جمهوری اسلامی ایران

ضوابط طرح و محاسبه
ساختمان‌های صنعتی فولادی

نشریه شماره ۳۲۵

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها
و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
http://tec.mporg.ir

وزارت مسکن و شهرسازی
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
http://www.bhrc.ac.ir

۱۳۸۵

ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

رئیس سازمان

بسمه‌تعالی

به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره :	۱۰۰/۶۳۹۵۱
	تاریخ :	۱۳۸۵/۴/۱۹

موضوع: ضوابط طرح و محاسبه ساختمان‌های صنعتی فولادی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت۱۴۸۹۸هـ ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران، به پیوست نشریه شماره ۳۲۵ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «**ضوابط طرح و محاسبه ساختمان‌های صنعتی فولادی**» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود؛ تا از تاریخ ۱۳۸۵/۹/۱ به اجرا درآید.

رعایت کامل مفاد این نشریه از سوی دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح های عمرانی الزامی است، ولی در یک دوره گذر دو ساله تا ۱۳۸۷/۹/۱ استفاده از دیگر آیین‌نامه‌های معتبر نیز مجاز خواهد بود. در این دوره‌گذر، لازم است تا عوامل یاد شده نسخه‌ای از آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها و یا روش‌های جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ارسال دارند.

فرهاد رهبر

معاون رئیس جمهور و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
صندوق پستی ۴۵۴۸۱- ۱۹۹۱۷ **http://tec.mporg.ir**

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه، طراحی و اجرای طرحهای تملک دارایی سرمایه‌ای به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها و ارتقای کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) از اهمیت ویژه برخوردار است. از این‌رو نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح را مورد تأکید قرار داده است.

بنابر مفاد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و معیارهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقات دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش ساختمان و مسکن، ضمن هماهنگی با دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، عهده‌دار این مهم باشد.

در سال ۱۳۸۳، به منظور هدایت، راهبری و برنامه‌ریزی امور مرتبط با تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش ساختمان و مسکن، کمیته راهبری متشکل از نمایندگان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور عمران شهری و روستایی و دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تشکیل گردید. این کمیته با تشکیل جلسات منظم نسبت به هدایت و راهبری پروژه‌های جدید و جاری، در مراحل مختلف تعریف و تصویب پروژه‌ها، انجام، نظارت و

آماده‌سازی نهایی و ابلاغ آنها، اقدامهای لازم را انجام داده است. یکی از پروژه‌های حاصل از این فرآیند نشریه حاضر می‌باشد.

این نشریه با عنوان «ضوابط طرح و محاسبه ساختمانهای صنعتی فولادی» شامل دوازده فصل «کلیات»، «بارگذاری»، «طراحی قاب خمشی فولادی»، «انواع جرثقیل‌ها و تکیه‌گاه‌های آنها»، «بارگذاری ناشی از جرثقیل»، «طراحی تیر باربر ریل جرثقیل»، «پوشش سقف و دیوار»، «قاب‌بندی ثانویه برای نگهداری پوشش ساختمان»، «بررسی انواع مهاربندی‌ها»، «طرح بازشوها»، «درزهای انبساط و انقباض و طرح آنها»، و «طرح پی‌ها و کف‌ستونها» می‌باشد.

در پایان از تلاش و جدیت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و کارشناسان مشروح زیر که در تهیه و تدوین این مجموعه همکاری داشته و زحمات فراوانی کشیده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

دکتر طیبه پرهیزکار	مهندس شاپور طاحونی
مهندس بهناز پورسید	مهندس میرمحمود ظفـری
مهندس علی تبـار	مهندس محمدرضا ماجدی
مهندس شاهرخ رامزی	مهندس سیدسهیل مجیدزمانی

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

حبیب امین‌فر
معاون امور فنی
۱۳۸۵

فهرست تفصیلی مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱ طبقه‌بندی ساختمان‌های صنعتی ۳

۱-۲ قاب‌بندی ساختمان‌های صنعتی ۷

۱-۳ فاصله ستون‌ها و دهانه ۱۰

فصل دوم : بارگذاری

۲-۱ کلیات ۱۵

۲-۲ بارهای ثقلی ۱۵

۲-۲-۱ بار مرده ۱۵

۲-۲-۲ بار زنده ۱۵

۲-۲-۲-۱ بار زنده کف‌ها ۱۵

۲-۲-۲-۲ بار زنده بام ۱۹

۲-۲-۲-۲-۱ بار برف ۲۰

۲-۲-۲-۲-۱-۱ بارگذاری نامتقارن ۲۲

۲-۲-۲-۲-۱-۲ نکات دیگری از بارگذاری برف ۲۳

۲-۳ بار باد ۲۷

۲-۴ بار زلزله ۲۷

۲-۵ ترکیب بارها ۲۷

فصل سوم : طراحی قاب خمشی فولادی

۳-۱ برخی نکات عمومی در تحلیل و طراحی قاب‌های اصلی ساختمان صنعتی فولادی ۳۳

۳-۲ طرح ستون‌های قاب اصلی ۳۴
۳-۲-۱ ستون‌های غیرمنشوری ۳۴
۳-۲-۲ ستون‌های پله‌دار تکیه‌گاه جرثقیل ۴۷
۳-۲-۲-۱ طول موثر ستون‌های پله‌دار ۴۹
۳-۲-۲-۲ روش طراحی ستون‌های پله‌دار ۶۳
۳-۳ طراحی تیرهای قاب اصلی ۶۶
۳-۳-۱ تنش‌های خمشی مجاز ۶۶
۳-۳-۱-۱ تنش مجاز خمشی در نیمرخ I ۶۶
۳-۳-۱-۲ مقاطع فشرده و غیرفشرده فاقد شرط تکیه‌گاه جانبی ۶۶
۳-۳-۱-۳ تنش مجاز خمشی نسبت به محور ضعیف ۶۹
۳-۳-۱-۳-۱ اعضای با مقطع فشرده ۶۹
۳-۳-۱-۳-۲ اعضای با مقطع غیرفشرده ۶۹
۳-۳-۲ تنش‌های برشی ۷۰
۳-۳-۲-۱ قطعات تقویتی عرضی(سخت‌کننده‌های عرضی- پشت‌بندها) ۷۲
۳-۳-۳ طراحی تیر ورق‌ها ۷۳
۳-۳-۳-۱ تعیین ابعاد مقطع ۷۵
۳-۳-۳-۲ فرمول سطح بال ۷۶
۳-۳-۳-۳ ارتفاع مناسب تیر ورق ۷۷
۳-۳-۳-۴ کنترل کمانش قائم ورق جان بر اثر تنش فشاری(کمانش قائم بال فشاری) ۷۸
۳-۳-۳-۵ قطعات تقویتی عرضی ۸۰
۳-۳-۳-۶ تنش برشی مجاز با توجه به میدان کشش ۸۳
۳-۳-۳-۷ کنترل اثر مشترک برش و کشش ۸۴
۳-۳-۳-۸ مقررات مربوط به سخت‌کننده‌های عرضی سختی ۸۵
۳-۳-۳-۹ اتصال به جان ۸۶

۳-۳-۳-۱۰ نسبت عرض به ضخامت ۸۶
۳-۳-۳-۱۱ اتصال به بال‌ها ۸۷

فصل چهارم : انواع جرثقیل‌ها و تکیه‌گاه‌های آنها

۴-۱ انواع جرثقیل‌ها ۹۱
۴-۱-۱ جرثقیل‌های متکی بر بال فوقانی شاه‌تیر(بالانشین) ۹۲
۴-۱-۲ جرثقیل‌های آویزان ۹۴
۴-۱-۳ جرثقیل‌های آویزان تک ریل ۹۵
۴-۱-۴ جرثقیل‌های بازویی ۹۶
۴-۱-۴-۱ جرثقیل‌های بازویی مستقر بر کف سالن ۹۷
۴-۱-۴-۲ جرثقیل‌های بازویی نصب شده روی ستون ۹۸
۴-۱-۴-۳ جرثقیل‌های بازویی با ستون‌های اضافی ۹۸
۴-۱-۵ جرثقیل‌های دروازه‌ای تک پایه ۹۹
۴-۱-۶ جرثقیل‌های روی هم چین ۱۰۰
۴-۲ استقرار جرثقیل‌های بالانشین ۱۰۱
۴-۲-۱ اتصالات ریل به تیر باربر ۱۰۱
۴-۲-۱-۱ امکان تنظیم جانبی یا امتداد ریل ۱۰۱
۴-۲-۲ تیرهای باربر ریل ۱۰۳
۴-۲-۳ ستون‌های جرثقیل و دستک‌ها ۱۰۴
۴-۳ جرثقیل‌های آویزان و تک ریل ۱۰۶
۴-۳-۱ تیرهای باربر ریل ۱۰۶
۴-۳-۲ سیستم‌های تعلیق ۱۰۶
۴-۴ مشخصات سیستم‌های جرثقیل ۱۰۸
۴-۵ مشخصات داده‌های جرثقیل ۱۰۸
۴-۶ برپاسازی ۱۰۹

۴-۷ عملکرد و نگهداری ۱۰۹
۴-۸ بارهای جانبی ۱۰۹
۴-۹ ملحقات ریل جرثقیل‌های با باربری سنگین ۱۱۰

فصل پنجم : بارگذاری ناشی از جرثقیل

۵-۱ آیین‌نامه International Building Code 2000 ..... ۱۱۳
۵-۱-۱ نیروی ضربه قائم ۱۱۳
۵-۱-۲ نیروی جانبی ۱۱۳
۵-۱-۳ نیروی طولی ۱۱۴
۵-۲ راهنمای طرح و اجرای ساختمان‌های نورد فولاد AISE Technical Report No.13 ..... ۱۱۴
۵-۲-۱ بار طراحی تیرهای باربر ریل جرثقیل ۱۱۴
۵-۲-۲ ضربه قائم، رانش جانبی و رانش طولی ۱۱۴
۵-۲-۳ ضربه‌گیر انتهای ریل جرثقیل ۱۱۵
۵-۲-۴ ترکیبات بار برای طراحی تیرهای باربر ریل جرثقیل و سازه نگهدارنده آنها ۱۱۶
۵-۲-۵ رده‌بندی ساختمان‌های نورد فولاد ۱۱۷
۵-۳ کتاب راهنمای سیستم‌های ساختمانی کوتاه مرتبه از انجمن سازندگان ساختمان‌های فولادی MBMA آمریکا ۱۱۸
۵-۳-۱ بارگذاری همزمان چندین جرثقیل ۱۱۹
۵-۳-۲ خستگی ناشی از تکرار بار ۱۲۴
۵-۳-۲-۱ تنش‌های مجاز تحت بارگذاری تکراری ۱۲۶
۵-۳-۲-۱-۱ کلیات ۱۲۶
۵-۳-۲-۱-۲ تنش مجاز تحت بارهای تکراری ۱۲۷
۵-۴ استاندارد ایرانی ۱۳۷
۵-۴-۱ بارهای جرثقیل ۱۳۷

فصل ششم : طراحی تیر باربر ریل جرثقیل

۶-۱ بارهای وارده بر تیر و محاسبات ۱۴۱

۶-۱-۱ تکیه‌گاه ساده در قیاس با دهانه‌های ممتد ۱۴۳

۶-۱-۲ مزایای شاه‌تیرها با دهانه‌های ممتد ۱۴۴

۶-۲ تنش‌های داخلی تیر باربر ریل ۱۴۴

۶-۳ ناودانی فوقانی تیر ۱۴۸

۶-۴ مهاربندی بال تیر باربر ریل ۱۴۹

۶-۴-۱ علل اصلی مهاربندی تیرهای جرثقیل ۱۴۹

۶-۵ سخت‌کننده‌های تیر ۱۵۲

۶-۶ تنش‌های موضعی زیر چرخ جرثقیل ۱۵۴

۶-۷ خیز تیر حمال ریل ۱۵۶

۶-۸ پیش‌خیز تیر باربر ۱۵۷

۶-۹ متوقف‌کننده‌های جرثقیل ۱۵۷

۶-۱۰ ورق‌های سرپوش ستون‌ها ۱۵۸

۶-۱۱ مهاربندی K شکل یا زانویی ۱۵۸

فصل هفتم : پوشش سقف و دیوار

۷-۱ کلیات، انواع پوشش‌های سقف ۱۶۱

۷-۱-۱ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های سیمان و پنبه نسوز ۱۶۴

۷-۱-۱-۱ پوشش با ورق‌های موجدار ۱۶۴

۷-۱-۱-۱-۱ همپوشانی در جهت موج ۱۶۴

۷-۱-۱-۱-۲ همپوشانی در راستای عمود بر موج ۱۶۴

۷-۱-۱-۱-۳ برش گوشه‌های ورق‌ها ۱۶۵

۷-۱-۱-۱-۴ جهت نصب ورق ۱۶۵

۷-۱-۱-۱-۵ گیره‌ها و وسایل نصب ۱۶۵

۷-۱-۱-۱-۶ متعلقات مربوط به ورق‌های موجدار ۱۶۶
۷-۱-۱-۲ پوشش با ورق‌های آردواز ۱۶۶
۷-۱-۱-۲-۱ زیرسازی ۱۶۶
۷-۱-۱-۲-۲ همپوشانی ۱۶۷
۷-۱-۱-۲-۳ شیب سقف‌های دارای پوشش آردواز ۱۶۷
۷-۱-۲ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های آلومینیوم ۱۶۷
۷-۱-۳ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های فولادی گالوانیزه ۱۶۸
۷-۱-۳-۱ پوشش با ورق‌های موجدار ۱۶۸
۷-۱-۳-۱-۱ همپوشانی در جهت موج ۱۶۸
۷-۱-۳-۱-۲ همپوشانی در جهت عمود بر موج ۱۶۸
۷-۱-۳-۱-۳ پی گیره‌ها و وسایل نصب ۱۶۹
۷-۱-۳-۱-۴ متعلقات ۱۶۹
۷-۱-۳-۲ پوشش با ورق‌های صاف گالوانیزه ۱۶۹
۷-۱-۴ پوشش با ورق‌های پلاستیکی صاف ۱۶۹
۷-۱-۵ پوشش سقف‌های شیبدار با سایر مصالح ۱۷۰
۷-۲ نورگیر سقف‌ها ۱۷۳
۷-۳ لاپه‌ها ۱۷۴
۷-۳-۱ مهاربند بال فشاری ۱۷۵
۷-۴ پوشش‌های سبک پیش‌ساخته ۱۷۶
۷-۵ دیوارهای بنایی ۱۷۷

فصل هشتم : قاب‌بندی ثانویه برای نگهداری پوشش ساختمان

۸-۱ کلیات ۱۸۱
۸-۲ مقاطع مورد استفاده در لاپه‌های سقف ۱۸۴
۸-۲-۱ مقاطع سرد شکل‌یافته ۱۸۴

۸-۲-۱-۱ مهاربندی لاپه‌های سقف و دیوار ۱۸۶
۸-۲-۲ مقاطع گرم نورد شده ۱۸۸
۸-۲-۳ تیرچه با جان باز ۱۸۹
۸-۲-۴ محورهای اصلی لاپه‌های سقف ۱۸۹
۸-۲-۵ محاسبه لاپه‌ها ۱۹۲
۸-۳ مقاطع مورد استفاده جهت لاپه‌های دیوار ۱۹۶
۸-۳-۱ مقاطع سرد شکل داده شده ۱۹۶
۸-۳-۱-۱ روش‌های استقرار لاپه‌های جانبی دیوار ۱۹۶
۸-۳-۱-۲ انتخاب لاپه‌های قائم و یا لاپه‌های افقی در دیوارها ۱۹۷
۸-۳-۲ لاپه‌های دیوار با مقاطع گرم نورد شده ۲۰۲

فصل نهم : بررسی انواع مهاربندی‌ها

۹-۱ کلیات ۲۰۷
۹-۲ مهاربندی در صفحه افقی ۲۰۷
۹-۲-۱ مهاربندی N شکل ۲۱۲
۹-۲-۲ مهاربندی K شکل ۲۱۲
۹-۲-۳ مهاربندی به وسیله قاب صلب ۲۱۲
۹-۲-۴ دیوار برشی ۲۱۲
۹-۲-۵ مهاربندی لوزی ۲۱۲
۹-۲-۶ مهاربندی ضربدری ۲۱۲
۹-۳ مهاربندی‌های قائم ۲۱۳

فصل دهم : طرح بازشوها

۱۰-۱ کلیات ۲۲۳
۱۰-۲ درهای کشویی ۲۲۳

۱۰-۳ درهای تاشو ۲۲۵
۱۰-۴ سازه نگهدارنده در ۲۲۵
فصل یازدهم : درزهای انبساط و انقباض و طرح آنها
۱۱-۱ کلیات ۲۳۳
۱۱-۲ توصیه‌های AISE در گزارش فنی شماره ۱۳ ..... ۲۳۵
فصل دوازدهم : طرح پی‌ها و کف ستون‌ها
۱۲-۱ پی‌ها ۲۳۹
۱۲-۲ کف ستون‌ها ۲۴۳
۱۲-۲-۱ نکاتی پیرامون طرح و محاسبه کف ستون‌ها و پیچ‌های مهاری آنها ۲۴۸
۱۲-۲-۲ تعیین ابعاد ورق کف ستون و توزیع تنش در زیر آن ۲۴۹
۱۲-۲-۳ انتقال برش به شالوده با استفاده از زبانه ۲۵۰
۱۲-۲-۴ تعیین طول پیچ‌های مهاری ۲۵۱
۱۲-۲-۵ محاسبه ضخامت ورق کف ستون ۲۵۴
۱۲-۲-۶ لچکی‌ها و پشت‌بندها ۲۵۶
۱۲-۲-۷ نمونه‌های اجرا شده ۲۵۷
نتیجه گیری ۲۶۲
فهرست منابع ۲۶۳

۱

کلیات

۱-۱ طبقه‌بندی ساختمان‌های صنعتی

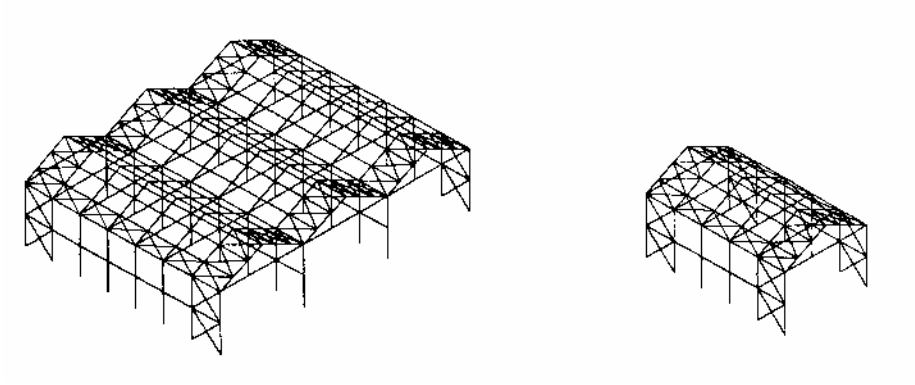
در این نشریه، به طرح و محاسبه ساختمانهای صنعتی فولادی پرداخته می‌شود. ساختمانهای صنعتی دارای انواع گوناگونی هستند، اما آنچه در این نشریه موردنظر است، ساختمان‌های یک طبقه بادهانه‌های بزرگ و سقف شیبدار است که می‌توانند دارای جرثقیل‌های سقفی یا دروازه‌ای باشند.

این ساختمانها چنانکه از نامشان بر می‌آید برای کاربری‌های صنعتی و تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی چون ساختمان انبارها، آشیانه‌های هواپیما، سالن‌های ورزش و نظایر آنها وضع تقریباً مشابهی از نظر شکل و سیستم سازه‌ای با ساختمانهای صنعتی دارند، می‌توان ساختمانهای اخیر را نیز در این گروه به حساب آورد. علل تشابه استخوان‌بندی ساختمان‌های صنعتی، خواص مشترکی است که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱. به علت نیاز به فضاهای بزرگ برای بهره‌برداری، غالباً سعی می‌گردد که فاصله ستون‌ها تا حداکثر ممکن افزایش یافته و در نتیجه تعدادشان کم شود.

۲. ساختمانهای صنعتی، اغلب یک یا دو طبقه بوده و ندرتاً در بیش از یک طبقه ساخته می‌شوند. ساختمان‌های یک طبقه نیز به نوبه خود به یک دهانه و چند دهانه تقسیم می‌گردند.

بر اساس AISE رده‌بندی ساختمانهای صنعتی بر اساس تکرار ترکیبات بارهای تعیین شده برای ساختمان‌های مختلف انجام می‌شود [۱۵]. در حقیقت این تکرار و چرخه بار وارده در طول دوره بهره‌برداری ساختمان در نظر گرفته می‌شود. به طور معمول در نظر گرفتن دوره بهره‌برداری ۵۰ ساله مناسب به نظر می‌آید.



(ب) (الف)

شکل ۱-۱ نمای کلی یک ساختمان صنعتی، الف) با یک دهانه، ب) با چند دهانه

رده A:

اعضای سازه‌ای ساختمان‌های این رده، در طول دوره بهره‌برداری ساختمان (زیر اثر بارهای تعیین‌شده) تکراری بین ۵۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰ یا بیشتر از ۲۰۰۰۰۰۰ چرخه بارگذاری را تجربه خواهند کرد. طراح باید با در نظرگرفتن موقعیت هر کدام از این بارها که بیشتر محتمل است، سازه را تحلیل نماید.

رده B:

اعضای سازه‌ای ساختمان‌های این رده، تحت اثر تکراری بالغ بر ۱۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ از بارهای مشخص شده در طول سالهای بهره‌برداری ساختمان می‌باشند.

رده C:

اعضای سازه‌ای ساختمان‌های این رده، تحت اثر تکراری بین ۲۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دوره از بارهای تعیین شده در طول سالهای بهره‌برداری ساختمان می‌باشند.

رD ۵۷:

اعضای سازه‌ای ساختمان‌های این رده تحت اثر تکراری بیش از ۲۰۰۰۰ دوره از بارهای تعیین شده در طول سالهای بهره‌برداری ساختمان می‌باشند.

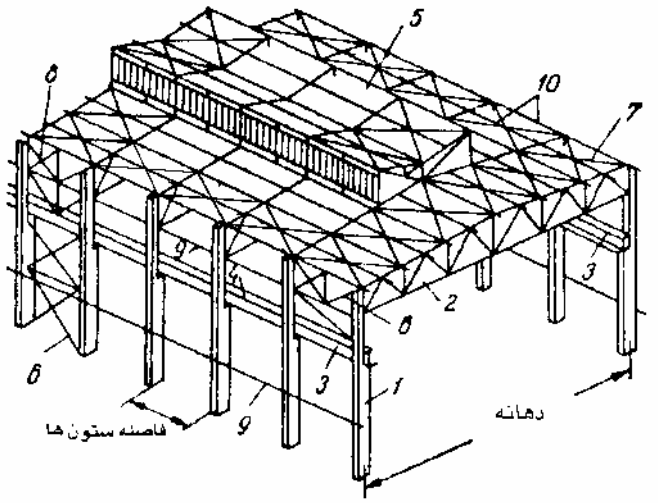
سیستم سقف این ساختمان‌ها شامل سازه باربر، یک پوشش سازه‌ای و عایق رطوبت و حرارت است. سازه باربر سقف شامل تیر یا خرپا در هر قاب است که تکیه‌گاه لاپه‌های پوشش سقف است. در صورت استفاده از دالهای پیش ساخته با ابعاد بزرگ ممکن است نیازی به لاپه‌های باربر پوشش نباشد و این دالها مستقیماً روی تیر یا خرپای اصلی مستقر شوند.

در سقف‌های شیبدار دارای لاپه برای نگهداری لاپه‌ها در برابر مولفه مماس با سقف نیروی ثقل، از میل مهارهایی در وسط دهانه لاپه‌ها استفاده می‌شود. پوشش سقف در این حالت معمولاً از ورق‌های فولادی، سیمانی یا آزبست تشکیل می‌شود. در صورت استفاده از پانل‌های پیش ساخته، می‌توان تعداد لاپه‌ها را کاهش داده یا کاملاً حذف کرد.

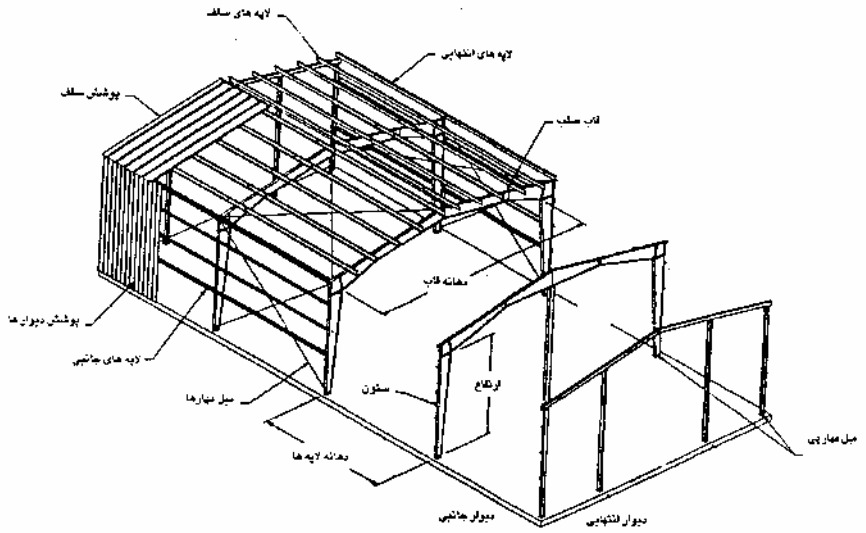
پوشش دیوارهای اطراف ساختمان می‌تواند شامل ورق‌های فولادی، پانل‌های پیش‌ساخته یا دیوار بنّایی باشد. پانل‌های پیش‌ساخته عموماً شامل دو لایه ورق فلزی است که به وسیله یک ماده چسباننده عایق حرارت به یکدیگر متصل شده‌اند. البته امکان استفاده از پانل‌های بتن پیش‌ساخته نیز وجود دارد. دیوارهای بنّایی می‌تواند با استفاده از آجر، بلوک بتنی یا بلوک سفالی ساخته شود. برای نگهداری پوشش جانبی سبک شامل ورق فولادی، از لاپه‌های جانبی که به ستون‌های اصلی متصل می‌شوند، استفاده می‌گردد.

بنابراین، ساختمانهای صنعتی به طور کلی شامل تعدادی قاب‌های بزرگ یک طبقه است که اعضای باربر اصلی آنها، عبارتند از تعدادی خرپاها و یا قاب‌های صلب موازی هم که روی آنها تیرهای لاپه در جهت طولی قرار می‌گیرند و پوشش نهایی روی تیرهای لاپه قرار می‌گیرد. درشکل ۱-۲، قطعات اصلی قاب‌بندی ساختمانهای صنعتی نشان داده شده است.

۱- ستون،
۲- خرپای سقف (خرپای قاب)،
۳- شاه تیر جرثقیل،
۴- تیر مهاربندی،
۵- نورگیر،
۶- مهاربندی قائم بین ستونها،
۷- مهاربندی افقی سقف،
۸- مهاربندی قائم سقف،
۹- قاب‌بندی دیوار،
۱۰- لاپه.



شکل ۱-۲-الف قطعات اصلی قاب‌بندی ساختمان صنعتی دارای خرپای سقف[۲]



شکل ۱-۲-ب قطعات اصلی ساختمان صنعتی با قابهای مسطح عرضی [۱۷]

اکثر ساختمانهای صنعتی دارای تجهیزاتی، مانند جرثقیل‌های متحرک‌اند که می‌تواند به تمام یا بخشی از سطح پلان ساختمان سرویس بدهد. در این نوع ساختمانهای صنعتی، آثار ضربه جرثقیل عامل مهمی است و طرح ساختمان باید تامین‌کننده صلبیت لازم در مقابل نیروهای دینامیکی جرثقیل باشد.

انبساط و انقباض ناشی از تغییرات درجه حرارت محیط اطراف ساختمان باید در طرح آن منظور شود. بسته به ابعاد سازه، این‌گونه آثار حرارتی در جهت طول و عرض سازه می‌توانند ظاهر شوند که معمولاً در طول ساختمان درز انبساط و در عرض ساختمان با لحاظ‌کردن تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در طرح سازه‌ای، با این آثار مقابله می‌شود.

۱-۲ قاب‌بندی ساختمانهای صنعتی

اعضای اصلی باربر ساختمانهای صنعتی فولادی که اغلب تمام بارهای موجود بر روی ساختمان را حمل می‌کنند، قابهای مسطح عرضی متشکل از ستونها و خرپاهای سقف هستند. این قابها معمولاً با فاصله معینی در طول ساختمان، یکی پس از دیگری قرار می‌گیرند. قابهای عرضی، عناصر طولی قاب‌بندی را مانند شاه تیرهای جرثقیل، تیرهای پیرامونی قاب‌بندی دیوار، لاپه‌های سقف و نورگیرها را حمل می‌کنند. قاب‌بندی یک ساختمان باید دارای صلبیت فضایی کافی باشد که ممکن است به وسیله تعبیه مهاربندها یا کش‌ها در جهت‌های عرضی و طولی به دست آید و یا ممکن است به وسیله اتصالات صلب تیر به ستون تأمین گردد.

بارهای وارده به قابهای اصلی، عبارتند از: بار سقف، بار منتقل شده از قاب‌بندی دیوار، بارهای جرثقیل که شامل نیروی قائم چرخ جرثقیل و نیروهای ترمز افقی در جهت طولی و عرضی هستند و همچنین بار ناشی از تغییرات درجه حرارت پیرامون ساختمان.

بارهای اصلی قاب‌بندی دیوار، عبارت است از: وزن دیوار در جهت قائم و بار باد و زلزله در جهت افقی که به وسیله قاب‌بندی تحمل شده و به قابهای اصلی ساختمان منتقل می‌شوند.

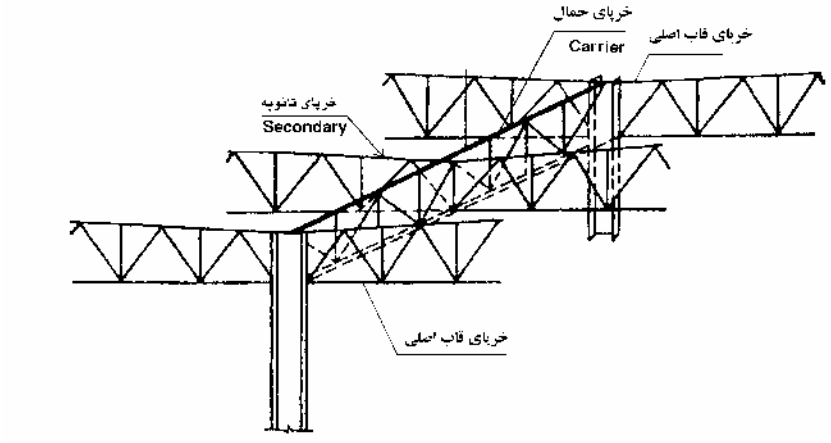
بارهای اصلی سقف ساختمان، شامل بار مرده، بار زنده، بار زلزله و بار باد هستند که در نقاط اتصال سقف به قابهای اصلی ساختمان، به این قابها منتقل می‌شوند. برای تامین صلبیت سازه سقف در برابر

بارهای یادشده، از مهاربندی‌های افقی و قائم در سازه سقف استفاده می‌شود. در صورت تامین صلبیت به وسیله پانل‌های پیش‌ساخته پوشش سقف، از اهمیت مهاربندی‌ها کاسته می‌شود.

برای انتقال نیروی جانبی ترمز جرثقیل به قابهای اصلی، از مهاربندی افقی در تراز تیر حامل ریل جرثقیل و برای انتقال نیروی طولی ناشی از کارکرد جرثقیل به پی‌های سازه، از مهاربندی قائم به علاوه تیرهای طولی مهارکننده قابها استفاده می‌شود.

در برخی موارد لازم است که بنا به اقتضای ویژگی کاربری فضای داخلی ساختمان صنعتی چند دهانه، فاصله ستونها در ردیفهای میانی بیش از فاصله آنها در ردیف‌های کناری ساختمان باشد. در این حالت برای نگهداری خرپاهای سقف از خرپاهای ثانویه که در امتداد ردیف ستون‌های میانی نصب می‌شوند و عملاً جایگزین ستون‌های حذف شده هستند، استفاده می‌شود (شکل ۱-۳).

قاب‌بندی ساختمانهای صنعتی، که به طور اختصار کلیات آن ذکرشد، باید در هماهنگی و تطابق با نیازهای عملکردی ساختمان و کاربری آن طراحی شود. به عنوان پارامترهای اصلی طرح معماری یک ساختمان صنعتی می‌توان از ابعاد مناسب در پلان و ارتفاع که وابسته به حجم مورد نیاز ساختمان و نیز فرآیند جابجایی مواد و کالاها در درون ساختمان است، تامین نور طبیعی و تهویه فضای داخل ساختمان، لزوم و یا عدم لزوم عایق‌شدن ساختمان در برابر تغییرات درجه حرارت محیط، بازشوهای مورد نیاز در دیوارها برای ورود و خروج کالاها و زهکشی مناسب آب باران را نام برد.



شکل ۱-۳ اتکای خرپاهای سقف بر روی خرپاهای ثانویه[۲]

از طرف دیگر، از جنبه نظری بهترین آرایش اعضای سازه‌ای هنگامی به دست می‌آید که نیروهای وارد بر سازه به نحو ایمن به پی ساختمان منتقل شوند و درعین حال، مصرف مصالح سازه‌ای به حداقل ممکن رسیده باشد. باید توجه داشت که رسیدن به سبک‌ترین سازه ممکن می‌تواند با یک نیاز ویژه تولید صنعتی، یعنی طراحی قطعات گونه‌بندی شده تا حدی در تعارض باشد. از آنجا که برای اقتصادی‌شدن تولید قطعات سازه ساختمانهای صنعتی لازم است که تا حد امکان از تنوع بی‌رویه قطعات کاسته شود و تعداد تولیدی از هر نوع قطعه افزایش یابد، بنابراین رسیدن به حداقل وزن سازه‌ای که یک عدد نظری است، غیر ممکن می‌شود. به هر حال، در انتخاب نهایی مقاطع سازه‌ای و همچنین سیستم سازه‌ای مناسب، عوامل مختلفی مانند ایمنی، اقتصاد تولید و اقتصاد نصب دخیل هستند که برآیند تمامی آنها تعیین‌کننده خواهد بود.

از آنجا که وجود جرثقیل در یک ساختمان صنعتی در طرح معماری و سازه ساختمان، آثار زیادی برجا می‌گذارد به نظر می‌رسد که در کلیات طرح، اشاره به این آثار مفید است. با توجه به نیازهای کاربردی ساختمان، از نظر تولید و یا انبارنمودن کالا، دهانه تقریبی جرثقیل در عرض ساختمان مشخص می‌شود. معمولاً برای راحتی کار سعی می‌شود که از نزدیکترین اندازه دهانه جرثقیل موجود در فهرست تولیدات سازندگان جرثقیل استفاده شود تا کمترین زمان و هزینه به امر ساخت جرثقیل اختصاص یابد. بر این اساس، ابعاد سالن صنعتی برای دهانه خرپای سقف و یا دهانه قاب صلب عرضی محاسبه می‌شوند. در این محاسبه باید به لزوم دسترس راننده جرثقیل و یا تعمیرکاران به قطعات متحرک جرثقیل از کنار ریل جرثقیل توجه نمود. معمولاً این دسترس از طریق راهرو طولی در طرفین سالن در تراز ریل جرثقیل تامین می‌شود.

از نظر ارتفاع نیز وجود جرثقیل باعث لزوم رعایت برخی نکات می‌شود، مانند ارتفاع مورد نیاز از کف سالن تا زیر پایین‌ترین نقطهٔ قطعات متحرک جرثقیل و ارتفاع آزاد مورد نیاز از روی ریل جرثقیل تا زیر خرپای سقف. در محاسبه ارتفاع از کف سالن تا زیرخرپای سقف باید به تغییر شکل قائم خرپای سقف تحت بار مرده و زنده توجه نمود.

مسئله مهم دیگر، توجه به نحوه تحمل بارهای جانبی ناشی از ترمز جرثقیل در حین کار است. مقدار

این نیروها در آیین‌نامه‌ها داده شده است و در جای خود معرفی خواهند شد. در مواردی دیده شده است که طراحان سازه، نیروهای افقی ترمز جرثقیل در جهت عمود بر ریل را فقط به یک قاب عرضی ساختمان اثر می‌دهند و از نتایج تحلیل برای طرح ستون‌ها و تیرهای قاب استفاده می‌کنند. حال آنکه باید توجه داشت که به دلیل پیوستگی قابها در جهت طول سازه که ناشی از صلبیت سقف و نیز مهاربندی جانبی تیر حامل ریل جرثقیل می‌باشد، این نیروهای عرضی فقط در یک قاب جذب نمی‌شوند، بلکه چندین قاب مجاور نیز در تحمل این نیروها سهیم هستند. بنابراین لزوم تحلیل سه بعدی سازه واضح است و در صورت چنین تحلیلی، امکان طرح قابهای عرضی سبک‌تر وجود خواهد داشت. اگر تمام نیروها فقط به یک قاب وارد شود، مخصوصاً در ساختمانهای طویل، طرح به شدت غیراقتصادی خواهد شد.

۱-۳ فاصله ستونها و دهانه

اولین گام در طرح پایه‌ای سازه یک ساختمان صنعتی، تعیین پلان ستونگذاری است و بنابراین لازم است که فاصله قابهای عرضی و نیز دهانه قابها مشخص شود. برای امکان رسیدن به بیشترین اعضای تکراری، باید فاصله ستون‌ها ضریبی از مقدار ثابتی که به نام مدول خوانده می شود، باشد. مدول اصلی که در طرح ساختمانهای صنعتی یک طبقه به کار میرود، ۳ تا ۴ متر است. در این رابطه توصیه شده است که دهانه‌های تا ۱۸ متر برای ضریبی از ۳ متر و بلندتر از ۱۸ متر برای ضریبی از ۶ متر طراحی شوند. اندازه دهانه‌ها و فاصله ستونها اساساً به روشها و مراحل تولید کارگاه، فضای لازم برای رفت و آمد جرثقیل‌ها و سایر انواع روشهای حمل کالا بستگی دارد و با افزایش ارتفاع ساختمان، مقدار بهینه دهانه نیز اضافه می‌شود. تجربه نشان داده است که برای ساختمانهای بدون جرثقیل، دهانه و فاصله ستون ۹×۹ متر تا ۱۲×۱۲ متر اقتصادی است. عامل دیگری که در تعیین فاصله ستونها از یکدیگر موثر است، مربوط به اثر باد در دیوارهای سبک جانبی است. در این‌گونه پوشش‌های سبک، عامل اصلی نگهداری پوشش، معمولاً لاپه جانبی است که روی قابهای اصلی تکیه می‌کند. اقتصادی‌ترین دهانه برای لاپه‌های جانبی ۹ متر است. در صورت افزایش دهانه از ۹ متر، نیاز به ستونهای فرعی مقاوم در برابر باد خواهد بود

که هزینه طرح را افزایش می‌دهد.

بنابراین دیده می‌شود که در یک ساختمان بدون جرثقیل، دهانه و فاصله ستون ۹×۹ متر یکی از اقتصادی‌ترین انتخاب‌هاست. این انتخاب، یعنی ۹×۹ متر مخصوصاً برای ساختمانهای طویل و باریک در پلان مناسب است چرا که در چنین ساختمانهایی با پلان مستطیل کشیده، نسبت محیط پلان به سطح پلان عدد بزرگی است و بنابراین مصرف لاپه‌های جانبی در آن زیاد است. پس حداقل شدن وزن لاپه‌های جانبی از طریق انتخاب فاصله مناسب ستونها می‌تواند به اقتصادی‌شدن سازه این‌گونه ساختمانها کمک کند. از طرف دیگر برای ساختمانهای با پلان مربعی که نسبت محیط پلان به مساحت آن کوچکتر می‌شود، اهمیت کاهش مصرف لاپه‌های جانبی کمتر می‌شود و می‌توان از مدول ۱۲×۱۲ متر ضمن حفظ صرفه‌جویی اقتصادی استفاده نمود.

از دیدگاه خاک زیر پی ساختمان، باید گفت که در صورت مناسب بودن خاک و امکان استفاده از پی سطحی، انتخاب مدول پلان ارتباطی به وضع پی‌ها ندارد. اما در صورت ضعف خاک و لزوم استفاده از پی عمیق، با توجه به مخارج احداث این‌گونه پی‌ها، استفاده از مدول بزرگتر، مانند ۱۲×۱۲ متر به علت کاهش تعداد پی‌ها اقتصادی‌تر خواهد بود.

در صورت وجود جرثقیل در ساختمان صنعتی، بررسی جدیدی لازم است. چون ساخت تیر حامل ریل جرثقیل از اقلام پرهزینه ساخت سازه محسوب می‌شود، بهتر است فاصله ستونها کمتر از حالت ساختمان بدون جرثقیل فرض شود. برای جرثقیل‌های سبک تا متوسط، فاصله ستون ۶ تا ۹ متر اقتصادی است. در صورت لزوم استفاده از پی‌های عمیق و نیز وجود جرثقیل‌های سنگین، فواصل ۱۵ تا ۱۸ متر برای قابهای اصلی توصیه می‌شود. در این حالت، استفاده از ستونهای فرعی برای نگهداری لاپه‌های جانبی دیوار ضروری است. کلاً به این نکته توجه داده می‌شود که افزایش فاصله بین ستونها در حالت وجود جرثقیل، باعث افزایش هزینه‌های ساخت تیر ورقهای حامل ریل جرثقیل و نیز مهاربندی جانبی این تیر ورقها می‌شود.

۲

بارگذاری

۲-۱ کلیات

بر اساس اکثر آیین‌نامه‌ها، بارگذاری ساختمانهای صنعتی، شامل بارهای مـرده، زنـده، بـرف، بـاد، زلزلـه، تغییرات درجه حرارت و جرثقیل (در صورت وجود) می‌باشد.

۲-۲ بارهای ثقلی

۲-۲-۱ بارمرده

بار مرده که در طراحی به کار می‌رود، شامل وزن تمام سازه‌های دایمی و اجزای ساختمان، مانند دیوارها، کف‌ها، بام‌ها، حائل‌ها، تمام مصالح و تجهیزاتی است که بـه سـازه متصـل بـوده و بـه وسـیله آن حمـل می‌گردد. وزن تاسیسات و تجهیزات ثابت نیز در ردیف این بارها محسوب می‌شود.

۲-۲-۲ بار زنده

۲-۲-۲-۱ بار زنده کف‌ها

طبق آیین‌نامه ۵۱۹[۱۲] کف کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی و فضاهایی از این قبیل که دارای تجهیـزات یا کاربری‌های خاص می‌باشند باید برای بار زنده متناسب با کاربری خود طراحی شوند. این بارها باید بـا مطالعات خاص تعیین شوند، ولی مقدار آنها در هیچ حالت نباید کمتر از ۴۰۰ دکانیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شود. در صورت عدم دسترس به اطلاعات کافی، این کف‌ها باید حداقل بـرای بارهـای داده شـده طبق بند ۶ جدول ۲-۱ طراحی شوند.

جدول۲-۱ حداقل بارهای زنده گسترده یکنواخت کفها [۱۵]

نوع کاربری کفها	بار گسترده (کیلوگرم بر متر مربع)
۵- ساختمان‌هاي آموزشي – فرهنگي ٦- ساختمانهاي صنعتي کارگاههاي سبك صنعتي کارگاههاي متوسط صنعتي سردخانه‌ها	٦۰۰ ۱۰۰۰ ۵۰۰ به ازاي هر متر ارتفاع مفيد. حداقل ۱۵۰۰
۷- فروشگاه‌ها	

اجزا، خرپاها و تیرها که برای پوشش سالنهای صنعتی، گاراژها، انبارها، ساختمانهایی از این نوع به کار می‌روند باید علاوه بر بارهای زنده وارد برسقف، یک بار متمرکز برابر با ۱۰ کیلونیوتن را به طور موضعی تحمل نمایند. این بار، در خرپاها و در هر گره اختیاری از ضلع پایین خرپا و در تیرها به هر نقطه اختیاری از تیر،که شدیدترین اثر را ایجاد می‌کند وارد می‌شود.

بر اساس نشریه شماره ۱۳ استاندارد AISE برای کارخانه‌های تولید فولاد، بارهای زنده گسترده یکنواخت و متمرکز طبقات و سکوها باید برای هر نوع کاربرد انتخاب شوند. بارهای متمرکز باید در بحرانی‌ترین محل ممکن قرار داده شوند. بارهای متحرک نباید مشمول کاهش سربار شوند. ضمناً لزومی ندارد که بار زنده گسترده یکنواخت را در مناطقی که به وسیله بار متمرکز بارگذاری شده است اعمال نمود.

