

فصل ۴

اعضای فشاری (ستون)



هدف‌های رفتاری:

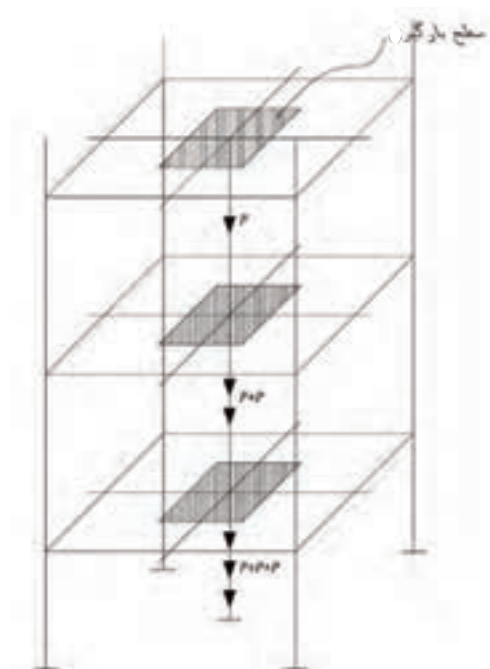
در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- ستون را تعریف کند و نقش آن‌را در ساختمان توضیح دهد.
- ۲- کمانش را تعریف کند و اتفاقاتی که در اعضای تحت فشار می‌افتد را شرح دهد.
- ۳- دلایل استفاده از ستون‌های مرکب مشبک را بیان کند.
- ۴- دلایل استفاده از ستون‌های ساخته شده از ورق را بیان کند و انواع آن‌ها را نام ببرد.
- ۵- انواع ستون‌های سالن‌های صنعتی را نام ببرد.
- ۶- انواع مقاطع ستون‌ها و علل استفاده از مقاطع مرکب را نام ببرد.
- ۷- نکات فنی ساخت ستون‌هایی که از دو تیرآهن به هم جوش شده، تشکیل شده‌اند را توضیح دهد.
- ۸- نکات فنی ساخت ستون‌هایی که از دو تیرآهن با فاصله به هم متصل شده، تشکیل شده‌اند را توضیح دهد.
- ۹- نکات فنی اجرای ستون با مقاطع دایره را بیان کند.
- ۱۰- روش متداول استقرار ستون را شرح دهد.
- ۱۱- نکات فنی طویل کردن ستون را شرح دهد.
- ۱۲- انحراف مجاز در نصب ستون را توضیح دهد.

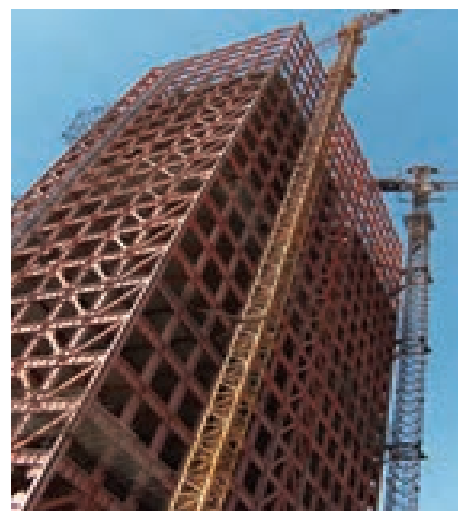
۴-۱- تعریف ستون

ستون عضوی است که معمولاً بصورت عمودی در ساختمان نصب می‌شود و نیروی محوری را تحمل می‌کند. نیروهای محوری بصورت نیروی فشاری ناشی از بار مرده و بار زنده وارده بر سطح کف طبقات است که بطور مستقیم و یا از طریق تیر به ستون منتقل می‌شود. علاوه بر نیروی فشاری، در قاب‌های خمشی، ستون‌ها تحت تاثیر لنگر ناشی از بارهای قائم و جانبی به علت اتصال صلب تیر به ستون نیز قرار دارند.

سهم هر ستون از بار طبقه، مساحتی محصور در نصف فاصله‌ی ستون مورد نظر و ستون‌های پیرامونی آن است که به آن سطح بارگیر گفته می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- تجمع نیروی مموری فشاری ستون در طبقات مختلف



شکل ۴-۲- نمونه اسکلت فولادی شامل اعضای فشاری

بیشتر بدانیم

سازمان نظام مهندسی ساختمان

برای تأمین مشارکت هر چه وسیع‌تر مهندسان در انتظام امور مرفه‌ای خود و تحقق مجموعه قوانین، مقررات، آئین‌نامه‌ها و استانداردهای ساختمانی، نظام مهندسی ساختمان در استان‌های کشور به‌وجود آمده است.

۴-۲- کمانش اعضای تحت فشار

کمانش یعنی ناپایداری و از بین رفتن عضو، تحت تغییر شکل های جانبی زیاد که به علت نیروها یا تنش های فشاری رخ می دهد. در اعضای تحت فشار، علاوه بر انهدام یا تسلیم مصالح تحت تنش های فشاری، کمانش یا از بین رفتن پایداری ارتجاعی عضو می تواند تحت تنش های به مراتب کوچکتر از مقاومت نهایی مصالح، باعث خرابی گردد. این موضوع را می توان با اعمال نیروی فشاری به یک خط کش تجربه نمود.

در عضو ساخته شده از نیمرخ فولادی (مثلاً یک ستون فولادی) کمانش به دو صورت ممکن است رخ دهد؛ الف: کمانش کلی عضو، ب: کمانش موضعی اجزای بال یا جان نیمرخ به علت تنش های فشاری.



