیندهایی که دمای ورودی بالاتری دارند مثل جوشکاری قوسی با الکترود توپودری، بزرگ‌تر باشد.

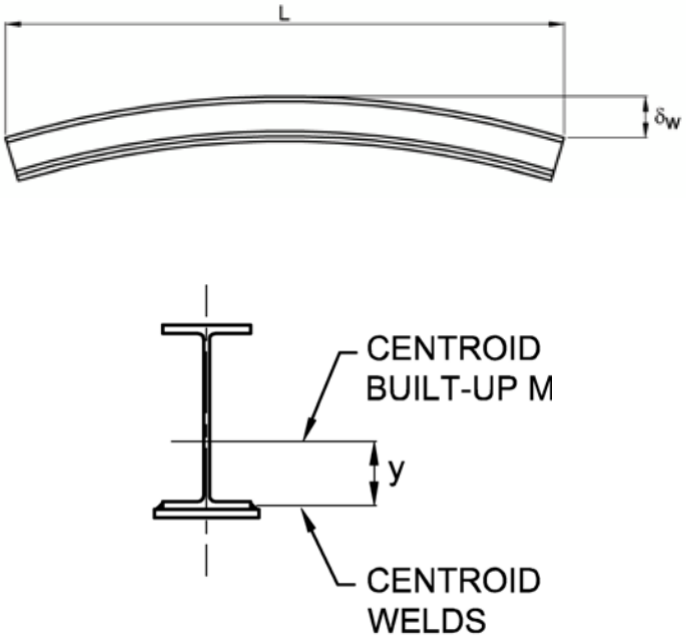
دستورالعمل‌هایی کلی برای دمای ورودی کم:

- جریان جوشکاری پایین
- الکترودهایی با قطر کوچک
- زمان دادن برای خنک شدن پاس‌های متوالی
- جوشکاری متناوب با فاصله‌های کوتاه
- استفاده از ابزار مناسب برای کنترل دمای فلز پایه

در اعضای تقویت شده، عیوب هندسی به دلایل زیر ایجاد می‌شوند:

- عیب‌های عضو تقویت نشده که در مراحل نورد، ساخت و نصب ایجاد شده‌اند
- تغییر شکل $P$-$\delta$ در عضو تحت بار اولیه
- تغییر شکل ناشی از انقباض جوش (شکل ۸ را ببینید).

همه عیوب به جز تغییر شکل انقباضی جوش را می‌توان قبل از طراحی عضو اندازه گیری کرد. تغییر شکل انقباضی جوش یک عضو را می‌توان با استفاده از معادلات تجربی (مثل Blodgett, 1966) برآورد کرد.




شکل ۸