طبق نظر این نشریه بارهای زنده گسترده یکنواخت نباید از مقادیر حداقل جدول۲-۲ کمتر باشد.[۱۵]

جدول ۲-۲ حداقل بارهای زنده گسترده یکنواخت براساس نشریه شماره ۱۱۳ استاندارد AISE

سازه‌های تولیدی چدن	بار حداقل (کیلوگرم برمترمربع)
کف قسمت ریخته‌گری در ساختمان ریخته‌گری	۲۵۰۰
کفهای مجاور کوره	۵۰۰۰
اتاق کنترل جرثقیل – طبقه اول	۱۰۰۰
بالاترین پلاتفورم کوره بلند	۱۵۰۰

ادامه جدول ۲-۲ حداقل بارهای زنده گسترده یکنواخت براساس نشریه شماره ۱۱۳ استاندارد AISE

سازه‌های تولیدی چدن	بار حداقل (کیلوگرم برمترمربع)
اتاق کنترل جرثقیل – بالکن	۷۵۰
پلاتفورم در تراز قیف بارگیری کوره بلند	۱۲۵۰
پلاتفورمهای دیگر	۷۵۰
کوره کوپولا (ذوب مجدد چدن)	۱۰۰۰
سازه‌های تولید فولاد	
کفهای بارگیری	۲۵۰۰
کفهای بهره‌برداری	۳۰۰۰
کفهای قسمت توزین	۱۰۰۰
کفهای قسمت سیلو	۱۰۰۰
کفهای ریختن فلز مذاب داخل قالب	۱۵۰۰
پلاتفورمهای آماده‌سازی قالبها	۱۵۰۰
سازه‌های ریخته‌گری پیوسته	
کفهای عملیاتی	۱۵۰۰
کفهای پاشیدن فلز	۷۵۰
اتاق ماشین آلات	۱۰۰۰
کفهای برش با قیچی	۱۰۰۰
کفهای انبار قالبها و تعمیرات	۱۵۰۰
سازه‌های نورد فولاد	
کفهای موتورخانه، سقف مخازن روغن و غیره	۵۰۰۰
سازه‌های حمل مصالح و پالایش سنگ آهن	
سازه‌های کلوخه‌سازی و گندله‌سازی	
کفهای عملیات	۱۰۰۰
اتاق ماشین‌آلات	۵۰۰
اتاق سرند	۳۷۵
اتاق تجهیزات تسمه نقاله	۳۷۵
راهروهای تسمه نقاله (برای عبورافراد)	۲۵۰
راهروهای تسمه نقاله (برای طراحی پلها)	۱۲۵

ادامه جدول ۲-۲ حداقل بارهای زنده گسترده یکنواخت براساس نشریه شماره ۱۱۳ استاندارد AISE

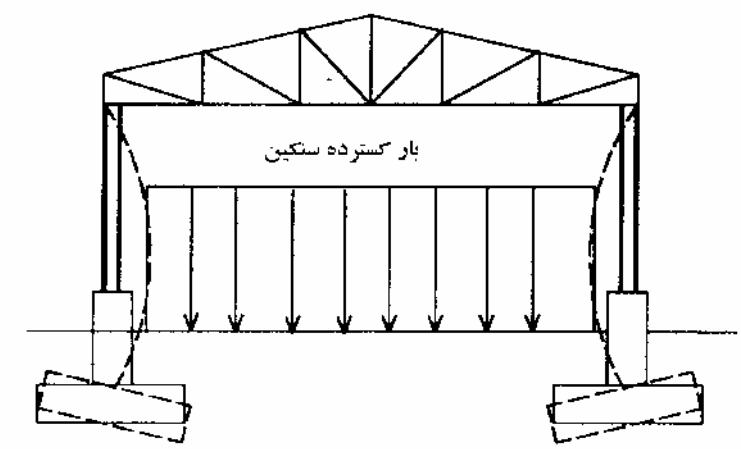
سازه‌های تولیدی چدن	بار حداقل (کیلوگرم برمترمربع)
متفرقه	
کفهای عملیاتی بویلرها	۱۲۵۰
محلهای عبور متفرقه – پلاتفورمهای دسترس و راه‌پله‌ها	۳۷۵
راهروهای باریک	۲۰۰
پلاتفورمهای خروج از جرثقیل	۵۰۰
پلاتفورمهای تعمیرات جرثقیل	۵۰۰

بارهای گسترده یکنواخت کف‌ها که برای محاسبه بار ستون‌ها به کار می‌رود نباید از مقادیر فوق کمتر باشد، مگر آنکه توسط کارفرما اعداد دیگری مشخص شده باشد. برای بارهای گسترده ۵۰۰ کیلوگرم برمترمربع یا کمتر هیچگونه ضریب کاهش نباید مورد استفاده قرار گیرد و ضریب کاهشی که بارگذاری را بیش از ۰/۶ کل بار زنده گسترده یکنواخت کاهش دهد نباید مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس نشریه MBMA بار زنده کف‌ها برای سازه‌های مختلف با کاربری مختلف، براساس مقادیر مشخص شده در جدول ۲-۳ در نظر گرفته می‌شوند [۱۶].

جدول ۲-۳ بار زنده کف‌ها براساس نشریه MBMA

کاربری	بارگسترده (kg/m^2)	بار متمرکز (kg)
ساختمان صنعتی سبک	۶۱۰	۹۱۰
ساختمان صنعتی سنگین	۱۲۲۰	۹۱۰



شکل ۲-۱ بارگذاری گسترده سنگین

در سالن‌هایی که احتمال انبارکردن بارهای سنگین، مانند شمش‌های فولادی وجود دارد، لازم است که در طراحی پی‌ها و سازه فوقانی، به احتمال چرخش و نشست غیر همسان پی‌ها و اثر آن در سازه اصلی توجه شود (شکل ۲-۱). به عنوان مثال اگر شمش‌های فولادی تا ارتفاع ۴ متر روی یکدیگر انباشته شوند، باری معادل ۳۰ t/m2 بر کف سالن وارد می‌شود که می‌تواند تاثیر اساسی بر عملکرد سازه داشته باشد.

۲-۲-۲-۲ بار زنده بام

بر اساس نشریه شماره ۱۳ استاندارد AISE، سقف‌ها باید قادر باشند که بار زنده گسترده یکنواختی را به مقدار حداقل ۱۰۰ کیلوگرم برمترمربع (۲۰ Psf) در تمام تصویر افقی سطحشان تحمل نمایند. هنگامی که به علت موقعیت محلی خاص مقدار باربرف بیش از این رقم است، مقدار بزرگتر را باید به عنوان بار زنده مورد استفاده قرار داد.

چنانچه به علت شکل هندسی خاص سقف و وزش باد و یا جاری شدن برف، امکان انباشته شدن توده‌های برف در نقاطی از سقف موجود باشد، اثر ناشی از این وضع را باید به نحو مناسب در محاسبات منظور نمود. هم چنین در سقف‌هایی که به علت آفتاب‌گیربودن یک طرف و وزش باد، برف قسمت‌هایی

از پوشش ذوب گردد و بارگذاری نامتقارن به وجود آید باید اثر چنین بارگذاری را نیز در محاسبات منظور نمود.

بر اساس نشریه MBMA، سقف‌های مسطح، قوسی و یا شیب‌دار باید بر اساس بارهای زنده طبق مشخصات جدول ۲-۴ و یا باربرف (هر کدام از این دو که اثر بیشتری بر سازه وارد می‌نمایند)، طراحی گردند.

جدول ۲-۴ بار زنده وارد بر سقف‌های سطح، قوسی و یا شیب‌دار

شیب سقف	سطح بارگیر هر عضو سازه‌ای (A_t) بر حسب مترمربع		
F:12	$19 \le A_t$	$19<A_t<56$	$56 \ge A_t$
$4 \le F$	98	$20(1.2-0.011A_t)$	59
$4<F<12$	$98(1.2-0.005F)$	$59 \le 98(1.2-0.011A_t)(1.2-0.005F)$	59
$12 \ge F$	59	59	59

کلیه نیروها بر حسب کیلو گرم بر متر مربع است.

بار زنده بر اساس آیین‌نامه ۵۱۹ ایران به شرح زیراست: [۱۲]

۲-۲-۲-۲-۱ باربرف

تعریف: باربرف، وزن لایه برفی است که بر اساس آمار موجود درمنطقه احتمال تجاوز از آن در سال کمتر از ۲ درصد (دوره بازگشت ۵۰ سال) باشد.

باربرف مبنا:

باربرف مبنا، Ps را در مناطق مختلف کشور باید با توجه به تقسیم‌بندی مشخص شده در شکل پیوست (۱) حداقل برابر با مقادیر زیر در نظر گرفت. این بار را می‌توان با مطالعات دقیق‌تر آماری برای منطقه موردنظر نیز تعیین نمود. ولی مقدار آن درهر حالت نباید کمتر از ۸۰ درصد مقادیر زیر در نظر گرفته شود.

بخش ۱- مناطق گرمسیر	۲۵ دکانیوتن بر مترمربع
بخش ۲- مناطق معتدل	۱۰۰دکانیوتن بر مترمربع
بخش ۳ – مناطق سردسیر	۱۵۰دکانیوتن بر مترمربع
بخش ۴- مناطق برفگیر و کوهستانی	۲۰۰دکانیوتن بر مترمربع

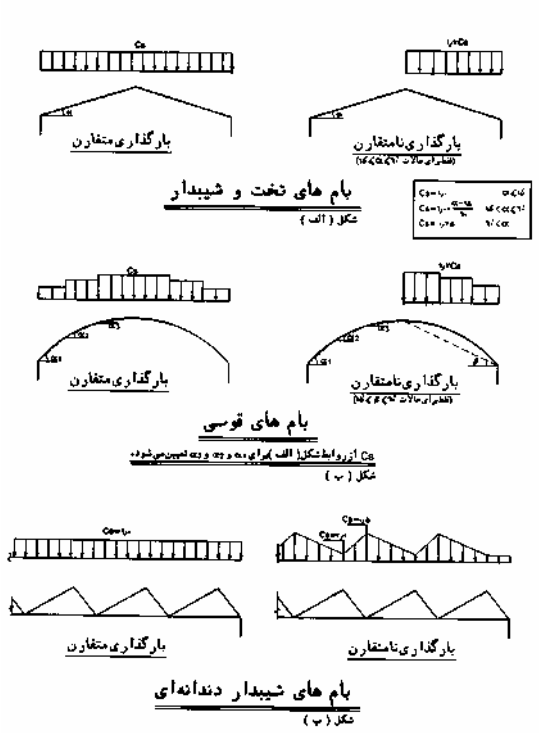
باربرف بر روی بامها، P_r را باید با توجه به زاویه شیب بام، برای هرمتر مربع تصویر افقی سطح آن، از رابطه زیر تعیین نمود.

$$P_r=C_s.P_s$$

در این رابطه

P_s: باربرف مبنا، (مطابق توضیحات قبل).

C_s: ضریبی است به نام «ضریب اثر شیب» که برای بامهای مسطح و شیبدار، بامهای شیبدار دندانه‌ای و بامهای قوسی بر اساس ضوابط زیر تعیین می‌گردد. مقدار این ضریب در حالت‌های مختلف، درشکل (۲-۲) نمایش داده شده است.



شکل ۲-۲ ضریب Cs برای بار برف روی بام‌های مختلف [۱۲]

مقدار P_s در هر حالت نباید کمتر از ۲۵ دکانیوتن برمترمربع در نظر گرفته شود. در تعیین باربرف بر روی بامها رعایت ضوابط بارگذاری نامتقارن نیز الزامی است.

ضریب اثر شیب، C_s برای بامهای مسطح و شیبدار به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف) در بامهای مسطح و شیبدار با زاویه شیب کمتر از ۱۵ درجه: C_s=۱/۰

ب) در بامهای شیبدار با زاویه شیب بین ۱۵ درجه تا ۶۰ درجه: $C_s = 1.00 - \frac{\alpha - 15}{60}$

در این رابطه α زاویه سطح بام با افق به درجه است.

– در بامهای شیبدار دندانه‌ای، اثر شیب برای کلیه سطوح C_s=۱/۰ است.

– در بامهای قوسی، ضریب اثر شیب باید با توجه به شیب قوس در طول آن تعیین گردد. برای این منظور کافی است قوس به صورت یک چند ضلعی در نظر گرفته شود. ضریب اثر شیب برای هر یک از اضلاع برحسب زاویه ضلع با افق و طبق ضابطه ضریب اثر شیب تعیین گردد. تعداد قطعات چند ضلعی در هر نیمه قوس نباید از سه قطعه کمتر باشد.

۲-۲-۲-۲-۱-۱ بارگذاری نامتقارن

– در بامهای شیب‌دار دو طرفه، که در آنها زاویه شیب بیشتر از ۱۵ درجه و کمتر از ۶۰ درجه است و همچنین در بامهای قوسی که در آنها زاویه خطی که پای قوس را به راس آن متصل می‌کند بیشتر از ۱۵ درجه و کمتر از ۶۰ درجه است، آثار ناشی از بارگذاری نامتقارن باید بررسی شود. برای این منظور کافی است باربرف از سطح رو به باد حذف شده و بر روی سطح پشت به باد به اندازه ۲۰ درصد افزایش داده شود.

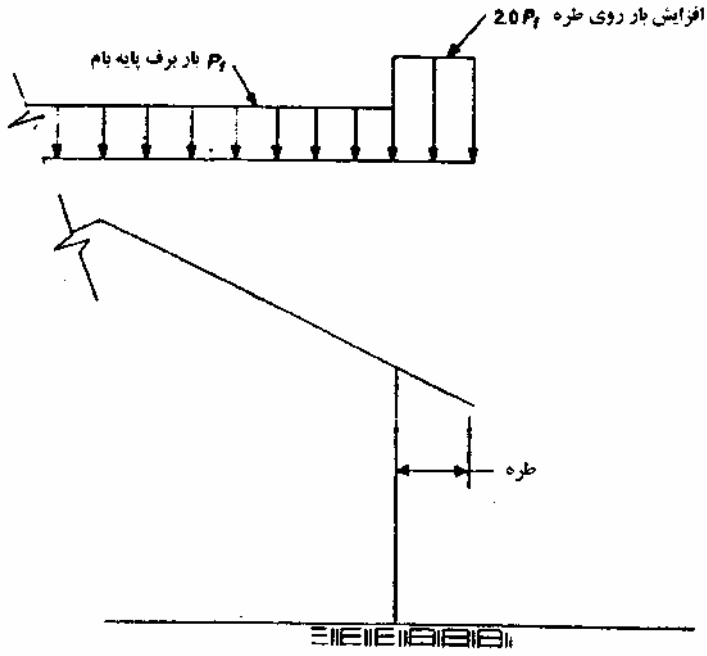
– در بامهای شیبدار دندانه‌ای برای بارگذاری نامتقارن باید ضریب اثر شیب برای کلیه سطوح بین C_s= ۰/۵ در بالای سطح شیبدار و C_s= ۲/۰ در پایین سطح شیبدار به طور خطی تغییرداده شود.

Ûر ÅرÜ¢Y ΘlĞ، ĥ-Ĥ-ĥ-ĥ-ĥ-ĥ از بارگزارÅ

باید توجه داشت که در آیین‌نامه‌های کشورهای دیگر، به آثار دیگری از بارگذاری برف اشاره شده است که این موارد هنوز در استاندارد ۵۱۹ ایران وجود ندارد و ذیلاً این موارد به نقل از آیین‌نامه UBC97 [19] ذکر می‌شود.

ÅرÄ) ÙÌ ره با

در صورت وجود بخش طره‌ای در تراز شانه قاب، باربرف به نحو قابل توجهی برای طره اضافه می‌شود. برای این بخش بام باید دو برابر بارگذاری P_r به صورت گسترده و یکنواخت اعمال شود. این وضعیت در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ بار اضافی روی بخش طره بام [۱۶]

k) بار برÙ متراÙÕ بر رÙÉ باÙ ساختÙانهاÉ ÙÙاÙتر

در صورتی‌که دو ساختمان با فاصله ۶ متر یا کمتر از دیگر دارای ارتفاع کل متفاوت باشند، برف روی بـام ساختمان کوتاهتر متراکم می‌شود. ارتفاع مثلث اضافه بار برابر است با $\frac{6-S}{6}h_d$ که در آن S فاصـله دو ساختمان بر حسب متر اسـت. hd اضـافه ارتفـاع بـرف ناشـی از تـراکم بـرف اسـت کـه از رابطـه زیـر به دست می‌آید:

$$h_d = 0.13\sqrt[3]{W_b}\quad\sqrt[4]{P_g + 49}\quad - 0.46$$

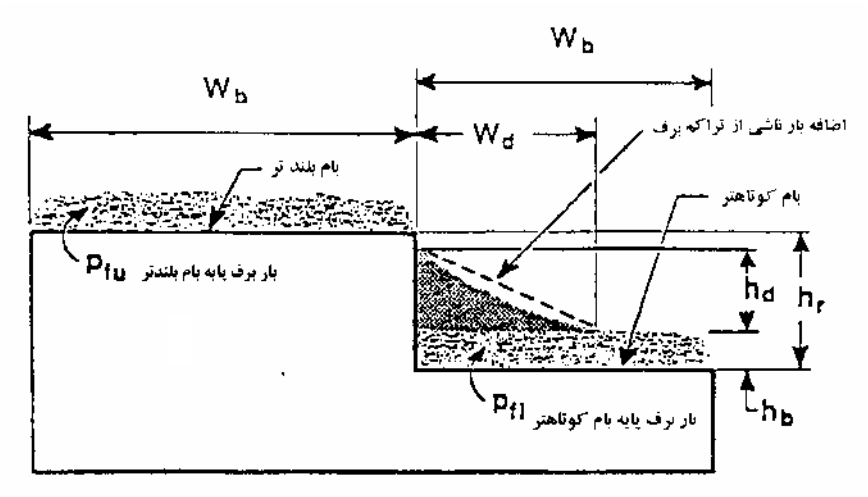
واحدهای این رابطه همگی بر اساس کیلوگرم و متر است. Pg باربرف پایه روی زمـین و Wb طـول بام ساختمان بلندتر در جهت متراکم‌شدن برف است. این روابط ابعاد در شـکل (۲-۴-الـف) و (۲-۴-ب) نشان داده شده است.

طول اثر بار ناشی از تراکم برف، W_d مقدار کـوچکتر از بـین $4(h_r - h_b)$ و $4\ h_d$ اسـت. بـرای بـه دست آوردن باربرف، باید ارتفاع برف در وزن حجمی آن ضرب شـود. وزن حجمـی بـرف را مـی‌تـوان از رابطه $D=0.43P_g+224$ بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب به دست آورد.

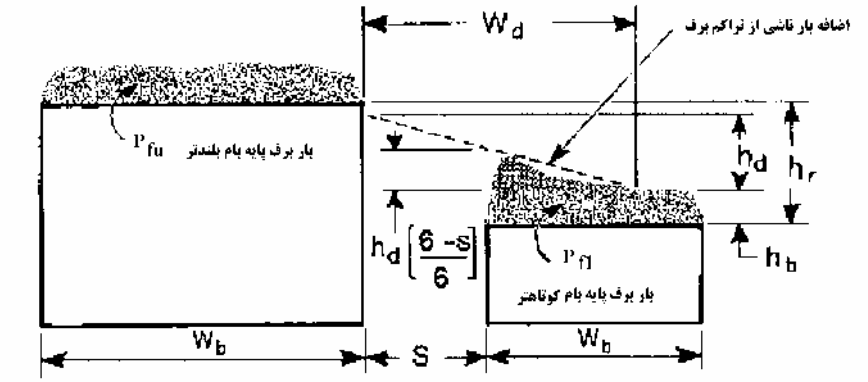
طبق آیین‌نامه UBC97، اضافه بار ناشی از تراکم برف فقط در صورتی که ارتفاع حداکثر برف از ۰/۲ ارتفـاع بـرف یکنواخـت بیشـتر شـود، یعنـی $(h_r - h_b) / h_b > ۰/۲$ لازم اسـت کـه در تحلیـل لحاظ شود.

h_b ارتفاع برف یکنواخت است که از رابطه $h_b = \frac{P_r}{D}$ به دست می‌آید.

حداکثر فشار برف در زیر قله آن مساوی $P_m=D(h_d+h_b)$ است کـه بایـد از Dh_r کـوچکتر یـا بـا آن مساوی باشد.



شکل ۲-۴-الف تراکم برف در پیرامون بام‌های کوتاه‌تر[۱۶]



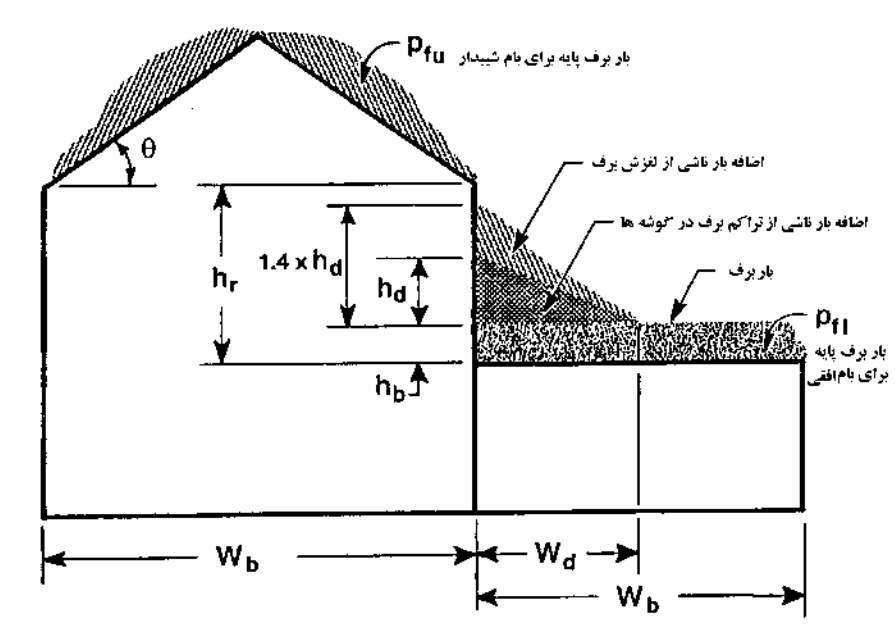
شکل ۲-۴-ب تراکم برف روی بام ساختمان‌های کوتاه مجاور ساختمان‌های بلندتر[۱۶]

2) ازافه بار نااي از p برÛ

برای بامهای کوتاهتر که مجاور بام‌های بلندتر شیبدار با شیب بیش از ۱ به ۶ (۱۶/۷٪) باید به احتمال لغزش برف از بام بلندتر به روی بام کوتاهتر توجه نمود. این وضعیت در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.

در این مورد باید ارتفاع برف را به میزان $0/4h_d$ بر روی بام کوتاهتر افزایش داد. البته کل اضافه ارتفاع برف، یعنی $1/4\ h_d$ نباید از ارتفاع بام بالاتر از عمق برف یکنواخت $(h_r - h_b)$ بیشتر شود.

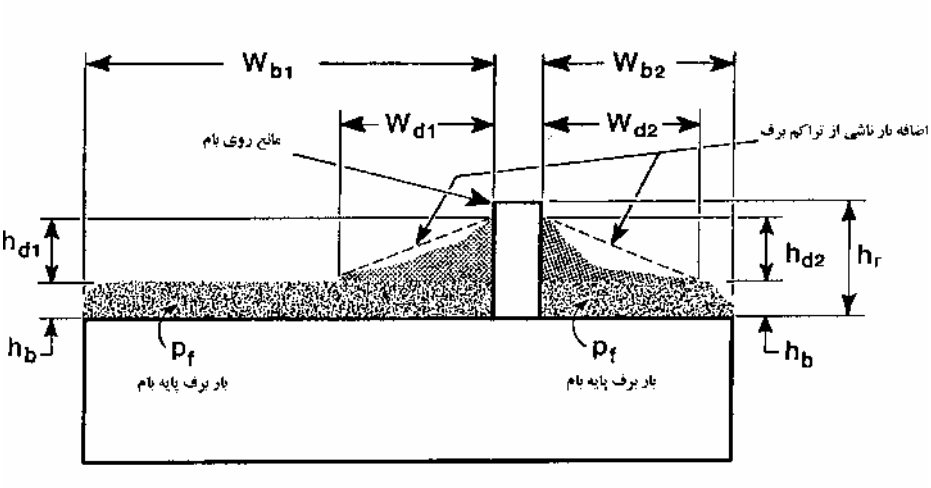
اضافه بار ناشی از لغزش برف نباید درحالتی که بام کوتاهتر دارای فاصله بیش از h_r یا ۶ m متر از بام بلندتر باشد، در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۵ اضافه بار ناشی از لغزش برف از بام شیبدار به بام افقی [۱۶]

۲) موانع برف بام

تاسیسات مکانیکی،خرپشته‌ها، دیوارهای جان‌پناه و سایر موانع روی بام می‌توانند باعث تراکم برف شوند. این وضعیت در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. در صورتی که ابعاد افقی این موانع از ۴/۵ متر بزرگتر باشد، اضافه بار تراکم برف پشت آنها باید در تحلیل لحاظ شود. ارتفاع برف متراکم را می‌توان برابر $0/5h_d$ فرض کرد. مقدار W_b را می‌توان برابر با حداکثر فاصله مانع تا لبه بام و یا ۱۵m، هر کدام کوچکتر باشد، اختیار کرد.



شکل۲- ۶ تراکم برف در کنار موانع روی بام [۱۶]

۲-۳ بار باد

برای اطلاع از نحوه محاسبه بارگذاری باد، به استاندارد ۵۱۹ ایران تحت عنوان "آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی" مراجعه شود.

۲-۴ بار زلزله

بارگذاری زلزله مطابق مندرجات استاندارد ۲۸۰۰ ایران، تحت عنوان "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"صورت می‌گیرد [۱۱].

۲-۵ ترکیب بارها

۲-۵-۱- در طراحی سازه‌ها، احتمال همزمانی تاثیر بارها باید به شرحی که در زیر گفته شده است، در نظر گرفته شود. ضرایب جزئی ایمنی هریک از بارها و متقابلاً مقدار تنش‌های محاسباتی مربوط به هر

ماده، بسته به روش طراحی سازه، باید بر اساس آیین‌نامه طراحی خاص همان سازه در نظر گرفتـه شـود. اجزای سازه باید برای ترکیبی از بارها که بیشترین اثر را در آن جز ایجاد می‌کند، طراحی شوند.

1) D

2) $D + L + (L_r \text{ یا } S)$

3) $D + (W \text{ یا } E)$

4-الف) $D + L + (L_r \text{ یا } 0.5\,S) + (W \text{ یا } E)$

4-ب) $D + L + (L_r \text{ یا } S) + (0.5\,W \text{ یا } E)$

5) $D + H$

6) $D + L + (L_r \text{ یا } S) + H$

7) $D + T$

8) $D + L + (L_r \text{ یا } S) + T$

علائم به کار رفته در این روابط عبارتند از:

D: بار مرده

L: بار زنده طبقات به جز بام

L_r: بار زنده بام

S: بار برف

W: بار باد

E: بار زلزله

H: بار ناشی از وزن و فشار خاک یا آب و یا فشار توام خاک و آب

T: آثار خود کرنشی ناشی از تغییرات دما، نشست پایه‌ها، وارفتگی و غیره

۲-۵-۲- در مواردی که سازه برای بار جرثقیل طراحی می‌شود، ترکیبات زیر علاوه بر آنچـه در بنـد ۲-۵-۱ گفته شده است باید بررسی شود:

9) $D + A$

10) $D + S + A$

11) $D + (W \text{ یا } E) + A^0$

علائم A و A^0 در این ترکیبات عبارتند از:

A: کلیه بارهای ناشی از جرثقیل شامل وزن پلها، ارابه، باری که بلند می‌شود همراه با اثر ضربه در آنها

A^0: بار ناشی از وزن جرثقیل به تنهایی شامل وزن پلها و ارابه

۲-۵-۳- در طراحی سازه‌های پیش تنیده، اثر پیش‌تنیدگی باید مانند اثر بار مرده در ترکیبات وارد شود.

۲-۵-۴- در مواردی که برای تعیین ضرایب جزئی ایمنی و یا تنش‌های محاسباتی در ترکیبات بارها، آیین‌نامه رسمی در کشور وجود نداشته باشد، این ضریب را می‌توان از آیین‌نامه‌های معتبر کشورهای دیگر به دست آورد.

۳

طراحی قاب خمشی فولادی

۳-۱ برخی نکات عمومی در تحلیل و طراحی قاب‌های اصلی ساختمان صنعتی فولادی

تحلیل قاب‌های اصلی ساختمان صنعتی، مانند سایر ساختمانهاست، که لازم است به چند نکته زیر توجه شود:

با توجه به شرایط یکسان قاب‌های متوالی می‌توان فقط یکی از آنها را به صورت دو بعدی تحلیل نمود. در این تحلیل از تغییر مکان قاب در جهت عمود بر صفحه صرف‌نظر می‌شود. نیروی باد و نیروهای ثقلی بر اساس سطح بارگیر هر قاب محاسبه و در تحلیل لحاظ می‌شوند. نیروی ناشی از زلزله نیز با توجه به سختی یکسان قاب‌های متوالی به طور مساوی بین قاب‌ها تقسیم می‌شود. البته در صورت وجود شرایط خاص و عدم یکسان بودن تعداد قابل توجهی از قابها، لازم است که تحلیل برای هر نوع قاب جداگانه انجام شود و اثر تفاوت سختی قابها در تحمل نیروهای جانبی در تحلیل لحاظ شود.

با توجه به مهاربندی در سقف و در تراز تیر باربر جرثقیل، معمولاً صلبیت کافی سه بعدی برای وادار ساختن قاب‌های متوالی به همکاری در تحمل بارهای جانبی وجود دارد و می‌توان از این صلبیت برای پخش نیروهای جانبی ناشی از جرثقیل استفاده کرد.

در مدلسازی قاب برای تحلیل، توجه به وجود مقاطع متغیر ضروری است. خط عبوری از مرکز سطح مقطع معمولاً برای تشکیل مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر نرم‌افزارهای امروزی، توانایی پذیرش مقاطع متغیر را دارند و معمولاً از مهندس محاسب می‌خواهند که درجه تابع تغییرات ممان اینرسی مقطع را به نرم‌افزار معرفی کند. با توجه به وابستگی شدید ممان اینرسی مقطع به مجذور فاصلهٔ بال‌ها از یکدیگر و با توجه به تغییرات خطی فاصله بال‌ها از یکدیگر در طول یک عضو غیر منشوری، درجه تابع تغییرات ممان اینرسی بر حسب طول عضو معمولاً برابر ۲ می‌باشد.

باید توجه داشت که بار جرثقیل در صورت آویزان‌شدن به وسیلهٔ کابل در محاسبهٔ نیروی افقی زلزله وارد نمی‌شود. اگر بار جرثقیل بوسیلهٔ مکانیسمی که توانایی انتقال برش افقی داشته باشد، به پل جرثقیل متصل شده باشد، آنگاه اثر شتاب افقی زلزله روی بار جرثقیل باید در محاسبات سازه وارد شود.

در صورت لزوم به واردنمودن شتاب قائم زلزله در محاسبات سازه، جرم بار جرثقیل نیز باید در نظر گرفته شود. ضریب این بار در ترکیبات بار به وسیلهٔ آیین‌نامه مورد استفاده تعیین می‌شود.

از نظر کمانش داخل صفحه قاب خمشی، توضیحات جداگانه‌ای در این نشریه آمده است که مراجعه به آنها توصیه می‌شود.

از نظر کمانش خارج از صفحهٔ قاب خمشی، معمولاً با توجه به مهاربندی‌های متداول سقف می‌توان فرضیات زیر را به کار برد:

الف- ستون قاب در نقاط تکیه‌گاه روی پی، اتصال به تیر قاب و نشیمنگاه تیر جرثقیل در برابر حرکت جانبی مهار شده فرض می‌شود.

ب- بال فشاری تیر قاب تمایل به کمانش در خارج از صفحه قاب دارد. در نواحی لنگر مثبت که بال فوقانی فشاری است، لاپه‌های متصل به بال از کمانش آن جلوگیری می‌کنند و می‌توان طول مهار نشده بال فشاری فوقانی را برابر فاصلهٔ بین لاپه‌ها دانست. در نواحی لنگر منفی که نزدیک محل اتصال تیر و ستون است، بال تحتانی نیز تحت فشار قرار می‌گیرد و تمایل به کمانش جانبی دارد. در این نقاط نیز از لاپه‌ها برای جلوگیری از کمانش جانبی بال تحتانی تیر قاب کمک گرفته می‌شود. روش این کار، اتصال بال تحتانی تیر به لاپه‌ها به کمک مهاربندی‌هایی با زاویهٔ حدود ۴۵ درجه در صفحهٔ قائم است. در این حالت، طول مهار نشدهٔ بال تحتانی را می‌توان برابر فاصله بین مهاربندی‌های بال فرض کرد.

۳-۲ طرح ستون‌های قاب اصلی

طراحی ستون‌های قاب‌های اصلی ساختمان صنعتی، در چندین مورد با طراحی عمومی ستون‌های فولادی متمایز است. دو مورد اصلی و مهم در طراحی ستون‌های قاب به شرح زیر بیان می‌شود.

۳-۲-۱ ستون‌های غیرمنشوری

در ستونهای دارای تکیه‌گاه مفصلی به علت وجود لنگرهای خمشی بزرگ در رأس ستون و صفرشدن این لنگرها در پای ستون، نیاز به ممان اینرسی مقطع ستون در رأس آن، به حداکثر می‌رسد و در پای ستون نیازی به ممان اینرسی مقطع احساس نمی‌شود. بنابراین، نمای ستون در قاب به صورت غیر منشوری در

می‌آید و شانه آن پهن‌تر و پای آن باریک‌تر طرح می‌شود. این فرم ستون می‌تواند در محاسبات کمانش ستون در صفحه قاب، پیچیدگی‌هایی ایجاد نماید. مرجع اصلی طراحی این‌گونه ستون‌ها، ضمیمهٔ D آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی AISC-ASD می‌باشد [۷]. ذیلاً مندرجات این پیوست و سپس تفسیر آن ارائه می‌گردد.

بخش D۱ کلیات

طراحی اعضای با مقطع متغیر که شرایط ذیل در مورد آنها صادق باشد باید بر اساس ضوابط قسمت ۱ آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی AISC-ASD انجام گیرد، مگر آنکه ضوابط مذکور، در این قسمت ضمیمه تغییر یابند [۷].

برای اعمال ضوابط این آیین‌نامه در مورد یک عضو با مقطع متغیر باید شرایط ذیل در مورد آن مقطع برقرار باشد:

عضو باید حداقل دارای یک محور تقارن باشد و محور تقارن بر صفحه خمش، در صورت وجود، عمود باشد.

بالها باید دارای سطح مقطع مساوی و ثابت باشند.

عمق مقطع، باید به صورت خطی و طبق رابطه زیر تغییر کند:

$$d_0 = \left(1 + \gamma \frac{z}{l}\right)$$

که در رابطه فوق:

d0= عمق مقطع در انتهای کوچکتر عضو بر حسب سانتیمتر

dL= عمق مقطع در انتهای بزرگتر عضو، بر حسب سانتیمتر

γ= (dL-d0)/d0 که باید از کوچکترین دو مقدار 0.2681/d0 یا 6.0 تجاوز نکند.

z= فاصله تا انتهای کوچکتر عضو، بر حسب سانتیمتر

l = طول عضو، بر حسب سانتیمتر

بخش D۲ تنشهای مجاز- فشار

در مقطع ناخالص اعضای با مقطع متغیر که تحت فشار محوری قرار دارند، تنش فشاری محوری، بـر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، نباید از مقدار زیر تجاوز کند:

وقتی که نسبت لاغری موثر، S، کوچکتر از C_c باشد:

$$F_{a\gamma}=\frac{\left(1.0-\frac{S^2}{2C_c^2}\right)F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3S}{8C_c}-\frac{S^3}{8C_c^3}} \qquad (D۲-۱)$$

وقتی نسبت لاغری موثر، S، از C_c بیشتر باشد:

$$F_{\alpha\gamma}=\frac{12\pi^2 E}{23S^2} \qquad (D۲-۲)$$

که در روابط فوق:

S = Kl/roy برای خمش حول محور ضعیف و Kγl/roX برای خمش حول محور قویتر

K = ضریب طول موثر برای عضو منشوری (با مقطع ثابت)

Kγ= ضریب طول موثر برای عضو با مقطع متغیر که باید با یک تجزیه و تحلیل منطقی تعیین شود.[۱]

l= طول واقعی عضو مهار نشده، بر حسب سانتیمتر

r_{ox} = شعاع ژیراسیون حول محور قویتر در انتهای کوچکتر عضو با مقطع متغیر، بر حسب سانتیمتر

r_{oy} = شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف‌تر در انتهای کوچکتر عضو با مقطع متغیر، برحسب سانتیمتر

بخش D۳ تنشهای مجاز- خمش[۱]

---

۱. به تفسیر آیین‌نامه AISC (Commentary) بخش D۲ مراجعه شود.

تنشهای کششی و فشاری ناشی از لنگر خمشی در تارهـای انتهـایی اعضـای خمشـی بـا مقطـع متغیـر، برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، نباید از مقادیر ذیل تجاوز کند:

$$F_{b\gamma}=\frac{2}{3}\left[1.0-\frac{F_y}{6B\sqrt{F_{s\gamma}^2+F_{\omega\gamma}^2}}\right]F_y \le 0.60\,F_y \qquad (D3-1)$$

ولی وقتی $F_{b\gamma}\le F_y/3$ باشد:

$$F_{b\gamma}=B\sqrt{F_{s\gamma}^2+F_{\omega\gamma}^2} \qquad (D3-2)$$

در فرمولهای فوق:

$$F_{\omega\gamma}=\frac{11951\times10^3}{\left(h_w\,l/r_{T0}\right)^2} \qquad \text{و} \qquad F_{s\gamma}=\frac{843600}{h_s\,l\,d_0/A_f}$$

که در آنها:

hs = ضریبی برابر $1.0+0.0230\gamma\sqrt{ld_0/A_f}$

hω = ضریبی برابر $1.0+0.00385\gamma\sqrt{l/r_{T0}}$

l = فاصله بین مقاطعی از بال فشاری که در مقابل پیچش یا حرکت جانبی مهار شده باشد.

rT0 = شعاع ژیراسیون مقطعی در انتهای کوچکتر، شامل بال فشاری و $\frac{1}{3}$ مقطع جان تحـت فشـار، حول محوری در صفحه جان بر حسب سانتیمتر.

Af = مساحت بال فشاری. بر حسب سانتیمتر مربع

γ = ضریب تغییر مقطع که برابر است با (d1- d0) / d0

d0 = عمق مقطع در انتهای کوچکتر قطعه مهار نشده، بر حسب سانتیمتر

dl = عمق مقطع در انتهای بزرگتر قطعه مهار نشده، بر حسب سانتیمتر

و مقدار B نیز از طریق زیر تعیین می‌شود:

---

۱. به تفسیر آیین‌نامه AISC (Commentary) بخش D۳ مراجعه شود.

وقتی که M2 بزرگترین لنگر موجود در سه قطعهٔ عضو با مقطع متغیر که طول مهار نشده‌شان تقریباً مساوی باشد، در قطعه میانی قرار گیرد و M1 بزرگترین لنگر در یک انتهای عضو سه قطعه‌ای باشد:[۱]

$$B = 1.0 + 0.37\left[1.0 + \frac{M_1}{M_2}\right] + 0.50\gamma\left[1.0 + \frac{M_1}{M_2}\right] \geq 1.0$$

وقتی بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده، fb2، در انتهای بزرگتر دو قطعهٔ مجاور که طول مهارنشده‌شان تقریباً مساوی است، قرار گرفته باشد و fb1 تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر عضو دو قطعه‌ای باشد:[۲]

$$B = 1.0 + 0.58\left[1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right] - 0.70\gamma\left[1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right] \geq 1.0$$

وقتی بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده، fb2 در انتهای کوچکتر دو قطعهٔ مجاور که طول مهارنشده‌شان تقریباً مساوی است، قرار گرفته باشد و fb1 تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر عضو دو قطعه‌ای باشد:

$$B = 1.0 + 0.55\left[1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right] + 2.2\gamma\left[1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right] \geq 1.0$$

در روابط فوق، $\gamma = (d_1 - d_0) / d_0$ برای طول مهارنشده‌ای حساب می‌شود که دارای بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده باشد.

وقتی تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر عضو با مقطع متغیر یا انتهای کوچکتر قطعه موردنظر از عضو مربوط برابر صفر باشد:

---

۱. M1/ M2 منفی است اگر عضو دارای انحنای یکطرفه باشد. در موارد نادری که M1/ M2 مثبت است، توصیه می‌شود نسبت لنگرها برابر صفر فرض شود.

۲. $fb1 / fb2$ منفی است اگر انحنای یکطرفه ایجاد کند. اگر نقطه حداکثر لنگر خمشی در یکی از دو قطعه مهار نشده مجاور قرار گیرد، $fb1 / fb2$ مثبت در نظر گرفته می‌شود. همواره $fb1 / fb2 \neq 0$

$$B=\frac{1.75}{1.0+0.25\sqrt{\gamma}}$$

که $\gamma=(d1-d0)/d0$ ، برای طول مهار نشدهٔ مجاور نقطه‌ای که تنش خمشی در آن صفر است محاسبه می‌شود.

بخش D۴ ترکیب تنشها

اعضای با مقطع متغیر و قطعات مهارنشدهٔ آنها که به طور همزمان تحت فشار محوری و لنگر خمشی قرار می‌گیرند باید طوری طرح شوند که شرایط ذیل در مورد آنها برقرار باشد:

$$\left(\frac{f_{ao}}{F_{a\gamma}}\right)+\frac{C'_m}{\left(1-\frac{f_{ao}}{F'_{ey}}\right)}\left(\frac{f_{b1}}{F_{b\gamma}}\right)\le 1.0 \qquad \text{(الف- ۱-D۴)}$$

و

$$\frac{f_a}{0.6F_y}+\frac{f_b}{F_{b\gamma}}\le 1.0 \qquad \text{(ب- ۱-D۴)}$$

وقتی $f_{a0}/F_{a\gamma}\le 0.15$ باشد، می‌توان به جای روابط (الف- ۱-D۴) و (ب- ۱-D۴) از رابطه (۲-D۴) استفاده کرد.

$$\left(\frac{f_{a0}}{F_{a\gamma}}\right)+\left(\frac{f_{bl}}{F_{b\gamma}}\right)\le 1.0 \qquad \text{(D2-4)}$$

که در آن:

$F_{a\gamma}$= تنش فشاری مجاز وقتی که عضو تحت اثر لنگر خمشی نباشد، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

$F_{b\gamma}$= تنش خمشی مجاز، وقتی که عضو تحت اثر نیروی محوری نباشد، بر حسب کیلوگرم برسانتیمتر مربع.

$F'_{e\gamma}$= تنش اویلر تقسیم بر ضریب اطمینان، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، که برابر است با:

$$\frac{12\pi^2 E}{23\left(K_\gamma l_b/r_{bo}\right)^2}$$

در رابطه اخیر، l طول مهارنشده واقعی در صفحه خمش است و r_{bo} شعاع ژیراسیون مربوط در انتهای کوچکتر است.

f_{a0} = تنش محوری محاسبه شده در انتهای کوچکتر عضو و یا انتهای کوچکتر قطعه مهار نشده، هر کدام که صادق باشد، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

f_{bl} = تنش خمشی محاسبه شده در انتهای بزرگتر عضو و یا انتهای بزرگتر قطعه مهارنشده، هر کدام که صادق باشد، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

C'_m = ضریبی که در رابطه مشترک، به قسمت مربوط به خمش اعمال می‌شود.

وقتی که عضو در دو انتها تحت لنگرهایی قرار گیرد که انحنای یکطرفه ایجاد کنند و تنشهای خمشی محاسبه شده در دو انتها تقریباً مساوی باشند، مقدار C'_m برابر است با

$$1.0+0.1\left(\frac{f_{a0}}{F'_{e\gamma}}\right)+0.3\left(\frac{f_{a0}}{F'_{e\gamma}}\right)^2 =$$

وقتی که تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر طول مهار نشده صفر باشد، مقدار C'_m برابر است با

$$1.0+0.1\left(\frac{f_{a0}}{F'_{e\gamma}}\right)+0.6\left(\frac{f_{a0}}{F'_{e\gamma}}\right)^2 =$$

وقتی $Kl/r \geq C_c$ باشد و ترکیب تنشها در فواصل کوچک در طول عضو کنترل می‌شود، در روابط (الف- D۴-۱) و (D۴-۲) می‌توان به جای f_{a0} از f_a و به جای f_{bl} از f_b استفاده کرد.