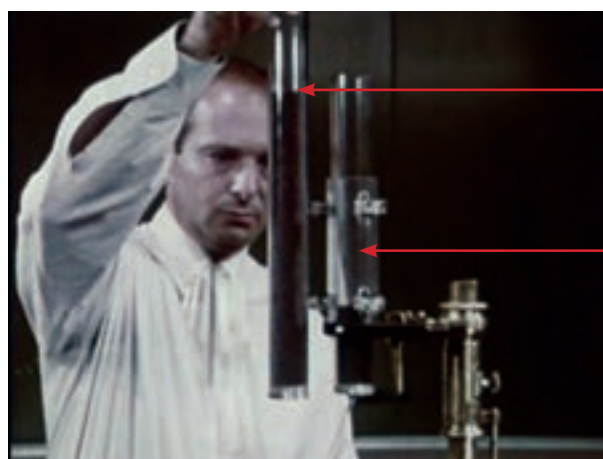
شکل ۴-۳- کمانش عضو فشاری



ب- ریختن ماسه مورد نیاز جهت کمانش هر دو ستون



الف- مدل دو ستون با ارتفاع مختلف که توسط ماسه بارگذاری می شود



ارتفاع ماسه
(تقریباً دو برابر ارتفاع ماسه
در ظرف دیگر است)

ارتفاع ماسه

پ- مقایسه مقدار ماسه (یا بار مورد نیاز) جهت کمانش

شکل ۴-۴- بررسی کمانش ستون با ارتفاع متفاوت در آزمایشگاه سازه

نیروی کمانشی ستون نسبت مستقیم با مقطع ستون و نسبت عکس با ارتفاع آن در حد فاصل طبقات دارد. یعنی هرچه ابعاد مقطع ستون بزرگتر باشد، نیروی کمانش آن بزرگتر و هر چه ارتفاع آن بلندتر باشد، نیروی کمانش آن کوچکتر است. این موضوع را در خصوص ارتفاع ستون می توان با مقایسه حجم ماسه در شکل ۴-۴ تجربه نمود.

ستون های بلند را ستون های لاغر می نامند. نسبت لاغری ستون به طور تقریبی از تقسیم طول آزاد ستون به $\frac{1}{4}$ بعد حداقل ستون به دست می آید.



شکل ۴-۵- کمانش موضعی ستون

با افزایش نسبت لاغری، ستون لاغرتر شده و ظرفیت باربری فشاری آن کاهش می یابد. یک نیمرخ فولادی ترکیبی از ورق های فولادی نازک می باشد (ورق های بال و جان). این اجزای نازک اگر به عللی تحت تنش های فشاری قرار گیرند کمانه می کنند و در نتیجه قسمتی از نیمرخ، خاصیت باربری خود را از دست می دهد. به این پدیده کمانش موضعی می گویند. (شکل ۴-۵)

۴-۳- مقاطع مناسب برای ستون ها

مقطع مناسب برای ستون ها بصورت قوطی مربع یا مستطیلی می باشد. مقاطع دایره ای و چند ضلعی نیز در سازه کاربرد دارند و عموماً به منظور تأمین ملاحظات معماری استفاده می شوند.

شکل مقطع ستون ها معمولاً به مقدار و وضعیت بار وارد شده نیز بستگی دارد. برای ساختن ستون های فولادی از انواع پروفیل ها و ورق ها استفاده می شود. عموماً ستون ها از لحاظ شکل ظاهری به سه گروه تقسیم می شوند:

۱- نیمرخ نورد شده ۲- ستون مرکب از نیمرخ های نورد شده ۳- ستون ساخته شده از ورق



کمانش موضعی بال ها و جان ستون در پایین ستون طبقه ی اول در گوشه ی ساختمان



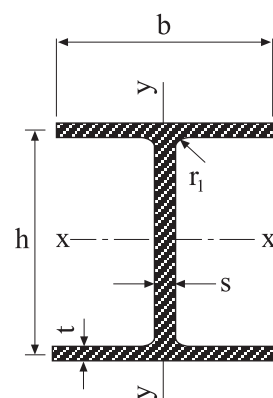
نمونه هایی از کمانش کلی ستون



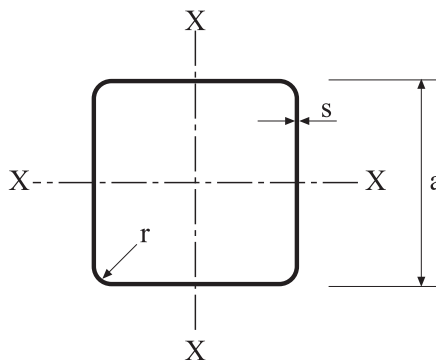
نمونه هایی از کمانش کلی ستون

۴-۳-۱- نیمرخ نورد شده

بهترین پروفیل نورد شده برای ستون، تیر آهن بال پهن (IPB) یا قوطی مربع شکل است (شکل ۴-۶)، زیرا از نظر مقاومت بهتر از مقاطع دیگر عمل می‌کند، علاوه بر این در اکثر شرایط اجرایی، اتصال تیرها به راحتی روی آنها انجام می‌شود.