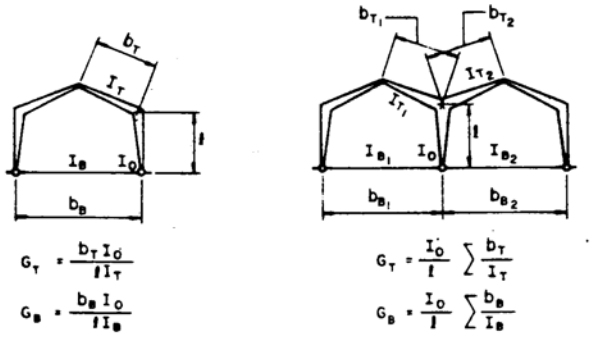
تفسیر پیوست D- اعضای با مقطع متغیر

ضوابط مندرج در پیوست D فقط آن جنبه‌هائی از طرح اعضای با مقطع متغیر را در بر می‌گیرد، که در اعضای با مقطع متغیر منحصر به فرد باشد. برای سایر معیارهای طراحی که به طور خاص در پیوست D ذکر نشده است، بخشهای مناسب قسمت ۱ آئین‌نامه و تفسیر را ملاحظه کنید.

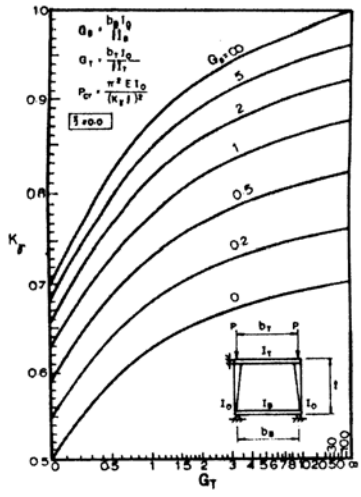
بخش D۲ تنشهای مجاز- فشار

رسیدن به فرمول $F_{a\gamma}$ برای ستونهای با مقطع متغیر بر اساس این مفهوم استوار است، که تنش بحرانی برای یک ستون با مقطع متغیر که تحت بار محوری قرار دارد، مساوی تنش بحرانی یک ستون با مقطع ثابت است، که طول آن با ستون با مقطع متغیر فرق دارد، ولی سطح آن مساوی سطح مقطع انتهای کوچکتر ستون با مقطع متغیر است. این امر، به تعیین یک ضریب طول موثر معادل K_γ برای یک عضو با مقطع متغیر تحت تنش فشاری منجر شده است. این ضریب که در تعیین مقدار S در روابط (D۲-۱) و (D۲-۲) به کار می‌رود می‌تواند با دقت خوب برای یک قاب صلب متقارن متشکل از تیرهای با مقطع ثابت و ستونهای با مقطع متغیر تعیین گردد.

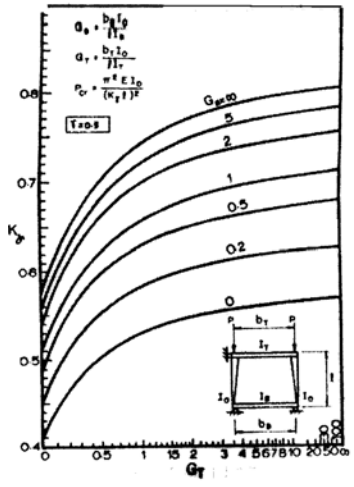
با تغییر کمی در فرضیات، چنین قابی می‌تواند به عنوان یک مدل ریاضی برای تعیین اثر سختی تیرها $\sum (I/b)_g$، به کار رود که قیدهای انتهایی یک ستون با مقطع متغیر را در سایر حالتها، نظیر حالتهایی که در شکل D۱-۱ نشان داده شده است، دربر می‌گیرد. طبق روابط (D۲-۱) و (D۲-۲)، بار بحرانی، P_{cr}، می‌تواند به صورت $\pi^2 E I_0 / (K_\gamma l)^2$ بیان شود. مقدار K_γ می‌تواند از طریق درون‌یابی با استفاده از نمودار مناسب (شکلهای D۱-۲ تا D۱-۱۷) و ضرایب اصلاح گیرداری G_T و G_B به دست آید. در هر یک از این ضرایب، ستون با مقطع متغیر که به صورت یک عضو با مقطع ثابت با ممان اینرسی I_0، که در انتهای کوچکتر محاسبه و به طول واقعی l در نظر گرفته می‌شود دارای سختی I_0/l قلمداد می‌گردد که سپس بر سختی اعضای مقیدکننده در انتهای ستون موردنظر با مقطع متغیر تقسیم می‌شود. چنین روشی به خوبی قابل استناد است.



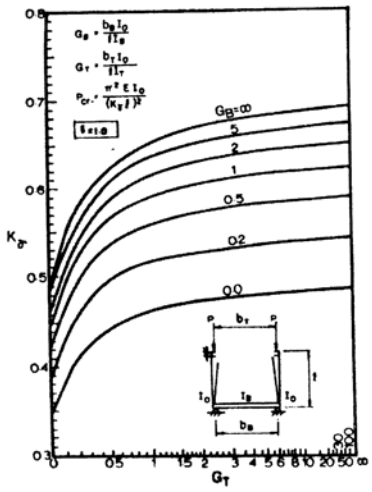
شکل D1-۱ تحلیل ضریب طول مؤثر در ستون‌های با مقطع متغیر [۷]



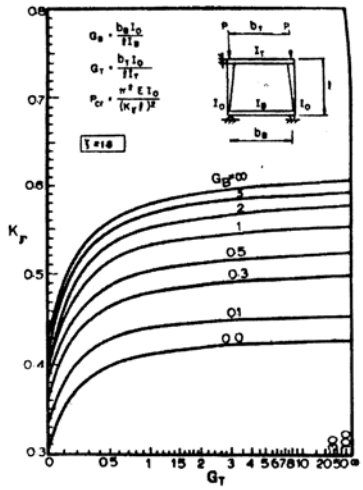
شکل D1-۲ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغیر حرکت جانبی مقید $\gamma = 0$ [۷]



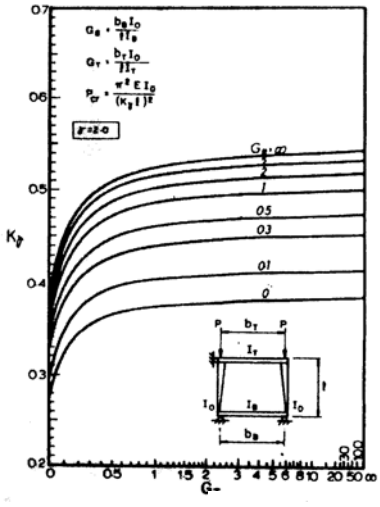
شکل D1-۳ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد $\gamma = 0.5$ [۷]



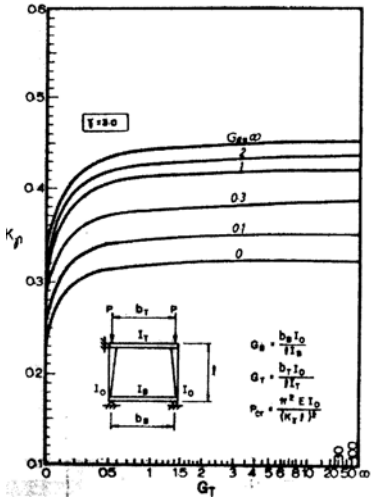
شکل D1-۴ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma = 1$ [۷]



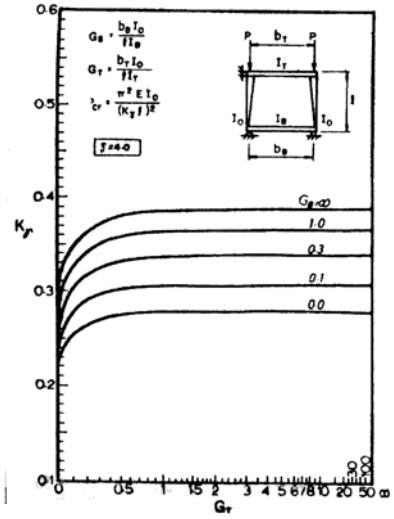
شکل D1-۵ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma = 1.5$ [۷]



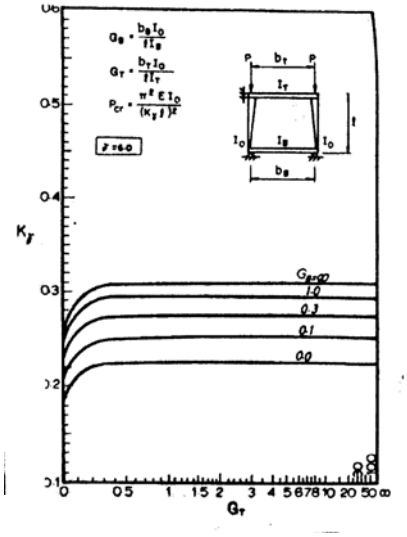
شکل D1-۶ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma = 2$ [۷]



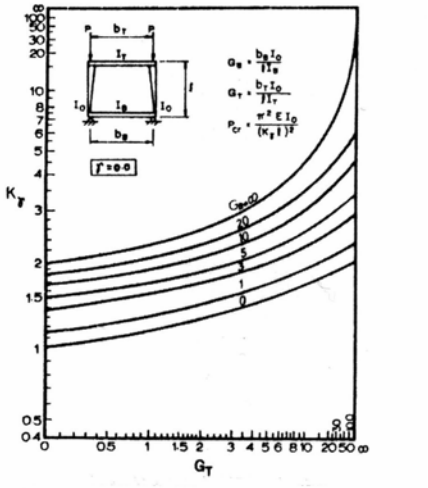
شکل D1-۷ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma = 3$ [۷]



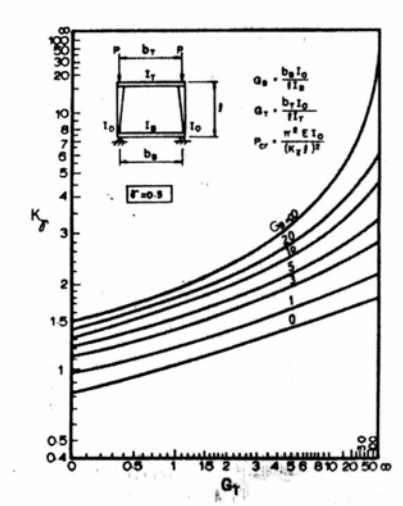
شکل D1-۸ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma=4$ [۷]



شکل D1-۹ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی مقید $\gamma=6$ [۷]

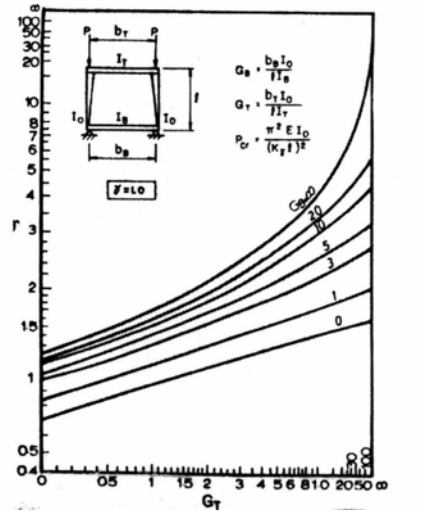


شکل D1-۱۰ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با



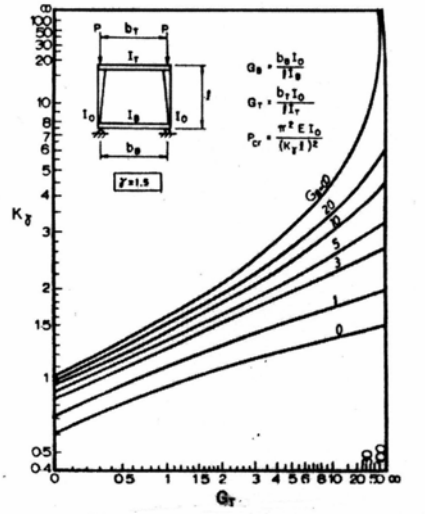
شکل D1-۱۱ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با

مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد $\gamma = 0$ [۷]

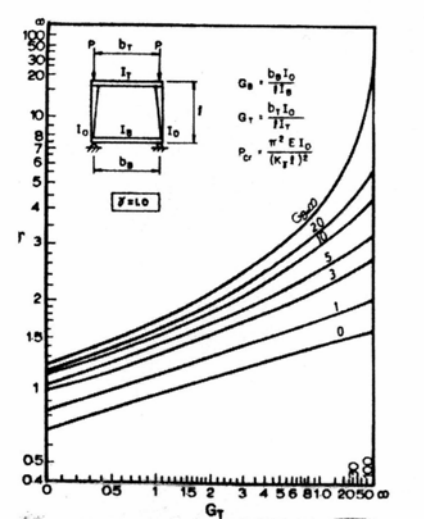


شکل D1-۱۲ ضریب طول مؤثر برای ستون‌هـای بـا مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد $\gamma = 1$ [۷]

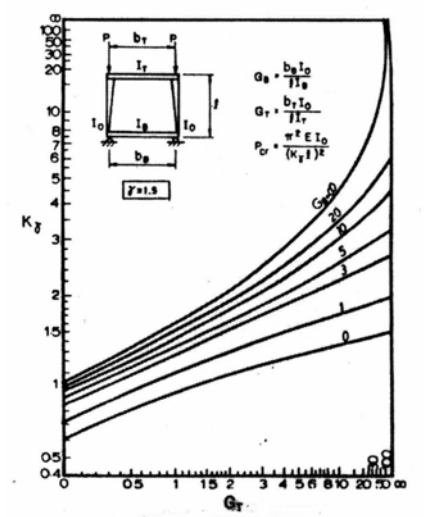
مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد $\gamma = 0.5$ [۷]



شکل D1-۱۳ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد $\gamma = 1.5$ [۷]

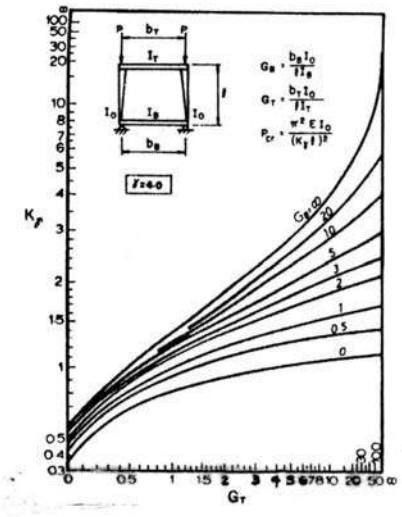


شکل D1-۱۴ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با



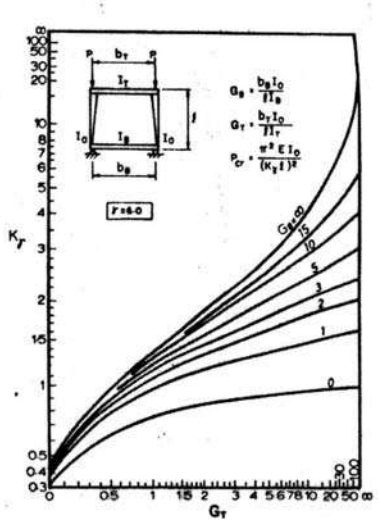
شکل D1-۱۵ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با

مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد 2 = γ [۷]



شکل D1-۱۶ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد 4 = γ [۷]

مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد 3 = γ [۷]



شکل D1-۱۷ ضریب طول مؤثر برای ستون‌های با مقطع متغییر حرکت جانبی آزاد 6 = γ [۷]

بخش D۳ تنشهای مجاز- خمش

به دست‌آوردن تنش خمشی مجاز برای اعضای با مقطع متغیر، بسیار شبیه اعضای با مقطع ثابت است. مفهوم اساسی آن است که تیر با مقطع متغیر با یک تیر با مقطع ثابت با طولی متفاوت، اما با سطح مقطع مساوی سطح مقطع انتهای کوچکتر تیر با مقطع متغیر جایگزین می‌شود. این روش منجر به ضرایب اصلاح طول hs و hw در روابط (D۳-۱) و (D۳-۲) شده است.

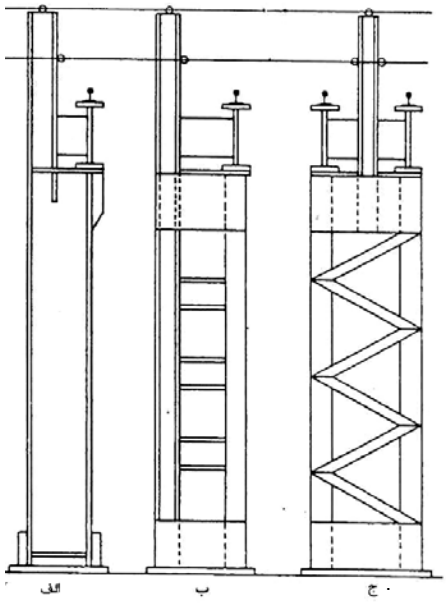
روابط (D۳-۱) و (D۳-۲) بر اساس مقاومت کل در مقابل کمانش جانبی، با استفاده از مقاومت سنت و نان و مقاومت تابیدگی استوار است. ضریب B که Fbγ را اصلاح می‌کند برای در نظر گرفتن گرادیان لنگر و قیدهای جانبی ناشی از قطعات مجاور می‌باشد. برای عضوهایی که از قبل دارای تکیه‌گاه‌های جانبی باشند، طبقه‌بندی ۱ و ۲ و ۳ بخش D۳ معمولاً اعمال می‌شود. با وجود این باید یادآور شد که آنها

فقط وقتی قابل استفاده هستند که نیروی محوری کوچک باشد و طولهای مهارنشده قطعات تقریباً مساوی باشد. برای یک عضو منفرد و یا قطعاتی که در طبقه‌بندی ۱، ۲، ۳ و ۴ نمی‌گنجند مقدار B برابر یک توصیه می‌شود. مقدار B همچنین وقتی مقدار Fbγ برای استفاده در رابطه (D۴-۱a) محاسبه می‌شود باید برابر یک فرض شود، زیرا تاثیر گرادیان لنگر توسط ضریب Cm در نظر گرفته شده است. مطالب در زمینهٔ این روش در بولتن شماره WRC۱۹۲ ذکر شده است [۱۳].

بنابراین، باید یادآور شد که در این نمودارها، مقادیر kγ نشان‌دهنده اثر مشترک قیدهای انتهایی و تغییر مقطع است. در حالت $\gamma=0$، kγ همان k می‌شود که می‌تواند از نمودار مربوط به طول موثر ستونها در قابهای پیوسته نیز تعیین شود. در مواردی که تیرهای مقیدکننده نیز دارای مقطع متغیر باشند، می‌توان از روش مندرج در بولتن شماره WRC۱۷۳ [۳۲] پیروی کرد و یا اینکه بر اساس نمودارهای موجود مقدار kγ به صورت مناسبی تخمین زده شود.

۳-۲-۲ ستون‌های پله‌دار تکیه‌گاه جرثقیل

در ستون‌های حامل ریل جرثقیل با ظرفیت بیش از ۵ تن معمولاً لازم است که ستون دارای یک بخش پهن‌تر در تراز زیر تیر حامل ریل باشد. بالاتر از این تراز، پهنای ستون در صفحه قاب کاهش می‌یابد و فقط بارهای منتقل از سقف ساختمان، و پوشش جانبی به ستون وارد می‌شوند. در این حالت، پای ستون معمولاً گیردار فرض می‌شود. با توجه به تغییر ناگهانی ممان اینرسی مقطع ستون و نیروی محوری آن، در تراز زیر تیر حامل ریل، از نظر کمانش ستون در صفحهٔ قاب پیچیدگی‌هایی بروز می‌کند. این‌گونه ستون‌های پله‌دار به ندرت در ساختمانهای غیر صنعتی یافت می‌شود. آرایش‌های گوناگون ستون پله‌دار در شکل ۳-۱ دیده می‌شود.



شکل ۳-۱ آرایش‌های گوناگون ستون پله‌دار [۱۵]

در آرایش (الف)، ستون دارای مقطع I در بالا و پایین‌تر از نصب تیر جرثقیل است، اما ممان اینرسی مقطع در بالا و پایین این تراز به علت تغییرات شدید نیروهای وارده، کاملاً متفاوت است. اتصال دو قطعه ستون به یکدیگر به کمک ورق اتصال سر به سر (Head Plate) انجام می‌شود که در حکم تکیه‌گاه بال داخلی قطعه ستون فوقانی و نیز تکیه‌گاه تیر باربر ریل جرثقیل عمل می‌کند. اتصال بال بیرونی قطعات ستون بالائی و پائینی به صورت مستقیم و بدون واسطه انجام می‌شود که بیشترین یکپارچگی ممکن را ایجاد می‌کند.

در آرایش (ب) قطعه ستون زیر تراز ریل جرثقیل، متشکل از دو جزو جداگانه است که به وسیله ورق‌های بست نردبانی یا مورب به یکدیگر متصل شده‌اند. در این آرایش، جزو بیرونی ستون از پی تا سقف یکپارچه و دارای یک مقطع ثابت است. جزو داخلی ستون که فقط از پی تا زیر تیر باربر ریل ادامه دارد، بسته به مقدار بار وارد از جرثقیل و ارتفاع ستون می‌تواند دارای مقطع خاص خود باشد. در صورت

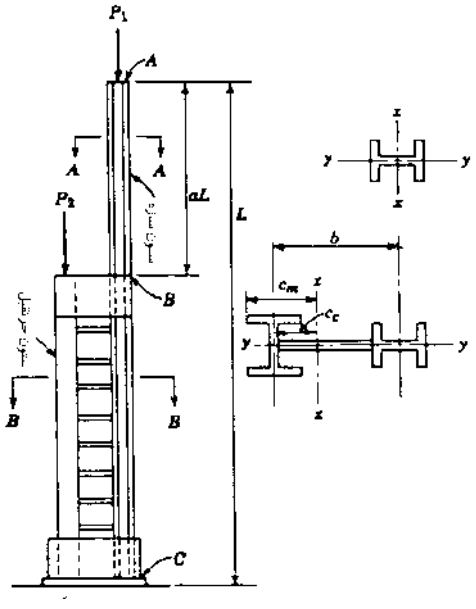
استفاده از بست‌های افقی نردبانی، این بست‌ها در محل اتصال خود به دو جزو ستون متحمل نیروی برشی و لنگر خمشی خواهند بود. برای یکپارچگی دو جزء ستون و تشکیل یک تیر ستون واحد، لازم است که فاصله بست‌های نردبانی از یکدیگر کم باشد و دارای مقاومت و سختی کافی باشند. در غیر اینصورت، بست‌های نردبانی فقط در حکم Spacer خواهند بود و باعث می‌شوند که دو جزو ستون تحت یک منحنی با یکدیگر تغییر شکل بدهند. در این حالت هر یک از دو جزو ستون به عنوان یک ستون جداگانه تلقی می‌شوند و طول مؤثر آنها در کمانش به شدت تابع عملکرد ورق‌های بست انتهای ستون است.

در حالت اتصال دو جزو ستون به وسیلهٔ بست‌های مورب مانند آرایش (ج) در صورت کافی بودن تعداد بست‌ها می‌توان فرض کرد که دو جزو طولی ستون در زیر تراز جرثقیل، به طور یکپارچه با یکدیگر کار می‌کنند. استفاده از بست‌های مورب مخصوصاً برای ستونهایی که اجزای طولی آنها دارای فاصله زیاد از یکدیگر هستند و برون محوری بار نسبت به محور اجزای ستون زیاد است، مناسب می‌باشد.

۳-۲-۲-۱ طول موثر ستون‌های پله‌دار

تعیین طول موثر یک ستون پله‌دار پیش نیاز محاسبهٔ مقادیر F_a و F'_e است که به ترتیب عبارتند از تنش مجاز ستون تحت بار محوری و تنش کمانش اولر تقسیم بر ضریب اطمینان $\frac{23}{12}$ برای ستونهای لاغر تحت بار محوری.

جداول ضریب k یا همان ضریب طول موثر کمانش KL در گزارش فنی شمارهٔ ۱۳ مؤسسه AISE داده شده است. این جداول به پیوست ارائه می‌گردد. سه پارامتر a یا نسبت طول ستون با مقطع کوچکتر به طول کلی ستون، B یا نسبت حداکثر ممان اینرسی مقطع ستون مرکب به ممان اینرسی مقطع ستون باریک‌تر بالایی حول محورهای مرکز سطح مقطع آنها عمود بر صفحهٔ بست‌ها وP۱/P۲ یا نسبت نیروی محوری در ستون بالایی (بار سقف و دیوار) به نیروی محوری اضافه شونده در ستون پایینی (واکنش‌های تیر جرثقیل به اضافهٔ بار مردهٔ دیوار و ستون پایینی) در این جداول، نقش تعیین کننده دارند. در شکل ۳-۲، سه پارامتر فوق و سایر نشانه‌ها دیده می‌شود.



شکل۳-۲ طول مؤثر ستون پله‌دار [۱۵]

در جداول ۳-۱ الی ۳-۱۲ برای تعیین ضریب طول کمانش، مقدار a از ۰/۱ تا ۰/۵، مقدار B از ۱ تا ۱۰۰ و مقدار P۱/P۲ از ۰ تا ۰/۲۵ متغیر است. پای ستون می‌تواند مفصلی یا گیردار باشد و رأس ستون مفصلی فرض می‌شود.

ستون پله‌دار در کمانش حول محور قوی X-X در شکل (۳-۲) معمولاً فاقد تکیه‌گاه جانبی در سرتاسر طول خود است و این حالتی است که می‌توان برای بررسی آن از جداول ۳-۱ تا ۳-۱۲ استفاده کرد. برای کمانش حول محور ضعیف مقطع (Y-Y) تکیه‌گاه جانبی در تراز نشیمن تیر باربر ریل جرثقیل معمولاً قابل حصول است. بنابر این در صورت حاکم‌شدن کمانش حول محور y -y می‌توان بخش بالایی و بخش پایینی ستون را جداگانه برای تعیین F_a و F'_{ey} کنترل نمود.

جدول ۳-۱ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.00

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
1.1	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
1.2	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.75	0.75
1.3	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76
1.4	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77
1.5	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77	0.78
1.6	0.91	0.83	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79
1.7	0.91	0.84	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80
1.8	0.91	0.84	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81
1.9	0.91	0.84	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82
2.0	0.91	0.84	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83
2.2	0.91	0.84	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85
2.4	0.91	0.84	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87
2.6	0.91	0.84	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.83	0.84	0.86	0.88	0.89
2.8	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92
3.0	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.91	0.94
3.2	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96
3.4	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.80	0.81	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98
3.6	0.91	0.84	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.97	1.00
3.8	0.91	0.84	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.84	0.86	0.88	0.91	0.93	0.96	0.99	1.01
4.0	0.91	0.84	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.03
4.5	0.91	0.84	0.82	0.81	0.82	0.83	0.84	0.87	0.89	0.92	0.95	0.98	1.02	1.05	1.08
5.0	0.91	0.84	0.82	0.82	0.83	0.84	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.02	1.06	1.09	1.13
5.5	0.91	0.84	0.82	0.83	0.84	0.85	0.88	0.91	0.94	0.98	1.02	1.06	1.09	1.13	1.17
6.0	0.91	0.84	0.83	0.83	0.85	0.87	0.90	0.93	0.97	1.01	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21
7.0	0.91	0.84	0.84	0.85	0.87	0.90	0.93	0.97	1.02	1.06	1.11	1.16	1.20	1.25	1.29
8.0	0.91	0.84	0.84	0.86	0.89	0.93	0.97	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.32	1.37
9.0	0.91	0.85	0.86	0.88	0.91	0.96	1.01	1.06	1.11	1.17	1.23	1.28	1.34	1.39	1.44
10.0	0.91	0.85	0.87	0.90	0.94	0.99	1.04	1.10	1.16	1.22	1.28	1.34	1.40	1.45	1.51
12.0	0.91	0.85	0.89	0.94	0.99	1.05	1.12	1.18	1.25	1.32	1.39	1.45	1.52	1.58	1.64
14.0	0.91	0.86	0.93	0.98	1.04	1.11	1.19	1.26	1.33	1.41	1.48	1.55	1.62	1.69	1.76
16.0	0.91	0.86	0.96	1.02	1.10	1.17	1.25	1.33	1.41	1.49	1.57	1.65	1.73	1.80	1.87
18.0	0.91	0.87	0.99	1.07	1.15	1.23	1.32	1.40	1.49	1.58	1.66	1.74	1.82	1.90	1.98
20.0	0.91	0.88	1.03	1.11	1.20	1.29	1.38	1.47	1.56	1.65	1.74	1.83	1.92	2.00	2.08
22.0	0.91	0.88	1.07	1.15	1.25	1.34	1.44	1.54	1.63	1.73	1.82	1.91	2.00	2.09	2.18
24.0	0.91	0.89	1.10	1.20	1.29	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	1.99	2.09	2.18	2.27
26.0	0.91	0.90	1.14	1.24	1.34	1.45	1.55	1.66	1.76	1.87	1.97	2.07	2.17	2.27	2.36
28.0	0.91	0.92	1.17	1.28	1.39	1.49	1.61	1.72	1.83	1.93	2.04	2.15	2.25	2.35	2.44
30.0	0.91	0.93	1.21	1.32	1.43	1.54	1.66	1.77	1.89	2.00	2.11	2.22	2.32	2.43	2.53
35.0	0.91	0.97	1.29	1.41	1.53	1.66	1.78	1.90	2.03	2.15	2.27	2.39	2.50	2.61	2.72
40.0	0.91	1.01	1.37	1.50	1.63	1.78	1.90	2.03	2.16	2.29	2.42	2.55	2.67	2.79	2.90
45.0	0.91	1.05	1.44	1.58	1.72	1.86	2.00	2.15	2.29	2.43	2.56	2.70	2.83	2.95	3.08
50.0	0.91	1.09	1.51	1.66	1.81	1.96	2.11	2.26	2.41	2.55	2.70	2.84	2.98	3.11	3.24
55.0	0.91	1.14	1.58	1.74	1.89	2.05	2.21	2.36	2.52	2.67	2.82	2.97	3.12	3.26	3.39
60.0	0.91	1.18	1.65	1.81	1.97	2.14	2.30	2.47	2.63	2.79	2.95	3.10	3.25	3.40	3.54
65.0	0.91	1.22	1.71	1.88	2.05	2.22	2.39	2.56	2.73	2.90	3.06	3.23	3.38	3.54	3.68
70.0	0.91	1.26	1.77	1.95	2.12	2.30	2.48	2.66	2.83	3.01	3.18	3.35	3.51	3.67	3.82
75.0	0.91	1.30	1.83	2.01	2.20	2.38	2.56	2.75	2.93	3.11	3.29	3.46	3.63	3.79	3.95
80.0	0.91	1.34	1.89	2.07	2.26	2.46	2.65	2.84	3.02	3.21	3.39	3.57	3.75	3.92	4.08
85.0	0.91	1.38	1.94	2.14	2.33	2.53	2.73	2.92	3.11	3.31	3.50	3.68	3.86	4.04	4.21
90.0	0.91	1.42	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.59	3.79	3.97	4.15	4.33
95.0	0.91	1.45	2.05	2.25	2.46	2.67	2.88	3.08	3.29	3.49	3.69	3.89	4.08	4.26	4.44
100.0	0.91	1.49	2.10	2.31	2.52	2.74	2.95	3.16	3.37	3.58	3.79	3.99	4.18	4.37	4.56

جدول ۳-۲ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.05

B \ α	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.91	0.84	0.81	0.90	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74
1.1	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
1.2	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
1.3	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77
1.4	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79
1.5	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78	0.79	0.80
1.6	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81
1.7	0.91	0.84	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82
1.8	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83
1.9	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
2.0	0.91	0.84	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
2.2	0.91	0.84	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88
2.4	0.91	0.84	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90
2.6	0.91	0.84	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.92
2.8	0.91	0.84	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94
3.0	0.91	0.84	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96
3.2	0.91	0.84	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96	0.99
3.4	0.91	0.85	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.85	0.86	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.01
3.6	0.91	0.85	0.82	0.82	0.82	0.83	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03
3.8	0.91	0.85	0.82	0.82	0.83	0.83	0.85	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96	0.99	1.02	1.05
4.0	0.91	0.85	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07
4.5	0.91	0.85	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.90	0.92	0.96	0.99	1.02	1.05	1.09	1.12
5.0	0.91	0.85	0.84	0.84	0.85	0.87	0.89	0.92	0.95	0.99	1.02	1.06	1.09	1.13	1.16
5.5	0.91	0.85	0.84	0.85	0.86	0.88	0.91	0.95	0.98	1.02	1.06	1.10	1.14	1.17	1.21
6.0	0.91	0.85	0.85	0.86	0.87	0.90	0.93	0.97	1.01	1.05	1.09	1.13	1.17	1.22	1.25
7.0	0.91	0.85	0.86	0.87	0.90	0.93	0.97	1.02	1.06	1.11	1.16	1.20	1.25	1.30	1.34
8.0	0.91	0.86	0.87	0.90	0.93	0.97	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.32	1.37	1.42
9.0	0.91	0.86	0.89	0.92	0.96	1.01	1.06	1.11	1.17	1.23	1.28	1.34	1.39	1.44	1.50
10.0	0.91	0.88	0.90	0.94	0.99	1.04	1.10	1.16	1.22	1.28	1.34	1.40	1.46	1.51	1.57
12.0	0.91	0.87	0.94	0.99	1.05	1.11	1.18	1.25	1.31	1.38	1.45	1.52	1.58	1.64	1.70
14.0	0.91	0.88	0.98	1.04	1.11	1.18	1.25	1.33	1.40	1.48	1.55	1.62	1.69	1.76	1.83
16.0	0.91	0.89	1.02	1.09	1.17	1.25	1.33	1.41	1.49	1.57	1.65	1.73	1.80	1.88	1.95
18.0	0.91	0.90	1.06	1.14	1.22	1.31	1.40	1.48	1.57	1.66	1.74	1.82	1.90	1.98	2.06
20.0	0.91	0.91	1.10	1.19	1.28	1.37	1.46	1.56	1.65	1.74	1.83	1.92	2.00	2.08	2.16
22.0	0.91	0.93	1.14	1.24	1.33	1.43	1.53	1.62	1.72	1.82	1.91	2.00	2.09	2.18	2.26
24.0	0.91	0.94	1.19	1.28	1.38	1.49	1.59	1.69	1.79	1.89	1.99	2.09	2.18	2.27	2.36
26.0	0.92	0.96	1.23	1.33	1.43	1.54	1.65	1.75	1.86	1.96	2.07	2.17	2.27	2.36	2.45
28.0	0.92	0.98	1.26	1.37	1.48	1.59	1.71	1.82	1.93	2.03	2.14	2.25	2.35	2.45	2.54
30.0	0.92	1.00	1.30	1.42	1.53	1.65	1.76	1.88	1.99	2.10	2.21	2.32	2.43	2.53	2.63
35.0	0.92	1.05	1.39	1.52	1.64	1.77	1.89	2.02	2.14	2.26	2.38	2.50	2.62	2.73	2.83
40.0	0.92	1.10	1.48	1.61	1.75	1.88	2.02	2.15	2.28	2.41	2.54	2.67	2.79	2.91	3.02
45.0	0.92	1.16	1.56	1.70	1.85	1.99	2.13	2.27	2.42	2.55	2.69	2.82	2.95	3.08	3.20
50.0	0.92	1.21	1.64	1.79	1.94	2.09	2.24	2.39	2.54	2.69	2.83	2.97	3.11	3.24	3.37
55.0	0.92	1.26	1.72	1.87	2.03	2.19	2.35	2.51	2.66	2.82	2.97	3.11	3.26	3.40	3.53
60.0	0.92	1.31	1.79	1.95	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.94	3.10	3.25	3.40	3.55	3.69
65.0	0.92	1.36	1.86	2.03	2.20	2.37	2.55	2.72	2.89	3.05	3.22	3.38	3.54	3.69	3.84
70.0	0.92	1.40	1.92	2.10	2.28	2.46	2.64	2.82	2.99	3.17	3.34	3.51	3.67	3.83	3.98
75.0	0.92	1.45	1.99	2.17	2.36	2.54	2.73	2.91	3.10	3.28	3.45	3.63	3.80	3.96	4.12
80.0	0.92	1.49	2.05	2.24	2.43	2.63	2.82	3.01	3.20	3.38	3.56	3.74	3.92	4.09	4.25
85.0	0.92	1.54	2.11	2.31	2.51	2.70	2.90	3.10	3.29	3.48	3.67	3.86	4.04	4.21	4.38
90.0	0.92	1.58	2.17	2.37	2.58	2.78	2.98	3.19	3.39	3.58	3.78	3.97	4.15	4.33	4.51
95.0	0.93	1.62	2.23	2.44	2.65	2.85	3.06	3.27	3.48	3.68	3.88	4.07	4.27	4.45	4.63
100.0	0.93	1.66	2.28	2.50	2.71	2.93	3.14	3.35	3.57	3.77	3.98	4.18	4.37	4.56	4.75

جدول ۳-۳ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.10

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.92	0.85	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75
1.1	0.92	0.85	0.81	0.80	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.77
1.2	0.92	0.85	0.81	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78
1.3	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79
1.4	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80
1.5	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81
1.6	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82
1.7	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84
1.8	0.92	0.85	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
1.9	0.92	0.85	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86
2.0	0.92	0.85	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87
2.2	0.92	0.85	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90
2.4	0.92	0.85	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92
2.6	0.92	0.85	0.83	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94
2.8	0.92	0.85	0.83	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97
3.0	0.92	0.85	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.97	0.99
3.2	0.92	0.85	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01
3.4	0.92	0.85	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.01	1.03
3.6	0.92	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.00	1.03	1.06
3.8	0.92	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.94	0.97	0.99	1.02	1.05	1.08
4.0	0.92	0.85	0.84	0.84	0.85	0.86	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.10
4.5	0.92	0.86	0.85	0.85	0.86	0.88	0.90	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.09	1.12	1.15
5.0	0.92	0.86	0.85	0.86	0.87	0.90	0.92	0.95	0.99	1.02	1.06	1.09	1.13	1.17	1.20
5.5	0.92	0.86	0.86	0.87	0.89	0.91	0.94	0.98	1.02	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21	1.25
6.0	0.92	0.86	0.87	0.88	0.90	0.93	0.97	1.00	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29
7.0	0.92	0.86	0.88	0.90	0.93	0.97	1.01	1.06	1.10	1.15	1.20	1.25	1.29	1.34	1.38
8.0	0.92	0.87	0.90	0.93	0.97	1.01	1.06	1.11	1.16	1.21	1.27	1.32	1.37	1.42	1.47
9.0	0.92	0.87	0.92	0.95	1.00	1.05	1.10	1.16	1.22	1.27	1.33	1.39	1.44	1.49	1.54
10.0	0.92	0.88	0.94	0.98	1.03	1.09	1.15	1.21	1.27	1.33	1.39	1.45	1.51	1.56	1.62
12.0	0.92	0.89	0.98	1.04	1.10	1.17	1.23	1.30	1.37	1.44	1.51	1.57	1.64	1.70	1.76
14.0	0.92	0.90	1.03	1.09	1.17	1.24	1.31	1.39	1.47	1.54	1.61	1.69	1.76	1.83	1.89
16.0	0.92	0.91	1.07	1.15	1.23	1.31	1.39	1.47	1.56	1.64	1.72	1.79	1.87	1.94	2.01
18.0	0.92	0.93	1.12	1.20	1.29	1.38	1.47	1.55	1.64	1.73	1.81	1.89	1.98	2.05	2.13
20.0	0.92	0.95	1.17	1.26	1.35	1.44	1.54	1.63	1.72	1.81	1.90	1.99	2.08	2.16	2.24
22.0	0.92	0.97	1.21	1.31	1.41	1.51	1.60	1.70	1.80	1.90	1.99	2.08	2.17	2.26	2.34
24.0	0.92	0.99	1.26	1.36	1.46	1.57	1.67	1.77	1.87	1.97	2.07	2.17	2.26	2.35	2.44
26.0	0.92	1.01	1.30	1.41	1.52	1.62	1.73	1.84	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.54
28.0	0.92	1.04	1.34	1.46	1.57	1.68	1.79	1.90	2.01	2.12	2.23	2.34	2.44	2.54	2.63
30.0	0.92	1.06	1.39	1.50	1.62	1.73	1.85	1.97	2.08	2.19	2.31	2.41	2.52	2.62	2.72
35.0	0.92	1.13	1.48	1.61	1.74	1.86	1.99	2.12	2.24	2.36	2.48	2.60	2.71	2.83	2.93
40.0	0.92	1.19	1.58	1.71	1.85	1.98	2.12	2.25	2.39	2.52	2.65	2.77	2.90	3.02	3.13
45.0	0.92	1.25	1.67	1.81	1.95	2.10	2.24	2.39	2.53	2.67	2.80	2.94	3.07	3.19	3.32
50.0	0.92	1.31	1.75	1.90	2.06	2.21	2.36	2.51	2.66	2.81	2.95	3.09	3.23	3.36	3.49
55.0	0.93	1.36	1.83	1.99	2.15	2.31	2.47	2.63	2.79	2.94	3.09	3.24	3.38	3.52	3.66
60.0	0.93	1.42	1.91	2.08	2.24	2.41	2.58	2.74	2.91	3.07	3.23	3.38	3.53	3.68	3.82
65.0	0.93	1.47	1.98	2.16	2.33	2.51	2 68	2.85	3.02	3.19	3.36	3.52	3.67	3.83	3.97
70.0	0.93	1.52	2.05	2.23	2.42	2.60	2.78	2.96	3.13	3.31	3.48	3.65	3.81	3.97	4.12
75.0	0.93	1.57	2.12	2.31	2.50	2.69	2.87	3.06	3.24	3.42	3.60	3.77	3.94	4.11	4.26
80.0	0.94	1.62	2.19	2.38	2.58	2.77	2.96	3.16	3.35	3.53	3.72	3.90	4.07	4.24	4.40
85.0	0.94	1.67	2.26	2.45	2.66	2.85	3.05	3.25	3.45	3.64	3.83	4.01	4.19	4.37	4.54
90.0	0.94	1.71	2.32	2.52	2.73	2.94	3.14	3.34	3.54	3.74	3.94	4.13	4.31	4.49	4.67
95.0	0.94	1.76	2.38	2.59	2.80	3.01	3.23	3.43	3.64	3.84	4.04	4.24	4.43	4.62	4.79
100.0	0.95	1.80	2.44	2.66	2.87	3.09	3.31	3.52	3.73	3.94	4.15	4.35	4.54	4.73	4.92

جدول ۳-۴ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.15

B \ α	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76
1.1	0.92	0.85	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
1.2	0.92	0.85	0.82	0.81	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79
1.3	0.92	0.85	0.82	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
1.4	0.92	0.85	0.82	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81
1.5	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83
1.6	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84
1.7	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85
1.8	0.92	0.86	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87
1.9	0.92	0.86	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.84	0.84	0.86	0.87	0.88
2.0	0.92	0.86	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89
2.2	0.92	0.86	0.83	0.83	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92
2.4	0.92	0.88	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.94
2.6	0.92	0.88	0.84	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97
2.8	0.92	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97	0.99
3.0	0.92	0.86	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.95	0.97	0.99	1.01
3.2	0.92	0.86	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.99	1.01	1.04
3.4	0.92	0.86	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.01	1.03	1.06
3.6	0.92	0.88	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06	1.08
3.8	0.92	0.88	0.85	0.85	0.86	0.87	0.89	0.91	0.94	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.10
4.0	0.92	0.86	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.10	1.13
4.5	0.92	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18
5.0	0.92	0.87	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.05	1.09	1.12	1.16	1.20	1.23
5.5	0.92	0.87	0.88	0.89	0.91	0.94	0.97	1.01	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21	1.24	1.28
6.0	0.92	0.87	0.88	0.90	0.93	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.21	1.25	1.29	1.33
7.0	0.92	0.87	0.90	0.93	0.96	1.00	1.05	1.09	1.14	1.19	1.24	1.28	1.33	1.38	1.42
8.0	0.92	0.88	0.92	0.96	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.31	1.36	1.41	1.46	1.51
9.0	0.92	0.88	0.95	0.99	1.04	1.09	1.14	1.20	1.26	1.32	1.37	1.43	1.48	1.54	1.59
10.0	0.92	0.89	0.97	1.02	1.07	1.13	1.19	1.25	1.31	1.38	1.44	1.50	1.55	1.61	1.67
12.0	0.92	0.90	1.02	1.08	1.15	1.21	1.28	1.35	1.42	1.49	1.56	1.62	1.69	1.75	1.81
14.0	0.92	0.92	1.07	1.14	1.22	1.29	1.37	1.44	1.52	1.60	1.67	1.74	1.81	1.88	1.95
16.0	0.92	0.94	1.12	1.20	1.28	1.37	1.45	1.53	1.61	1.69	1.77	1.85	1.93	2.00	2.07
18.0	0.92	0.96	1.18	1.26	1.35	1.44	1.53	1.61	1.70	1.79	1.87	1.96	2.04	2.12	2.19
20.0	0.92	0.99	1.23	1.32	1.41	1.51	1.60	1.69	1.79	1.88	1.97	2.06	2.14	2.23	2.31
22.0	0.92	1.01	1.28	1.37	1.47	1.57	1.67	1.77	1.87	1.96	2.06	2.15	2.24	2.33	2.41
24.0	0.92	1.04	1.32	1.43	1.53	1.63	1.74	1.84	1.95	2.05	2.15	2.24	2.34	2.43	2.52
26.0	0.93	1.07	1.37	1.48	1.59	1.70	1.80	1.91	2.02	2.13	2.23	2.33	2.43	2.52	2.62
28.0	0.93	1.10	1.41	1.53	1.64	1.75	1.87	1.98	2.09	2.20	2.31	2.41	2.52	2.62	2.71
30.0	0.93	1.12	1.46	1.58	1.69	1.81	1.93	2.05	2.16	2.28	2.39	2.50	2.60	2.70	2.80
35.0	0.93	1.19	1.56	1.69	1.82	1.95	2.08	2.20	2.33	2.45	2.57	2.69	2.80	2.91	3.02
40.0	0.93	1.26	1.66	1.80	1.94	2.08	2.21	2.35	2.48	2.61	2.74	2.87	2.99	3.11	3.23
45.0	0.93	1.33	1.76	1.90	2.05	2.19	2.34	2.48	2.63	2.77	2.90	3.04	3.17	3.30	3.42
50.0	0.93	1.39	1.85	2.00	2.15	2.31	2.46	2.61	2.76	2.91	3.06	3.20	3.34	3.47	3.60
55.0	0.94	1.45	1.93	2.09	2.26	2.42	2.58	2.74	2.90	3.05	3.20	3.35	3.50	3.64	3.77
60.0	0.94	1.51	2.01	2.18	2.35	2.52	2.69	2.86	3.02	3.18	3.34	3.50	3.65	3.80	3.94
65.0	0.94	1.57	2.09	2.27	2.44	2.62	2.80	2.97	3.14	3.31	3.48	3.64	3.80	3.95	4.10
70.0	0.94	1.62	2.17	2.35	2.53	2.72	2.90	3.08	3.26	3.43	3.60	3.77	3.94	4.09	4.25
75.0	0.95	1.68	2.24	2.43	2.62	2.81	3.00	3.18	3.37	3.55	3.73	3.90	4.07	4.24	4.40
80.0	0.95	1.73	2.31	2.51	2.70	2.90	3.09	3.29	3.48	3.67	3.85	4.03	4.20	4.37	4.54
85.0	0.96	1.78	2.38	2.58	2.78	2.99	3.19	3.39	3.58	3.78	3.97	4.15	4.33	4.51	4.68
90.0	0.96	1.83	2.45	2.66	2.86	3.07	3.28	3.48	3.69	3.88	4.08	4.27	4.46	4.64	4.81
95.0	0.97	1.88	2.51	2.73	2.94	3.15	3.37	3.58	3.78	3.99	4.19	4.39	4.58	4.76	4.94
100.0	0.98	1.92	2.58	2.80	3.02	3.23	3.45	3.87	3.88	4.09	4.30	4.50	4.69	4.88	5.07

جدول ۳-۵ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.20

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
1.1	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
1.2	0.92	0.86	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80
1.3	0.92	0.86	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
1.4	0.92	0.86	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83
1.5	0.92	0.86	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
1.6	0.92	0.86	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.85
1.7	0.92	0.86	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87
1.8	0.92	0.86	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
1.9	0.92	0.86	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
2.0	0.92	0.86	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91
2.2	0.92	0.86	0.84	0.84	0.83	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93
2.4	0.92	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.87	0.88	0.89	0.91	0.92	0.94	0.96
2.6	0.92	0.86	0.85	0.84	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97	0.98
2.8	0.92	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97	0.99	1.01
3.0	0.92	0.87	0.85	0.85	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.03
3.2	0.92	0.87	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.99	1.01	1.03	1.06
3.4	0.92	0.87	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.98	1.01	1.03	1.06	1.08
3.6	0.92	0.87	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	1.00	1.02	1.05	1.08	1.11
3.8	0.92	0.87	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.96	0.99	1.01	1.04	1.07	1.10	1.13
4.0	0.92	0.87	0.87	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15
4.5	0.92	0.87	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.11	1.14	1.17	1.21
5.0	0.92	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.15	1.19	1.22	1.26
5.5	0.92	0.88	0.89	0.91	0.93	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.24	1.27	1.31
6.0	0.92	0.88	0.90	0.92	0.95	0.99	1.03	1.07	1.11	1.15	1.19	1.24	1.28	1.32	1.36
7.0	0.92	0.89	0.92	0.95	0.99	1.03	1.08	1.13	1.17	1.22	1.27	1.32	1.37	1.41	1.45
8.0	0.92	0.89	0.95	0.99	1.03	1.08	1.13	1.18	1.24	1.29	1.34	1.40	1.45	1.50	1.54
9.0	0.93	0.90	0.97	1.02	1.07	1.12	1.18	1.24	1.30	1.35	1.41	1.47	1.52	1.58	1.63
10.0	0.93	0.91	1.00	1.05	1.11	1.17	1.23	1.29	1.35	1.42	1.48	1.54	1.60	1.65	1.71
12.0	0.93	0.92	1.06	1.12	1.19	1.25	1.33	1.40	1.47	1.53	1.60	1.67	1.73	1.80	1.86
14.0	0.93	0.94	1.11	1.19	1.26	1.34	1.41	1.49	1.57	1.64	1.72	1.79	1.86	1.93	2.00
16.0	0.93	0.97	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.91	1.98	2.06	2.13
18.0	0.93	1.00	1.22	1.31	1.40	1.49	1.58	1.67	1.76	1.84	1.93	2.01	2.09	2.17	2.25
20.0	0.93	1.02	1.28	1.37	1.47	1.56	1.66	1.75	1.85	1.94	2.03	2.12	2.20	2.28	2.36
22.0	0.93	1.05	1.33	1.43	1.53	1.63	1.73	1.83	1.93	2.03	2.12	2.21	2.30	2.39	2.48
24.0	0.93	1.08	1.38	1.48	1.59	1.70	1.80	1.91	2.01	2.11	2.21	2.31	2.40	2.49	2.58
26.0	0.93	1.12	1.43	1.54	1.65	1.76	1.87	1.98	2.09	2.19	2.30	2.40	2.50	2.59	2.68
28.0	0.93	1.15	1.48	1.59	1.71	1.82	1.94	2.05	2.16	2.27	2.38	2.48	2.59	2.69	2.78
30.0	0.93	1.18	1.52	1.64	1.76	1.88	2.00	2.12	2.23	2.35	2.46	2.57	2.67	2.78	2.88
35.0	0.93	1.25	1.63	1.76	1.89	2.02	2.15	2.28	2.40	2.53	2.65	2.77	2.88	2.99	3.10
40.0	0.94	1.33	1.74	1.88	2.02	2.15	2.29	2.43	2.56	2.70	2.83	2.95	3.08	3.20	3.31
45.0	0.94	1.40	1.84	1.98	2.13	2.28	2.43	2.57	2.71	2.85	2.99	3.13	3.26	3.39	3.51
50.0	0.94	1.46	1.93	2.09	2.24	2.40	2.55	2.71	2.86	3.01	3.15	3.29	3.43	3.56	3.69
55.0	0.95	1.53	2.02	2.18	2.35	2.51	2.67	2.83	2.99	3.15	3.30	3.45	3.60	3.74	3.87
60.0	0.95	1.59	2.10	2.28	2.45	2.62	2.79	2.96	3.12	3.29	3.44	3.60	3.75	3.90	4.04
65.0	0.96	1.65	2.19	2.37	2.54	2.72	2.90	3.07	3.25	3.42	3.58	3.75	3.90	4.06	4.20
70.0	0.96	1.71	2.27	2.45	2.64	2.82	3.01	3.19	3.37	3.54	3.72	3.88	4.05	4.21	4.36
75.0	0.97	1.77	2.34	2.54	2.73	2.92	3.11	3.30	3.48	3.67	3.84	4.02	4.19	4.35	4.51
80.0	0.98	1.82	2.42	2.62	2.81	3.01	3.21	3.40	3.60	3.78	3.97	4.15	4.32	4.49	4.66
85.0	0.99	1.88	2.49	2.69	2.90	3.10	3.31	3.51	3.70	3.90	4.09	4.27	4.46	4.63	4.80
90.0	1.00	1.93	2.56	2.77	2.98	3.19	3.40	3.61	3.81	4.01	4.21	4.40	4.58	4.76	4.94
95.0	1.01	1.98	2.63	2.84	3.06	3.28	3.49	3.70	3.91	4.12	4.32	4.52	4.71	4.89	5.07
100.0	1.02	2.03	2.69	2.92	3.14	3.36	3.58	3.80	4.01	4.22	4.43	4.63	4.83	5.02	5.20

جدول ۳-۶ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A و C مفصل P1/P2 =0.25

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.93	0.86	0.83	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78
1.1	0.93	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.2	0.93	0.87	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81
1.3	0.93	0.87	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83
1.4	0.93	0.87	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
1.5	0.93	0.87	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85	0.85
1.6	0.93	0.87	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86	0.87
1.7	0.93	0.87	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88
1.8	0.93	0.87	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
1.9	0.93	0.87	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91
2.0	0.93	0.87	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92
2.2	0.93	0.87	0.85	0.85	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.95
2.4	0.93	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.92	0.94	0.96	0.98
2.6	0.93	0.87	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.98	1.00
2.8	0.93	0.87	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.99	1.01	1.03
3.0	0.93	0.87	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.96	0.99	1.01	1.03	1.05
3.2	0.93	0.87	0.86	0.87	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.01	1.03	1.05	1.08
3.4	0.93	0.87	0.87	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97	1.00	1.03	1.05	1.08	1.10
3.6	0.93	0.88	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.96	0.99	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13
3.8	0.93	0.88	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95	0.98	1.01	1.04	1.06	1.09	1.12	1.15
4.0	0.93	0.88	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.17
4.5	0.93	0.88	0.89	0.90	0.92	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.10	1.13	1.17	1.20	1.23
5.0	0.93	0.88	0.90	0.91	0.94	0.96	0.99	1.03	1.07	1.10	1.14	1.18	1.21	1.25	1.29
5.5	0.93	0.89	0.91	0.93	0.95	0.99	1.02	1.06	1.10	1.14	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34
6.0	0.93	0.89	0.92	0.94	0.97	1.01	1.05	1.09	1.14	1.18	1.22	1.27	1.31	1.35	1.39
7.0	0.93	0.90	0.94	0.98	1.02	1.06	1.11	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.44	1.49
8.0	0.93	0.90	0.97	1.01	1.06	1.11	1.16	1.21	1.27	1.32	1.38	1.43	1.48	1.53	1.58
9.0	0.93	0.91	1.00	1.05	1.10	1.16	1.21	1.27	1.33	1.39	1.45	1.50	1.56	1.61	1.66
10.0	0.93	0.92	1.03	1.08	1.14	1.20	1.27	1.33	1.39	1.45	1.51	1.57	1.63	1.69	1.74
12.0	0.93	0.94	1.09	1.15	1.22	1.29	1.36	1.43	1.51	1.57	1.64	1.71	1.77	1.84	1.90
14.0	0.93	0.97	1.15	1.22	1.30	1.38	1.46	1.53	1.61	1.69	1.76	1.84	1.91	1.97	2.04
16.0	0.93	1.00	1.21	1.29	1.38	1.46	1.54	1.63	1.71	1.79	1.87	1.95	2.03	2.10	2.17
18.0	0.93	1.03	1.27	1.36	1.45	1.54	1.63	1.72	1.81	1.89	1.98	2.06	2.15	2.22	2.30
20.0	0.93	1.06	1.32	1.42	1.52	1.61	1.71	1.80	1.90	1.99	2.08	2.17	2.26	2.34	2.42
22.0	0.93	1.09	1.38	1.48	1.58	1.68	1.78	1.88	1.98	2.08	2.18	2.27	2.36	2.45	2.53
24.0	0.93	1.13	1.43	1.54	1.64	1.75	1.86	1.96	2.07	2.17	2.27	2.37	2.46	2.55	2.64
26.0	0.94	1.16	1.48	1.59	1.71	1.82	1.93	2.04	2.15	2.25	2.36	2.46	2.56	2.65	2.75
28.0	0.94	1.19	1.53	1.65	1.76	1.88	2.00	2.11	2.22	2.33	2.44	2.55	2.65	2.75	2.85
30.0	0.94	1.23	1.58	1.70	1.82	1.94	2.06	2.18	2.30	2.41	2.52	2.63	2.74	2.84	2.94
35.0	0.94	1.31	1.69	1.83	1.96	2.09	2.22	2.35	2.47	2.60	2.72	2.84	2.95	3.07	3.17
40.0	0.94	1.38	1.80	1.94	2.09	2.23	2.36	2.50	2.64	2.77	2.90	3.03	3.15	3.27	3.39
45.0	0.95	1.46	1.91	2.06	2.21	2.35	2.50	2.65	2.79	2.93	3.07	3.21	3.34	3.47	3.59
50.0	0.95	1.53	2.00	2.16	2.32	2.48	2.63	2.79	2.94	3.09	3.24	3.38	3.52	3.65	3.78
55.0	0.96	1.60	2.10	2.26	2.43	2.59	2.76	2.92	3.08	3.24	3.39	3.54	3.68	3.83	3.96
60.0	0.96	1.66	2.18	2.36	2.53	2.71	2.88	3.05	3.21	3.38	3.54	3.69	3.85	3.99	4.14
65.0	0.97	1.73	2.27	2.45	2.63	2.81	2.99	3.17	3.34	3.51	3.68	3.84	4.00	4.15	4.30
70.0	0.98	1.79	2.35	2.54	2.73	2.92	3.10	3.28	3.47	3.64	3.82	3.99	4.15	4.31	4.46
75.0	0.99	1.85	2.43	2.63	2.82	3.02	3.21	3.40	3.58	3.77	3.95	4.12	4.29	4.46	4.62
80.0	1.00	1.90	2.51	2.71	2.91	3.11	3.31	3.51	3.70	3.89	4.08	4.26	4.43	4.60	4.77
85.0	1.02	1.96	2.58	2.79	3.00	3.21	3.41	3.61	3.81	4.01	4.20	4.39	4.57	4.74	4.91
90.0	1.03	2.01	2.66	2.87	3.09	3.30	3.51	3.72	3.92	4.12	4.32	4.51	4.70	4.88	5.05
95.0	1.05	2.07	2.73	2.95	3.17	3.39	3.60	3.82	4.03	4.23	4.44	4.63	4.83	5.01	5.19
100.0	1.07	2.12	2.80	3.02	3.25	3.47	3.70	3.91	4.13	4.34	4.55	4.75	4.95	5.14	5.33

جدول ۳-۷ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.00

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
1.1	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47
1.2	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
1.3	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48
1.4	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49
1.5	0.61	0.53	0.50	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50
1.6	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.51
1.7	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51
1.8	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.52
1.9	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53
2.0	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54
2.2	0.61	0.53	0.50	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55
2.4	0.61	0.53	0.50	0.50	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
2.6	0.61	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57
2.8	0.61	0.53	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58
3.0	0.61	0.53	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60
3.2	0.61	0.53	0.50	0.50	0.51	0.52	0.53	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61
3.4	0.61	0.53	0.51	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62
3.6	0.61	0.53	0.51	0.51	0.52	0.53	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62
3.8	0.61	0.53	0.51	0.51	0.52	0.54	0.55	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.63
4.0	0.61	0.53	0.51	0.51	0.53	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64
4.5	0.61	0.53	0.51	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.66
5.0	0.61	0.53	0.52	0.53	0.55	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68
5.5	0.61	0.53	0.52	0.54	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.69
6.0	0.61	0.53	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.67	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71
7.0	0.61	0.53	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.69	0.70	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.73
8.0	0.61	0.53	0.57	0.61	0.64	0.67	0.69	0.72	0.73	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75
9.0	0.61	0.53	0.60	0.63	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77
10.0	0.61	0.54	0.62	0.66	0.69	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.79
12.0	0.61	0.54	0.66	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.81
14.0	0.61	0.53	0.69	0.73	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.83
16.0	0.61	0.53	0.73	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85
18.0	0.61	0.53	0.76	0.80	0.83	0.86	0.88	0.90	0.91	0.91	0.91	0.90	0.89	0.88	0.86
20.0	0.61	0.53	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.89	0.87
22.0	0.61	0.53	0.81	0.85	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.88
24.0	0.61	0.53	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.96	0.96	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91	0.89
26.0	0.61	0.53	0.85	0.89	0.92	0.95	0.96	0.97	0.98	0.97	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90
28.0	0.61	0.53	0.87	0.91	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	0.96	0.95	0.93	0.90
30.0	0.61	0.53	0.89	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91
35.0	0.61	0.53	0.93	0.97	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	1.00	0.99	0.97	0.94	0.92
40.0	0.61	0.53	0.97	1.00	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.93
45.0	0.61	0.53	1.00	1.03	1.05	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.03	1.01	0.99	0.96	0.94
50.0	0.61	0.53	1.03	1.06	1.08	1.09	1.09	1.09	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.97	0.94
55.0	0.61	0.53	1.05	1.08	1.10	1.11	1.11	1.10	1.09	1.07	1.05	1.03	1.00	0.98	0.95
60.0	0.61	0.53	1.08	1.10	1.12	1.12	1.12	1.11	1.10	1.08	1.06	1.04	1.01	0.98	0.95
65.0	0.61	0.53	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.07	1.04	1.01	0.99	0.95
70.0	0.61	0.53	1.11	1.13	1.15	1.15	1.14	1.13	1.12	1.10	1.07	1.05	1.02	0.99	0.96
75.0	0.61	0.53	1.13	1.15	1.16	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.08	1.05	1.02	0.99	0.96
80.0	0.61	0.53	1.14	1.16	1.17	1.17	1.16	1.15	1.13	1.11	1.08	1.06	1.03	0.99	0.96
85.0	0.62	0.53	1.16	1.17	1.18	1.18	1.17	1.15	1.14	1.11	1.09	1.06	1.03	1.00	0.96
90.0	0.62	0.53	1.17	1.18	1.19	1.19	1.18	1.16	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.00	0.97
95.0	0.62	0.53	1.18	1.19	1.20	1.19	1.18	1.17	1.15	1.12	1.09	1.06	1.03	1.00	0.97
100.0	0.62	0.53	1.19	1.20	1.21	1.20	1.19	1.17	1.15	1.12	1.10	1.07	1.04	1.00	0.97

جدول ۳-۸ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.05

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.61	0.54	0.51	0.50	0.49	0.48	0.43	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
1.1	0.61	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49
1.2	0.61	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49
1.3	0.61	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50
1.4	0.61	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51
1.5	0.61	0.54	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
1.6	0.61	0.54	0.51	0.50	0.50	0.50	0.49	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52
1.7	0.61	0.54	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53
1.8	0.61	0.54	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54
1.9	0.61	0.54	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55
2.0	0.61	0.54	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55
2.2	0.61	0.54	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57
2.4	0.61	0.54	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58
2.6	0.61	0.54	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59
2.8	0.61	0.54	0.52	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61
3.0	0.61	0.54	0.52	0.52	0.52	0.53	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62
3.2	0.61	0.54	0.52	0.52	0.53	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63
3.4	0.61	0.54	0.52	0.52	0.53	0.55	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64
3.6	0.61	0.54	0.52	0.53	0.54	0.56	0.57	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.65	0.65
3.8	0.61	0.54	0.52	0.53	0.55	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66
4.0	0.61	0.54	0.53	0.54	0.55	0.57	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67
4.5	0.61	0.54	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69
5.0	0.61	0.54	0.54	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71
5.5	0.61	0.54	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72
6.0	0.61	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74
7.0	0.61	0.54	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76
8.0	0.61	0.55	0.62	0.65	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80	0.79	0.79
9.0	0.61	0.55	0.64	0.68	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80	0.81	0.82	0.82	0.82	0.81	0.80
10.0	0.61	0.55	0.66	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82
12.0	0.61	0.57	0.71	0.75	0.78	0.81	0.83	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.85
14.0	0.61	0.60	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87
16.0	0.61	0.63	0.78	0.82	0.86	0.88	0.90	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.90	0.88
18.0	0.61	0.66	0.81	0.85	0.89	0.91	0.93	0.95	0.95	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.90
20.0	0.61	0.69	0.84	0.88	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91
22.0	0.61	0.71	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.94	0.92
24.0	0.61	0.74	0.90	0.93	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	0.97	0.95	0.93
26.0	0.61	0.76	0.92	0.96	0.99	1.01	1.02	1.03	1.03	1.02	1.01	1.00	0.98	0.96	0.94
28.0	0.61	0.78	0.94	0.98	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.01	0.99	0.97	0.94
30.0	0.61	0.80	0.96	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00	0.98	0.95
35.0	0.61	0.85	1.01	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.01	0.99	0.96
40.0	0.61	0.89	1.05	1.08	1.10	1.11	1.12	1.11	1.10	1.09	1.07	1.05	1.03	1.00	0.97
45.0	0.61	0.93	1.08	1.11	1.13	1.14	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.06	1.04	1.01	0.98
50.0	0.61	0.96	1.11	1.14	1.15	1.16	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.07	1.05	1.02	0.99
55.0	0.61	0.99	1.14	1.16	1.17	1.18	1.17	1.17	1.15	1.13	1.11	1.08	1.05	1.02	0.99
60.0	0.61	1.02	1.16	1.18	1.19	1.19	1.19	1.18	1.16	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.00
65.0	0.61	1.05	1.18	1.20	1.21	1.21	1.20	1.19	1.17	1.15	1.12	1.10	1.07	1.04	1.00
70.0	0.61	1.07	1.20	1.22	1.22	1.22	1.21	1.20	1.18	1.16	1.13	1.10	1.07	1.04	1.01
75.0	0.62	1.09	1.22	1.23	1.24	1.23	1.22	1.21	1.19	1.16	1.14	1.11	1.08	1.04	1.01
80.0	0.62	1.12	1.23	1.25	1.25	1.25	1.23	1.22	1.19	1.17	1.14	1.11	1.08	1.05	1.01
85.0	0.63	1.14	1.25	1.26	1.26	1.26	1.24	1.22	1.20	1.17	1.15	1.12	1.08	1.05	1.02
90.0	0.64	1.15	1.26	1.27	1.27	1.26	1.25	1.23	1.21	1.18	1.15	1.12	1.09	1.05	1.02
95.0	0.66	1.17	1.28	1.28	1.28	1.27	1.26	1.24	1.21	1.18	1.15	1.12	1.09	1.06	1.02
100.0	0.67	1.19	1.29	1.29	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.16	1.13	1.09	1.06	1.03

جدول ۳-۹ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.01

B \ α	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.61	0.55	0.52	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
1.1	0.61	0.55	0.52	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
1.2	0.61	0.55	0.52	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
1.3	0.61	0.55	0.52	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
1.4	0.61	0.55	0.52	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52
1.5	0.61	0.55	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53
1.6	0.61	0.55	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54
1.7	0.61	0.55	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55
1.8	0.61	0.55	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55
1.9	0.61	0.55	0.52	0.52	0.51	0.51	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56
2.0	0.61	0.55	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57
2.2	0.61	0.55	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.59
2.4	0.61	0.55	0.52	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60
2.6	0.61	0.55	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.61
2.8	0.61	0.55	0.53	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62	0.63
3.0	0.61	0.55	0.53	0.53	0.54	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64
3.2	0.61	0.55	0.53	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65	0.65
3.4	0.61	0.55	0.54	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.66
3.6	0.61	0.55	0.54	0.55	0.56	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	0.67
3.8	0.61	0.55	0.54	0.55	0.57	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68
4.0	0.61	0.55	0.55	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69
4.5	0.61	0.55	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71
5.0	0.61	0.55	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73
5.5	0.61	0.55	0.58	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75
6.0	0.61	0.55	0.60	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76
7.0	0.61	0.56	0.62	0.66	0.69	0.71	0.74	0.76	0.77	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80	0.79
8.0	0.61	0.56	0.65	0.69	0.72	0.74	0.77	0.79	0.80	0.82	0.82	0.83	0.83	0.82	0.81
9.0	0.61	0.57	0.68	0.71	0.75	0.77	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.84	0.83
10.0	0.61	0.58	0.70	0.74	0.77	0.80	0.83	0.84	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.85
12.0	0.61	0.61	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91	0.90	0.89	0.88
14.0	0.61	0.65	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90
16.0	0.61	0.68	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.94	0.92
18.0	0.61	0.71	0.86	0.90	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.94
20.0	0.61	0.74	0.90	0.93	0.97	0.99	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.97	0.95
22.0	0.61	0.77	0.93	0.96	0.99	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	1.00	0.98	0.96
24.0	0.61	0.79	0.95	0.99	1.02	1.04	1.05	1.06	1.06	1.06	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97
26.0	0.61	0.82	0.98	1.01	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.07	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98
28.0	0.61	0.84	1.00	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09	1.09	1.08	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99
30.0	0.61	0.86	1.02	1.06	1.08	1.10	1.11	1.11	1.10	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	0.99
35.0	0.61	0.91	1.07	1.10	1.12	1.14	1.14	1.14	1.13	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.01
40.0	0.61	0.96	1.11	1.14	1.16	1.17	1.17	1.17	1.16	1.14	1.12	1.10	1.08	1.06	1.02
45.0	0.61	1.00	1.15	1.17	1.19	1.20	1.20	1.19	1.18	1.16	1.14	1.11	1.09	1.06	1.03
50.0	0.61	1.04	1.18	1.20	1.22	1.22	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15	1.13	1.10	1.07	1.04
55.0	0.61	1.07	1.21	1.23	1.24	1.24	1.24	1.22	1.21	1.19	1.16	1.14	1.11	1.08	1.05
60.0	0.61	1.10	1.23	1.25	1.26	1.26	1.25	1.24	1.22	1.20	1.17	1.14	1.12	1.09	1.06
65.0	0.61	1.13	1.26	1.27	1.28	1.28	1.27	1.25	1.23	1.21	1.18	1.15	1.12	1.10	1.07
70.0	0.61	1.16	1.28	1.29	1.29	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.16	1.13	1.10	1.08
75.0	0.61	1.18	1.30	1.31	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.22	1.20	1.17	1.14	1.11	1.09
80.0	0.61	1.20	1.31	1.32	1.32	1.31	1.30	1.28	1.26	1.23	1.20	1.17	1.15	1.12	1.10
85.0	0.61	1.23	1.33	1.34	1.34	1.33	1.31	1.29	1.26	1.24	1.21	1.18	1.15	1.13	1.11
90.0	0.61	1.25	1.34	1.35	1.35	1.33	1.32	1.30	1.27	1.24	1.21	1.19	1.16	1.14	1.13
95.0	0.61	1.26	1.36	1.36	1.36	1.34	1.33	1.30	1.28	1.25	1.22	1.19	1.17	1.15	1.14
100.0	0.61	1.28	1.37	1.37	1.37	1.35	1.33	1.31	1.28	1.25	1.23	1.20	1.18	1.16	1.16

جدول ۳-۱۰ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.15

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.62	0.55	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
1.1	0.62	0.55	0.52	0.52	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
1.2	0.62	0.55	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
1.3	0.62	0.55	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52
1.4	0.62	0.55	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53
1.5	0.62	0.55	0.53	0.52	0.52	0.51	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54
1.6	0.62	0.55	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55
1.7	0.62	0.55	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56
1.8	0.62	0.55	0.53	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57
1.9	0.62	0.55	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58
2.0	0.62	0.55	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58	0.59
2.2	0.62	0.55	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.59	0.60	0.60	0.60
2.4	0.62	0.55	0.53	0.54	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62
2.6	0.62	0.55	0.54	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.63
2.8	0.62	0.55	0.54	0.54	0.55	0.57	0.58	0.59	0.60	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64
3.0	0.62	0.55	0.54	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66
3.2	0.62	0.56	0.55	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67
3.4	0.62	0.56	0.55	0.56	0.58	0.59	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68
3.6	0.62	0.56	0.56	0.57	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69
3.8	0.62	0.56	0.56	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70
4.0	0.62	0.56	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71
4.5	0.62	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.73
5.0	0.62	0.56	0.59	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.75
5.5	*0.62*	*0.56*	*0.61*	*0.63*	*0.66*	*0.68*	*0.71*	*0.73*	*0.74*	*0.76*	*0.77*	*0.77*	*0.78*	*0.78*	*0.77*
6.0	0.62	0.57	0.62	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.76	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79
7.0	0.62	0.57	0.65	0.69	0.71	0.74	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.83	0.82	0.82
8.0	0.62	0.58	0.68	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.84
9.0	0.62	0.60	0.71	0.75	0.78	0.81	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.88	0.87	0.86
10.0	0.62	0.61	0.74	0.77	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.88
12.0	0.62	0.65	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91
14.0	0.62	0.69	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93
16.0	0.62	0.72	0.87	0.91	0.94	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	0.97	0.95
18.0	0.62	0.75	0.91	0.95	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97
20.0	0.62	0.78	0.94	0.98	1.01	1.03	1.05	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.02	1.01	0.98
22.0	0.62	0.81	0.97	1.01	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07	1.06	1.04	1.02	1.00
24.0	0.62	0.84	1.00	1.04	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01
26.0	0.62	0.87	1.03	1.06	1.09	1.11	1.12	1.12	1.12	1.11	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02
28.0	0.62	0.89	1.05	1.09	1.11	1.13	1.14	1.14	1.14	1.13	1.11	1.10	1.07	1.05	1.03
30.0	0.62	0.92	1.07	1.11	1.13	1.15	1.15	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11	1.08	1.06	1.04
35.0	0.62	0.97	1.13	1.16	1.18	1.19	1.19	1.19	1.18	1.17	1.15	1.13	1.11	1.08	1.06
40.0	0.62	1.02	1.17	1.20	1.21	1.22	1.22	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15	1.12	1.10	1.07
45.0	0.62	1.06	1.21	1.23	1.25	1.25	1.25	1.24	1.23	1.21	1.19	1.16	1.14	1.11	1.09
50.0	0.63	1.10	1.24	1.26	1.27	1.28	1.27	1.26	1.24	1.22	1.20	1.18	1.15	1.13	1.11
55.0	0.64	1.14	1.27	1.29	1.30	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.21	1.19	1.17	1.14	1.12
60.0	0.66	1.17	1.30	1.32	1.32	1.32	1.31	1.29	1.27	1.25	1.23	1.20	1.18	1.16	1.14
65.0	0.68	1.20	1.32	1.34	1.34	1.34	1.32	1.31	1.29	1.26	1.24	1.21	1.19	1.17	1.16
70.0	0.71	1.23	1.34	1.36	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.27	1.25	1.22	1.20	1.19	1.18
75.0	0.73	1.25	1.36	1.37	1.37	1.36	1.35	1.33	1.31	1.28	1.26	1.23	1.22	1.21	1.21
80.0	0.75	1.28	1.38	1.39	1.39	1.38	1.36	1.34	1.32	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.23
85.0	0.77	1.30	1.40	1.41	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.30	1.28	1.26	1.24	1.24	1.25
90.0	0.79	1.32	1.42	1.42	1.41	1.40	1.38	1.36	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26	1.26	1.28
95.0	0.81	1.34	1.43	1.43	1.42	1.41	1.39	1.37	1.34	1.32	1.30	1.28	1.28	1.28	1.31
100.0	0.83	1.36	1.44	1.44	1.43	1.42	1.40	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.29	1.31	1.33

جدول ۳-۱۱ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.20

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5
1.0	0.62	0.56	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.5
1.1	0.62	0.56	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.5
1.2	0.62	0.56	0.53	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.5
1.3	0.62	0.56	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53	0.5
1.4	0.62	0.56	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.5
1.5	0.62	0.56	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.5
1.6	0.62	0.56	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.5
1.7	0.62	0.56	0.54	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.5
1.8	0.62	0.56	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.5
1.9	0.62	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.5
2.0	0.62	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.6
2.2	0.62	0.56	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.61	0.6
2.4	0.62	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.61	0.62	0.63	0.63	0.6
2.6	0.62	0.56	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.65	0.6
2.8	0.62	0.56	0.55	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.6
3.0	0.62	0.56	0.56	0.56	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67	0.6
3.2	0.62	0.56	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.69	0.6
3.4	0.62	0.56	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.7
3.6	0.62	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.7
3.8	0.62	0.56	0.58	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.7
4.0	0.62	0.57	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.69	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73	0.7
4.5	0.62	0.57	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75	0.76	0.7
5.0	0.62	0.57	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.77	0.78	0.78	0.7
5.5	0.62	0.57	0.63	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.7
6.0	0.62	0.58	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.8
7.0	0.62	0.59	0.68	0.71	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.8
8.0	0.62	0.61	0.71	0.74	0.78	0.80	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.88	0.87	0.8
9.0	0.62	0.62	0.74	0.78	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.90	0.8
10.0	0.62	0.64	0.77	0.81	0.84	0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.9
12.0	0.62	0.68	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.9
14.0	0.62	0.72	0.87	0.91	0.94	0.96	0.98	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	0.98	0.9
16.0	0.62	0.76	0.91	0.95	0.98	1.00	1.02	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	1.00	0.9
18.0	0.62	0.79	0.95	0.99	1.02	1.04	1.06	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.0
20.0	0.62	0.82	0.98	1.02	1.05	1.07	1.09	1.10	1.10	1.09	1.09	1.07	1.06	1.04	1.0
22.0	0.62	0.85	1.01	1.05	1.08	1.10	1.11	1.12	1.12	1.12	1.11	1.09	1.07	1.06	1.0
24.0	0.62	0.88	1.04	1.08	1.11	1.13	1.14	1.14	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.07	1.0
26.0	0.62	0.91	1.07	1.11	1.13	1.15	1.16	1.16	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.08	1.0
28.0	0.62	0.94	1.10	1.13	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.17	1.15	1.13	1.11	1.09	1.0
30.0	0.62	0.96	1.12	1.15	1.18	1.19	1.20	1.20	1.19	1.18	1.16	1.15	1.12	1.10	1.0
35.0	0.62	1.02	1.17	1.20	1.22	1.23	1.24	1.23	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15	1.13	1.1
40.0	0.63	1.07	1.22	1.25	1.26	1.27	1.27	1.26	1.25	1.23	1.21	1.19	1.17	1.15	1.1
45.0	0.64	1.12	1.26	1.28	1.30	1.30	1.30	1.29	1.27	1.25	1.23	1.21	1.19	1.17	1.1
50.0	0.66	1.16	1.30	1.32	1.33	1.33	1.32	1.31	1.29	1.27	1.25	1.23	1.21	1.19	1.1
55.0	0.69	1.20	1.33	1.35	1.35	1.35	1.34	1.33	1.31	1.29	1.27	1.24	1.23	1.21	1.2
60.0	0.71	1.23	1.36	1.37	1.38	1.37	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.24	1.23	1.2
65.0	0.74	1.26	1.38	1.39	1.40	1.39	1.38	1.36	1.34	1.32	1.29	1.28	1.26	1.26	1.2
70.0	0.76	1.29	1.40	1.41	1.41	1.41	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.28	1.3
75.0	0.78	1.32	1.43	1.43	1.43	1.42	1.40	1.39	1.36	1.34	1.32	1.31	1.30	1.31	1.3
80.0	0.80	1.35	1.45	1.45	1.45	1.43	1.42	1.40	1.37	1.35	1.34	1.32	1.32	1.34	1.3
85.0	0.83	1.37	1.46	1.47	1.46	1.45	1.43	1.41	1.39	1.37	1.35	1.34	1.35	1.36	1.3
90.0	0.85	1.39	1.48	1.48	1.47	1.46	1.44	1.42	1.40	1.38	1.36	1.36	1.37	1.39	1.4
95.0	0.87	1.41	1.49	1.49	1.48	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39	1.38	1.38	1.39	1.42	1.4
100.0	0.89	1.43	1.51	1.51	1.50	1.48	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.40	1.42	1.45	1.4

جدول ۳-۱۲ ضریب طول مؤثر K برای ستون‌های پله‌دار [۱۵]

ستون ABC در A مفصل و در C گیردار P1/P2 =0.25

B \ a	0.10	0.20	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50
1.0	0.62	0.56	0.54	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
1.1	0.62	0.56	0.54	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
1.2	0.62	0.56	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
1.3	0.62	0.56	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
1.4	0.62	0.56	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55
1.5	0.62	0.56	0.54	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56
1.6	0.62	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57
1.7	0.62	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58
1.8	0.62	0.56	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59
1.9	0.62	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60
2.0	0.62	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.61
2.2	0.62	0.57	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63
2.4	0.62	0.57	0.56	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.65
2.6	0.62	0.57	0.56	0.57	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.66
2.8	0.62	0.57	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	0.67	0.68
3.0	0.62	0.57	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69
3.2	0.62	0.57	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70
3.4	0.62	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71
3.6	0.62	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73
3.8	0.62	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74
4.0	0.62	0.57	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75
4.5	0.62	0.58	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77
5.0	0.62	0.58	0.63	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.79
5.5	0.62	0.59	0.65	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.82	0.82	0.81
6.0	0.62	0.59	0.67	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.84	0.83
7.0	0.62	0.61	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86
8.0	0.62	0.63	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89
9.0	0.62	0.65	0.77	0.80	0.83	0.86	0.88	0.90	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91
10.0	0.62	0.67	0.80	0.83	0.87	0.89	0.92	0.93	0.95	0.95	0.96	0.96	0.95	0.94	0.93
12.0	0.62	0.71	0.85	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97
14.0	0.62	0.75	0.90	0.94	0.97	1.00	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99
16.0	0.62	0.79	0.94	0.98	1.01	1.04	1.05	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02
18.0	0.62	0.82	0.98	1.02	1.05	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.08	1.07	1.05	1.04
20.0	0.62	0.86	1.02	1.06	1.08	1.11	1.12	1.13	1.13	1.13	1.12	1.11	1.09	1.07	1.05
22.0	0.63	0.89	1.05	1.09	1.12	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07
24.0	0.63	0.92	1.08	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18	1.18	1.17	1.16	1.14	1.12	1.10	1.08
26.0	0.63	0.95	1.11	1.15	1.17	1.19	1.20	1.20	1.19	1.19	1.17	1.16	1.14	1.12	1.10
28.0	0.63	0.98	1.14	1.17	1.19	1.21	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19	1.17	1.15	1.13	1.11
30.0	0.63	1.00	1.16	1.19	1.22	1.23	1.24	1.23	1.23	1.22	1.20	1.18	1.16	1.14	1.12
35.0	0.64	1.06	1.22	1.25	1.27	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.23	1.21	1.19	1.17	1.15
40.0	0.65	1.12	1.27	1.29	1.31	1.31	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.20	1.19
45.0	0.67	1.16	1.31	1.33	1.34	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28	1.26	1.24	1.23	1.22
50.0	0.70	1.21	1.34	1.36	1.37	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.25	1.25
55.0	0.73	1.25	1.38	1.39	1.40	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.29
60.0	0.75	1.28	1.41	1.42	1.42	1.42	1.41	1.39	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.31	1.33
65.0	0.78	1.32	1.43	1.44	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.37	1.35	1.34	1.34	1.34	1.36
70.0	0.80	1.35	1.46	1.47	1.48	1.46	1.44	1.42	1.40	1.38	1.37	1.36	1.36	1.38	1.40
75.0	0.83	1.38	1.48	1.49	1.48	1.47	1.46	1.44	1.42	1.40	1.39	1.38	1.39	1.41	1.44
80.0	0.85	1.40	1.50	1.50	1.50	1.49	1.47	1.45	1.43	1.41	1.40	1.40	1.42	1.44	1.48
85.0	0.88	1.43	1.52	1.52	1.51	1.50	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.43	1.45	1.48	1.51
90.0	0.90	1.45	1.54	1.54	1.53	1.51	1.49	1.47	1.46	1.44	1.44	1.45	1.47	1.51	1.55
95.0	0.92	1.48	1.55	1.55	1.54	1.52	1.51	1.49	1.47	1.46	1.46	1.48	1.50	1.54	1.59
100.0	0.94	1.50	1.57	1.56	1.55	1.54	1.52	1.50	1.48	1.48	1.48	1.50	1.53	1.58	1.62

۳-۲-۲-۲ روش طراحی ستون‌های پله‌دار

مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی، بیان می‌کند که اعضای تحت تنش‌های خمشی و فشار محوری باید دارای اندازه‌هایی باشند که شرایط دوگانهٔ زیر را برآورده سازند:

(۱)
$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{C_{mx}\,f_{bx}}{[1-(f_a/F'_{ex})]F_{bx}}+\frac{C_{my}\,f_{by}}{[1-(f'_a/F'_{ey})]F_{by}}\le 1$$

$$\frac{f_a}{0.6\,F_y}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le 1 \qquad (۲)$$

باید توجه داشت که در رابطه (۱) از f'_a در مخرج یکی از کسرها استفاده شده است تا تمایزی با f_a ایجاد شود.

مقادیر متغیرهای به کار رفته در روابط فوق، به شرح زیر با توجه به شکل ۳-۲ برای ستون‌های پله‌دار تعیین می‌شوند:

f_a : در ستون پایینی $f_a=\frac{P_1+P_2}{A}$ که در آن A سطح مقطع کلی ستون پایینی است.

در ستون بالایی $f_a=\frac{P_1}{A}$ که در آن A سطح مقطع ستون بالایی است.

f'_a: در کنترل ستون پایینی برای خمش حول محور y-y به طور محافظه‌کارانه فرض می‌شود، که قطعه ستون تکیه‌گاه جرثقیل تمامی خمش حاصل از خروج از مرکزیت واکنش‌های تکیه‌گاهی تیر جرثقیل را تحمل می‌کند. بنابراین، تشدید f_{by} در نتیجه تغییر مکان ستون، وابسته به تنش محوری متوسط (f'_a) فقط در ستون تکیه‌گاه جرثقیل است. تنش (f'_a) به وسیله جمع جبری تنش متوسط ناشی از لنگر حول محور x-x، محاسبه شده در مرکز سطح مقطع ستون تکیه‌گاه جرثقیل، با تنش متوسط f_a در ستون مرکب پایینی به دست می‌آید.

F_a : تنش محوری مجاز تحت بار محوری است. این مقدار می‌تواند مربوط به کمانش تمامی ستون پله‌دار حول محور x- x باشد که مبتنی بر لاغری معادل $\frac{KL}{r_x}$ است. همچنین F_a می‌تواند مربوط به کمانش حول محور y- y برای طول بدون تکیه‌گاه ستون پایینی یا بالایی باشد. مقدار F_a را باید برابر با حداقل دو مقدار در هر یک از دو جفت مقدار مربوط به ستون‌های بالایی و پایینی، اختیار نمود. لاپه‌های داخلی پوشش دیوار را به عنوان تکیه‌گاه جانبی ستون در برابر کمانش محسوب نمی‌کنند، چرا که احتمال برداشتن آنها در طول عمر مفید ساختمان وجود دارد.

اگر تکیه‌گاه جانبی در جهت x فقط در نقاط B,A و C وجود داشته باشد، آنگاه طول معادل KL برای کمانش حول محور y-y را باید طول کامل مهارنشدهٔ AB در نظر گرفت. در کنترل ستون پایینی برای کمانش حول محور y-y، طول معادل KL را باید برابر ۰/۸ طول BC در صورت گیرداری پای ستون و برابر طول کامل BC در صورت عدم گیرداری پای ستون فرض کرد.

C_{mx} : برای خمش حول محور x- x از مقدار ۰/۸۵ استفاده می‌شود، اگر تمامی قاب‌ها تحت بار باد همزمان قرار گیرند و انتقال جانبی نیز ممکن باشد. برای ترکیبات شامل بار جرثقیل مشخص و برای بررسی فقط یک قاب می‌توان از مقدار ۰/۹۵ استفاده کرد.