الف- ستون با مقطع نیمرخ نورد شده تیر آهن بال پهن (IPB)



ب- ستون با مقطع قوطی شکل
شکل ۴-۶- مقطع تیر آهن بال پهن و قوطی شکل در ستون‌ها

۴-۳-۲- مقاطع مرکب

ترکیبی از نیمرخ‌های نورد شده و ورق را مقطع مرکب می‌گویند که تعدادی از انواع آن در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. ستون‌های مرکب از ترکیب دو و یا چند نیمرخ مثل IPE، ناودانی یا نبشی به کمک ورق‌های سرتاسری و ممتد و یا تسمه‌های موازی یا مورب ساخته می‌شوند.



ستون با مقطع مرکب تیر آهن IPE



مقطع مرکب

شکل ۴-۷- ستون با مقطع مرکب

بیش‌تر بدانیم



علل تفریب: کمانش ستون - عدم جوشکاری صحیح و فاصله زیاد تسمه‌ها و ...

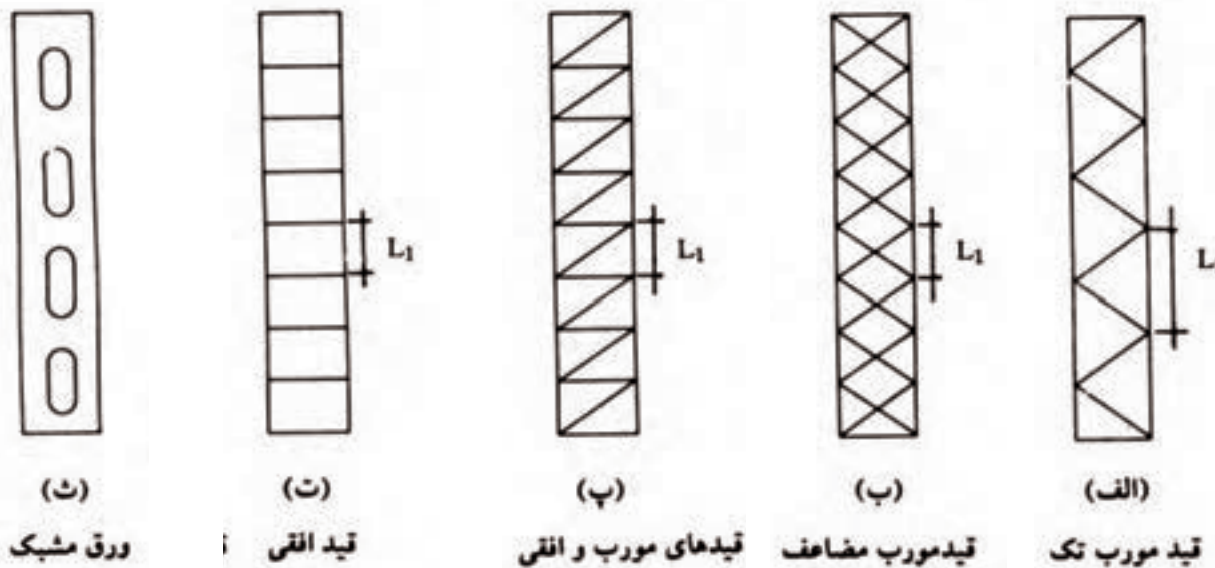
۴-۳-۲-۱- علل استفاده از مقاطع مرکب در ستونها

- ۱- عدم دسترسی به نیمرخ IPB یا قوطی به صورت تولید داخلی
- ۲- افزایش سطح مقطع ستون، در صورتی که نیمرخ‌های نوردشده سطح مقطع لازم را نداشته باشد.
- ۳- اجرای سریع‌تر و آسان‌تر مقاطع مرکب نسبت به ستون‌های ساخته‌شده از ورق.

۴-۳-۲-۲- مقاطع مرکب مشبک

دو راه برای افزایش مقاومت فشاری ستون‌ها وجود دارد: الف) افزایش ضخامت اجزاء مقطع، ب) افزایش ابعاد (طول و عرض) مقطع. در ستون‌های بلند افزایش ضخامت اثر قابل توجهی بر مقاومت فشاری نداشته و باعث سنگینی و غیراقتصادی شدن طرح خواهد شد. در چنین مواردی بهتر است نیمرخ‌ها را با فاصله کافی از یکدیگر قرار داده و آن‌ها را به وسیله ورق یا تسمه (قید) به یکدیگر متصل کنیم، به اینگونه ستون‌ها، ستون مشبک می‌گوییم.

در شکل ۴-۸ انواع مختلف قیدهای اتصالی ستون‌های مشبک نشان داده شده است. شکل الف) قیدهای مورب تک، ب) قیدهای مورب مضاعف، پ) قیدهای مورب و افقی، ت) قیدهای افقی و ث) ورق مشبک نامیده می‌شوند.



شکل ۴-۸- مقاطع مشبک ستون با انواع قیدهای اتصالی

۴-۳-۳- ستون‌های ساخته شده از ورق



شکل ۴-۹- مقاطع سنگین



(الف)



(ب)

در گذشته وقتی طراحان می‌خواستند ستون‌های سنگین طراحی کنند مقاطع بال پهن را به وسیله ورق‌های پوششی که توسط پرچ به آن متصل می‌شدند را تقویت می‌کردند. در سال‌های اخیر پس از متداول شدن جوش همین عمل را به وسیله جوشکاری انجام می‌دهند. اشکال این روش آن است که چون ورق پوششی فقط در دو لبه کناری به ستون جوش می‌گردد، در مقابل نیروی کششی حاصله از بال تیر از خود ضعف نشان داده و به طرف خارج خم برمی‌دارد.