C_{my} : از آنجا که قطعه ستون تکیه‌گاه تیر جرثقیل طبق فرض اولیه، تمامی خمش حول محور y- y را تحمل می‌کند، جملهٔ C_{my} فقط برای ستون پایینی کاربرد دارد (f_{by} برای ستون بالایی مساوی صفر فرض می‌شود). با فرض گیرداری در پای ستون و عدم همکاری ستون حامل وزن ساختمان، نیمی از لنگر وارده در نقطه B که ناشی از واکنش‌های نامساوی از تیرهای مجاور تکیه‌گاه است، به پای ستون منتقل می‌شود که در این حالت، C_{my} =۰/۴ است. اگر گیرداری پای ستون محتمل نباشد، مقدار C_{my} برابر ۰/۶ اختیار می‌شود (تکیه‌گاه مفصلی در پای ستون). در وضعیت‌های بینابین از نظر گیرداری پای ستون می‌توان بین ۰/۴ تا ۰/۶ را برای C_{my} اختیار نمود.

f_{bx} : حداکثر تنش ناشی از خمش حول محور x-x با فرض عملکرد یکپارچه دو جزو ستون در قسمت پایین و عملکرد منفرد ستون ساختمانی در قسمت بالا

f_{by} : حداکثر تنش ناشی از خمش حول محور y-y در جزو ستون حامل بار جرثقیل در قسمت پایین. مقدار f_{by} برای ستون ساختمانی بالایی معمولاً صفر فرض می‌شود.

F_{bx} : تنش مجاز فشار ناشی از خمش حول محور x-x در دورترین تار مقطع ستون حامل بار جرثقیل در قسمت پایین ستون.

در صورت لزوم و بنا به عدم تامین تکیه‌گاه جانبی مقدار F_{bx} کوچکتر از F_y ۰/۶ اختیار می‌شود. تنش مجاز ممکن است بر اساس کمانش قطعه ستون حامل بار جرثقیل حول محور y-y مطابق شکل ۳-۲ تعیین شود. (محور y-y در این شکل منطبق بر محور x-x مقطع ستون در جداول مقاطع فولادی است). تنش مجاز ستون که بدین نحو تعیین شده باشد باید در نسبت $\frac{C_m}{C_c}$ طبق برش B-B در شکل ۳-۲ ضرب شود. در هیچ حالتی نباید تنش مجاز را از F_y ۰/۶ بیشتر در نظر گرفت.

F_{by} : چون محور y-y محور ضعیف مقطع مرکب از ستون ساختمانی و ستون جرثقیل در خمش محسوب می‌شود، نیازی به کاهش تنش مجاز به علت احتمال کمانش جانبی نمی‌باشد. همچنین چون فرض شده است که مقاومت خمشی فقط به وسیله ستون حامل بار جرثقیل در قسمت پایین تأمین می‌شود، در صورت فشرده بودن مقطع این ستون می‌توان از تنش مجاز مقاطع فشرده استفاده نمود.

F'_{ex}: چون این تنش به عنوان مبنایی برای تعیین تشدید تغییر شکل ستون در صفحه خمش به کار می‌رود، محاسبه آن باید با استفاده از طول معادل ستون پله‌دار کامل، مانند تنش F_a، برای خمش حول محور x-x صورت گیرد.

F'_{ey}: تنش کمانش اولر حول محور y-y که برای قطعه ستون BC محاسبه می‌شود. در صورت گیرداری پای ستون در خمش حول محور y-y می‌توان از K =۰/۸ در تعیین طول موثر کمانش ستون جرثقیل استفاده نمود. در غیر این‌صورت از K =۱/۰ استفاده می‌شود. در تعیین KL مقدار L برابر طول قطعه ستون پایینی، یعنی BC خواهد بود.

۳-۳ طراحی تیرهای قاب اصلی

۳-۳-۱ تنش‌های خمشی مجاز

جزئیات طراحی نیمرخ‌های نورد شده، مقاطع مرکب ساخته شده، که یک یا دو محور تقارن داشته باشند و در صفحه تقارن بارگذاری شده باشند، مطالب این مبحث را تشکیل می‌دهند.

تیرها و شاه‌تیرهای مرکب (تیر ورق‌ها و تیرهای جعبه‌ای) بر حسب لاغری از هم متمایز می‌شوند، اگر نسبت ارتفاع آزاد جان (بین دو بال) به ضخامت آن $\left(\frac{h}{t_w}\right)$ از $\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$ بزرگتر باشد. تنش مجاز در خمش کمی کاهش می‌یابد، در قسمت‌های بعدی این مطلب به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

۳-۳-۱-۱ تنش مجاز خمشی در نیمرخ I

اعضای با مقطع فشرده (طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان) که نسبت به محور ضعیف خود متقارن باشند و در صفحه‌ای عبوری بر این محور بارگذاری شوند و شرایط تیر با تکیه‌گاه جانبی را نیز داشته باشند، تنش مجازشان از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$Fb = 0.66\ Fy$

که در آن، Fy حد جاری شدن فولاد است.

۳-۳-۱-۲ مقاطع فشرده و غیر فشرده فاقد شرط تکیه‌گاه جانبی

برای اعضای خمشی با مقطع فشرده یا غیر فشرده که طول آزاد (نگهداری شده) آنها در منطقه فشاری بیش از مقدار L_c باشد، تنش کششی مجاز در خمش $F_b = 0.6\ Fy$ تعیین می‌شود.

L_c طول بحرانی مهار نشده تیر می‌باشد که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$L_c = \frac{635 b_f}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_c = \frac{14\times10^5}{(\frac{d}{A_f})F_y}$$

در این اعضا که یک محور تقارن منطبق بر جان داشته باشند و در امتداد جان بارگذاری شوند، تـنش فشاری مجاز در خمش بزرگترین مقدار حاصـل از روابـط زیـر اسـت کـه در هـر حـال نبایـد از 0.6 Fy تجاوز کند.

اگر:

$$\sqrt{\frac{72\times10^5\, c_b}{Fy}} \le \frac{L}{r_t} < \sqrt{\frac{360\times10^5\, c_b}{Fy}}$$

آنگاه:

$$F_b = \left|\frac{2}{3} - \frac{Fy\left(\frac{L}{r_t}\right)^2}{1075\times10^5\, c_b}\right| Fy \le 0.6\,Fy$$

اگر:

$$\frac{L}{r_t} < \sqrt{\frac{360\times10^5\, c_b}{Fy}}$$

آنگاه:

$$F_b = \frac{120\times10^5\, c_b}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2} \le 0.6\,Fy$$

و به طور کلی برای تمام مقادیر $\frac{L}{r_t}$:

$$F_b = \frac{840000\, c_b}{\frac{Ld}{A_f}} \le 0.6\,Fy$$

F_y = حد جاری شدن فولاد تیر (kg/cm^2)

L = فاصله تکیه‌گاه‌هایی که از تغییر مکان و یا پیچیدن بال فشاری جلوگیری می‌کنند بر حسب (cm)

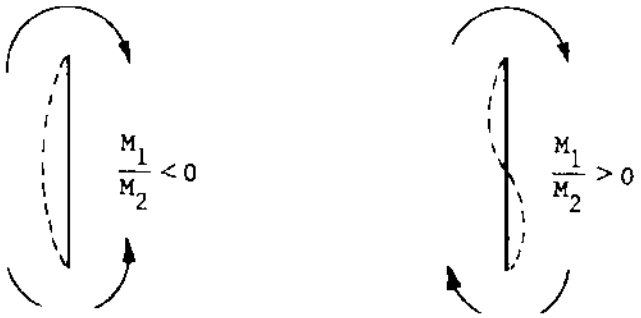
r_t = شعاع ژیراسیون مقطعی شامل مجموع بال فشاری و $\frac{۱}{۳}$ منطقه فشاری جان می‌باشد که نسبت به محور مار بر جان تیر محاسبه می‌شود (cm). r_t را می‌توان مساوی $۱/۲r_y$ در نظر گرفت که r_y شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور ضعیف است.

A_f = سطح مقطع بال فشاری (cm^2)

c_b = ضریبی است که از رابطهٔ $c_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2$ به دست می‌آید.

در هر حال بیشترین مقدار c_b برابر ۲/۳ است.

در این رابطه M_1 لنگر کوچکتر و M_2 لنگر بزرگتر در انتهای طول آزاد (بدون تکیه‌گاه جانبی) است که نسبت به محور قوی مقطع در نظر گرفته می‌شود. در حالتی که M_1 و M_2 علامت‌های مخالف دارند (انحنای ساده) این نسبت منفی به حساب می‌آید.



ب) انحنای ساده **الف) انحنای مضاعف**

شکل ۳-۳ رابطه M_1 لنگر کوچکتر و M_2 لنگر بزرگتر در انتهای طول آزاد

اگر لنگرهای خمشی در بین دو انتهای طول آزاد مقداری بزرگتر از لنگرهای دو انتها به خود بگیرد، ضریب c_b برابر یک محسوب می‌شود.

۳-۳-۱-۳ تنش مجاز خمشی نسبت به محور ضعیف

۳-۳-۱-۳-۱ اعضای با مقطع فشرده

عضوهایی که دو محور تقارن دارند و بالهای آنها شرایط مقطع فشرده را داشته و به طور سرتاسری به جان متصل باشد و تحت اثر خمش نسبت به محور ضعیف خود قرار گیرند، تنش مجازشان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$F_b = 0.75\ Fy$

۳-۳-۱-۳-۲ اعضای با مقطع غیر فشرده

عضوهایی که محدودیت‌های مقطع فشرده را برآورده نکنند اگر تحت اثر خمش نسبت به محور ثانوی خود قرار گیرند، تنش مجازشان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$F_b = 0.6\ Fy$

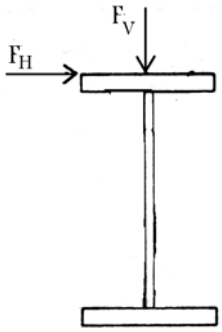
در مقاطع با تقارن در دو جهت، مانند I و H که نسبت به محور ضعیف خود، تحت خمش قرار گیرند در صورتی که بال آنها شرایط مقطع فشرده را احراز نکند و اتصال جان و بال به صورت سرتاسری باشد می‌توان از رابطه زیر با شرط $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{795}{\sqrt{Fy}}$ استفاده کرد:

$$F_b = Fy\left(1.075 - 0.0006\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{Fy}\right)$$

طبق مطالب عنوان شده، تیرهای باربر تحت خمش دو محوره قرار دارند لذا:

$$\frac{Mx/Sx}{F_{bx}} + \frac{My/Sy}{F_{by}} \le 1$$

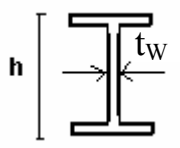
از آنجا که تیر تحت پیچش هم قرار می‌گیرد (به علت خارج از محور بودن F_H) بنـابراین در طراحـی تیر باید اثر پیچش را نیز منظور کرد. از آنجا که اثر پیچش، پیچیدگی‌های خالص خود را بـه همـراه دارد، توصیه می‌شود که در روابط بالا به جای Sy، $\frac{Sy}{2}$ در نظر گرفته شود، یعنـی تنهـا Sy مربـوط بـه بـال فشاری در نظر گرفته شود.



$$\frac{Mx/Sx}{F_{bx}}+\frac{2My/Sy}{F_{by}}\le 1$$

۳-۳-۲ تنش‌های برشی

اگر $\frac{h}{t_w}\le\frac{3185}{\sqrt{Fy}}$ باشد، برای سطح مقطعی که از حاصل ضرب ارتفاع کلی نیمرخ در ضخامت جـان بـه دست می‌آید تنش برشی مجاز عبارت است از:



$F_V = 0.4\ Fy$

در صورتی که $\frac{h}{t_w} > \frac{3185}{\sqrt{Fy}}$ باشد، برای سطح مقطع حاصل ضرب ارتفاع جان (فاصله خالص بین بالها) در ضخامت جان، تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_V = \frac{Fy}{2.89}(c_v) \le 0.4\,Fy$$

برای $C_V \le 0.8$

$$C_V = \frac{315\times 10^4\, k_v}{Fy\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

برای $C_V \ge 0.8$

$$C_V = \frac{1600}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v}{Fy}}$$

Fy بر حسب kg/cm^2

K_V به کمک یکی از روابط زیر بسته به مقدار $\left(\frac{a}{h}\right)$ به دست می‌آید.

$\frac{a}{h} < ۱$

$$kv = 4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$\frac{a}{h} \ge ۱$

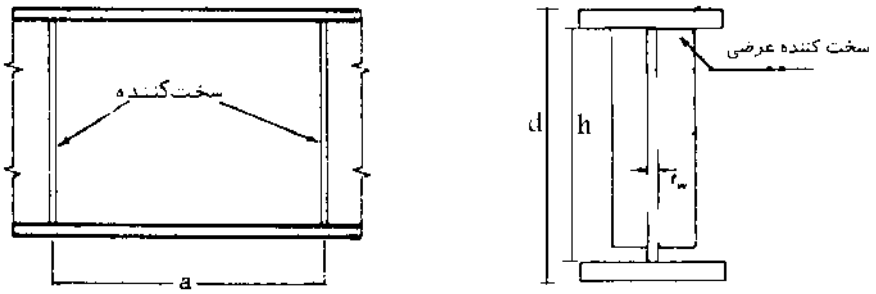
$$kv = 5.34 + \frac{4.0}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

در روابط فوق:

t_w = ضخامت جان بر حسب cm

a = فاصله خالص بین قطعات تقویتی جان (در امتداد طول تیر) بر حسب cm

h = ارتفاع آزاد جان (فاصلهٔ خالص بین بالهای تیر) بر حسب cm



شکل ۳-۴ قطعات تقویت‌کننده عرضی

۳-۳-۲-۱ قطعات تقویتی عرضی (سخت‌کننده‌های عرضی- پشت‌بندها)

اگر نسبت $\frac{h}{t_w}$ از ۲۶۰ تجاوز کند و تنش برشی حداکثر جان f_v از مقدار مجاز F_v بزرگتر باشد، باید قطعات تقویتی جان به کار برد.

فواصل این قطعات تقویتی باید طوری انتخاب شود که تنش برشی از مقدار F_V عنوان شده تجاوز نکند و شرط رابطه زیر هم برآورده شود:

$$\frac{a}{h}<۳ \qquad \text{و} \qquad \frac{a}{h}\leq\left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\right]^2$$

۳-۳-۳ طراحی تیر ورقها

در طراحی تیر ورقها، با سطح بزرگی از ورق با ضخامت کم روبرو هستیم. بزرگترین مسئله که در طراحی با آن روبرو هستیم، ناپایداری ارتجاعی (کمانش) این ورقها می‌باشد. ناپایداری‌هایی که در بررسی یک تیر ورق با آن مواجه می‌شویم به شرح زیر است:

الف) ناپایداری‌های بال فشاری تیر ورق

کمانش جانبی بال فشاری

کمانش پیچشی بال فشاری

کمانش قائم بال فشاری

ب) ناپایداری‌های جان تیر ورق

کمانش ورق جان بر اثر تنش‌های فشاری ناشی از خمش در صفحه جان (کمانش خمشی جان)

کمانش قائم ورق جان بر اثر تنش فشاری ناشی از انحنای خمشی بال فشاری (به کمانش قائم بال فشاری نیز معروف است.)

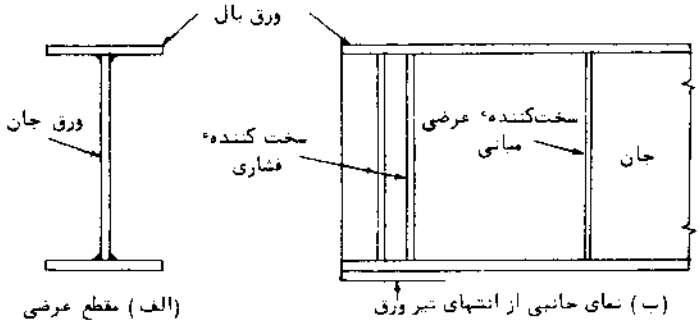
کمانش ورق جان بر اثر تنش‌های برشی

اثر متقابل تنش‌های خمشی و برشی جان

کمانش قائم جان بر اثر تنش‌های فشاری مستقیم

در طراحی یک تیر ورق، تک تک موارد فوق با استفاده از روش‌های منطقی منطبق بر آیین‌نامه باید کنترل گردد.

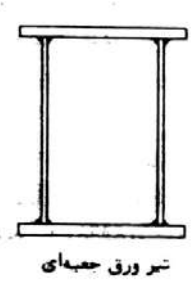
تیر ورق‌ها را می‌توان با اتصالات پیچشی، پرچی و یا جوششی ایجاد کرد. امروزه با توجه به کاربرد صنعت جوشکاری، تهیه تیر ورق از ترکیب سه ورق جایگزین روش‌های قبلی شده است. امروزه عموماً تیر ورق‌ها را در کارخانه به کمک اتصالات جوشی از دو ورق جهت بال و یک ورق برای جان و به صورت I می‌سازند.



شکل ۳-۵ تیر ورق

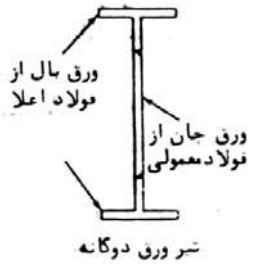
انواع تیر ورق‌ها به صورت زیر ساخته می‌شوند:

۱- تیر ورق قوطی شکل که در پل‌های طویل و زمانی که سختی پیچشی بالایی مورد نظر باشد، به کار می‌روند.



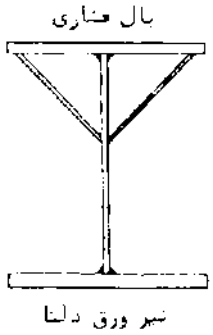
شکل۳-۶ تیر ورق جعبه‌ای [۸]

۲- تیر ورق دوگانه که با تغییر جنس فولاد مقطع، تنش بالای موجود در آن مقابله می‌شود.



شکل۳-۷ تیر ورق دوگانه [۸]

۳- تیر ورق دلتا: که برای حالتهایی که فواصل مهارهای جانبی لازم به منظور جلـوگیری از کمـانش بال بالا باشد، طراحی می‌شوند.



شکل۳-۸ تیر ورق دلتا [۸]

۳-۳-۳-۱ تعیین ابعاد مقطع

مقطع تیر ورق را باید به نحوی انتخاب کرد که اولاً بتواند به خوبی نقش خود را ایفا کند و ثانیاً حداقل هزینه را ایجاد نماید. نکاتی را که تیر ورق باید از نظر نقش خود به خوبی ایفا کند به صورت زیر خلاصه می‌شود:

مقاومت کافی در برابر لنگر خمشی (دارا بودن اساس مقطع Sx مناسب)

سختی قائم کافی جهت تأمین محدودیت‌های تغییر مکان (دارا بودن لنگر سختی Ix مناسب)

سختی جانبی کافی جهت مقابله با کمانش جانبی- پیچشی بال فشاری (دارا بودن مهارهـای جـانبی مناسب یا مقدار L/rt کوچک)

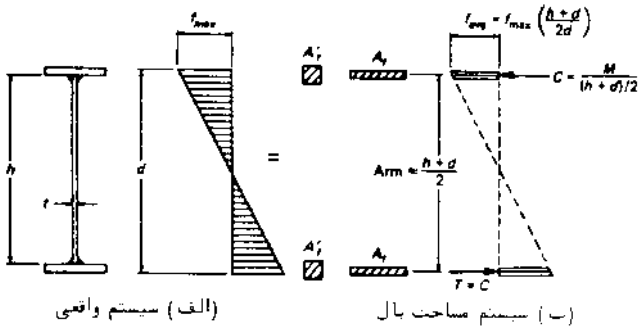
مقاومت کافی در برابر تحمل برش (دارا بودن سطح جان کافی)

سختی کافی جهت تأمین استحکام کمانش یا سپس کمانش جان (به تناسب h/t و a/h) بـه منظـور این که بتواند اهداف فوق را با حداقل هزینه تأمین نمود، فرض می‌شود که حداقل هزینه معادل با حداقل وزن باشد.

۳-۳-۳-۲ فرمول سطح بال

اگر تیر ورق شکل(الف) را با دستگاهی معادل شکل (ب) جایگزین کنیم، در این صورت می‌توان لنگر خمشی را با یک جفت نیرو که بر مراکز ثقل بالهای تیر ورق اثر می‌کند، جایگزین نماییم. اگر فواصل در بال تیر ورق تقریباً معادل $\left(\frac{h+d}{۲}\right)$ باشد. مقدار نیروی وارد بر بال تقریباً برابر:

$$C = T = \frac{M}{(h+d)/۲}$$



شکل۳-۹ سطح مقطع بال برای برقراری رابطه مساحت بال[۸]

Af= سطح بال تیر ورق A'_f = تأثیر جان تیر ورق

تنش متوسط روی سطح مقطع موثرکل

$$favg = \frac{M}{(h+d)/2}\left(\frac{1}{A_f + A'_f}\right)$$

از تساوی لنگر خمشی در معادلهٔ قدیم و جدید و ساده‌سازی رابطه‌ها، رابطه زیر به دست می‌آید:

و با فرض d= h

$$A'_f = \frac{A_w}{6}$$

$$A_f = \frac{M}{f\,h} - \frac{A_w}{6}$$

f در این رابطه تنش مجاز خمشی می‌باشد.

۳-۳-۳-۳ ارتفاع مناسب تیر ورق

جهت انتخاب ارتفاع اولیه برای طراحی تیر ورق‌ها می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$h=\left(\frac{۱}{۲۰} \quad \text{تا} \frac{۱}{۲۵}\right)L$$

در این بحث، تغییرات سطح مقطع تیر ورق را تابعی از ارتفاع جان می‌گیریم تا بدین وسیله سطح حداقل آن را تعیین کنیم.

$A_g = 2c_1 A_f + c_2 ht$

C_1= ضریب تقلیل اندازه بال در قسمتی که مقدار لنگر کمتر از لنگر حداقل است

C_2= ضریب تقلیل ضخامت جان در قسمتی از دهانه که برش کمتر از برش حداکثر است

با استفاده از رابطه سطح مقطع بالها $A_f=\frac{M}{fh}-\frac{Aw}{6}$ و نظر به اینکه برای مقدار حداقل سطح مقطع ناخالص باید $\frac{\partial Ag}{\partial h}=۰$ باشد، سه حالت را می‌توان در نظر گرفت:

حالت ۱) هرگاه محدودیتی برای ارتفاع نبوده و بخواهیم مقدار $\frac{h}{t}$ ثابت و برابر k باشد، در این صورت $t=\frac{h}{k}$ بوده و با صرف‌نظرکردن از کاهش سطح بال و سطح جان در طول تیر، یعنی $C_1=C_2=1$ خواهیم داشت:

$$h=\sqrt[3]{\frac{3MK}{2f}}$$

در چنین شرایطی:

وزن یک متر از طول تیر ورق بر حسب کیلوگرم = $۲.۰۶\sqrt[۳]{\frac{M^۲}{f^۲ k}}$

(نیرو بر حسب کیلوگرم و طول بر حسب سانتیمتر). در صورت وجود سخت‌کننده‌ها مقدار فوق را به میزان ۵ تا ۱۰ درصد افزایش می‌دهند.

حالت ۲) اگر حداقل ضخامت جان در نظر باشد، به نحوی که مقدار t ثابت باشد:

با فرض $C_1=C_2=1$ $h=\sqrt{\frac{3M}{f_t}}$

در این صورت:

وزن واحد طول تیر ورق $= ۱.۸۱\sqrt{\frac{Mt}{f}}$

حالت ۳) وجود نیروی برشی زیاد که تعیین‌کننده مساحت جان می‌باشد:

ثابت $= ht = A_w$

معادله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$A_g = 2c_1\left(\frac{M}{fh}-\frac{A_w}{6}\right)+c_2\,A_w$$

از این رابطه آشکار است که حداقل A_g از حداکثر ارتفاع h نتیجه می‌شود.

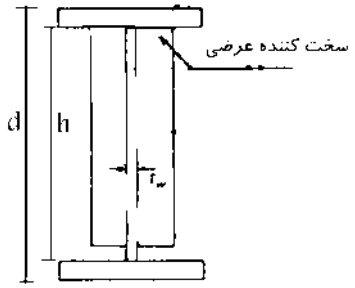
پس از استفاده از روابط فوق و به دست آوردن h،لازم است که تنش مجاز خمشی مقطع، f، مجدداً محاسبه شود و در صورت نزدیکی مقدار آن به مقدار فرض‌شده اولیه، می‌توان h حاصل را پذیرفت. در غیر این صورت باید چرخه محاسبات تا همگراشدن f تکرار شود.

۳-۳-۳-۴ کنترل کمانش قائم ورق جان بر اثر تنش فشاری (کمانش قائم بال فشاری)

برای تعیین یک مقدار محافظه‌کارانه برای حداکثر $\frac{h}{t}$ به منظور جلوگیری از کمانش روابط زیر کنترل می‌شود. در صورتی که از قطعات تقویت‌کننده (سخت‌کننده) جان استفاده نشده باشد یا فواصل آنها از یکدیگر بیش از ۱/۵ برابر فاصله بین بالهای تیر باشد، لاغری حداکثر جان از رابطه زیر به دست می‌آید:

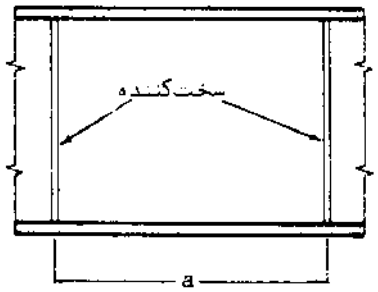
$$\frac{h}{t_w} \le \frac{985\times10^3}{F_y\left(F_y+1160\right)}$$

اگر از قطعات تقویتی با فاصله‌ای کمتر از ۱/۵ برابر فاصله بین بالهای تیر استفاده شود، لاغری حداکثر جان از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$\frac{h}{t_w} \le \frac{16770}{\sqrt{F_y}}$$

h= ارتفاع آزاد جان تیر t_w = ضخامت جان



شکل ۳-۱۰ سخت‌کننده‌ها

برای تعیین تنش‌های خمشی مجاز نیاز به کنترل نسبت ارتفاع به ضخامت $\left(\frac{h}{t_w}\right)$ است. اگر:

$$\frac{h}{t_w} \le \frac{6370}{\sqrt{F_b}}$$

مطابق بندهای عنوان شده در بخش ۳-۳-۱ برای تعیین تنش‌های خمشی مجاز عمل خواهد شد. در غیر این صورت اگر $\frac{h}{t_w} \rangle \frac{6370}{\sqrt{F_b}}$، بدین معنی است که در جان خطر کمانش بر اثر خمش به وجود می‌آید. بنابراین باید ترتیبی اتخاذ نمود تا بالهای تیر ورق بتواند سهم منطقهٔ کمانش یافته جان در خمش را نیز بر دوش بکشند. این کار، با کاهش تنش مجاز خمشی در بال صورت می‌گیرد. بدین منظور تنش خمشی در بال فشاری نباید از رابطه زیر بزرگتر شود:

$$F_b' \le F_b \left[1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right) \right]$$

F_b = تنش مجاز خمشی مطابق با بندهای عنوان شده در بخش۳-۳-۱

A_w = سطح مقطع جان تیر در مقطع مورد بررسی (cm^2)

A_f = سطح مقطع بال فشاری

۳-۳-۳-۵ قطعات تقویتی عرضی

در جایی که تیر ورق بتواند بدون به وجود آمدن کمانش قطری ناشی از برش، به مقاومت خمشی نهایی خود برسد، وجود سخت‌کننده‌های عرضی لازم نخواهد بود.

به طور خلاصه وقتی که دو شرط زیر برقرار باشد می‌توان از سخت‌کننده‌های عرضی میانی استفاده نکرد.

$$\frac{h}{t} \le ۲۶۰ \qquad (۱-۳)$$

$$f_v \le F_v \qquad (۲-۳)$$

در غیر این صورت باید قطعات تقویتی جان به کار رود.

تنش‌های برش مجاز

اگر نسبت $\frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}}$ باشد، برای سطح مقطعی که از حاصل ضرب ارتفاع کلی نیم‌رخ در ضخامت جان به دست می‌آید تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_v = 0.4 F_y$$

در صورتی که $\frac{h}{t_w} \rangle \frac{3185}{\sqrt{F_y}}$ باشد، برای سطح مقطع حاصل ضرب ارتفاع جان (فاصله خالص بین بالها) در ضخامت جان، تنش مجاز برشی عبارت است از:

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \langle 0.4 F_y$$

که در آن:

Cv = نسبت تنش بحرانی کمانش برشی به تنش جاری شدن در برش است، که به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau v}$$

این رابطه پس از جایگذاری به صورت روابط زیر نشان داده می‌شود:

برای $C_v \leq 0.8$

$$C_v = \frac{315 \times 10^4 k_v}{F_y \left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

برای $C_v \rangle 0.8$

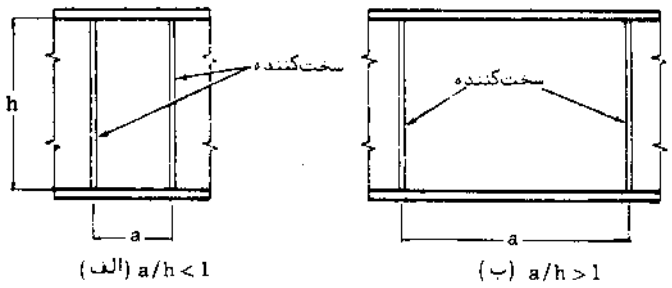
$$C_v = \frac{1600}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \sqrt{\frac{k_v}{F_y}}$$

Fy بر حسب kg/cm^2

K ضریبی است که بستگی به شرایط گیرداری لبه‌ها و نسبت $\frac{a}{h}$ دارد که a فاصله سخت‌کننده‌های عرضی است.

اگر $\frac{a}{h}<1$ باشد $k_v=4.0+\frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$

اگر $\frac{a}{h}>1$ باشد $k_v=5.34+\frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$



h = ارتفاع آزاد جان (فاصله خالص بین بالهای تیر) cm

شکل۳-۱۱ فواصل سخت‌کننده‌ها در تیر ورق‌ها

اگر نسبت $\frac{h}{tw}\rangle 260$ و یا مقدار تنش برشی حداکثر جان از روابط عنوان شده F_V بزرگتر باشد باید قطعات تقویتی جان به کار برده شود.

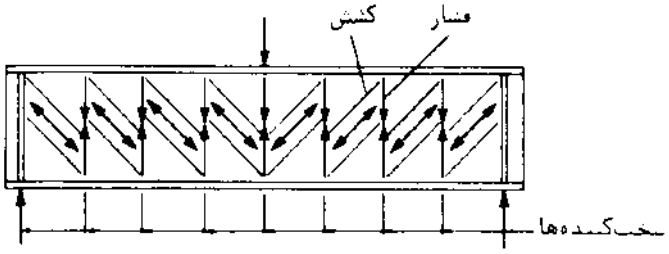
فواصل این قطعات باید طوری انتخاب شود که تنش برشی در جان از مقدار F_V که روابط عنوان شده به دست می‌آید تجاوز نکند و شرط رابطهٔ زیر را هم برآورده نماید.

$$\frac{a}{h} \le \left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \right]^2$$

در خمش باید در نظر داشت $\frac{a}{h} < 3$ باشد.

۳-۳-۳-۶ تنش برشی مجاز با توجه به میدان کشش

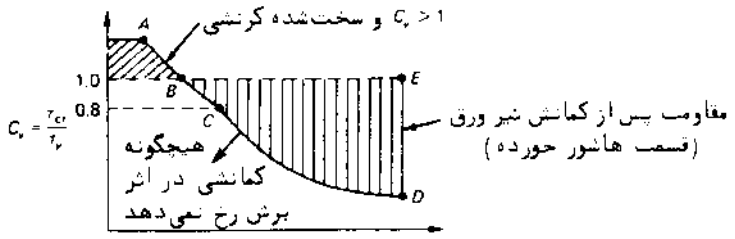
یک تیر ورق پس از کمانش جان در برش، درست همانند یک خرپا عمل می‌کند، که اعضای فشاری آن سخت‌کننده‌های عرضی و اعضای کششی آن، جان کمانش یافته است. مقاومت کششی جان کمانش یافته ناشی از عمل غشایی آن می‌باشد که به عمل میدان کششی معروف است.



شکل ۳-۱۲ عمل میدان کششی

لذا در حالت کلی می‌توان استحکام نهایی برشی تیر ورق را مجموع استحکام کمانشی V_{cr} و استحکام پس کمانشی V_{tf} (عملکرد خرپایی تیر ورق) دانست.

$V_u = V_{cr} + V_{tf}$



شکل۳-۱۳ ظرفیت برشی ورق جان با توجه به مقاومت پس از کمانش آن

در این صورت، در حالی که قطعات تقویتی عرضی تعبیه شده باشند و $C_v \le 1$،با توجه به عمل میدان کششی در جان می‌توان تنش برشی مجاز را از رابطه زیر به دست آورد:

$$F_V = \frac{F_y}{2.89}\left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \le 0.4F_y \quad C_v \le 1$$

۳-۳-۳-۷ کنترل اثر مشترک برش و کشش

جان تیرهای مرکبی که تنش برشی مجاز آنها از رابطه بالا به دست می‌آید، باید با توجه به تنش‌های کششی حاصل از لنگر خمشی در جان محاسبه شود، یعنی تنش‌های کششی در صفحه جان حاصل از لنگر خمشی در نقطه مورد نظر نباید از مقدار 0.6 Fy و نیز از مقدار رابطه زیر بیشتر شود.

$$F_b = \left(0.825 - 0.375\frac{f_v}{F_v}\right)F_y$$

f_v = تنش برشی متوسط محاسبه شده موجود در جان (نیروی برشی تقسیم به سطح مقطع جان)

F_v = تنش مجاز برشی در جان مطابق رابطه فوق

باید توجه داشت، در تیرهایی که جان و بال آنها از فولاد خیلی قوی (حد جاری‌شدن بیش از ۴۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) تشکیل می‌شود، اگر تنش خمشی در جان از $0.75\ F_b$ بیشتر شود، استفاده از میدان کششی مجاز نخواهد بود و تنش برشی مجاز نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \quad \le 0.4 F_y$$

همچنین، در چشمه‌های دو انتهای تیر و در چشمه‌هایی که دارای سوراخ و بازشو بزرگ‌اند، و در چشمه‌های مجاور چشمه‌ای که سوراخ و بازشو بزرگ دارد نمی‌توان از میدان کششی استفاده کرد.

۳-۳-۳-۸ مقررات مربوط به سخت‌کننده‌های عرضی سختی

برای جلوگیری از تغییر شکل جانبی، ممان اینرسی دو ورق سخت کننده عرضی در دو طرف جان و یا یک ورق سخت‌کننده در یک طرف جان نسبت به محوری که در صفحه جان قرار دارد باید طبق رابطه زیر باشد:

$$I_{st} \ge (h/50)^4$$

سطح مقطع قطعات تقویتی میانی اگر در تعیین فواصل آنها رابطه برش مجاز با توجه به میدان کشش ملاک باشد نباید از مقداری که با رابطه زیر مشخص می‌شود کمتر باشد.

$$A_s = \frac{1-C_v}{2}\left|\frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right| YDht$$

Y نسبت تنش جاری شدن فولاد جان تیر به تنش جاری شدن فولاد قطعه تقویتی است.

D برای قطعات تقویتی جفت برابر ۱، برای قطعات تقویتی تک از نیم‌رخ نبشی برابر ۱/۸ و برای قطعات تقویتی تک از تسمه برابر ۲/۴ می‌باشد.

وقتی بزرگترین مقدار تنش برشی F_v در داخل یک چشمه کمتر از مقدار مجازی است، که با توجه به میدان کشش محاسبه شده است. در این صورت می‌توان مقدار سطح مقطع کل داده شده در رابطه فوق را در نسبت $\frac{f_v}{F_v}$ ضرب نمود.

۳-۳-۳-۹ اتصال به جان

ورق‌های سخت‌کننده باید طوری به جان تیر و ورق متصل گردند که بتواند برشی برابر یا بیشتر از مقدار داده شده در زیر را تحمل کنند:

$$f_{vs} = h\sqrt{\left(\frac{fy}{1400}\right)^3}$$

برش فوق، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر طول یک ورق و یا یک زوج ورق سخت‌کننده بوده و Fy تنش جاری شدن فولاد جان تیر ورق است.

اگر قطعه تقویتی بار متمرکز خارجی با عکس‌العمل تکیه‌گاهی را تحمل می‌کند، باید پیچ‌ها، پرچ‌ها و یا جوش‌های متصل‌کننده آن حداقل برای بار خارجی یا عکس‌العمل نامبرده محاسبه شوند.

پیچ‌ها و پرچ‌هایی که قطعه تقویتی را به جان تیر متصل می‌کنند باید طوری قرار گیرند که فواصل آنها (مرکز به مرکز) از ۳۰ سانتی‌متر بیشتر شود.

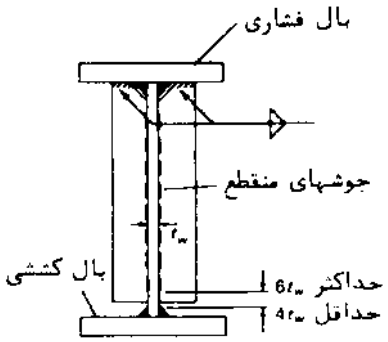
اگر از جوش‌های منقطع برای اتصال استفاده می‌شود فاصله خالص (آزاد) بین قطعه‌های جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت جان و به طور کلی از ۲۵ سانتیمتر بیشتر شود.

۳-۳-۳-۱۰ نسبت عرض به ضخامت

چون سخت‌کننده‌ها به عنوان اعضای فشاری می‌باشند، نسبت عرض به ضخامت آنها باید در رابطه زیر صدق کند:

$$\frac{w}{t} \leq \frac{۷۹۷}{\sqrt{Fy}}$$

۳-۳-۳-۱۱ اتصال به بالها



شکل۳-۱۴ اتصال سخت‌کننده‌ها به بال و جان [۸]

جوشی که سخت‌کننده را به جان وصل می‌کند، باید به نقطه‌ای که از ۴ برابر ضخامت جان نزدیکتر و از ۶ برابر ضخامت جان دورتر از ریشه جوش اتصالی بال به جان نمی‌باشد، قطع گردد. این عمل در صورتی مجاز است که احتیاجی به ورق سخت‌کننده برای تحمل فشار ناشی از نیروهای متمرکز و یا عکس‌العمل نباشد. در صورتی که فقط از یک ورق سخت‌کننده در یک طرف جان استفاده شود، آن را باید حتماً به بال تحت فشار وصل نمود تا از بلند شدن بال بر اثر پیچش در جان تیر ورق جلوگیری به عمل آید. در صورتی که بارهای جانبی (برای جلوگیری از کمانش جانبی بال فشاری) به ورق و با زوج ورق‌های سخت‌کننده وصل شده باشد، جوش اتصالی ورق و یا زوج ورق‌های سخت‌کننده به بال فشاری، باید برای تحمل یک درصد نیروی فشاری بال تحت فشار طرح شود.

۴

انواع جرثقیل‌ها و تکیه‌گاه‌های آنها

۴-۱ انواع جرثقیل‌ها

سیستم‌های مختلف جرثقیل که در این قسمت توضیح داده می‌شوند به گونه‌ای است که در ساختمان‌های جرثقیل‌دار به صورت رایج استفاده می‌شوند. محدوده استفاده از این جرثقیل‌ها در جدول ۴-۱ توضیح داده شده است.

جدول۴-۱ مشخصات عمومی انواع جرثقیل [۱۶]

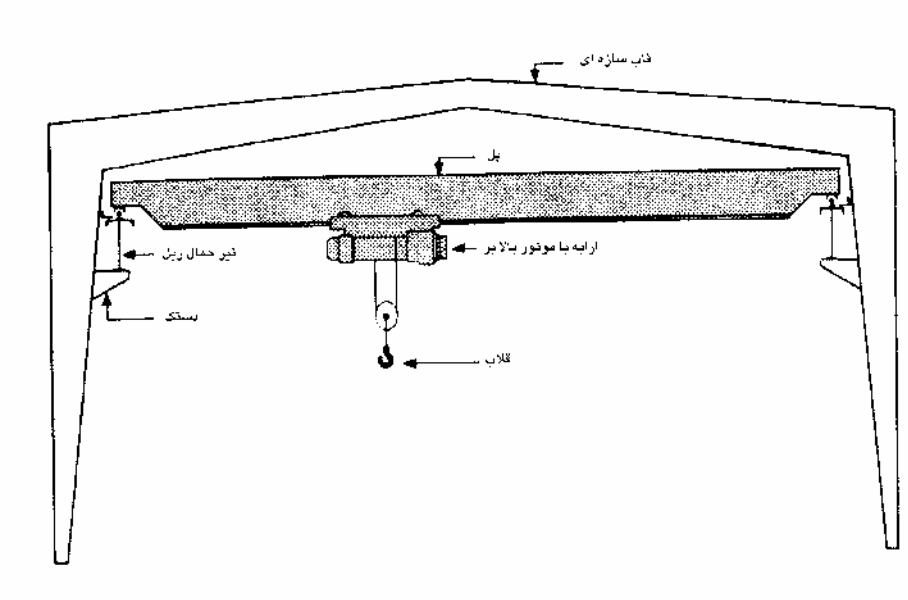
نوع جرثقیل	منبع نیرو	توضیحا ت	دهانه یا بازو	ظرفیت
آویخته	دستی	تک پل	دهانه ۳ تا ۱۵ متر	۰/۵ تا ۱۰ تن
	برقی	تک پل	دهانه ۳ تا ۱۵متر	۱تا ۱۰ تن
بالانشین (متکی بر بال فوقانی شاهتیر)	دستی	تک پل	دهانه ۳ تا ۱۵ متر	۰/۵ تا ۱۰ تن
	برقی	تک پل	دهانه ۳ تا ۱۵ متر	۰/۵ تا ۱۰ تن
	برقی	پل دوتایی	دهانه ۶تا ۲۷ متر	۵ تا ۲۵ تن
	۴. برقی	پل جعبه‌ای کنترل آویزان از پل شاسی انتهای پل با ۴ چرخ	دهانه ۶ تا ۲۷ متر	۵ تا ۲۵ تن
	۵. برقی	پل جعبه‌ای کابین دار شاسی انتهای پل با ۴ چرخ	دهانه ۱۵ تا ۳۰ متر	تا ۶۰ تن
	۶. برقی	پل جعبه‌ای کابین دار شاسی انتهای پل با ۸ چرخ	دهانه۱۵ تا ۳۰ متر	تا ۲۵۰تن
جرثقیل‌های بازویی	۱. دستی یا برقی	مستقر بر کف ۲۸۰ تا ۳۶۰ درجه	بازوی ۲/۵ تا ۶ متر	۰/۲۵ تا ۵ تن
	۲. دستی یا برقی	مستقر بر ستون ۱۸۰ درجه	بازوی ۲/۵ تا ۶ متر	۰/۲۵ تا ۵ تن

توصیه‌های طراحی MBMA برای جرثقیل‌های رده A تا D عملی و قابل اجرا است. امکان سفارش پل، موتور بالابر و ارابه برای جرثقیل‌های برقی یا دستی وجود دارد. سرعت جرثقیل‌های دستی پایین

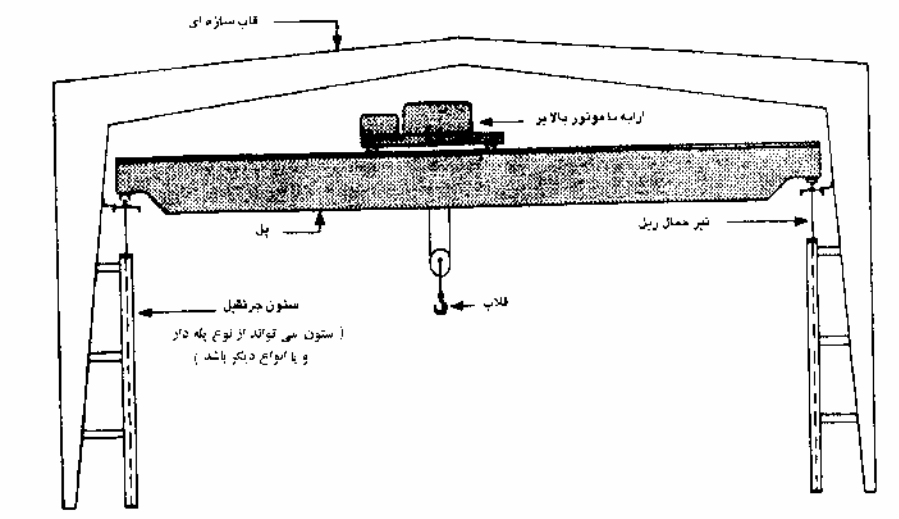
است و نیروی ضربه‌ای که سازه نگهدارنده تحمل می‌کند نیز در مقایسه با جرثقیل‌هایی که با نیروی الکتریکی کار می‌کنند کمتر است. کارفرما یا متقاضی باید به این موضوع دقت داشته باشد که قبل از انتخاب جرثقیل‌های دستی برای ساختمان مورد نظر، کاربردهای آینده آن را نیز در نظر داشته باشد.