بهترین نوع طراحی در این موارد استفاده از ستون‌های ساخته شده از ورق می‌باشد. این ستونها بدون هیچگونه جوشکاری اضافه، مستقیم‌ترین راه برای ساختن ستون می‌باشند و برای انتقال نیروی کششی بال تیر به ستون هیچگونه اشکالی ایجاد نمی‌کنند.

در شکل ۴-۹ نمونه ای از مقطع سنگین ساخته شده از تیرورق نشان داده شده است. در صورت زیاد بودن بار ستون، برای آن می‌توان مقطع جعبه‌ای طراحی نمود (شکل ۴-۱۰- الف). استفاده از مقاطع صلیبی شکل نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (شکل ۴-۱۰- ب).

شکل ۴-۱۰- مقاطع جعبه‌ای و صلیبی سافت شده از ورق



سافت ستون با مقطع جعبه‌ای در کارخانه

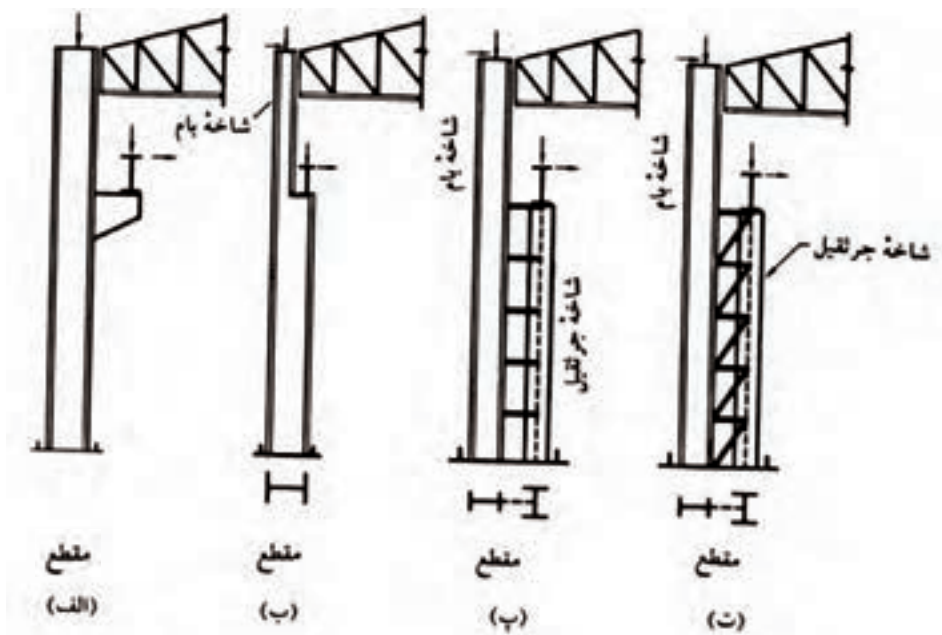


سافت ستون با مقطع صلیبی در کارخانه

شکل ۴-۱۱- سافت ستون از ورق

۴-۴- ستون‌های سالن‌های صنعتی

ستون‌های سالن‌های صنعتی که در آن‌ها جرثقیل‌های سقفی برای حمل و نقل محصولات وجود دارد، اغلب به صورت یکی از انواع معرفی شده در شکل ۴-۱۲ می‌باشد.



شکل ۴-۱۲- ستون‌های سافتمان‌های صنعتی

به استثنای حالت (الف) که مربوط به ستون‌ها با بارهای سبک می‌باشد، در سایر حالات، دو ستون مجزا از یکدیگر داریم که به وسیله ورق جان و یا قیدهای افقی و قیدهای مورب با یکدیگر به صورت مرکب در آمده‌اند. به یکی از این ستون‌ها شاخه بام و به دیگری شاخه جرثقیل می‌گویند.



شکل ۴-۱۳- نمونه‌هایی از ستون‌های سالن‌های صنعتی

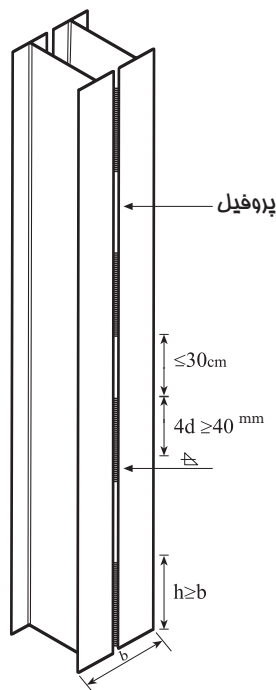
۴-۵- روش‌های ساخت ستون با مقاطع استاندارد مرکب

ستون‌ها ممکن است برحسب نیاز از اتصال انواع پروفیل‌های مختلف ساخته شوند که رایج‌ترین آن‌ها عبارتند از:

(الف) اتصال دو پروفیل به یکدیگر به طریقه جفت کردن

(ب) اتصال دو پروفیل با یک ورق سراسری روی بال‌ها

(پ) اتصال دو پروفیل با قیدهای موازی و یا مورب (ستون مشبک)



شکل ۴-۱۴- ستون با پروفیل جفت

۴-۵-۱- روش ساخت ستون جفت

ابتدا دو تیر آهن در کنار یکدیگر و بر روی سطح شاسی کار (شکل ۴-۱۵) با خال‌جوش به هم متصل می‌شوند؛ سپس دو سر وسط ستون جوش شده و ستون برگردانده شده و مانند قبل جوش کاری می‌شود. در ادامه قسمت‌های باقیمانده جوش کاری می‌گردد؛ همین کار در سوی دیگر ستون انجام می‌شود.

جوش کاری ادامه می‌یابد تا جوش مورد نیاز ستون تأمین گردد. این شیوه جوش کاری برای جلوگیری از پیچش ستون در اثر حرارت زیاد در حین جوش کاری ممتد می‌باشد. در صورتی که در سرتاسر ستون به جوش کاری نیازی نباشد، حداقل طول جوش‌ها باید به این ترتیب اجرا گردد:

(الف) حداکثر فاصله بین مرکز به مرکز طول جوش‌های منقطع نباید از ۳۰ سانتی متر تجاوز کند.

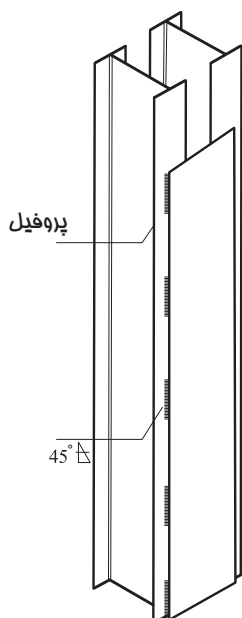
(ب) طول جوش ابتدا و انتهای ستون باید حداقل برابر با بزرگ‌ترین بُعد مقطع ستون باشد و به طور پیوسته انجام گیرد.

(ج) طول موثر هر قطعه از جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش یا حداقل ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد.

(د) فاصله میان لبه بال دو پروفیل نباید از یک درز ۱/۵ میلی‌متری تجاوز کند.



شکل ۴-۱۵- جوشکاری ستون جفت (وی شاسی کار)



۴-۵-۲- روش ساخت ستون دوبل با ورق سراسری

جهت ساخت این ستون‌ها مطابق ستون‌های جفت، ابتدا مونتاژ دو تیرآهن در کنار هم روی یک شاسی مناسب و با رعایت رواداری‌های مجاز انجام شده و سپس ورق‌های سراسری بصورت پوششی که از قبل به روش‌های مناسب برشکاری شده، روی ستون جفت شده نصب و خال جوش می‌شود. اگر جوش ورق اتصال ستون بصورت منقطع باشد، باید بصورت زیر اجرا شود: جهت جلوگیری از پیچش ستون نیز باید ترتیب جوشکاری مطابق بخش ۴-۵-۱ انجام شود.

در ستون‌های جفت با ورق سراسری، فاصله جوش‌های منقطع (غیرممتد) که ورق را به نیمرخ‌ها متصل می‌کند، نباید از ۳۰ سانتی متر بیشتر شود. حداکثر فاصله فوق الذکر در مورد فولاد معمولی ۲۲ برابر ضخامت ورق می‌باشد.

شکل ۴-۱۶- ستون دوبل با ورق تقویتی یکسره



شکل ۴-۱۷

ستون دوبل با ورق تقویتی



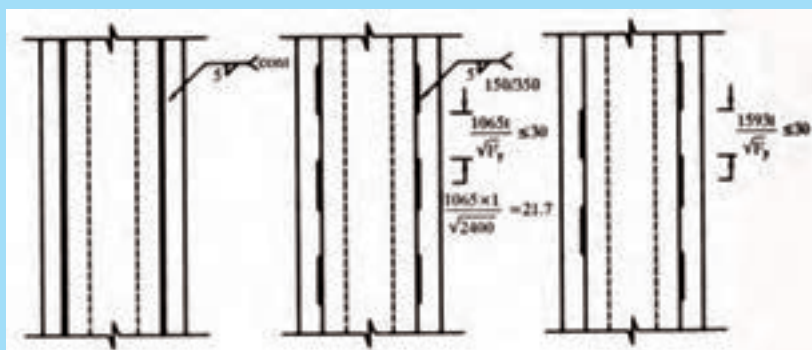
بیشتر بدانیم



علل تفریب: عدم جوشکاری صمیم - عدم اتصال صمیم دیوارها به ستون‌های فلزی و حذف مهاربندها

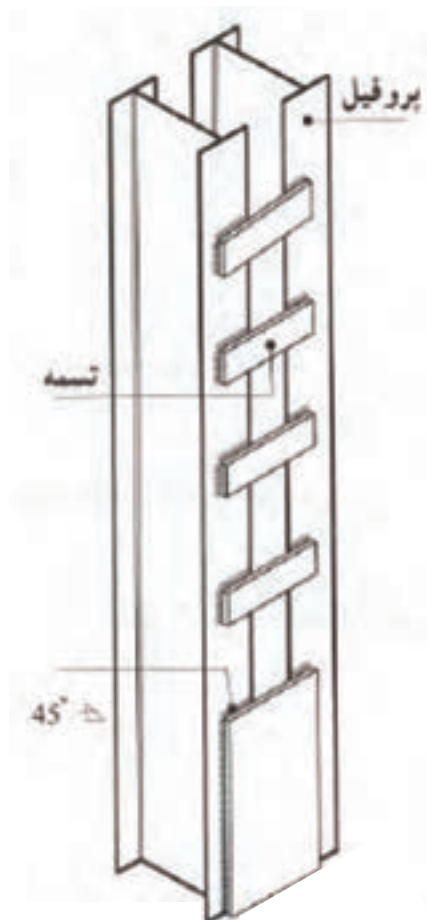


برای جوش ورق تقویتی می‌توان از یکی از سه طرح شکل زیر استفاده نمود.