۴-۱-۱ جرثقیل‌های متکی بر بال فوقانی شاه‌تیر (بالانشین)

ویژگی اصلی این جرثقیل‌ها، حرکت چرخ‌های انتهایی پل جرثقیل برروی ریل‌های متصل به بال فوقانی تیرهای باربر ریل است. دو نمونه از این نوع جرثقیل‌ها درشکل ۴-۱-۱-الف و ۴-۱-۱-ب نشان داده شده است.



شکل ۴-۱-۱-الف جرثقیل پل‌دار بالانشین با ارابه آویخته [۱۶]



شکل ۴-۱-۱-ب جرثقیل پل‌دار بالانشین با ارابه بالانشین[۱۶]

این جرثقیل‌ها در شرایط سخت کاری دارای بارهای سنگین و رده‌بندی خدمتی بالاتر، کاربرد دارند.

آنها زمانی که دهانه جرثقیل تمامی دهانه ساختمان را می‌پوشاند و هنگامی که به سرعت بالا احتیاج است استفاده می‌شوند. در مقایسه با جرثقیل‌های آویخته، این نوع از جرثقیل‌ها ارتفاع بیشتر قلاب از کف سالن و فاصله آزاد بیشتر زیر پل جرثقیل را فراهم می‌کنند. جرثقیل‌های بالانشین ممکن است به صورت تک پل و یا دارای پل دوتایی یا پل جعبه‌ای باشند. محدوده استفاده‌های رایج این نوع از جرثقیل‌ها در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. جرثقیل‌های تک پل در مواقعی که دهانه‌های کوچکتر و یا ظرفیت کمتر مورد احتیاج باشد استفاده می‌شوند. ارابه جرثقیل های تک پل از پل جرثقیل آویزان می‌باشد. منبع نیروی ارابه، بالابر و پل ممکن است دستی و یا الکتریکی باشد. جرثقیل‌های الکتریکی با استفاده از یک جعبه کلید آویخته از ارابه و یا به وسیله دستگاه کنترل از راه دور هدایت می‌شوند.

جرثقیل با پل‌های دوتایی عموماً در دهانه‌های متوسط و ظرفیت‌ها یا رده‌بندی‌های خدمتی بالاتر استفاده می‌شود. ارابه این جرثقیل‌ها معمولاًروی ریلهای متصل به بال فوقانی پل جرثقیل حرکت می‌کند. جرثقیل‌های با پل دوتایی و نیازمند به فضای بالاسری اندک نیز قابل سفارش هستند که برای

حداکثرشدن فاصله زیر پل جرثقیل تا کف سالن طراحی شده‌اند. چنین جرثقیل‌هایی گاهی اوقات برای دهانه‌های کوتاه و ظرفیت‌های کم استفاده می‌شوند.

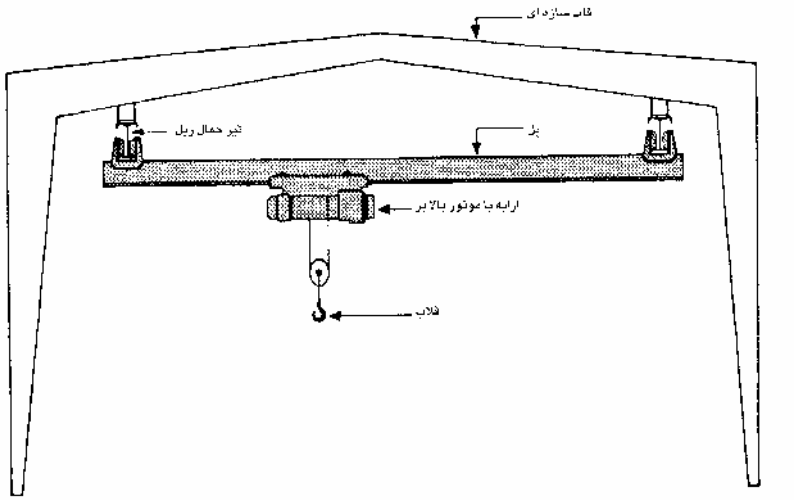
منبع نیرو برای حرکات این جرثقیل‌ها غالباً الکتریکی است و جرثقیل‌ها با استفاده از دستگاه کنترل آویزان و یا کنترل از راه دور هدایت می‌شوند.

جرثقیل‌ها با پلهای جعبه‌ای معمولاً در دهانه‌های بزرگ وظرفیت‌ها یا رده‌بندی‌های خدمتی بالاتر استفاده می‌شوند. ارابه بر روی ریل مستقر بر بال بالایی تیر جرثقیل حرکت می‌کند. منبع نیروی این جرثقیل‌ها معمولاً الکتریکی است. این نوع جرثقیل‌ها به وسیله سیستم هدایت‌گر آویزان و یا از اتاقکی بر روی پل و یا به صورت کنترل از راه دور هدایت می‌شوند.

۴-۱-۲ جرثقیل‌های آویزان Underhung Bridge

ویژگی اصلی این جرثقیل‌ها استقرار چرخ‌های انتهای پل جرثقیل بر روی بال تحتانی شاه‌تیرهای باربر ریل است. نحوه نصب رایج این جرثقیل‌ها در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

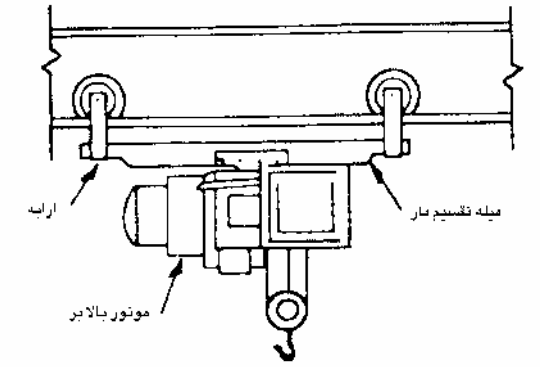
جرثقیل‌های آویزان عموماً برای بارهای سبک و رده‌بندی خدمتی پایین استفاده می‌شوند. آنها اغلب وقتی که چندین دهانه جرثقیل در یک دهانه ساختمان مورد نیاز است استفاده می‌شوند. همچنین هنگامی که دهانه این جرثقیل تنها قسمتی از دهانه کل سازه را در برمی‌گیرد و بارها باید بین دهانه‌های ساختمان انتقال داده شود، از این جرثقیل‌ها استفاده می‌شود. در مقایسه با جرثقیل‌های بالانشین این نوع جرثقیل‌ها محدوده دسترس بزرگتر برای قلاب، فاصله آزاد بزرگتر در زیر جرثقیل و فاصله آزاد بزرگتر از موانع بالاسری جرثقیل فراهم می‌کنند. جرثقیل‌های آویزان می‌توانند دارای یک یا دو پل باشند که در هر دو صورت، ارابه روی بال تحتانی پل یا پل‌ها حرکت می‌کند. منبع نیرو برای این نوع جرثقیل می‌تواند دستی و یا الکتریکی باشد. جرثقیل‌های الکتریکی به وسیله یک سیستم هدایت‌گر آویزان از ارابه و یا کنترل از راه دور کنترل می‌شوند.



شکل ۴-۲ جرثقیل پل‌دار آویخته [۱۶]

۴-۱-۳ جرثقیل‌های آویزان تک ریل

در این نوع جرثقیل‌ها، ارابه روی بال پایین تیر باربر ریل جرثقیل حرکت می‌کند، مانند شکل ۴-۳. جرثقیل‌های تک ریل زمانی استفاده می‌شوند که بارها روی مسیرهای از پیش تعیین‌شده جابجا می‌شوند. کاربرد ایده‌آل این نوع جرثقیل‌ها زمانی است که مصالح بین چندین عملیات مختلف جابجا می‌شود، بدون اینکه نیازی به جداشدن بار از قلاب و ارابه جرثقیل باشد.



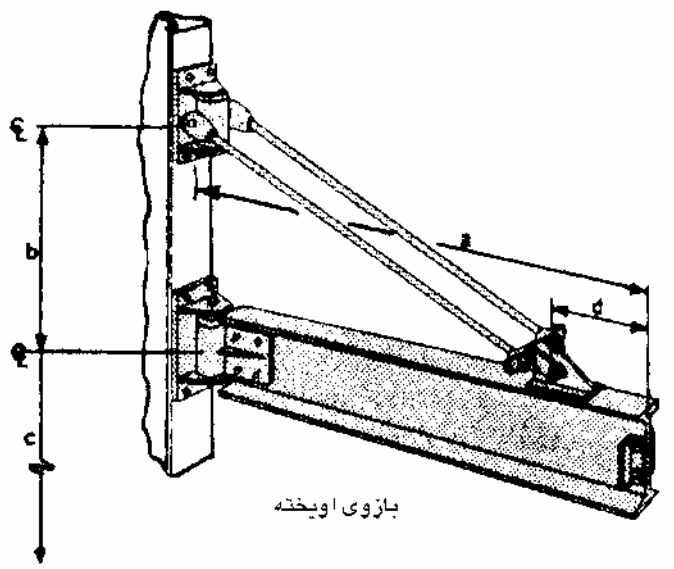
شکل ۴-۳ جرثقیل تک‌ریل آویخته [۱۶]

۴-۱-۴ جرثقیل‌های بازویی jib cranes

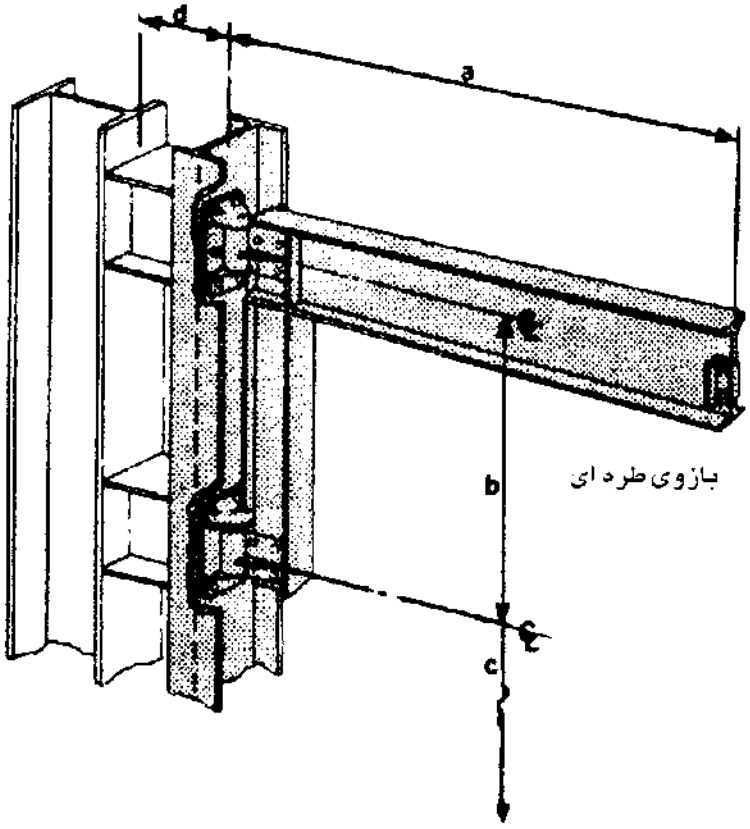
این نوع جرثقیل‌ها دارای یک بازوی افقی چرخان هستند که به یک تکیه‌گاه ثابت متصل شده است. یک ارابه استاندارد مجهز به بالابر زنجیری دستی یابرقی بر روی بال پایینی بازوی جرثقیل حرکت می‌کند.

جرثقیل‌های بازویی ممکن است برای سرویس‌دادن به ماشین‌آلاتی که خارج از محدوده پوشش یک جرثقیل سقفی است کاربرد داشته باشند و یا در خطوط مونتاژ که سطوح تحت پوشش بازوهای جرثقیل‌ها می‌توانند برای عملیات پشت سرهم همپوشانی داشته باشند، مناسب باشند. جرثقیل‌های بازویی می‌توانند روی کف سالن مستقر شوند و یا روی قاب ساختمانی نصب شوند. عموماً نصب این جرثقیل‌ها روی کف ارجحیت دارد. در صورت نصب‌شدن جرثقیل بازویی روی قاب ساختمانی، این اتصال ممکن است به طور مستقیم روی ستون ساختمان انجام شود و یا از یک ستون اضافی برای این کار استفاده شود.

بازوی این نوع جرثقیل ممکن است مانند شکل ۴-۴-الف حالت آویخته داشته باشد و یا به صورت طره مانند شکل ۴-۴-ب باشد. بازوهای طره‌ای طوری طراحی می‌شوند که بیشترین فاصله آزاد زیر بازو فراهم شود.



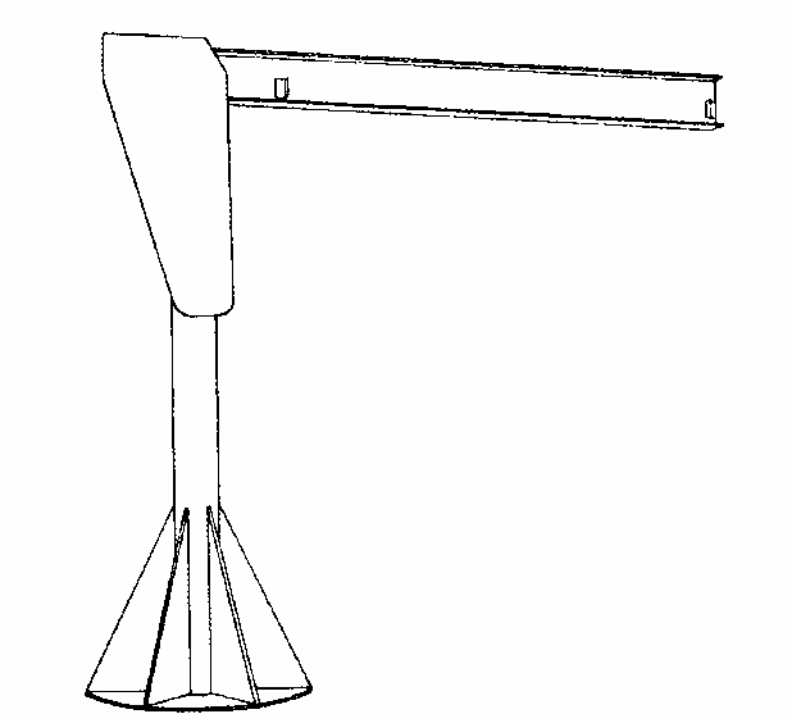
شکل ۴-۴-الف جرثقیل بازویی مستقر بر ستون [۱۶]



شکل ۴-۴-ب جرثقیل بازویی مستقر بر ستون با ستون اضافی [۱۶]

۴-۱-۴-۱ جرثقیل بازویی مستقر بر کف سالن

این نوع جرثقیل‌ها نیازی به مهارشدن و یا تکیه‌کردن بر روی سازه ساختمان ندارند. بازوی جرثقیل می‌تواند روی دایره کامل ۳۶۰ درجه دوران نماید. در شرایط عادی این نوع جرثقیل‌ها مستقیماً بر روی یک کف بتنی مسلح با طراحی مناسب و یا یک شالوده مجزا نصب می‌شوند (شکل ۴-۴-ج).



شکل ۴-۴-ج جرثقیل بازویی مستقر بر کف [۱۶]

۴-۱-۴-۲ جرثقیل‌های بازویی نصب شده روی ستون

این نوع جرثقیل‌ها به صورت رایج بر روی ستون ساختمان نصب می‌شوند. دوران بازوها تقریباً بـه زاویـه ۲۰۰ درجه محدود می‌شود. با کاربرد این نوع جرثقیـل‌هـا بایـد سـتون سـاختمانی، مهـار کـف سـتون و مهاربندی ستون برای اثر بارهای وارده طراحی شود. این طراحی معمولاً هزینه ساخت ستون ساختمان را افزایش می‌دهد. یک نمونه از این جرثقیل‌های مستقر بر ستون در شکل ۴-۴-الف نشان داده شده است.

۴-۱-۴-۳ جرثقیل‌های بازویی با ستونهای اضافی

زمانی که ازجرثقیل‌های بازویی مستقر بر ستون ساختمانی استفاده می‌شود، توجه ویژه‌ای درطراحـی لازم است تا چرخش بازو امکان‌پذیر شود. دراین صورت، ستونهای اضافی، مانند شکل ۴-۴-ب گـاهی مـورد

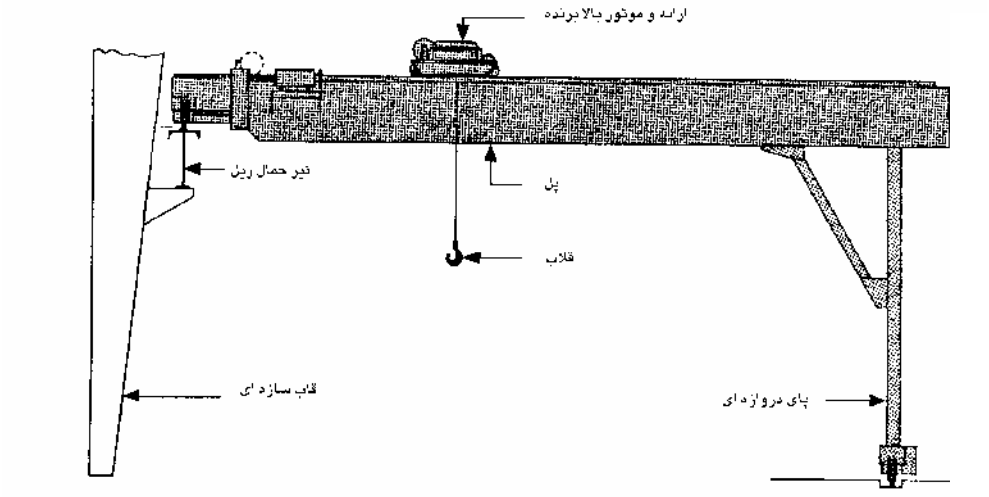
استفاده قرار می‌گیرند. این ستونها در برابر نیروی جرثقیل و زمانی که بار در خارج از صفحه قاب سازه وارد می‌شود، مقاومت می‌کنند.

۴-۱-۵ جرثقیل‌های دروازه‌ای تک پایه

در صورت نیاز به ریل‌ها و تیرهای باربر بسیار طویل با هزینه‌های سنگین ساخت و نصب و توام با مشکلات در حفظ ثبات مسیر حرکت، می‌توان از جرثقیل‌های دروازه‌ای بهره جست. همچنین هنگامی که ریلهای جرثقیل در تراز فوقانی با عملیات باربری، انبارداری یا تعمیرات تداخل پیدا می‌کنند، استفاده از جرثقیل‌های دروازه‌ای مطرح می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، در صورتی که امکان استقرار یک انتهای پل جرثقیل روی ریل و شاه تیر متکی بر ستون‌های ساختمان و استقرار انتهای دیگر پل روی یک پایه متحرک بر ریل کف وجود داشته باشد، از جرثقیل‌های دروازه‌ای تک پایه استفاده می‌شود.

برای این آرایش باید قاب سازه‌ای، مهار پای ستون و مهاربندی طولی برای تحمل نیروهای وارده از جرثقیل طراحی شوند.

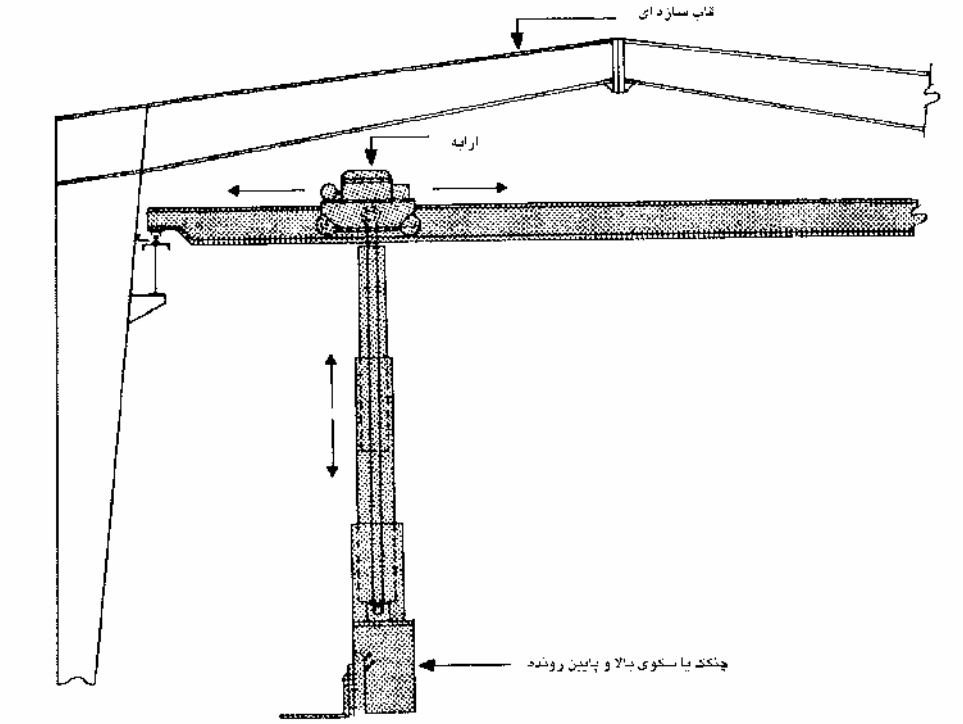


شکل ۴-۵ جرثقیل دروازه‌ای تک پایه [۱۶]

۴-۱-۶ جرثقیل‌های روی هم چین

این نوع از جرثقیل‌ها همانطور که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است برای روی هم چیدن بسته‌های فرآورده‌ها بکار می‌رود. این جرثقیل‌ها معمولاً دارای یک دکل کشویی صلب است که می‌تواند ۳۶۰ درجه به صورت محوری چرخش نماید.

به دلیل خصوصیات باربری خارج از محور، این جرثقیل‌ها نیروهای دوره‌ای قابل توجهی را بر روی قاب سازه وارد می‌کنند. بسته به شرایط خاص کاربرد، کارفرما باید رده‌بندی E یا F برای این نوع جرثقیل‌ها در نظر بگیرد.



شکل ۴-۶ جرثقیل روی هم چین [۱۶]

۴-۲ استقرار جرثقیل‌های بالانشین

۴-۲-۱ اتصالات ریل به تیر باربر

روش معمول اتصال ریل به تیر باربر در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. کارفرما باید روش مناسب برای اتصال ریل به تیر را تعیین نماید به نحوی که شرایط خاص بهره‌برداری و نگهداری جرثقیل، تیر باربر و ریل ارضا شود.

اتصالات ریل به تیر باربر باید عملکردهای زیر را ممکن کنند:

انتقال نیروی جانبی از بالای ریل به بالای تیر

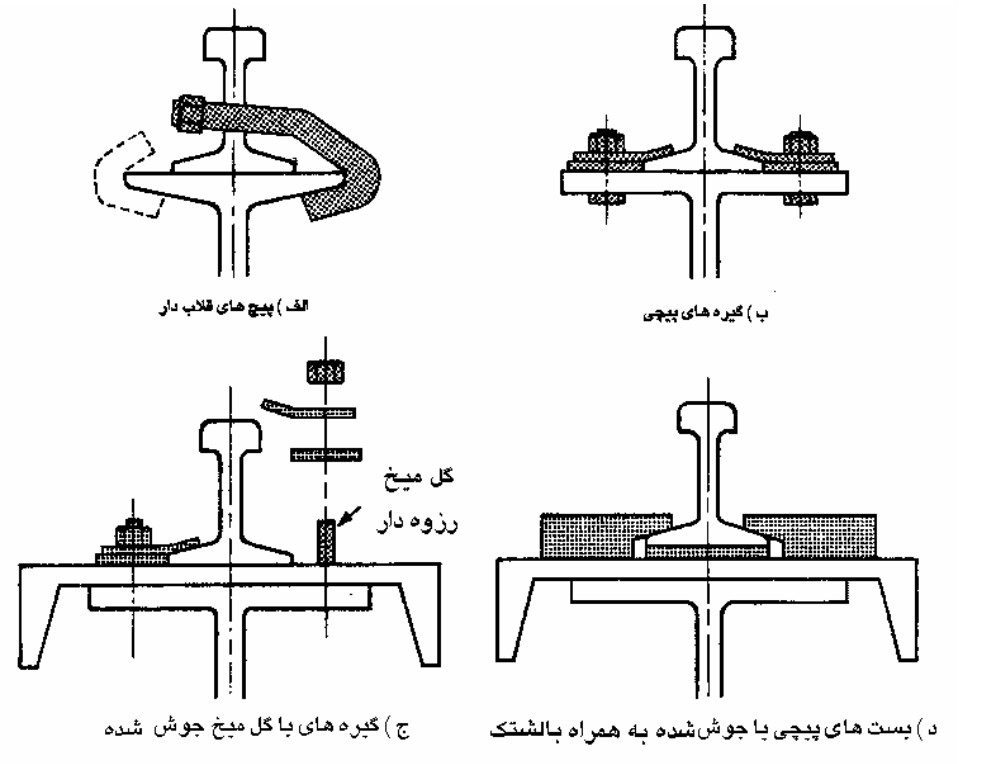
آزادی حرکت ریل در جهت طولی نسبت به بال فوقانی تیر باربر

نگهداری ریل در جای خود در برابر حرکات جانبی

۴-۲-۱-۱ امکان تنظیم جانبی یا امتداد ریل

حرکت طولی نسبی ریل جرثقیل نسبت به بال فوقانی تیر باربر ناشی از انبساط و انقباض حرارتی طولی ریل و نیز کوتاه‌شدن بال فشاری تیر باربر تحت اثر بار قائم جرثقیل است.

چهار روش که برای اتصال ریل به تیر باربر در شکل ۴-۷ نشان داده شده است، نیازهای فوق را به درجات مختلف پاسخگوست. توصیه نمی‌شود که ریل به صورت مستقیم به بال بالایی تیر جوش داده شود. ممکن است که به علت نامناسب بودن کیفیت شیمیایی فولاد ریل، جوش با کیفیت مناسب حاصل نشود افزون بر این، در این روش هیچ تمهیداتی برای حرکت طولی یا تنظیم جانبی ریل‌های جرثقیل وجود ندارد. پیچهای قلابدار فقط برای اتصال ریل‌های سبک ویژه جرثقیل‌های کوچک با سرویس‌دهی سبک به کار می‌روند.



شکل ۴-۷ روش‌های متداول محکم‌کردن ریل به تیر باربر [۱۶]

استفاده از پیچهای قلابدار باید به جرثقیل‌های طبقه‌بندی C,B,A، مطابق با تعریف CMAA با حداکثر ظرفیت تقریبی ۲۰ تن محدود شود. پیچهای قلابدار برای تیرهای باربر کوچک که فضای کافی بر روی بال تیر جهت‌گیره‌ها و بست‌های ریل ندارند کاملاً مناسب است.

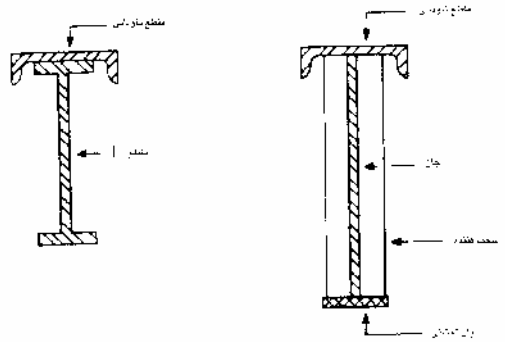
حرکت طولی ریل جرثقیل نسبت به تیر باربر ممکن است باعث شل‌شدن یاکش‌آمدن پیچهای قلابدار شود. بنابراین، تیرهای باربر با پیچهای قلابدار باید مرتباً بازرسی و تعمیر و نگهداری شوند. توصیه AISC بر این است که قلابها به صورت جفت با حداکثر فاصله مرکز تا مرکز ۶۰ سانتیمتر نصب شوند. استفاده از این قلابها باعث رفع نیاز به سوراخ کردن بال بالایی تیر می‌شود، اگر چه این مزیت به علت لزوم سوراخ‌کردن ریل جبران می‌شود.

از دو قطعه یا یک قطعه گیره نیز ممکن است استفاده شود. گیره‌های ریل، قطعات ریخته‌گری یا آهنگری شده‌ای هستند که به بالای بال تیرها پیچ می‌شوند. بسیاری از گیره‌ها فقط با یک پیچ درجای خود محکم می‌شوند. گیره تک پیچ مستعد ایجاد پیچش در آن با توجه به حرکت طولی ریل‌ها می‌باشد. این پیچش گیره‌ها باعث عملکرد بادامکی می‌شود که قصد دارد ریل را از مسیر خود با فشار منحرف کند. بست‌های ریل مجموعه‌های دوتایی فولاد آهنگری شده یا پرس شده هستند که بر روی بال بالایی تیرها محکم می‌شوند. دو گونه از بستهای ریل ،انواع مقید و شناور هستند.

۴-۲-۲ تیرهای باربر ریل

طراحی این تیرها با توجه به ضربه قائم جرثقیل، نیروی جانبی ناشی از حرکت ارابه جرثقیل و نیروی ناشی از حرکت طولی جرثقیل انجام می‌شود. با توجه به عبور مکرر چرخ جرثقیل از روی این تیرها و تغییرات تنش ناشی از این امر لازم است که مسئله خستگی در طرح این اعضا در نظر گرفته شود.

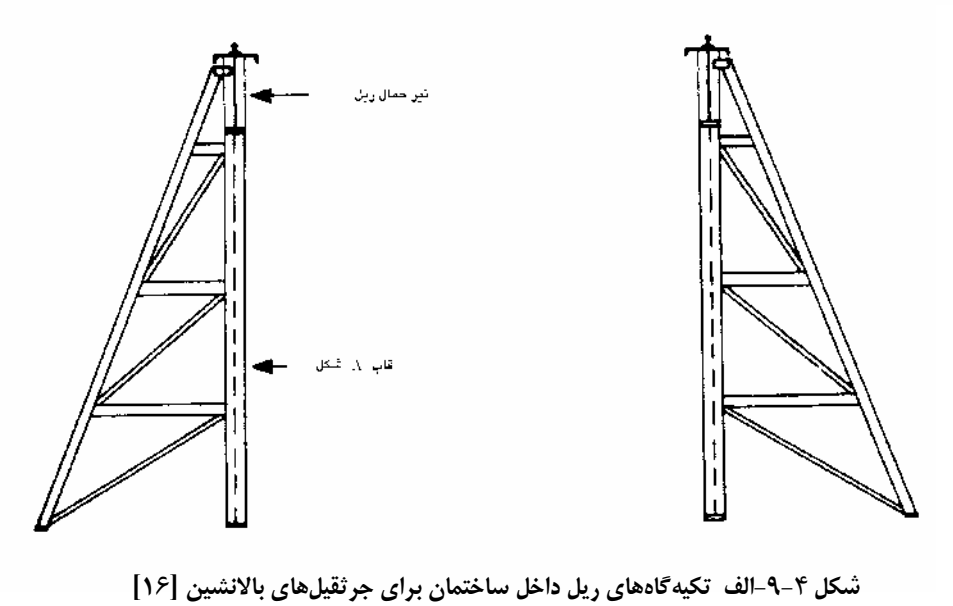
نیم‌رخ‌های متداول تیرهای باربر شامل مقاطع نورد شده و مقاطع مرکب از ورقهای جوش شده است. دو نمونه از مقطع این تیرها در شکل ۴-۸ دیده می‌شود.



شکل ۴-۸ مقاطع متداول تیر باربر ریل برای جرثقیل‌های بالانشین [۱۶]

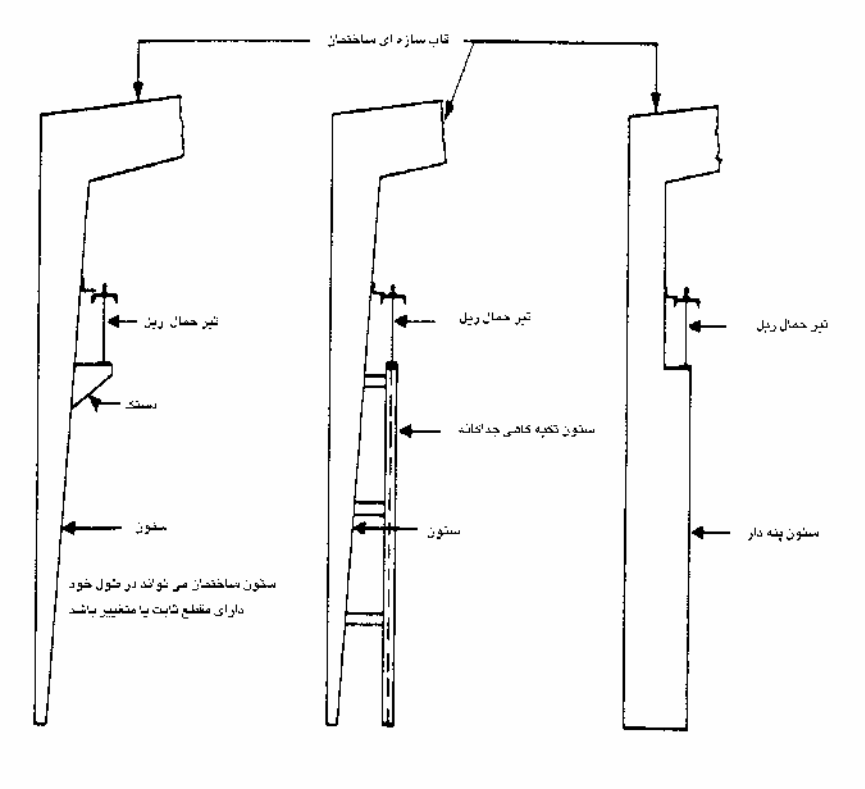
۴-۲-۳ ستونهای جرثقیل و دستکها

تیرهای باربر ریل جرثقیل‌های درون ساختمان را می‌توان روی دستکهای متصل به ستونهای قاب سازه‌ای مستقر نمود. همچنین امکان استقرار این تیرها روی ستونهای جداگانه ما بین ستونهای هر یک از قابهای ساختمان نیز وجود دارد. روش دیگر، استفاده از ستونهای پله دار است. این روش‌ها در شکل ۴-۹-الف نشان داده شده است. زمانی که دهانه جرثقیل به خارج از ساختمان ادامه پیدا می‌کند، معمولاً از قابهای A شکل برای تکیه‌گاه تیر باربر، همان‌طور که در شکل ۴-۹-ب نشان داده شده است، استفاده می‌شود.



شکل ۴-۹-الف تکیه‌گاه‌های ریل داخل ساختمان برای جرثقیل‌های بالانشین [۱۶]

بسته به نوع، دهانه و رده‌بندی خدماتی جرثقیل می‌توان از دستک‌ها برای استقرار جرثقیل‌هایی با حداکثر ۲۳ ton نیروی تکیه‌گاهی استفاده کرد. برای جرثقیل‌های با نیروی تکیه‌گاهی بزرگتر از ۲۳ ton اقتصادی‌تر است که از ستونهای مجزا به عنوان تکیه‌گاه تیرهای باربر استفاده شود. ساختمانهای صنعتی مرتفع درمعرض بارگذاری سنگین باد و برف دارای ستونهای اصلی قوی هستند که می‌توانند بدون افزایش مقطع قابل توجه، بار ناشی از جرثقیل را نیز تحمل کنند.



شکل ۴-۹-ب تکیه‌گاه‌های ریل در خارج ساختمان برای جرثقیل‌های بالانشین [۱۶]

ستونهای پله‌ای که در واقع ترکیبی از ستون جرثقیل و ستون ساختمان هستند، می‌توانند راه حل اقتصادی‌تری برای ساختمانهای صنعتی مرتفع باشند، که در عین حال حداکثر امکان کار در عرض ساختمان را نیز به جرثقیل می‌دهند.

اتصال تیر باربر ریل جرثقیل به ستونهای ساختمان باید قادر به انتقال رانش جانبی جرثقیل باشد، ولی اجازه چرخش انتهای تیر را بدهد.

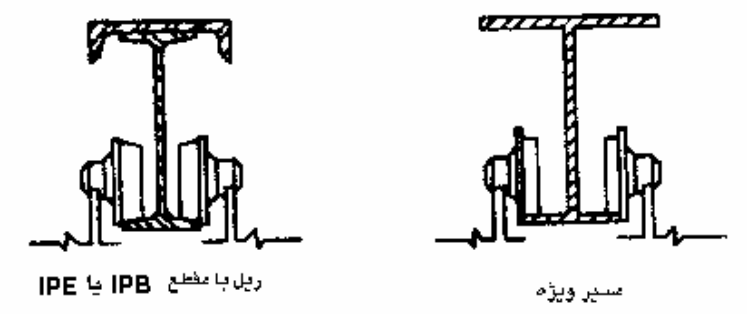
۴-۳ جرثقیل‌های آویزان و تک ریل

۴-۳-۱ تیرهای باربر ریل

تیرهای باربر برای جرثقیل با پل‌های آویزان و یا تک ریل ممکن است دارای مقطع سازه‌ای و یا با مشخصات ویژه باشد که برای این نوع کاربرد ساخته می‌شوند.

مقاطع سازه‌ای استاندارد IPE یا IPB به طور رایج برای تیرهای باربر استفاده می‌شوند. نمونه این مقاطع در شکل (۴-۱۰) دیده می‌شود. طراحی این تیرها باید با توجه به نیروهای وارده از طرف جرثقیل که شامل خمش موضعی بال تیر ناشی از بارگذاری در لبه تیر می‌باشد، صورت گیرد.

مقاطع با مشخصات ویژه بیشتر برای جرثقیل‌های تک ریل با مسیر حرکت منحنی کاربرد دارد، هر چند برای سایر جرثقیل‌های آویزان نیز از آنها استفاده می‌شود. از مزایای این مقاطع می‌توان به دوام بیشتر و انطباق بهتر چرخ و ریل (که موجب صرفه جویی در انرژی میشود) اشاره نمود.



شکل ۴-۱۰ تیرهای باربر ریل برای جرثقیل‌های آویخته و تک ریل [۱۶]

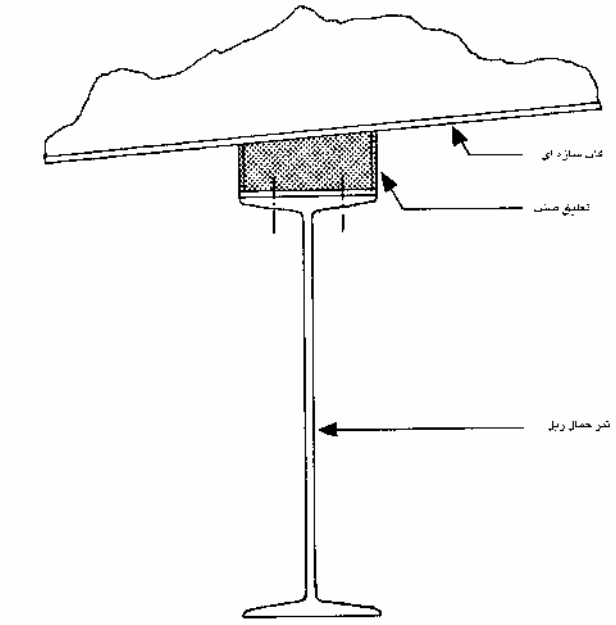
۴-۳-۲ سیستم‌های تعلیق

سیستم تعلیق جرثقیل‌های تک ریل و آویزان می‌تواند صلب یا انعطاف‌پذیر باشد، همان‌طور که در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. سیستم‌های انعطاف‌پذیر موجب کاهش بار موثر جرثقیل و نیز کاهش فرسودگی مجموعه می‌شوند.

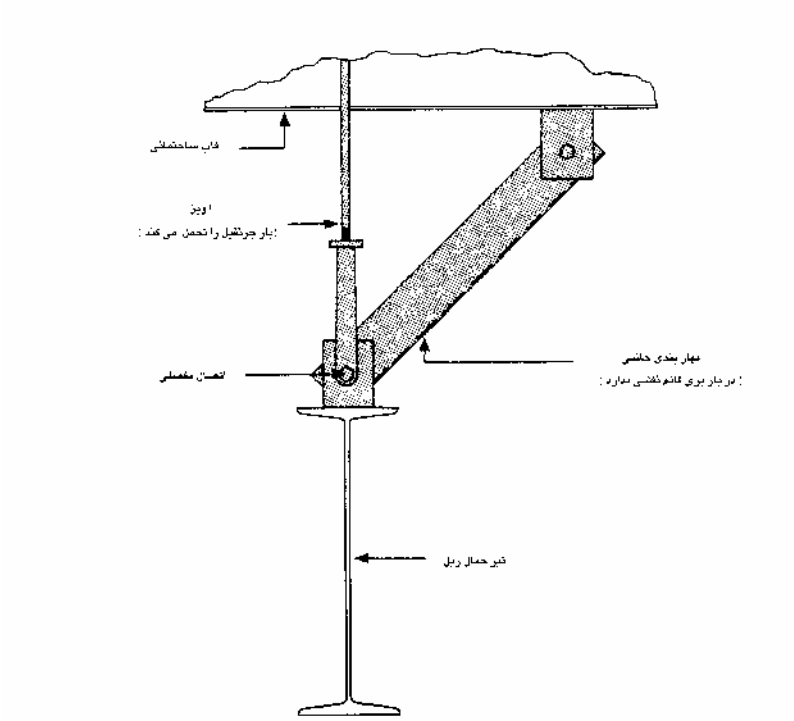
برای سیستم‌های انعطاف‌پذیر، مهاربندی جانبی برای محدود ساختن تغییر مکان جانبی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر به ۵ درجه در هر دو جهت جانبی و طولی باید تعبیه گردد.

تمام مجموعه ریل جرثقیل قبل از نصب مهاربندی جانبی باید در مسیر و تراز درست جایگذاری شود. مهاربندی نباید در تحمل بار عمودی که به تکیه‌گاه وارد می‌شود، سهیم باشد.

مهاربندی جانبی باید به نحوی نصب شود که هیچگونه محدودیتی در انبساط و انقباض حرارتی طبیعی سیستم ریل ایجاد نکند. در سیستم‌های دارای دو ریل فقط کافی است یکی از آنها مهاربندی جانبی شود. مهاربند جانبی باید در هر نقطه تعلیق نصب شود. تیر باربر دیگر باید آزاد باشد تا بتواند حرکت کند و تنش‌های ناشی از تغییرات مسیر ریل، خیز ناشی از جرثقیل، و تغییر شکل‌های ساختمان را آزاد کند.



شکل ۴-۱۱-الف تعلیق صلب برای جرثقیل‌های آویخته و تک ریل [۱۶]



شکل ۴-۱۱-ب تعلیق انعطاف‌پذیر برای جرثقیل‌های آویخته و تک ریل [۱۶]

۴-۴ مشخصات سیستم‌های جرثقیل

انتخاب نامناسب سیستم جرثقیل ممکن است باعث افزایش بیش از اندازه نیروهایی که اثر بدی روی عملکرد و کارایی سازه جرثقیل دارند، شود. کارفرما باید مطمئن باشد که جرثقیل‌ها بر مبنای استانداردهای مربوط طراحی، تولید و نصب می‌شوند.

۴-۵ مشخصات داده‌های جرثقیل

برای تعیین مشخصات فنی یک ساختمان دارای جرثقیل باید اطلاعات کامل جرثقیل در مدارک و اسناد سفارش قید گردد. برگه‌های اطلاعاتی جرثقیل‌ها که توسط تولیدکنندگان تهیه می‌شود معمولاً اطلاعات

کاملی را که برای ساختمان جرثقیل‌دار مورد احتیاج است، تامین نمی‌کنند. در تعیین مشخصات جرثقیل این نکته بسیار مهم است که مشتری، نه تنها به کاربری جرثقیل در حال حاضر توجه داشته باشد، بلکه باید عملکرد آینده جرثقیل را که می‌تواند موجب افزایش بارهای وارده شود نیز درنظر داشته باشد.

۴-۶ برپاسازی

رواداری‌های ساخت و نصب ویژه برای ساختمانهای جرثقیل‌دار، شامل تیرهای باربر ریل توصیه می‌شود. نصب نامناسب باعث نیروهای اضافی می‌شود که اثر بدی روی عملکرد و کارایی ساختمان جرثقیل‌دار دارند.

بخش ساختمان‌های فولادی از مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمانی را برای رواداریهای توصیه شده ساخت و نصب ببینید، همچنین رواداری‌های توصیه شده سازندگان جرثقیل باید مورد توجه قرار گیرد.