جوش منقطع یک‌درمیان جوش منقطع موازی جوش سرتاسری (ممتد)
شکل ۴-۱۶- انواع جوش ورق (روی نیم‌رخ‌ها)

شکل ۴-۱۸- مقطع مرکب سه‌تایی با ورق تقویتی



۴-۵-۳- روش ساخت ستون مرکب با بست‌های موازی یا مورب (ستون دابل پاباز)

متداول‌ترین نوع ستون در ایران ستون‌های مرکبی است که دو تیرآهن در کنار هم قرار گرفته و قیدهای افقی یا چپ و راست، این نیم‌رخ‌ها را به هم متصل می‌کند. البته بست‌های چپ و راست که شکل‌های مثلی را به وجود می‌آورند، دارای مقاومت بهتری نسبت به بست‌های موازی می‌باشند. در مورد اینگونه ستون‌ها، به ویژه ستون با بست موازی نکات زیر را رعایت کرد (شکل ۴-۱۸ و ۴-۱۹):

الف) حداقل ابعاد بست یا تسمه افقی ستون باید به این صورت باشد:

شکل ۴-۱۹- ستون مشبک با قیدهای موازی

L: طول وصله حداقل معادل فاصله مرکز تا مرکز دو نیمرخ باشد.

b: عرض تسمه از ۵۰ درصد طول آن کمتر نباشد.

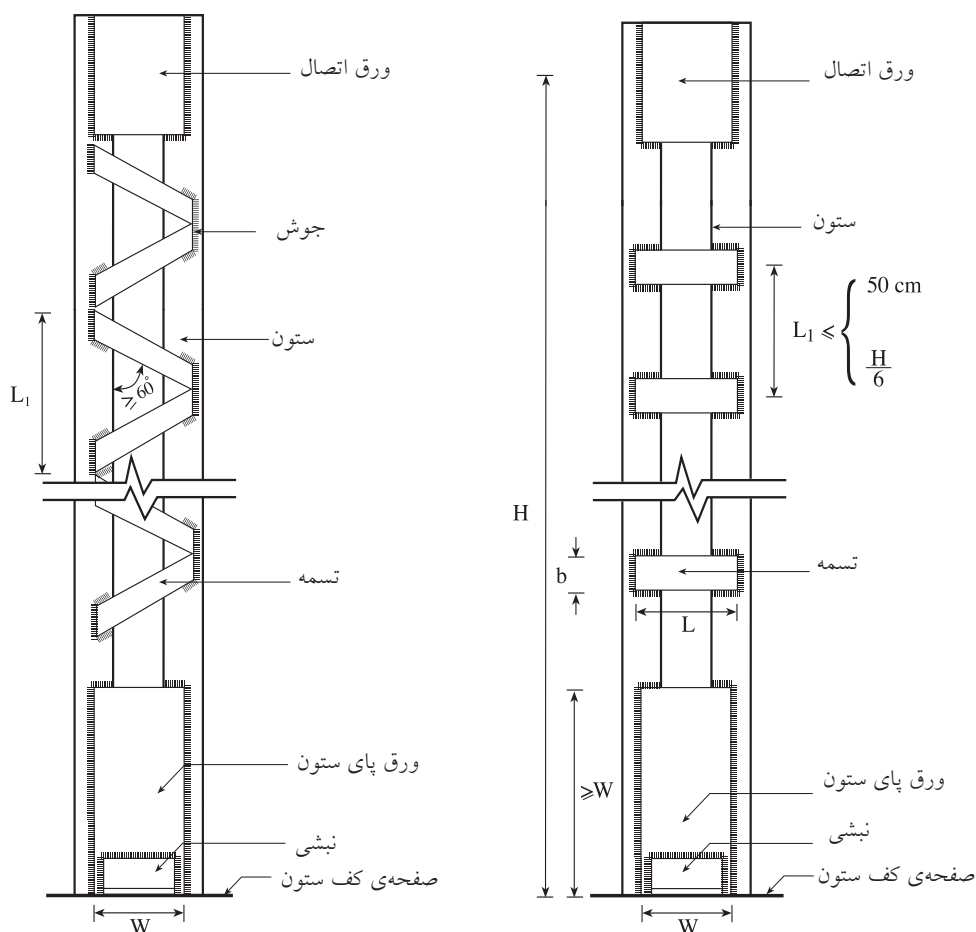
t: ضخامت تسمه از $\frac{1}{4}$ طول آن کمتر نباشد.

ب) در اطراف کلیه تسمه‌ها و در سطح تماس با بال نیمرخ‌ها، عمل جوشکاری انجام شود (مجموع طول خط جوش در هر طرف صفحه نباید از طول صفحه کمتر شود).

ج) فاصله قیدها و ابعاد آن براساس محاسبات فنی تعیین می‌شود.

د) در قسمت انتهایی ستون، باید حتماً از ورق‌هایی با طول حداقل برابر با عرض ستون استفاده کرد تا علاوه بر تقویت پایه، محل مناسبی برای اتصال سایر اعضاء به ستون به وجود آید.

ه) در محل اتصال تیر به ستون لازم است قبلاً ورق تقویتی به ابعاد کافی روی بال‌های ستون جوش شده باشد.