۴-۷ عملکرد و نگهداری

عملکرد نامناسب سیستم‌های جرثقیل یانگهداری نامناسب جرثقیل‌ها، ریلها، تیرهای باربر، سیستم‌های تعلیق، تکیه‌گاه‌های تیرها و اتصالات ممکن است باعث نیروهای اضافی شود که اثر بدی بر روی عملکرد و کارایی ساختمان جرثقیل‌دار دارند. مالک جرثقیل مسئول است که از عملکرد درست و بازرسی و نگهداری جرثقیل‌ها اطمینان حاصل کند. مراجعه شود به مراجع [۲۳،۲۴،۲۵،۲۶،۲۷،۲۸]

۴-۸ بارهای جانبی

بارهای جانبی جرثقیل در موقعیت عمود بر ریل جرثقیل قرار دارند و در بالای ریل‌ها وارد می‌شوند. بارهای جانبی به دلایل زیر پدید می‌آیند.

شتاب ناشی از سرعت گرفتن و ترمز ارابه و بار درجهت جانبی

باربرداری غیر قائم

نامتعادل بودن مکانیسم رانش جرثقیل

حرکت مورب یا مایل پل جرثقیل

به جز حالتی که ارابه در انتهای پل با مانع برخورد کرده و متوقف می‌شود، بزرگی بار جانبی ناشی از حرکت ارابه و بالابردن غیرعمودی بار به وسیله ضریب اصطکاک بین ریل و چرخ جرثقیل محدود می‌شود. مکانیزم‌های رانش،گشتاور چرخ محرک مساوی در هر انتهای پل جرثقیل تولید می‌کنند و یا به نحوی متعادل هستند که امتداد نیروی رانش از مرکز ثقل جرثقیل و بار آن بگذرد. اگر مکانیسم حرکت متعادل نباشد، سرعت‌گیری و ترمز پل جرثقیل باعث ناگونیا شدن پل جرثقیل نسبت به ریل می‌شود. این ناگونیایی، نیروی جانبی به تیر باربر جرثقیل وارد می‌کند. حرکت مایل مربوط به این است که جرثقیل نمی‌تواند دریک خط کاملاً مستقیم گذرنده از مرکز ریل حرکت کند. حرکت مایل در جرثقیل‌ها مشابه حرکت یک خودرو است که یک چرخ آن کم باد شده باشد. تمایل جرثقیل به حرکت مایل را می‌توان با نگهداری صحیح چرخ‌های پل جرثقیل و ریل‌ها به کمترین مقدار رساند. چرخ‌ها باید موازی باشند و از نظر سایش در شرایط مشابه باشند. ریل‌ها باید درست در مسیر قرار داشته باشند و سطح آنها صاف و تراز باشد. نگهداری ضعیف ریلها باعث به وجود آمدن بارهای جانبی بزرگتر می‌شود و بارهای جانبی بزرگتر باعث کاهش عمر سرویس‌دهی جرثقیل می‌شود.

۴-۹ ملحقات ریل جرثقیل‌های با باربری سنگین

علاوه بر اطلاعات عمومی بخش ۴-۲-۱ در مورد ملحقات ریل، موارد زیر نیز جزو شرایط کاربرد جرثقیل‌های با باربری سنگین است.

پیچ‌های قلابدار نباید برای جرثقیل‌های رده E یا F طبق رده‌بندی CMAA به کار روند. طبق گزارش فنی شماره ۱۳ AISE، بستهای ریل باید ریل را برای حرکت طولی آزاد بگذارند و این بستها باید حرکت عرضی را به۶ mm به سمت داخل و یا به سمت خارج محدود کنند. وقتی بالشتک ارتجاعی بین ریل و تیر باربر نصب می‌شود مقدار حرکت عرضی ریل باید برای کاهش تمایل بالشتک به خروج تدریجی از زیر ریل، به۰/۸ mm محدود شود.

۵

بارگذاری ناشی از جرثقیل

در این فصل به نقل از چهار مرجع، ضوابط آیین‌نامه‌ای برای بارگذاری ناشی از جرثقیل ارائه می‌شود.

۵-۱ آیین‌نامه International Building Code 2000 [۱۸]

بند ۱۶۰۷-۱۲ این آیین‌نامه به توضیح بار ناشی از جرثقیل پرداخته است. بار زنده جرثقیل را باید ظرفیت اعلام شده جرثقیل فرض نمود. بارهای طراحی برای تیرهای باربر ریل جرثقیل‌های دروازه‌ای و مونوریل به انضمام اتصالات و دستک‌های تکیه‌گاهی باید شامل حداکثر بارهای چرخ جرثقیل و نیروهای ضربه قائم، افقی و طولی ناشی از حرکت جرثقیل باشند.

حداکثر بار چرخ، عبارت است از بار چرخ ناشی از وزن پل جرثقیل (در صورت وجود)، به علاوه مجموع ظرفیت اعلام شده و وزن ارابه. ارابه باید در جایی از مسیر حرکت خود قرار داده شود که اثر ناشی از بار به حداکثر مقدار برسد.

۵-۱-۱ نیروی ضربه قائم

حداکثر بار چرخ جرثقیل را باید مطابق مقادیر ذکر شده ذیل افزایش داد تا اثر ضربه قائم یا نوسان قائم در بارگذاری لحاظ شود:

جرثقیل‌های مونوریل (برقی) ۲۵٪

جرثقیل‌های پل‌دار با اتاقک راننده و یا با کنترل از دور رادیویی ۲۵٪

جرثقیل‌های پل‌دار با کنترل از دور کابلی ۱۰٪

جرثقیل‌های پل‌دار یا مونوریل با کنترل دستی پل، ارابه و موتور قلاب ۰٪

۵-۱-۲ نیروی جانبی

نیروی جانبی روی تیرهای باربر ریل جرثقیل‌های دارای ارابه برقی را باید به میزان ۲۰ درصد مجموع ظرفیت اعلام شده جرثقیل و وزن ارابه و قلاب محاسبه نمود. باید فرض شود که نیروی جانبی افقی در

تراز سطح تماس چرخ و هر ریل اثر می‌کند و امتداد نیرو عمود بر تیر در دو جهت مخالف در نظر گرفته می‌شود. این نیرو باید با توجه به سختی جانبی تیر باربر ریل سازه نگهدارنده آن، توزیع شود.

۵-۱-۳ نیروی طولی

نیروی طولی روی تیرهای باربر ریل، به استثنای جرثقیل‌های پل‌دار با پل دارای کنترل دستی، باید به میزان ۱۰ درصد حداکثر بار چرخ جرثقیل محاسبه شود. نیروی طولی را باید به طور افقی در سطح تماس ریل و چرخ اثر داد و جهت‌های دوگانه به موازات محور طولی تیر را لحاظ نمود.

۵-۲ راهنمای طرح و اجرای ساختمانهای نورد فولاد AISE Technical Report No.13

بند ۴-۳ این راهنما به بارهای وارد بر تیر حامل ریل جرثقیل می‌پردازد. باتوجه به اینکه جرثقیل‌های مورد استفاده در ساختمانهای تولید فولاد دارای پیچیدگی خاص در عملکرد و نیز ظرفیت‌های بالایی هستند، این راهنما به نحو مشروح و با ذکر انواع کاربری‌های جرثقیل‌ها در کارخانه‌های نورد فولاد، نحوه محاسبه نیروهای ناشی از جرثقیل را ارائه می‌کند.

۵-۲-۱ بار طراحی تیرهای باربر ریل جرثقیل

تیرهای باربر ریل جرثقیل و سازه نگهدارنده آنها باید برای تحمل حداکثر بارهای چرخ با در نظر گرفتن فواصل چرخ‌ها طراحی شوند. حداکثر بار چرخ جرثقیل‌های حوضچه خیساندن، قالب‌برداری و سایر جرثقیل‌هایی که دارای بازوهای هدایت‌کننده بار هستند، باید با در نظر گرفتن آثار ناشی از کج‌شدن ارابه جرثقیل محاسبه شود. همچنین ترکیبات بار ذکر شده در بند ۵-۲-۴ راهنما نیز باید در طراحی تیر باربر جرثقیل و سازه نگهدارنده آن منظور شود.

۵-۲-۲ ضربه قائم، رانش جانبی و رانش طولی

ضربه قائم و رانش طولی را باید به عنوان درصدی از حداکثر بار چرخ و یا حداکثر بار بلند شده مطابق جدول (۵-۱) منظور نمود. رانش جانبی به هر طرف نباید از بزرگترین مقادیر زیرکمتر گرفته شود:

(۱) مقادیر جدول (۵-۱)

(۲) ده درصد وزن مجموع بار بلند شده، ارابه، ستون، میله یا هر وسیله دیگر حمل مواد که در هنگام باربرداری به طور قائم هدایت می‌شود.

(۳) پنج درصد وزن بار بلند شده و تمامی وزن جرثقیل شامل ارابه، چرخ‌ها و شاسی چرخ‌ها

در مورد جرثقیل‌های با کنترل آویخته، از ده درصد حداکثر بار چرخ به عنوان ضربه قائم، بیست درصد حداکثر بار روی چرخ محرک به عنوان رانش طولی و پنج درصد بار بلند شده به اضافه تمامی وزن جرثقیل شامل ارابه، شاسی چرخ‌ها و چرخ‌ها به عنوان رانش جانبی به هر طرف استفاده می‌شود.

جرثقیل‌های با کنترل رادیویی از نظر بارهای فوق، مانند جرثقیل‌های کابین‌دار محسوب می‌شود.

جدول ۵-۱ ضربه قائم، رانش جانبی و رانش طولی ناشی از جرثقیل[۱۵]

نوع جرثقیل	ضربه قائم درصد از حداکثر بار چرخ	رانش جانبی درصد از بار بلند شده (هر طرف)	رانش طولی درصد از حداکثر بار روی چرخ‌های محرک
جرثقیل خط نورد	۲۵	۲۰	۲۰
جرثقیل پاتیل مذاب	۲۵	۲۰	۲۰
جرثقیل‌های مغناطیسی وفکی (شامل جرثقیل‌های مخصوص (billet,slab)	۲۵	۵۰	۲۰
جرثقیل‌های حوضچه خیساندن	۲۵	۱۰۰	۲۰
جرثقیل‌های قالب‌برداری	۲۵	۱۰۰٪ وزن قالب و شمش	۲۰
جرثقیل‌های موتورخانه	۲۰	۱۵	۲۰

۵-۲-۳ ضربه‌گیر انتهای ریل جرثقیل

ضربه‌گیرهای انتهای ریل باید به نحوی طراحی شوند که قادر به جذب حداکثر نیروی وارده از جرثقیل باشند. سرعت برخورد جرثقیل با ضربه‌گیر را می توان از گزارش فنی شماره ۶ AISE [۲۰] استخراج نمود. بزرگی نیروی وارده بستگی به گام حرکتی و ویژگی‌های وسیله جذب انرژی نصب شده روی

جرثقیل دارد. بزرگی و محل اثر این نیرو به وسیله سازنده جرثقیل اعلام می‌شود. ریل جرثقیل و تیر باربر آن باید در برابر نیروی تولیدشده در ضربه‌گیر انتهایی طراحی شود.

۵-۲-۴ ترکیبات بار برای طراحی تیرهای باربر ریل جرثقیل و سازه نگهدارنده آنها

راهنمای طرح و اجرای ساختمانهای نورد فولاد که گزارش فنی شماره ۱۳ موسسه AISE است، ترکیبات بار جامعی برای طراحی سازه حامل ریل جرثقیل در بند ۳-۱۰ خود ارائه کرده است که ذیلاً ذکر می‌شود.

طراحی اعضا، مصالح اتصال و وسایل اتصال باید بر اساس یکی از سه حالت زیر که حاکم تلقی می‌شود، انجام گیرد. لنگرها و نیروهای برشی برای هر نوع بارگذاری باید جداگانه فهرست شود. (مثلاً بار مرده، بار زنده، خروج از مرکزیت جرثقیل، رانش جرثقیل، باد و غیره)

تنش‌های مجاز تحت بارهای تکراری باید بر اساس روش ارائه شده در بند ۵-۳-۲-۱ راهنما به دست آید. تعداد دفعات تکرار بارگذاری را می‌توان بر اساس رده‌بندی ساختمان، طبق بند ۵-۲-۵ راهنما تخمین زد. در صورتیکه کارفرما تعداد دفعات تکرار بار بیشتری را برای بخشهایی از ساختمان مقرر کند، باید تنش‌های مجاز با استفاده از این اعداد به دست آید.

حالت اول

این حالت، در ترکیبات بار برای طراحی اعضا تحت بارهای تکراری کاربرد دارد. دامنه تنش را باید بر اساس بار ناشی از یک جرثقیل (فقط در یک دهانه) تعیین نمود. بار ناشی از جرثقیل باید شامل ضربه قائم کامل، آثار خروج از مرکزیت و پنجاه درصد رانش جانبی باشد. برای ساختمان رده A، تعداد دفعات تکرار بار به عنوان پایه طراحی را می‌توان بین ۵۰۰،۰۰۰ تا ۲,۰۰۰,۰۰۰ (حالت بارگذاری ۳) یا بیش از ۲,۰۰۰,۰۰۰ (حالت بارگذاری ۴) در نظر گرفت.

ساختمانهای رده B و رده C را باید به ترتیب برای ۱۰۰،۰۰۰ (حالت بارگذاری ۲) و ۲۰،۰۰۰ (حالت بارگذاری ۱) دفعه تکرار بارگذاری طراحی نمود. ساختمانهای رده D مشمول این حالت بارگذاری نیستند. تنش‌های مجاز طبق بند ۵-۳-۲-۱ تعیین می‌شوند.

حالت دوم

تمامی بارهای مرده و زنده شامل بارهای زنده سقف، به علاوه حداکثر رانش جانبی یک جرثقیل (یا بیش از یک جرثقیل در صورت وجود شرایط خاص)، رانش طولی ناشی از یک جرثقیل، به علاوه تمامی آثار خروج از مرکزیت و یکی از بارگذاری‌های زیر:

بار قائم ناشی از یک جرثقیل شامل ضربه کامل

بار قائم بدون ضربه از حداکثر تعداد جرثقیل‌های ممکن برای بیشترین تاثیر در عضو مورد نظر

در این حالت می‌توان از تنش‌های مجاز کامل بدون هیچگونه کاهش به علت خستگی استفاده نمود.

این حالت برای تمام رده‌های ساختمانها قابل کاربرد است.

حالت سوم

تمامی بارهای مرده و زنده شامل ضربه ناشی از یک جرثقیل به علاوه یکی از موارد زیر:

اثر کامل باد بدون رانش جانبی جرثقیل به علاوه آثار حداکثر بار قائم یک جرثقیل

پنجاه درصد اثر کامل باد به علاوه حداکثر رانش جانبی و آثار بار قائم ناشی از یک جرثقیل

اثر کامل باد بدون بار زنده یا بار جرثقیل،

ضربه طولی جرثقیل به ضربه‌گیر انتهای ریل ناشی از یک جرثقیل،

آثار زلزله ناشی از بار مرده تمام جرثقیل‌ها که دریک دهانه متوقف شده باشند و موقعیت آنها حداکثر اثر زلزله‌ای ممکن را ایجاد نماید.

تنش‌های مجاز در این حالت را می‌توان به میزان یک سوم افزایش داد.

این حالت برای تمام رده‌های ساختمانها قابل استفاده است.

۵-۲-۵ رده‌بندی ساختمانهای نورد فولاد

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد راهنمای طرح و اجرای ساختمانهای نورد فولاد که گزارش شماره ۱۳ موسسه AISE می‌باشد، در بحث تعیین تنش‌ها با احتساب آثار خستگی، به رده‌بندی ساختمانها از نظر تعداد دفعات تکرار بارگذاری اشاره می‌کند.

این رده‌بندی ذیلاً ارائه می‌گردد:

رده A: اعضای ساختمانهای این رده در طول عمر بهره‌برداری خود بین ۵۰۰،۰۰۰ تا ۲،۰۰۰،۰۰۰ و یا بیش از ۲،۰۰۰،۰۰۰ تکرار بارگذاری را تجربه می‌کنند. انتخاب یکی از دو محدوده فوق، طبق نظر کارفرما صورت می‌گیرد.

رده B: اعضای ساختمانهای این رده بین۰۰۰، ۱۰۰ تا ۵۰۰،۰۰۰ دفعه تکرار یک بارگذاری خاص را، در طول عمر بهره برداری ساختمان تجربه می‌کنند.

رده C: اعضای ساختمانهای این رده، بین ۲۰،۰۰۰ تا۰۰۰، ۱۰۰ دفعه تکرار یک بارگذاری خاص را، در طول عمر بهره‌برداری ساختمان تجربه می‌کنند.

رده D: اعضای ساختمانهای این رده حداکثر ۲۰،۰۰۰ دفعه تکرار یک بارگذاری خاص را، در طول عمر بهره‌برداری ساختمان تجربه می‌کنند.

طول عمر بهره‌برداری ساختمان به مشخصات طرح بستگی دارد، ولی عدد ۵۰ سال برای این منظور پیشنهاد شده است.

۵-۳ کتاب راهنمای سیستم‌های ساختمانی کوتاه مرتبه از انجمن سازندگان ساختمانهای فولادی MBMA آمریکا [۱۶]

بخش ۶ این مرجع به بارهای ناشی از جرثقیل اختصاص دارد. روشهای طراحی توصیه شده در این بخش را می‌توان به عنوان راهنمایی برای طرح ساختمانهای جرثقیل‌دار اعم از دروازه‌ای، مونوریل، تک پایه و بازویی تلقی نمود. ازنظر تعریف بار وارده از جرثقیل و ضرایب ضربه قائم و افقی، راهنمای MBMA کاملاً مشابه آیین‌نامه IBC2000 است. اما در مورد نحوه اعمال و کاربرد ضرایب ضربه قائم تفاوت اساسی بین راهنمای MBMA و آیین‌نامه IBC2000 و همچنین راهنمای AISE وجود دارد. در حالی‌که دو مرجع آخر استفاده از ضریب ضربه قائم را در طرح اعضای سازه‌ای بدون استثنای خاص لازم می‌دانند، راهنمای MBMA برای طرح قابها، ستون‌های نگهدارنده ریل و پی ساختمان استفاده از ضریب ضربه قائم را لازم نمی‌داند.

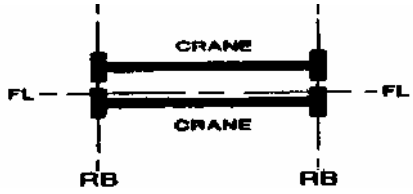
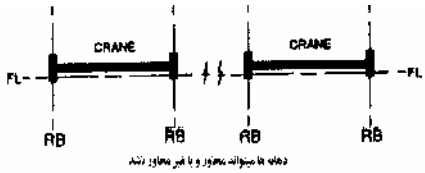
۵-۳-۱ بارگذاری همزمان چندین جرثقیل

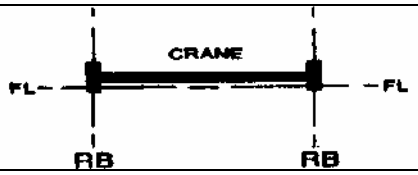
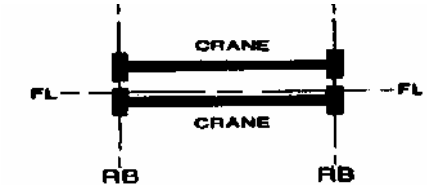
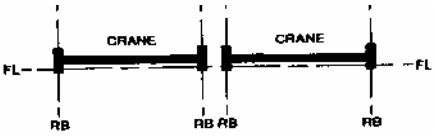
نکته مهم دیگر، توجه ویژه کتاب راهنمای MBMA به بار ناشی از چندین جرثقیل در یک ساختمان است. به این منظور در دو بند جداگانه از بخش ۶ کتاب راهنمای بارگذاری مخصوص قابهای ساختمانی و ستون‌های نگهدارنده ریل و بارگذاری مخصوص تیرهای ریل و سیستم‌های تعلیق ریل تشریح شده است.

۵-۳-۱-۱- ضریب ضربه قائم در بارگذاری قابهای ساختمانی و ستون‌ها برابر صفر فرض شده است. همچنین ضریب ضربه جانبی برابر ۱۰۰ درصد در صورت مفروض بودن یک جرثقیل و ۵۰ درصد در صورت وجود بیش از یک جرثقیل در نظر گرفته می‌شود. خلاصه بارگذاری قابهای ساختمانی در جدول (۵-۲) نشان داده شده است.

در این جدول، پلان دهانه‌های جرثقیل به طور شماتیک نشان داده شده است. RB نشان‌دهنده تیر باربر ریل و FL نشان‌دهنده محور قاب ساختمانی است.

جدول ۵-۲ بارهای وارده بر قاب‌های سازه‌ای و ستونهای نگهدارنده [۱۶]

0% ضربه عمودی 100% نیروی جانبی		یک جرثقیل	دهانه واحد یک جرثقیل
0% ضربه عمودی 100% نیروی جانبی		هر جرثقیل تکی	
ضربه عمودی 0% هر دو جرثقیل نیروهای جانبی 50%برای هر دو جرثقیل 100%هـــــر کدام از جرثقیلها		هر دو جرثقیل مجاور	دهانه واحد با چند جرثقیل
0 % ضربه عمودی 100% نیروی جانبی		یک جرثقیل در هر دهانه	
ضربه عمودی 0% هر دو جرثقیل نیروهای جانبی 50 % برای هر دو جرثقیل،100% هر کدام از جرثقیل‌ها		یک جرثقیل در هر دو دهانه	چندین دهانه با جرثقیل‌های تکی

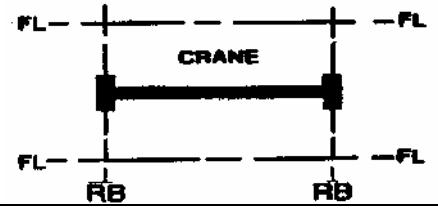
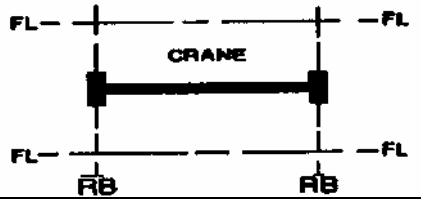
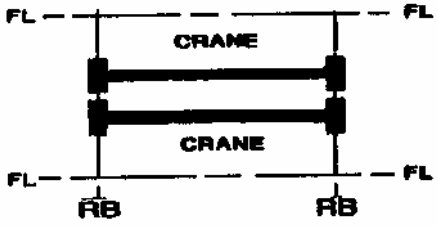
0 % ضربه عمودی 100% نیروی جانبی		یک جرثقیل در هر دهانه‌ای	
ضربه عمودی 0% هر دو جرثقیل نیروهای جانبی 50% برای هر دو جرثقیل، 100% هر کدام از جرثقیل‌ها		دو جرثقیل مجاور در یک دهانه	چندین دهانه با چندین جرثقیل
ضربه عمودی 0% هر دو جرثقیل نیروهای جانبی 50% برای هر دو جرثقیل، 100%هر کدام از جرثقیل‌ها		یک جرثقیل در هر دو دهانه مجاور	
ضربه عمودی 0% همه جرثقیل‌ها باهم نیروی جانبی 50% برای هرسه جرثقیل باهم، 100% هر جرثقیل تکی		دو جرثقیل مجاور در هر دهانه و یک جرثقیل در هر دهانه غیر مجاور	چندین دهانه با چندین جرثقیل

۵-۳-۱-۲- برای بارگذاری تیرهای ریل وتکیه‌گاه‌های آن، کتاب راهنمای MBMA مقرر می‌کند که در صورت وجود یک جرثقیل حداکثر بار چرخ با ۱۰۰ درصد ضریب ضربه قائم و ۱۰۰ درصد ضریب ضربه افقی اعمال شود.

در صورت وجود بیش از یک دستگاه جرثقیل در ساختمان، یک بارگذاری اضافی نیز باید کنترل شود و آن شامل حداکثر بار چرخ دو جرثقیل در بحرانی‌ترین نقطه بدون ضریب ضربه قائم توام با ۵۰ درصد ضربه جانبی دو جرثقیل و یا ۱۰۰ درصد ضربه جانبی یک جرثقیل است. باید بحرانی‌ترین نتایج از ترکیبات فوق برای هر عضو مورد نظر به دست آید. خلاصه بارگذاری تیرهای ریل درجدول (۵-۳) نشان داده شده است.

برای تیرهای باربر ریل سراسری لازم است که بار جانبی جرثقیل‌ها در دهانه‌های متوالی به صورت هم جهت و مختلف‌الجهت اعمال شود. (در صورت وجود بیش از یک جرثقیل در ساختمان)

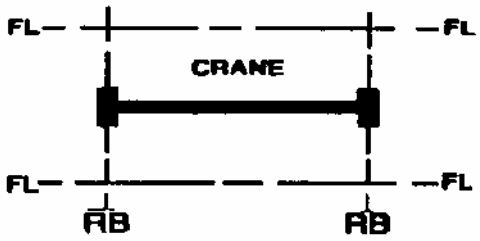
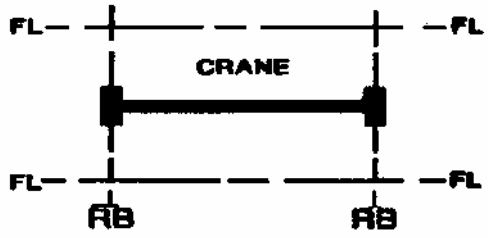
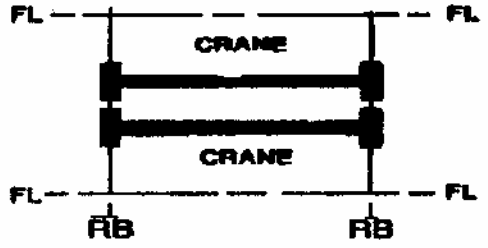
جدول ۵-۳ تیرهای باربر ریل و سیستم‌های تعلیق [۱۶]

دهانه‌های با جرثقیل واحد	یک جرثقیل		100% ضربه عمودی 100% نیروی جانبی
دهانه‌های با چندین جرثقیل	هرجرثقیل تکی		100%ضربه عمودی 100% نیروی جانبی
	هر دو جرثقیل مجاور		ضربه عمودی 0% برای هر دو جرثقیل نیروی جانبی 50% برای هر دو جرثقیل 100%هر کدام از جرثقیل‌ها

۵-۳-۱-۳- در کتاب راهنمای MBMA شرایط بارگذاری ناشی از جرثقیل برای مهاربندهای طولی دهانه‌ای از ساختمان که دارای جرثقیل است، بیان شده است. در صورت وجود یک جرثقیل در دهانه مورد نظر، باید ۱۰۰ درصد نیروی ضربه طولی جرثقیل را به مهاربندی‌ها اعمال نمود.

در صورت وجود بیش از یک جرثقیل در دهانه موردنظر، باید تاثیر ۵۰ درصد نیروی ضربه طولی دو جرثقیل به طور همزمان را نیز محاسبه نموده و با اثر ۱۰۰ درصد نیروی طولی هر یک از جرثقیل‌ها مقایسه نموده و بحرانی‌ترین حالت را انتخاب نمود. خلاصه بارگذاری‌های مخصوص مهاربندی در جدول (۵-۴) آمده است.

جدول ۵-۴ بارگذاری مهاربندی طولی [۱۶]

دهانه‌های با جرثقیل تکی	یک جرثقیل		نیروی طولی 100%
دهانه‌های با چندین جرثقیل	هرجرثقیل تکی		نیروی طولی 100%
	هر دو جرثقیل		نیروی طولی هر دو جرثقیل 50%

۵-۳-۲ خستگی ناشی از تکرار بار

کتاب راهنمای MBMA به مسئله خستگی ناشی از تکرار بارگذاری جرثقیل‌ها نیز پرداخته است. اساس کار همان ضمیمه AK4 آیین‌نامه AISC آمریکا است. فقط لازم است که رده‌بندی خدماتی جرثقیل‌ها مشخص شده و با رده‌بندی شرایط بارگذاری AISC تطبیق داده شود. رده‌بندی خدماتی جرثقیل‌ها طبق روش MBMA به شرح زیر است:

رده A (حالت آماده باش یا استفاده غیر مکرر)

این رده شامل جرثقیل‌هایی است که در تاسیساتی نظیر موتورخانه‌ها، تاسیسات شهری، سالن‌های توربین و پست‌های ترانس برق وجود دارد، که در آنها حمل و نقل دقیق تجهیزات با سرعت کم و همراه با دوره‌های طولانی توقف بین دفعات بلندکردن بار مطرح می‌شود. بلندکردن بارهای در حد ظرفیت جرثقیل‌ها برای نصب اولیه تجهیزات و همچنین در تعمیرات غیر مکرر اتفاق می‌افتد.

رده B (خدمت سبک)

این رده شامل جرثقیل‌هایی است که در تعمیرگاه‌ها، خطوط مونتاژ سبک، ساختمانهای بهره‌برداری و انبارهای سبک وجود دارد. نیازهای خدمتی این جرثقیل‌ها شامل بارهای سبک و سرعت کم است. مقدار بارها بین صفر تا حداکثر بار مجاز به صورت گهگاه با دو تا پنج بار بلندکردن آن در ساعت و با مسافت جابجایی متوسط ۳ متر درهر باربرداری متغیر است.

رده C (خدمت متوسط)

این رده شامل جرثقیل‌های موجود در کارگاه‌های قطعه‌سازی ماشین، کارخانه‌های کاغذ و امثال آن است. در این رده متوسط بار جرثقیل برابر ۵۰ درصد ظرفیت مجاز جرثقیل است که بین ۵ تا ۱۰ بار در ساعت باید به طور متوسط تا ۴/۵ متر جابجا شود. حداکثر ۵۰ درصد باربرداری به میزان ظرفیت مجاز جرثقیل می‌رسد.

رده D (خدمت سنگین)

این رده شامل جرثقیل‌های کارگاه‌های قطعه‌سازی ماشین سنگین، ریخته‌گری‌ها، کارخانه‌های تولید قطعات سنگین، انبارهای مصالح فولادی، محوطه‌های نگهداری کانتینرها، کارخانه‌های چوب‌بری و امثال آن است. همچنین جرثقیل‌های دارای مغناطیس و یا فک بارگیر مورد استفاده در تولید سنگین جزو این رده هستند. در این رده بارهایی در حدود ۵۰ درصد ظرفیت مجاز جرثقیل به طور دائم در مدت ساعات کاری جابجا می‌شوند. سرعت بالا به همراه ۱۰ تا ۲۰ باربرداری در ساعت با متوسط جابجایی ۴/۵ متر از ویژگی‌های این رده است. حداکثر ۶۵ درصد باربرداری‌ها درحد ظرفیت مجاز جرثقیل است.

رده E (خدمات بسیار سنگین)

این رده مربوط به جرثقیل‌هایی است که قادر به بلند کردن بارهایی نزدیک به ظرفیت جرثقیل در طول مدت عمر جرثقیل است. جرثقیل‌های مغناطیسی، فکی ویا ترکیب مغناطیسی و فکی، جرثقیل‌های کارخانه‌های سیمان، چوب‌بری، کودسازی و جرثقیل‌های حمل کانتینر با حداقل بیست دفعه باربرداری در ساعت در حد ظرفیت کاری جرثقیل، در این رده محسوب می‌شوند.

رده F (خدمات بسیار سنگین مداوم)

این رده مربوط به جرثقیل‌هایی است که قادر به بلندکردن بارهایی نزدیک به ظرفیت جرثقیل به طور مداوم در طول مدت عمر جرثقیل است. نمونه‌های این جرثقیل شامل جرثقیل‌های با طرح خاص برای انجام دادن کارهای حساس و موثر در تمام فعالیت‌های تولیدی هستند. این جرثقیل‌ها باید بالاترین قابلیت اعتماد را فراهم کنند و در عین حال نگهداری آنها آسان باشد.

رده‌های فوق مطابق جدول زیر به رده‌بندی شرایط بارگذاری AISC ارتباط پیدا می‌کند.

شرایط بارگذاری AISC

رده خدمتی جرثقیل	$R \leq 0.5$	R>0.5
B	-	۱
C	۱	۲
D	۲	۳

در جدول فوق:

R=TW/(TW+RC) برای جرثقیل‌های مونوریل آویخته

R=TW/(TW+2RC) برای جرثقیل‌های پل‌دار

RC: ظرفیت مجاز جرثقیل

TW: وزن کل جرثقیل شامل پل و شاسی‌های انتهای آن، ارابه،موتور قلاب و کابین همراه راهروی راننده

بنابراین پس از تعیین رده خدماتی جرثقیل، از جدول فوق، شرایط بارگذاری معادل AISC به دست می‌آید و سپس با استفاده از ضمیمه AISC AK4، مسئله خستگی اجزای جرثقیل و سازه باربر آن بررسی می‌شود.

۵-۳-۲-۱ تنشهای مجاز تحت بارگذاری تکراری

۵-۳-۲-۱-۱ کلیات

ساختمانهای صنعتی به دلیل دارابودن انواع منابع تولید بارهای متحرک، مانند ماشین‌آلات و جرثقیل‌ها، از موارد اصلی کاربرد تئوری خستگی مصالح محسوب می‌شوند. در این نشریه، روش آیین‌نامه AISC-ASD معرفی می‌شود که در سایر مراجع نیز کراراً به آن اشاره شده است.

پیوست APPENDIX K آیین‌نامه AISC به مسئله خستگی اعضا و اتصالات اختصاص دارد. خستگی طبق تعریف AISC عبارت است از آسیبی که می‌تواند پس از تعداد کافی نوسانات تنش منجر به شکست مصالح گردد، بزرگی این نوسانات را دامنه تنش می‌نامند. در صورت تغییر علامت تنش، مجموع عددی حداکثر مقادیر تنش‌های کششی و فشاری یا مجموع حداکثر تنش‌های برشی در جهت‌های مخالف در یک نقطه را که ناشی از آرایش‌های مختلف بار زنده است، به عنوان دامنه تنش محاسبه می‌کنند.

باید توجه داشت که در مبحث خستگی فولاد، مقدار تنش تسلیم فولاد که نشان‌دهنده مقاومت اعضای فولادی است، نقشی ندارد و تنش‌های مجاز تحت اثر خستگی بدون توجه به رده مقاومتی فولاد تعیین می‌شوند.

تنش‌های ناشی از بارگذاری باد را نباید در تعیین تنش‌های مجاز تحت بارهای تکراری دخالت داد. محدودیتهای تنش ناشی از لاغری ستون یا نسبت‌های پهنا به ضخامت اعضای فولادی به طور جداگانه ارزیابی می‌شوند و در محاسبات مربوط به بارهای تکراری وارد نمی‌شوند.

۵-۳-۲-۱-۲ تنش مجاز تحت بارهای تکراری

اعضا و اتصالات تحت بارهای تکراری باید به نحوی طراحی شوند که حداکثر تنش داخلی آنها از مقادیر مجاز پایه برای بارگذاری غیر تکراری بیشتر نشود. همچنین محدوده حداکثر تنش مجاز برای بارهای تکراری Fsr نیز باید با توجه به تعداد دوره‌های بارگذای و باربرداری، دامنه تنش و نوع و موقعیت عضو یا اتصال محاسبه شود. حداکثر تنش داخلی عضو یا اتصال نباید از مقدار Fsr تجاوز کند.

محاسبه Fsr بر اساس چندین پارامتر صورت می‌گیرد. نوع و موقعیت عضو یا اتصال که در جدول A-k4.2 آیین‌نامه AISC آمده است، به هشت رده تنش F, E', E, D, C, B', B, A منجر می‌شود.

با حرکت از رده تنش A به سمت F مرتباً وضعیت عضو یا اتصال از نظر تحمل خستگی نامناسب‌تر می‌شود و به همین ترتیب، بیشترین محدوده حداکثر تنش مجاز به رده A تعلق می‌گیرد و حداقل آن به رده F.

جدول A-k4.2 در ادامه مبحث تحت عنوان جدول B2 ذکر می‌شود. مثالهایی از نوع و موقعیت اعضا و اتصالات که مشمول رده های تنش A تا F می‌شوند، در تصویر B1 ارائه شده است.

دومین عامل که تعیین‌کننده Fsr است، شرایط بارگذاری مورد نظر است. شرایط بارگذاری ۱ تا ۴ که قبلاً به صورت رده‌بندی ساختمانهای نورد فولاد در بند ۵-۲-۵ ذکر شده بود، در اینجا مجدداً تکرار می‌شود.

رده ساختمان	تا	از	شرایط بارگذاری
C	۱۰۰،۰۰۰	۲۰،۰۰۰	۱
B	۵۰۰،۰۰۰	۱۰۰،۰۰۰	۲
A	۲،۰۰۰،۰۰۰	۵۰۰،۰۰۰	۳
A	به بالا	۲،۰۰۰،۰۰۰	۴

بامشخص شدن رده تنش عضو و نیز شرایط بارگذاری می‌توان از جدول B3، محدوده حداکثر تـنش مجاز Fsr را به دست آورد:

جدول B2 [۷]

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش (۱)	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه(۲) (به شکل B1 مراجعه شود)
مصالح ساده	فلز مبنا با سطوح نورد شده یا پرداخت‌شده	Rev. یا T	A	۱و۲
اعضای ساخته شده از دو یا چند نیم‌رخ	فلز مبنا و فلز جوش در عضوهایی قرار دارند که ملحقاتی از قبیل قطعات اتصال برشی و غیره ندارند و از صفحات یا نیمرخهایی درست شده‌اند که توسط جوش لب به لب با نفوذ کامل با خطوط جوش پیوسته و یا جوش گوشه پیوسته به موازات جهت تنشهای وارده به هم وصل شده‌اند.	Rev. یا T	B	۳و۴و۵و۶
	فلز مبنا و فلز جوش در اعضایی قرار دارند که ملحقاتی از قبیل قطعات اتصال برشی و غیره ندارند و از صفحات یا نیمرخهایی درست شده‌اند که توسط جوش لب به لب با نفوذ کامل بدون برداشتن تسمه‌های پشت بند و یا توسط جوش لب به لب با نفوذ ناقص به موازات جهت تنشهای وارده ، به هم وصل شده‌اند.	Rev. یا T	B'	۳و۴و۵و۶
	فلز مبنا در انتهای ریشه جوش جان تیر ورقها و یا تنش خمشی در بالهای مجاور به ورقهای تقویتی که به جان تیرها جوش داده شده‌اند.	Rev. یا T	C	۷

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش [۱]	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه[۲] (به شکل B1 مراجعه شود)
	فلز مبنا در انتهای یک قطعه ورق پوششی با اتصال جوشی قرار دارد. پهنای ورق پوششی از پهنای بال بیشتر است و جوش در انتهای ورق پوششی انجام نشده است .		E'	۵
	فلز مبنا در انتهای یک قطعه ورق پوششی با اتصال جوشی قرار دارد. ورق پوششی باریک‌تر از بال دارای انتهای چهار گوش یا اریب می‌باشد و ممکن است به فلز مبنا در انتها جوش داده شده و یا نشده باشد. ورق پوششی پهن‌تر از بال در انتهابه بال جوش شده باشد.	Rev. یا T	E	۵
	ضخامت بال $\geq ۲۰\ mm$	Rev. یا T	E	۵
	ضخامت بال $< ۲۰\ mm$	Rev یا T	E'	۵
اتصالات مکانیکی (پیچ یا پرچ)	فلز مبنا در مقطع نا خالص اتصال نوع اصطکاکی که با پیچ و پرمقاومت ساخته شده است قرار دارد. اتصالاتی که تحت اثر تنشهای متناوب کششی و فشاری قرار دارند و همچنین اتصالاتی که تحت اثر بارهای محوری قرار دارند و در اعضا لنگرهایی ایجاد می‌کنند که در داخل صفحات اعضا قرار ندارند، شامل این وضعیت نمی‌شوند.	Rev. یا T	B	۸
	فلز مبنا در مقطع خالص اتصالاتی قرار دارد که با سایر پیچها و یا پرچها ساخته شده‌اند.	Rev. یا T	D	۸و۹

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش [۱]	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه[۲] (به شکل B1 مراجعه شود)
	فلز مبنا در مقطع خالص اتصال نوع یاتاقانی با پیچ پرمقاومت قراردارد.	Rev. یا T	B	۸و۹
اتصالات با جوش گوشه	فلز مبنا در اتصالی با جوش گوشه منقطع قرار دارد.	Rev. یا T	E	
	فلز مبنا در اتصالی قرار دارد که توسط جوش گوشه ایجاد شده است و نیروی وارده محوری است. جوشکاری در اطراف محور عضو باید طوری انجام شده باشد که تنشهای جوشها در حالت تعادل باشند (امتداد نیروی محوری از مرکز مساحت خطوط جوش عبور نماید) $b \le 25mm$ $b > 25mm$	Rev. یا T Rev یا T	E E'	۱۷و۱۸ ۱۷و۱۸
	فلز مبنادر عضوهایی که به وسیله جوش گوشه عمود بر محور نیرو به یکدیگر متصل شده‌اند. $b \le 12mm$ $b > 12mm$	Rev. یا T	C[۳]	۲۰و۲۱
جوش گوشه	فلز جوش در اتصالی با جوش گوشه پیوسته یا منقطع در امتداد و یا عمود بر نیروی وارده قرار دارد.	S	F[۳]	۵و۱۷و۱۸و۲۱ و۲۰
جوشهای لب به لب	فلز مبنا و فلز جوش در وصله قطعاتی با سطح مقطع مشابه و همسطح که توسط جوش لب به لب با نفوذ کامل به هم وصل شده‌اند قرار دارند. جوش در امتداد تنشها کاملاًسنگ زده شده و از بی عیب بودن جوش با رادیوگرافی و یا آزمایش اولتراسونیک مطابق ضوابط بند ۹-۲۵-۲ یا ۹-۲۵-۳ آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران[۴] اطمینان حاصل شده است	Rev. یا T	B	۱۰و۱۱

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش [۱]	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه[۲] (به شکل B1 مراجعه شود)
	فلز مبنا و فلز جوش در وصله تبدیلی با جوش لب به لب با نفوذ کامل قرار دارند و عرض و ضخامت قطعاتی که بهم جوش شده‌اند با هم فرق دارد (در نتیجه در اتصال دو قطعه یکی از قطعات طوری بریده شده یا شیبدار شده است که اتصال دو قطعه ممکن شود). جوش در امتداد تنشهای وارده سنگ زده شده به طوری که جوش از ناحیه اتصال دارای شیبی بیش از ۱ به ۲/۵ نمی باشد . از بی‌عیب بودن جوش با رادیوگرافی ویاآزمایش اولتراسونیک مطابق ضوابط بند ۹-۲۵-۲ یا ۹-۲۵-۳ آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران، اطمینان حاصل شده است.	Rev. یاT	B	۱۰و۱۱و۱۲و ۱۳
	فلز مبنا و فلز جوش در وصله‌ای با جوش لب به لب با نفوذ کامل قرار دارند. دو قطعه اتصال در مقطع تبدیل دارای سطح مقطع مشابه و یا غیرمشابه‌اند و شیب آنها بیش از ۱ به ۲/۵ نمی‌باشد. سالم‌بودن جوش با رادیوگرافی و یا آزمایش اولتراسونیک مطابق ضوابط مطابق ضوابط بند ۹-۲۵-۲ یا ۹-۲۵-۳ آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران کنترل شده است و جوش سنگ زده نمی‌باشد.	Rev. یاT	C	۱۰و۱۱و۱۲و ۱۳
	فلز جوش در اتصالی با جوش لب به لب با نفوذ ناقص قرار دارد و خط جوش عمود بر جهت نیروی وارده است. تنش در جوش بر اساس مساحت گلوی موثر جوش یا جوشها محاسبه شده است.	Rev. یاT	F[۳]	۱۶
جوشهای نقطه‌ای یا شیاری	فلز مبنا در اتصالات با جوشهای نقطه‌ای یا شیاری	Rev. یاT	E	۲۷
	برش بر روی اتصالات با جوش نقطه‌ای یا شیاری	S	F	۲۷

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش [۱]	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه[۲] (به شکل B1 مراجعه شود)
ملحقات	فلز مبنا در اتصالی با جوش لب به لب قرار دارد. خط جوش در امتداد و یا عمود بر امتداد بار وارده است و اتصال دارای شعاع تبدیل R ، به اندازه ۵ سانتیمتر و یا بیشتر است و سطح جوشهای صیقلی می‌باشد: $R \geq 60cm$ $15\,cm \leq R < 60cm$ $5cm < R \leq 15cm$	Rev. یا T Rev یا T Rev یا T	B C D	۱۴ ۱۴ ۱۴
	فلز مبنا در اتصالی با جوش لب به لب یا جوش گوشه قرار دارد. خط جوش در امتداد بار وارده است و اگر اتصال دارای مقطع تبدیل باشد ، شعاع مقطع تبدیل کمتر از ۵ سانتیمتر است: $5cm < a \leq 12\ b$یا$10\ cm$ $a>12b$ یا $10cm$ a= بعد اتصال در جهت موازی با تنش b= بعد اتصال در امتداد عمود بر امتداد تنش و سطح فلزمبنا	Rev. یا T Rev. یا T	D E	۱۵ ۱۵و۲۳و۲۴و ۲۵و۲۶

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش [۱]	طبقه تنش (به جدول B3 مراجعه شود)	شماره مثال نمونه[۲] (به شکل B1 مراجعه شود)
	فلز مبنا در اتصالی با جوش گوشه یا جوش لب به لب با نفوذ ناقص قرار دارد. خط جوش در امتداد موازی با تنش قرار گرفته است. اتصال دارای شعاع تبدیل R به اندازه ۵ سانتیمتر و یا بیشتر است و سطح جوشها صیقلی می‌باشد: $R \geq 60cm$ $15cm \leq R < 60cm$ $5cm < R \leq 15cm$	Tیا Rev. Tیا Rev Tیا Rev	B C D	۱۹ ۱۹ ۱۹
	فلز مبنا در اتصالی با جوش لب به لب یا جوش گوشه قرار دارد و بعد اتصال در جهت موازی با تنش، a کمتر از ۵ سانتیمتر است.	Tیا Rev.	C	۲۳و۲۴و۲۵
	فلز مبنا در گل میخ اتصال برشی که توسط جوش گوشه متصل شده است قرار دارد.	Tیا Rev.	C	۲۲
	تنش برشی بر روی سطح مقطع اسمی گل میخهای اتصال برشی	S	F	۲۲

(۱) T: تنش همواره کششی است. Rev. تنش متناوباً کششی یا فشاری است. S تنش برشی است که ممکن است مثبت یا منفی باشد.