ب - ستون مشبک با بست مورب

الف - ستون مشبک با بست موازی

شکل ۴-۲۰- جزئیات ستون مشبک با بست موازی و مورب



شکل ۴-۲۱- اتصال تیر به
ستون دابل پا باز



شکل ۴-۲۲- نصب مملقات ستون روی شاسی‌های مونتاژ

بیش‌تر بدانیم



۴-۵-۴- جزئیات ساخت ستون در محل اتصال خمشی تیر به ستون

در اتصالات خمشی یا گیردار در محل اتصال تیر به ستون از یک ورق میانی بین ورق‌های تقویتی روی بال ستون استفاده می‌شود. در مرحله ساخت ستون، پس از مونتاژ دو تیر آهن در فاصله مورد نظر و خال‌جوش کردن قیدها یا ورق پوششی سراسری روی بال ستون، در محل تراز سقف‌ها از یک ورق میانی بین دو ورق وصله روی بال ستون استفاده می‌شود. همچنین در جان ستون نیز قبل از نصب ورق وصله در امتداد بال شاه‌تیرها، دو ورق سخت‌کننده مونتاژ و جوش می‌شود. (شکل ۴-۲۳)



شکل ۴-۲۳- جزئیات ورق اتصال در قاب‌های فمشی

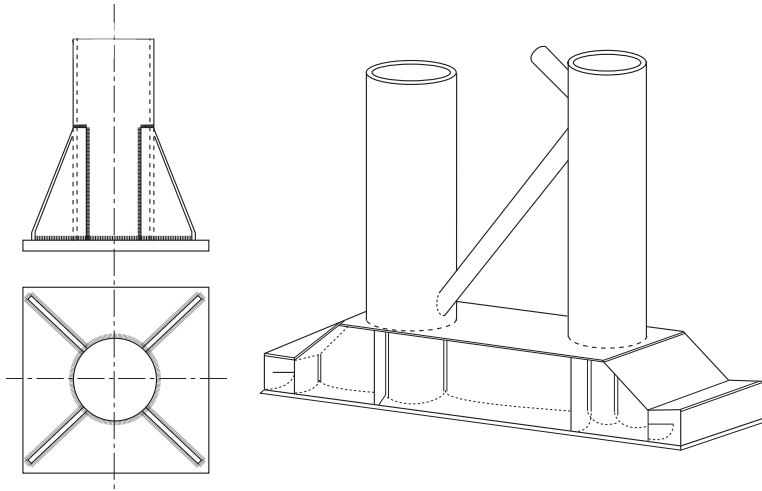
بیش‌تر بدانیم



ستون با مقطع مرکب سه تایی در محل اتصال فمشی و ورق تقویتی روی بال آن

۴-۶- ستون‌های با مقطع دایره‌ای

معمولاً مقاطع لوله‌ای (دایره‌ای) از قطر ۵ تا ۳۰ سانتیمتر برای ستون‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد لوله بیشتر در پایه‌های بعضی منابع هوایی، دکل‌های مختلف و خریاسازی‌های سبک است. این مقاطع به طور کلی مقاوم‌ترند، برای اینکه ممان اینرسی آن‌ها در تمام جهات یکسان است. با تغییر ضخامت مقاطع لوله‌ای می‌توان اینرسی‌های مختلف را به دست آورد. (شکل ۴-۲۴)



اتصال پایه ستون لوله‌ای با بدنه‌ی دو لوله



اتصال ستون لوله‌ای به صفحه ستون



ستون با مقطع دایره در یک سازه صنعتی در جزیره فارک



شکل ۴-۲۴- ستون‌های با مقطع دایره‌ای

بیشتر بدانیم



اتصال ستون لوله‌ای
به صفحه ستون



۴-۷- نصب ستون روی صفحه ستون

در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب ستون بر روی صفحه ستون وجود دارد:

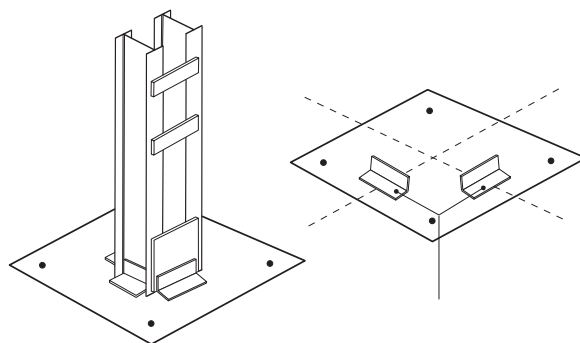
۴-۷-۱- روش سنتی

همان‌طور که در بخش ۳-۹ بیان شد. ورق صفحه ستون به صورت جدا از ستون همراه با پیچ مهاري بر روی شالوده مستقر می‌گردد.

هنگام محاسبه ابعاد صفحه ستون‌ها باید حداقل فاصله میله‌مهاري از لبه کف ستون و محل جاگذاری نبشی با ضخامت جوش لازم برای نگه داشتن ستون، همچنین ضخامت ورق‌های ستون و ابعاد ستون را با دقت بررسی کرد؛ سپس با توجه به موارد یاد شده، به نصب نبشی و استقرار ستون به این صورت اقدام نمود. بر روی صفحه ستون محل ستون و محل آکس آن را کنترل می‌کنیم؛ سپس نبشی‌هایی به صورت عمود بر هم بر روی صفحه ستون جوش داده، آنگاه ستون را مستقر و اقدام به نصب دیگر نبشی‌های لازم کرده و آن‌ها را به صفحه ستون جوش می‌دهیم. از مزایای عمود بر هم بودن دو نبشی روی صفحه ستون علاوه بر سرعت عمل و استقرار بهتر به علت تماس مستقیم به بال



الف - آماده‌سازی و تمیزکاری صفحه ستون قبل از نصب ستون (تراز کردن صفحه ستون، هواگیری و گروت ریزی، فکاشی و تعیین فک آکس، جوشکاری نبشی‌های نصب و تمیزکاری صفحه ستون)



ب - تنظیم پای ستون نسبت به فک ممور و شاقول کردن آن

دقت کنید!

در تصاویر، استفاده از کفش و کلاه ایمنی فراموش شده است. به نظر شما عواقب آن چیست؟

شکل ۴-۲۵- نصب ستون (روی صفحه ستون در روش سنتی)



شکل ۴-۲۶- جوشکاری کامل پای
ستون و مملقات آن

نبشی، اتصال جوشکاری به گونه‌ای درست‌تر و اصولی صورت می‌گیرد (شکل‌های ۴-۲۵ و ۴-۲۶). روشن است که قبل از جوشکاری باید ستون‌ها را هم محور و قائم نموده و عمود بودن در دو جهت کنترل گردد. پس از نصب ستون‌ها با توجه به ارتفاع ستون و آزاد بودن سرستون، ممکن است تا زمان نصب تیرها، ستون‌ها در اثر شدت باد و وزن خود حرکت‌هایی داشته باشند که احتمالاً تأثیر نامطلوب و ایجاد ضعف در جوشکاری و اتصالات کف ستون‌ها خواهد داشت. به این سبب، باید پس از نصب، فوراً به مهاربندی موقت ستون‌ها به وسیله میلگرد یا نبشی به صورت ضربدری اقدام کرد.

۴-۷-۲- روش صنعتی

در این روش صفحه ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می‌شود که در بخش ۳-۹ به آن اشاره شد. (شکل ۴-۲۷)



ب - پدگذاری



الف- سافت ستون با صفحه ستون در کارخانه



ت- پای ستون پس از سافت، نصب و گروت‌ریزی



پ - نصب ستون و قالب بندی جهت گروت‌ریزی

شکل ۴-۲۷- نصب ستون بر روی صفحه ستون در روش صنعتی

۴-۷-۳- رواداری نصب ستون

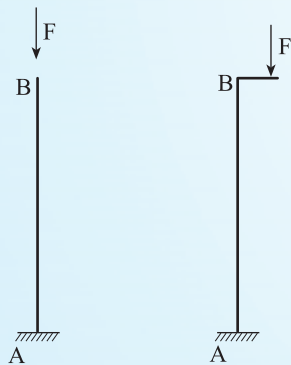
حداکثر میزان جابجایی مجاز محور ستون از محل فرضی، مساوی ۶ میلی‌متر می‌باشد.
حداکثر ناشاقولی مجاز ستون‌ها، به ازای هر طبقه مساوی ۱ ارتفاع و حداکثر ۲۵ میلی‌متر به سمت نما و ۵۰ میلی‌متر به سمت داخل ساختمان می‌باشد.
۵۰۰

به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

فعالیت‌های عملی:

۱ - یک خط‌کش پلاستیکی را از دو طرف بفشارید، مشاهده می‌کنید خط‌کش بدون آن که بشکند به حالت خمیده درمی‌آید. این پدیده در اثر چیست؟ آیا ممکن است حالت ناپایدار و از دست دادن باربری در خط‌کش نیز ایجاد شود؟ در چه زمانی؟ توضیح دهید.

۲ - میله‌ای را در دو حالت زیر قرار دهید:



حالت اول: نقطه A از میله را روی صفحه‌ای که در بتن قرار دارد جوش دهید و نقطه‌ی B را آزاد بگذارید. سپس نیرویی عمودی به نقطه‌ی B وارد کنید.

حالت دوم: به نقطه B از میله‌ی مورد نظر، میله‌ی کوتاهی جوش دهید.

حال به انتهای میله‌ی جدید نیرویی وارد کنید، وضعیت میله را در دو حالت اول و دوم با هم مقایسه کنید. کدام یک از نظر باربری بهتر است؟ چرا؟

۳ - یک نوار کاغذی (مقوایی) در دست بگیرید و آن را

در معرض وزش باد (مثلاً باد پنکه) قرار دهید، ملاحظه

می‌کنید کاغذ مطابق شکل زیر خم می‌شود:

در بدنه خارجی کاغذ، نیرو به چه صورت به وجود می‌آید (کششی یا فشاری)؟

در بدنه داخلی چطور؟ آیا ستون‌ها ممکن است حالتی

شبه به این کاغذ پیدا کنند؟ در چه هنگام؟

۴- دو میله را در نظر بگیرید که یکی کاملاً شاقول و دیگری دارای انحراف است؛ حال هر دو را تحت فشار قرار

دهید. کدام یک زودتر قابلیت باربری خود را از دست می‌دهد؟ چرا؟

۵ - به نظر شما نقش ستون در ساختمان‌های فولادی مهم‌تر است یا تیرآهن‌های سقف؟ دلایل خود را ذکر کنید.

۶- به یک اسکلت ساختمان فولادی نگاه کنید و وضعیت اجرایی ستون‌ها را به کمک دبیر خود بررسی کنید و نتیجه را گزارش نمایید.

۷- علل استفاده از مقاطع مرکب در ستون‌ها را توضیح دهید و انواع روش‌های ساخت ستون‌های مرکب را بیان کنید؟