(۲) این مثالها به عنوان راهنما ارائه شده‌اند و شامل مواردی که به طور منطقی مشابه اینها هستند و نیز می‌شوند.

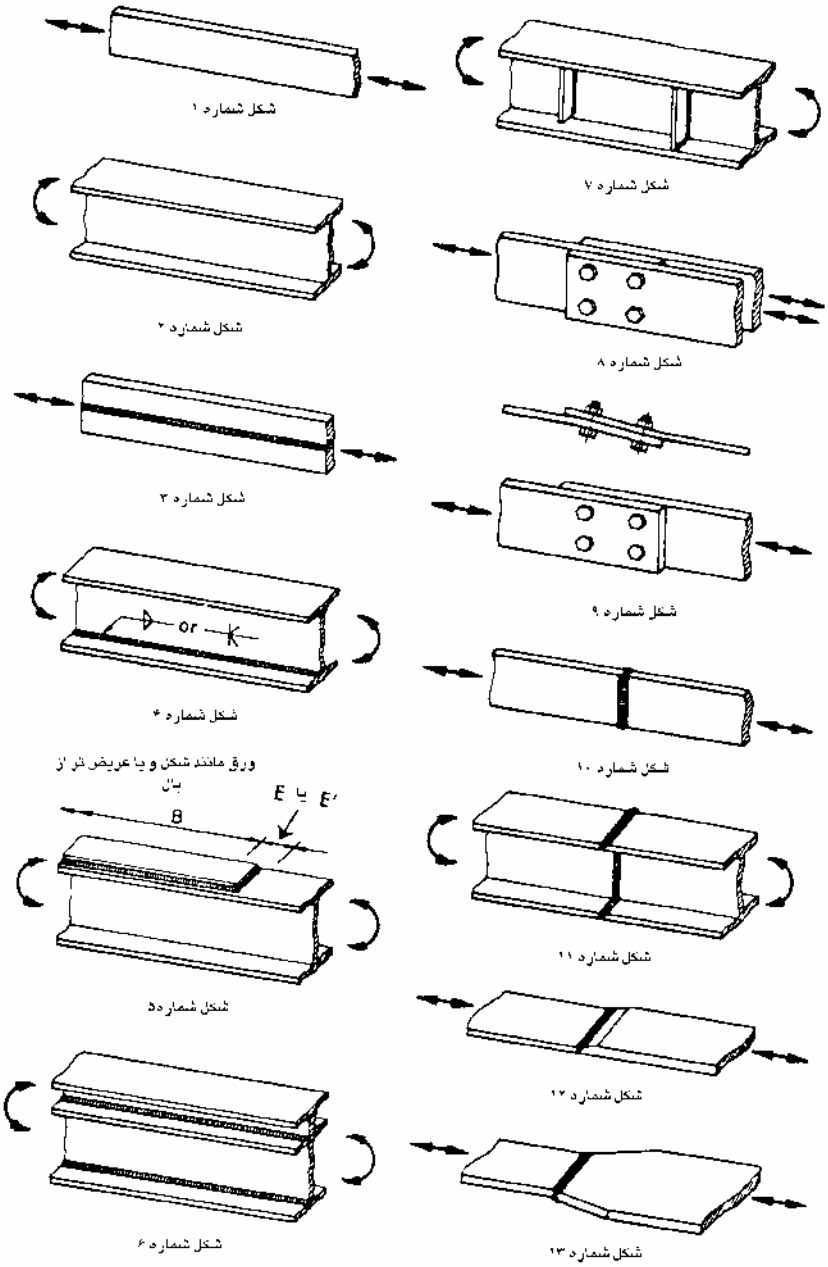
(۳) محدوده تنش خستگی مجاز برای جوش‌های گوشه و لب به لب با نفوذ ناقص عمود بر محور نیرو ،تابعی از گلوی موثر جوش، عمق نفوذ و ضخامت ورق است.

(۴) آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران، نشریه شماره ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰.

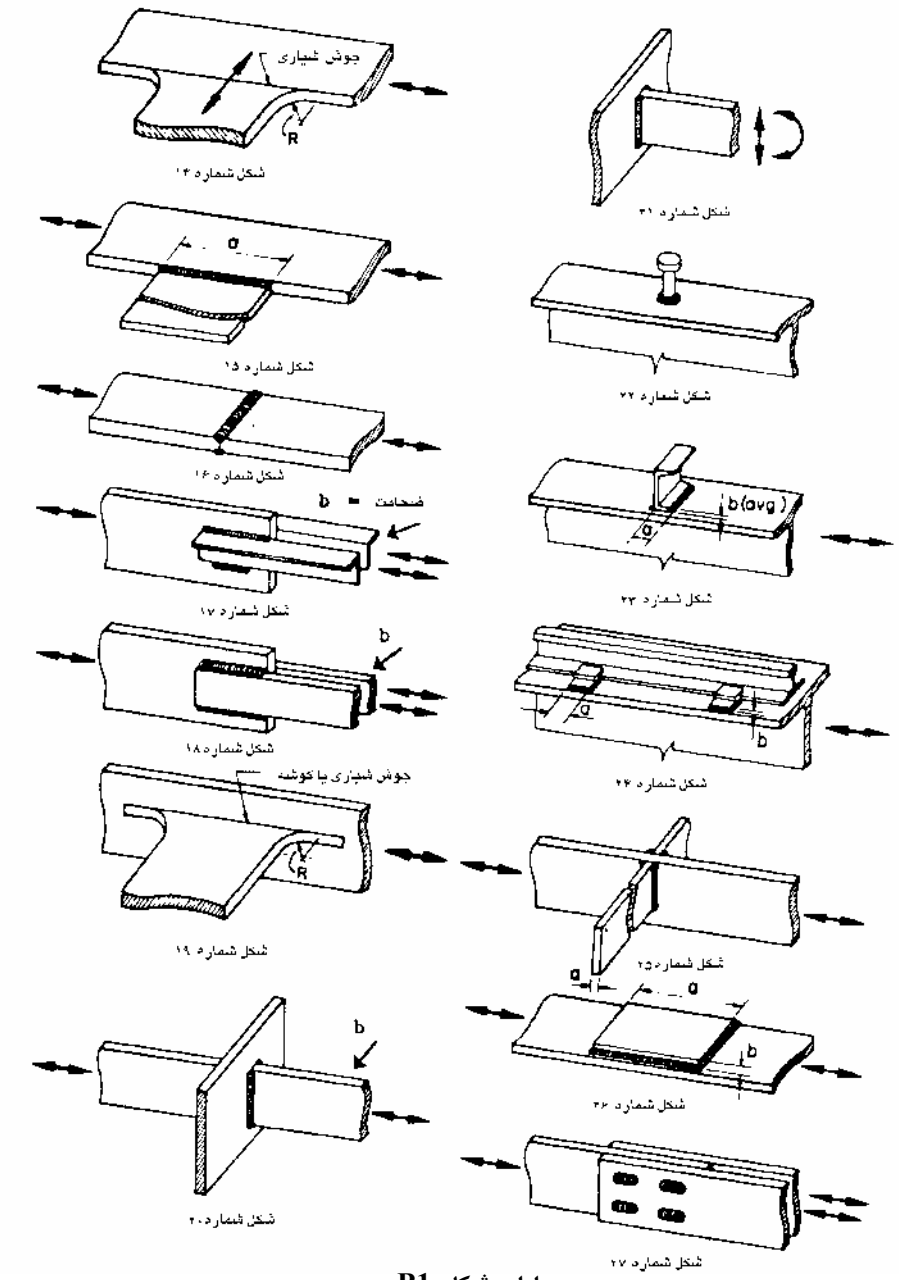
جدول B3 مقدار مجاز دامنه تغییرات تنش (F_{sr}) بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع [۷]

طبقه تنش (ازجدول B2)	بارگذاری نوع ۱ (F_{sr1})	بارگذاری نوع ۲ (F_{sr2})	بارگذاری نوع ۳ (F_{sr3})	بار گذاری نوع ۴ (F_{sr4})
A	۴۲۲۰	۲۵۳۰	۱۶۸۵	۱۶۸۵
B	۳۱۶۵	۲۰۳۹	۱۲۶۵	۱۱۲۵
B/	۲۷۴۲	۱۶۱۷	۱۰۵۵	۸۴۴
C	۲۲۵۰	۱۳۳۵	۹۱۵	۷۰۰[1]
D	۱۹۰۰	۱۱۲۵	۷۰۰	۴۹۰
E	۱۵۴۷	۹۱۴	۵۶۰	۳۵۰
E/	۱۱۲۵	۶۳۳	۴۲۲	۲۱۱
F	۱۰۵۵	۸۴۵	۶۲۰	۵۶۰

۱. برای تنش خمشی، دامنه تغییرات به اندازه ۸۴۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در انتهای ریشه جوش صفحات تقویت به جان یا بال مجاز می‌باشد.



شکل B1 موقعیت اعضا و اتصالات [۷]



شکل شماره ۱۴
شکل شماره ۱۵
شکل شماره ۱۶
شکل شماره ۱۷
شکل شماره ۱۸
شکل شماره ۱۹
شکل شماره ۲۰
شکل شماره ۲۱
شکل شماره ۲۲
شکل شماره ۲۳
شکل شماره ۲۴
شکل شماره ۲۵
شکل شماره ۲۶
شکل شماره ۲۷

ادامه شکل B1

۵-۴ استاندارد ایرانی

استاندارد ۵۱۹ ایران، تحت عنوان آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی در بند ۳-۶ به بارهای جرثقیل‌ها پرداخته است. شباهت زیادی بین مندرجات آیین‌نامه IBC2000 و این بخش از استاندارد ۵۱۹ دیده می‌شود. ذیلاً متن بند ۳-۶ استاندارد ۵۱۹ عیناً ذکر می‌شود.

۵-۴-۱ بارهای جرثقیل

تیرهای زیر سری که ریلهای حامل پل جرثقیل را تحمل می‌نمایند، به همراه اتصالات و نشیمن‌گاههای آنها و سایر قسمتهای سازه باید برای بارهای قائم، افقی جانبی و افقی طولی ناشی از وزن و حرکت جرثقیل و ملحقات آن بر طبق ضوابط بندهای ۲ تا ۴ ذیل طراحی شوند.

۱- حداکثر بار چرخهای پل جرثقیل باری است که چر خها بر اثر وزن پل، ارابه و ملحقات آن و باری که جابجا می‌شود – در شرایطی که ارابه در موقعیتی قرار گیرد که بیشترین اثر را در ریل ایجاد نماید- به ریل وارد می‌کنند.

۲- بار قائم: برابر با حداکثر بار چرخهای پل، مطابق تعریف بند ۱، که با ضریب ضربه‌ای برابر با ۱/۲۵ افزایش داده شده باشد. در طراحی ستونها و شالوده‌ها می‌توان اثر این ضریب ضربه را نادیده گرفت.

۳- بار افقی جانبی: برابر با ۲۰ درصد مجموع وزن ارابه و باری که جابجا می‌شود. این بار به صورت افقی، در امتداد عمود بر محور ریل در سطح تماس چرخ با ریل، اثر داده می‌شود. جهت این بار ممکن است به سمت ریل و یا در خلاف آن باشد. این بار بین تیرهای طرفین پل به نسبت سختی خمشی جانبی آنها همراه با سازه نگهدارنده‌شان تقسیم می‌گردد.

۴- بار افقی طولی: برابر با ۱۰ درصد حداکثر بار چرخهای پل، مطابق تعریف بند ۱. این بار به صورت افقی، در امتداد محور ریل و در هر یک از جهت‌ها، در سطح تماس چرخ با ریل اثر داده می‌شود.

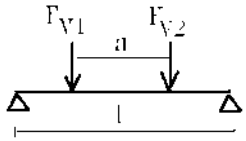
۶

طراحی تیر باربر ریل جرثقیل

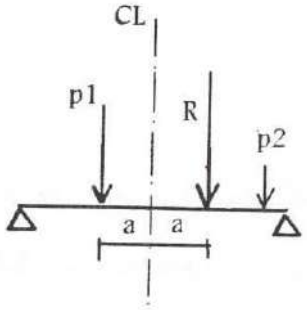
۶-۱ بارهای وارده بر تیر و محاسبات

بارهای وارده از جرثقیل به تیرهای باربر مطابق قسمت بارگذاری جرثقیل‌ها تعیین می‌شود. در این قسمت هدف طراحی تیر باربر جرثقیل‌ها می‌باشد.

در طراحی تیرها باید توجه داشت که بار پل بر روی این تیر حرکت می‌کند بنابر این دو بـار قـائم FV1 و FV2 که به فاصله ثابت a از یکدیگر قرار دارند، باید در طول تیر حرکت داد و هر نقطه از تیر را برای بیشترین لنگر و بیشترین برش طراحی نمود. برای این کار باید قاعدتاً از خطوط تأثیر تیر استفاده کرد.

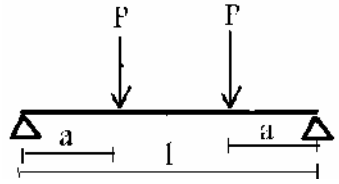


طبق نتیجه به دست آمده از تحلیل سازه‌ها در یک تیر بارگـذاری شـده توسـط یـک سـری بارهـای متمرکز، حداکثر لنگر توسط نزدیکترین بار به مرکز ثقل بارهای روی تیر، زمانی ایجاد می‌شود که فاصـله بین مرکز ثقل و محور تقارن در یک طرف با فاصله نزدیکترین بار به مرکز ثقل بارها، با محور تقارن تیر و از طرف دیگر، با هم مساوی باشند. به بیان دیگر، حداکثر لنگر در نقطـه اثـر یکـی از سـری نیروهـای متمرکز مؤثر در یک تیر ساده، هنگامی رخ می‌دهد که مرکز تیر کاملاً در وسـط فاصـله نیـروی متمرکـز مورد نظر و برآیند نیروهای موثر در تیر قرار گیرد.



تیرهای باربر نباید مانعی برای حرکت جرثقیل در طول تیر ایجاد کنند. حداکثر خیز مجاز برای تیرهای باربر جهت جلوگیری از مشکلات حرکتی (ناشی از خیز زیاد) و در نظر گرفتن آثار دینامیکی بار (به علت ارتعاش ایجاد شده در جرثقیل) به $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ طول دهانه محدود شده است.

برای تیری که زیر اثر دو بار متمرکز به صورت زیر قرار گرفته باشد، مقدار Δ را می‌توان از روابط زیر بدست آورد:

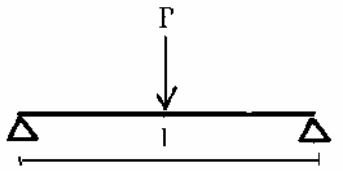


$$\Delta Max = \frac{PL^3}{6EI}\left[\frac{3a}{4l} - (\frac{a}{L})^3\right] \qquad a \le ۰.٦٥\, l$$

$$\Delta Max = Pl^{۳} / ٤٨\, EI \qquad a \rangle 0.65 l$$

برای تأمین محدودیت فوق، ممان اینرسی تیر باربر باید از محدودیت زیر تبعیت کند:

$$I \ge 1000 PL^2 \left(\frac{3a}{4L} - (\frac{a}{L})^3\right) / 6E \qquad a \le ۰.٦٥\, l$$

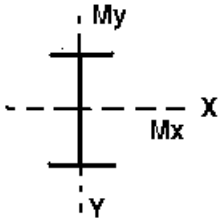


$$\Delta Max = \frac{PL^3}{48EI} \qquad a \rangle 0.65 l$$

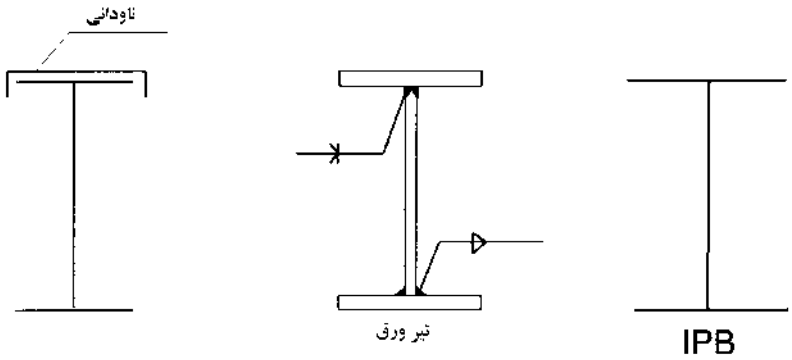
$$\Delta Max \langle \frac{L}{1000}$$

$$I \rangle \frac{1000 PL^2}{48E}$$

تیرهای باربر با توجه به بارهای عنوان شده در جهت هر دو محور اصلی و فرعی تحت اثر ممان قرار می‌گیرند. بنابراین برای طراحی باید از روابط مربوط به خمش دو محوره استفاده کرد.



به علت حساسیت تیر باربر به بار جانبی مخصوصاً پیچش مقطع تیرهای باربر معمولاً به یکی از صورت‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند.



از نظر سیستم سازه‌ای، می‌توان تیر باربر ریل را به دو صورت ساده یا پیوسته تحلیل و طراحی نمود.

۶-۱-۱ تکیه‌گاه ساده در قیاس با دهانه‌های ممتد

مزایای شاه تیر با تکیه‌گاه ساده

۱ – جهت طراحی برای ترکیبات مختلف بارگذاری بسیار ساده است.

۲ – نشست تکیه‌گاه در نیروهای داخلی تیر اثری ندارد.

۳ – در صورت خرابی به راحتی قابل تعویض است.

۴ – در صورت افزایش ظرفیت جرثقیل به راحتی قابل تقویت است.

۶-۱-۲ مزایای شاه‌تیرها با دهانه‌های ممتد

۱ – ممتد بودن دهانه‌ها باعث کاهش تغییر شکل، که اغلب کنترل‌کننده است می‌باشد.

۲ – چرخش و حرکت انتهایی کاهش می‌یابد.

زمانی که ملاحظات مربوط به خستگی دارای اثر تعیین‌کننده نیست، باعث سبک‌شدن مقطع و در نتیجه صرفه‌جویی در مقدار فولاد و قیمت می‌شود.

طراحی تیر باربر با فرض تیر ساده در طراحی با فرض تیر سرتاسری برتری دارد. علی‌رغم صرفه‌جویی در مصالح به علت توزیع یکنواخت‌تر لنگرهای خمشی در حالت تیر سرتاسری، پارامترهای دیگری، برتری فرض تیر ساده را ایجاد می‌کنند. این پارامترها، عبارتند از سادگی تعویض تیر در صورت صدمه دیدن آن، عدم تاثیر نشست نامساوی پی ستون‌ها در نیروهای داخلی تیر و امکان تحلیل ساده‌تر تحت انواع ترکیبات بار شامل نیروهای قائم و جانبی.

در حالت تیر ساده برای جلوگیری از دوران و تغییر مکان بیش از حد انتهای تیر، لازم است که ارتفاع مقطع تیر و سختی خمشی آن تا حد امکان افزایش یابد. البته از نظر فضای ساختمان و مسائل اقتصادی محدودیت‌هایی در افزایش ارتفاع مقطع تیر اعمال می‌شود که باید به آنها توجه داشت.

اتصال مستقیم تیرهای طرفین تکیه‌گاه به یکدیگر به نحوی که موجب عملکرد یکپارچه آنها و انتقال لنگر خمشی گردد، در حالت تیر ساده مجاز نمی‌باشد. هر یک از تیرها باید جداگانه به تکیه‌گاه خود، روی ستون متصل شوند. همچنین لازم است که هر گونه خرپاهای ثانویه متصل به تیر باربر نیز در محل تکیه‌گاه روی ستون به تکیه‌گاه متصل شوند تا از انتقال نیروهای داخلی به صورت سرتاسری بین دهانه‌های مجاور جلوگیری شود.

۶-۲ تنش‌های داخلی تیر باربر ریل

تیر ورق‌های باربر ریل باید به نحوی طراحی و ساخته شوند که توان تحمل دوره‌های بارگذاری و باربرداری (خستگی) در آنها به حداکثر برسد. جوش بین جان و بال فوقانی باید از نوع نفوذی کامل باشد.

در محاسبات تنش باید از ممان اینرسی کامل مقطع برای فشار و از ممان اینرسی خالص برای تنش استفاده شود. برای محاسبه ممان اینرسی خالص از محور خنثای مقطع کامل استفاده می‌شود و ممان اینرسی تمامی سوراخ‌ها در هر طرف محور خنثی از ممان اینرسی کل کم می‌شود.

در طرح جان تیر باربر ریل از اثر میدان کششی صرف‌نظر می‌شود و با پایین نگاهداشتن تنش‌های برشی از کمانش جان جلوگیری می‌شود. دلیل این امر، جلوگیری از تغییر شکل‌های ناشی از خمش جانبی جان است که موجب کاهش عمر تیر ورق تحت بارگذاری تکراری می‌شوند.

تنش‌های ناشی از بارگذاری‌های همزمان قائم و جانبی نباید از حدودی که طبق شرایط این بند مقرر می‌شود، تجاوز کنند. این تنش‌ها همچنین نباید از تنش‌های مجاز تحت بارگذاری تکراری بیشتر شوند.

برای مقاطع نورد شده و تیر ورق‌های I شکل که محور تقارن آنها در صفحه جان واقع است و فاقد تکیه‌گاه جانبی در طول دهانه است، رابطه اندرکنش زیر برای خمش دو محوره باید ارضا شود:

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le 1/0$$

در این رابطه:

fbx تنش محاسباتی ناشی از لنگر خمشی حول محور X-X ناشی از بار قائم

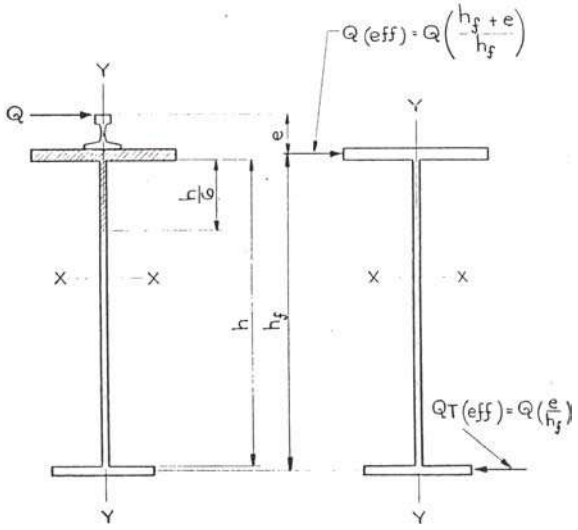
fby تنش محاسباتی ناشی از لنگر خمشی حول محور Y-Y ناشی از بار جانبی

Fbx تنش مجاز در خمش حول محور X-X طبق بند ۱۰- ۱- ۲-۱ -پ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی[۹]

Fby تنش مجاز در خمش حول محور Y-Y طبق بند ۱۰- ۱- ۲- ۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی

تنش بال کششی باید بر اساس ممان اینرسی مقطع خالص و فقط تحت بار قائم محاسبه شود.

در محاسبه تنش fby ناشی از بار جانبی باید از مشخصات مقطع بخش هاشورخورده شکل ۶-۱ حول محور Y-Y استفاده شود و بار جانبی اصلاح شده Qeff نیز بر مقطع وارد شود.



(الف) (ب)

شکل ۶-۱ سطح مقطع موثر در محاسبه تنش ناشی از بار جانبی و بار جانبی اصلاح شده [۱۵]

در محاسبهٔ تنش مجاز خمش ناشی از بار جانبی F_{by} لازم نیست کاهش بـه علـت احتمـال کمـانش جانبی صورت گیرد زیرا سختی تیر در امتداد قائم از کمانش در صفحهٔ قـائم جلـوگیری مـی‌کنـد. بـرای مقاطع جعبه‌ای کامل استفاده از Q_{eff} به جای Q لازم نیست.

در محاسبهٔ تنش‌های تیر تحت بارگذاری تکراری لازم نیست کمانش جانبی در نظر گرفته شود.

در صورتی که تیر حمال ریل I شکل بوده و دارای مهاربندی جـانبی باشـد، مسـئله کمـانش جـانبی منتفی می‌شود و برای خمش دو محوره با فرض $F_{bx} = F_{by} = 0.6F_y$ کنترل تـنش بـه صـورت سـادهٔ $f_{bx} + f_{by} \le 0.6F_y$ درمی‌آید.

بال متصل به جان قائم می‌تواند تا پهنای خاصی به صورت موثر عمل نماید. بنـابر ایـن در محاسـبهٔ مشخصات مقطع می‌توان حداکثر تا $\frac{796 t_f}{\sqrt{F_y}}$ در هر طرف جان را به عنوان پهنای موثر بال فرض کرد.

در این رابطه t_f ضخامت بال تیر بر حسب cm و F_y تنش تسلیم فولاد بر حسب Kg/cm^2 است.

اگر ورقی نازک‌تر از ورق بال به آن متصل شده باشد و این اتصال پیوسته باشد، می‌توان پهنایی معادل $\left(\frac{796}{\sqrt{F_y}}-\frac{b_f}{2t_f}\right)t_a$ از ورق نازک‌تر را موثر در عملکرد یکپارچه با بال تیر فرض کرد. در این رابطه:

t_a ضخامت ورق نازک‌تر بر حسب cm

b_f پهنای کلی بال تیر بر حسب cm و

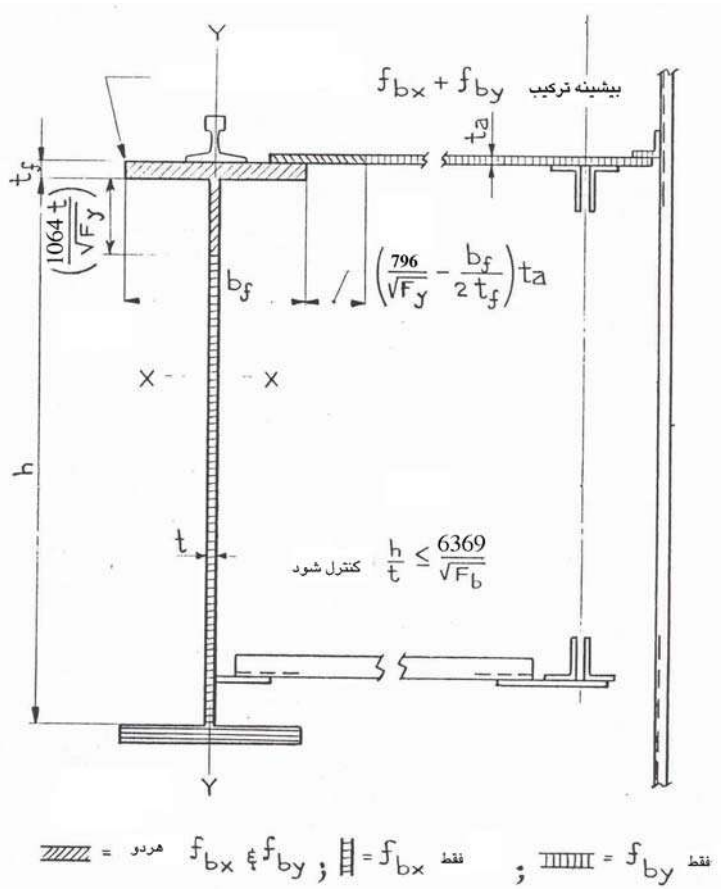
t_f ضخامت بال تیر بر حسب cm است.

در تصویر ۶-۲ فرضیات فوق نشان داده شده است.

در تحمل بارهای جانبی، تمامی بال فوقانی تیر به علاوهٔ ورق نازک‌تر متصل به آن، به عنوان جان عمل می‌کنند. از ورق‌های قائم می‌توان حداکثر نصف ارتفاع آنها و یا حداکثر $\frac{1064\,t}{\sqrt{F_y}}$ از ارتفاع جان را به عنوان بال در حمل خمش ناشی از بار جانبی در نظر گرفت. t ضخامت جان تیر بر حسب cm است. این محدودیت در شکل فوق نشان داده شده است.

اگر مقطع تیر باربر ریل به صورت جعبه بسته باشد و به وسیله نمودارهای عرضی یا مهاربندی ضربدری که توان توزیع بارهای موضعی را به بال‌ها و جان‌ها داشته باشند، مجهز شده باشد، می‌توان تمامی سطح مقطع تیر را در تحمل ترکیب بارهای قائم و جانبی مؤثر دانست . در محاسبات تنش باید تنش برشی ناشی از پیچش و خمش را در نظر گرفت. محدوده‌های متداول نسبت پهنا به ضخامت ورق برای فشار در اعضای برشی را باید رعایت نمود.

ضخامت جان تیر باربر ریل تابع محدودیت‌هایی است. نسبت عمق خالص جان به ضخامت آن نباید از $\frac{6369}{\sqrt{F_b}}$ تجاوز کند.F_b تنش خمشی مجاز طبق بند ۱۰- ۱- ۲- ۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی است. در صورت استفاده از سخت کننده‌های طولی می‌توان از نسبت فوق تجاوز نمود. طرح این سخت‌کننده‌ها باید مطابق گزارش فنی شماره ۶ موسسه AISE انجام شود.



شکل ۶-۲ تعیین مشخصات مقطع در محاسبات تنش [۱۵]

۶-۳ ناودانی فوقانی تیر

سرپوشهایی از مقطع ناودانی یا ورق معمولاً بر روی بال فوقانی تیر باربر جرثقیل به ظرفیت بیش از ۵ تن نصب می‌شود تا ظرفیت بال برای انتقال بارهای جانبی به ستونهای تکیه گاه به حد کافی افـزایش یابـد. به عنوان یک قاعده سرانگشتی می‌توان گفت که یـک تیـر بـاربر تقویـت شـده بـا نـاودانی در صـورتی

اقتصادی است که حداقل ۳۰ کیلوگرم برمتر، سبک‌تر ازیک تیر باربر با مقطع تقویت نشده و با ظرفیت مشابه باشد. جوش‌های اتصال این سرپوش‌ها به بال می‌تواند منقطع یا پیوسته باشد. هرچند بر اساس روش تنش مجاز AISC در مسائل خستگی، با تغییر جوش از پیوسته به منقطع، رده B تبدیل می‌شود به رده E، که متضمن کاهش تنش مجاز فلز پایه است.

باید توجه داشت که ورق یا ناودانی سرپوش به طور کامل و با تماس ۱۰۰ درصد روی بال فوقانی تیر نمی‌نشیند. رواداریهای داده شده در استاندارد تولید مقاطع فولادی اجازه می‌دهد که تیر بال پهن کمی چرخش بال در طول خود داشته باشد و یا ورق کمی قوس عرضی و یا اعوجاج پیداکند و یا ناودانی در طول خود مقداری پیچش داشته باشد. در این شرایط، فاصله کوچکی بین بال بالای تیر و سطح زیرین ناودانی و یا ورق به وجود می‌آید. حرکت چرخهای جرثقیل بر روی این فاصله خالی باعث می‌شود که جوش ناودانی یا ورق به بال فوقانی تیر به مرور ضعیف شود. به خاطر این پدیده، سرپوش ناودانی و یا ورقی نباید برای رده‌های E یا F جرثقیل‌ها استفاده شود.

۶-۴ مهاربندی بال تیر باربر ریل

۶-۴-۱ علل اصلی مهاربندی تیرهای جرثقیل

موراد مهم و عمومی که باعث تأکید به کاربردن مهاربندی‌های افقی در تیرهای زیرسری جرثقیل می‌باشد به شرح زیر است:

جهت خنثی نمودن نیروی متوقف کننده جانبی ارابه جرثقیل، وجود این مهاربندی‌ها ضروری است. این نیروی متوقف‌کننده اگر در قسمت میانی این شاه تیرها وارد شود به علت اینکه خمش ایجاد شده حول محور ضعیف شاه تیر می‌باشد، لذا شاه تیر مقاومت کافی را در برابر خمش نداشته و ضعیف عمل خواهد کرد. با وجود این مهاربندی‌ها تا حدودی این مشکل برطرف خواهد شد.

علاوه بر مسئله ضعف در خمش، تکرار این نیروهای متوقف کننده باعث به وجود آمدن مشکل خستگی می‌شود که باید به نحوی از این مشکل جلوگیری نمود، زیرا وجود این مهاری‌ها باعث کنترل خستگی خواهند شد.

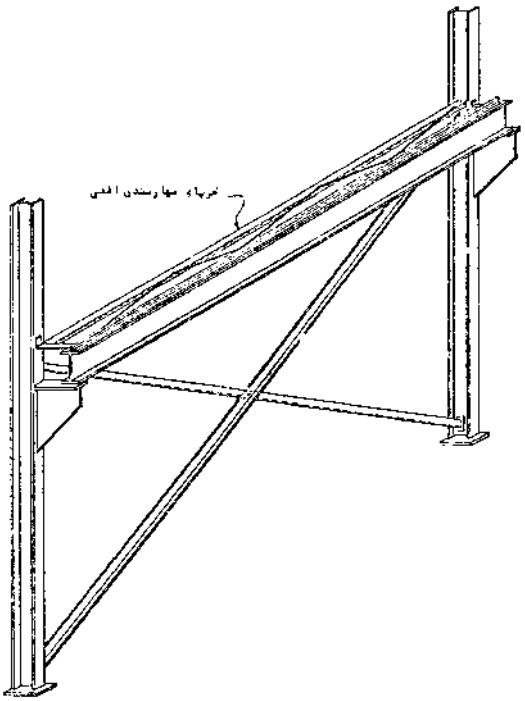
وجود مهاربندی‌های افقی باعث کاهش طول مهاری شاه‌تیر می‌شود. لذا طبق محاسبات موجود برای تنش خمش مجاز به دلیل افزایش تنش مجاز خمشی مقطع به دست آمده اقتصادی‌تر خواهد بود.

معمولاً به موازات تیرهای زیرسری جرثقیل، معبری جهت رفت و آمد راننده جرثقیل، به منظور تعمیرات و نگهداری در نظر گرفته می‌شود. از این ورق‌های اتصال‌دهنده که به عنوان مهاربندی به کار می‌روند و به سازه اصلی متصل می‌شوند می‌توان به عنوان مسیر رفت و آمد استفاده نمود.

مهارها باید مقاومت کافی برای انتقال بار جانبی جرثقیل را داشته باشند. هر چند این مهارها باید انعطاف‌پذیری کافی برای اجازه‌دادن به حرکت طولی بال فوقانی تیر در هنگام دوران انتهای تیر تحت بارگذاری را داشته باشند. مقدار حرکت طولی ناشی از دوران انتهای تیر می‌تواند قابل ملاحظه باشد. دوران انتهای یک تیر ۱۲ متری که خیزی برابر ۲ cm دارد (دهانه بزرگتراز m ۱۵) برابر ۰/۰۰۵ رادیان است. برای تیری با ارتفاع ۹۰ cm محاسبات به عدد ۰/۵ cm برای حرکت افقی بال فوقانی تیر ختم می‌شود. این مهارها هم چنین باید اجازه حرکت عمودی ناشی از کوتاه شدن محوری ستون جرثقیل را بدهند. محدوده این حرکت عمودی می‌تواند ۰/۶۵ cm باشد. به طور عادی این مهارها باید مستقیماً به بال بالای تیر متصل شوند. از اتصال مهار به جان تیر با استفاده از یک ورق دیافراگم باید خودداری شود چرا که مسیر بار جانبی برای این جزئیات منجر به تنش‌های خمشی در جان تیر عمود بر سطح مقطع تیر می‌شود. همچنین ورق دیافراگم تمایل دارد که از حرکت ناشی از کوتاه‌شدن محوری ستون جرثقیل جلوگیری کند.

بال پایین تیرهای حمال ریل با دهانه ۱۱ m و بیشتر در ساختمانهای ردهٔ A, B و C تولید فولاد و تیرهای با دهانه ۱۲ m و بیشتر در ساختمانهای رده D، باید به وسیله یک سیستم مهاربندی متصل به یک تیر مجاور یا خرپای سخت‌کننده، سخت شوند. این مهاربندی باید برای ۲/۵ درصد حداکثر نیروی بال پایین طراحی شود و نباید به بال پایین جوش شود. هر چند که معمولاً از یک سیستم مهاربندی

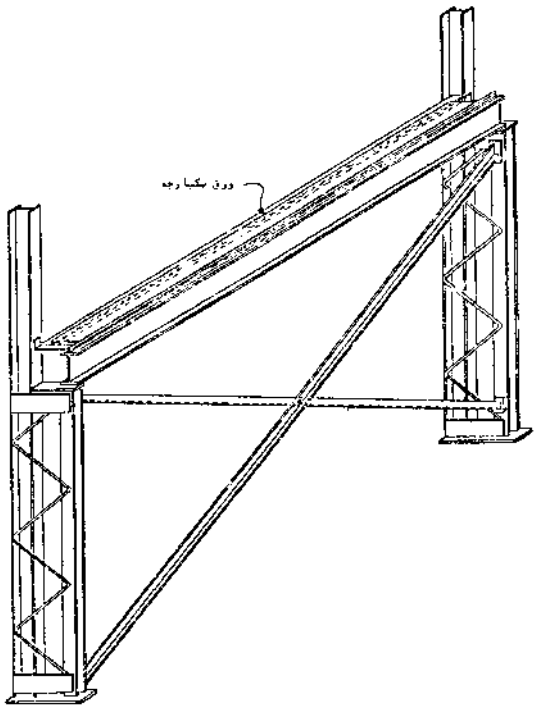
شامل خرپای افقی برای سخت‌کردن بال کششی تیر باربر ریل استفاده می‌شود، اما چنین خرپایی در صورت عدم مهاربندی عرضی به تیر در فواصل مناسب، قادر به جلوگیری از خیز قائم نامساوی تیر باربر ریل نسبت به خرپای کمکی یا نسبت به تیر باربر ریل مجاور در دهانه‌های داخلی سالن نخواهد بود. استقلال تغییر شکل قائم تیر باربر ریل و تیر کمکی موجب کاهش صدمات ناشی از خستگی می‌شود.



شکل ۶-۳ مهاربندی تیر باربر ریل [۲]

گاهی اوقات دو شاه تیر جرثقیل موازی را به وسیله یک ورق فوقانی به یکدیگر متصل می‌کنند تا یکدیگر را مهار نمایند. البته این موضوع منجر به ایجاد یک شاه تیر بسیار سخت در جهت جانبی می‌گردد. همچنین ورق اتصال‌دهنده می‌تواند به عنوان معبری برای تعمیرات و نگهداری مورد استفاده قرار گیرد. در هر صورت، دو جنبه نامطلوب در انتخاب این نوع مهاربندی وجود دارد. اول: بارگذاری و باربرداری شاه تیرهای موازی می‌تواند باعث یک انهدام خستگی ورق مهاربندی شود. دوم: ورق اتصال باید دارای

انعطاف باشد تا تغییر شکل‌های متفاوت بتواند بین دو شاه تیربدون تولید تـلاش‌هـای اضـافی خمشـی و برشـی اتفاق بیفتد.



شکل۶-۴ مهاربندی تیر باربر ریل [۲]

۶-۵ سخت‌کننده‌های تیر

در تکیه‌گاه تیر در صورت لزوم باید از سخت‌کننده‌ها برای انتقال واکنش‌های تکیه‌گـاهی اسـتفاده شـود. طرح سخت‌کننده‌های تکیه‌گـاهی اساسـاً ماننـد طـرح ستونهاسـت. خمـش در صـفحهٔ جـان تیـر بـرای سخت‌کنندهٔ متصل به جان غیرممکن است. بنابراین، در رابطه اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی در ستون شامل سخت‌کننده و بخشی از جان تیر، فقط لازم است که خمش عمـود بـر صـفحهٔ جـان تیـر و

نیروی واکنش تکیه‌گاهی در نظر گرفته شوند. مراجعه به بند ۱۰- ۱- ۸- ۱- ح مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی توصیه می‌شود.

در صورتی که نسبت $\frac{h}{t}$ تیر باربر ریل مساوی ۷۰ یا بیشتر از آن باشد، در نقاطی از تیر که رابطه زیر برقرار باشد، باید سخت‌کنندهٔ میانی نصب شود:

$$f_v > \frac{4499721}{(h/t)^2}$$

در رابطه فوق:

h: فاصلهٔ خالص بین بال‌ها بر حسب cm

t: ضخامت جان بر حسب cm

f_v: حداکثر تنش برشی در نقطه مورد نظر تحت هر یک از ترکیبات بارگذاری بر حسب kg/cm^2

فاصله آزاد بین سخت‌کننده‌های میانی باید طوری انتخاب شود که بعد کوچکتر پانل متشکل از بال‌های تیر و دو سخت کننده مجاور از مقدار زیر تجاوز نکند:

$$a < \frac{2933t}{\sqrt{f_v}} \text{ یا } h$$

در رابطه فوق:

a فاصلهٔ آزاد بین سخت‌کننده‌های عرضی بر حسب cm

h فاصلهٔ آزاد بین بال‌های تیر بر حسب cm

سخت کننده‌های میانی باید به صورت جفتی و در طرفین جان تیر تعبیه شوند.

حتی در نقاطی از تیر که انتقال بارهای متمرکز از بال به جان تیر مطرح نمی‌باشد، ممکن است برای جلوگیری از کمانش جان تیر به سخت‌کننده‌های میانی نیاز باشد. در این زمینه مراجعه به بند ۱۰- ۱- ۲- ۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی توصیه می‌شود. در صورت لزوم تعبیهٔ این نوع سخت‌کننده‌های میانی، باید شرط زیر ارضا شود:

$$I_s \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4$$

در رابطهٔ فوق:

I_s ممان اینرسی یک جفت سخت‌کننده حول محور جان بر حسب cm^4

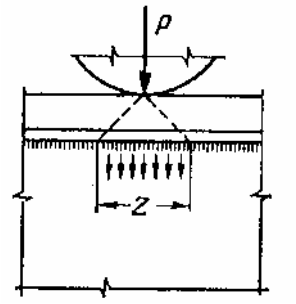
h فاصلهٔ آزاد بین بال‌ها بر حسب cm

سخت‌کننده‌های میانی باید به بال فوقانی (فشاری) به وسیله جوش نفوذی کامل متصل شوند. این سخت‌کننده‌ها را می‌توان به صورت مماس با بال تحتانی (کششی) نصب نمود. سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی باید به بال فوقانی (فشاری) به وسیله جوش نفوذی کامل متصل شوند و دارای تماس کامل و یا اتصال جوشی با بال پایین (کششی) تیر باشند.

تمام جوش‌های بین سخت‌کننده‌ها و جان و بال تیر باید پیوسته باشند. گوشه‌های ورق‌های سخت‌کننده در محل تلاقی با جوش بال به جان تیر، باید به اندازه کافی بریده شوند.

۶-۶ تنش‌های موضعی زیر چرخ جرثقیل

در نقاطی از تیر باربر جرثقیل که سخت‌کننده‌های جان وجود ندارد، تنش‌های موضعی قابل توجهی بر اثر عبور چرخ جرثقیل در جان تیر تولید می‌شود که به طور شماتیک در شکل ۶-۵ نشان داده شده است. مقدار این تنش موضعی از رابطه زیر قابل محاسبه است:



شکل ۶-۵ توزیع بار متمرکز چرخ جرثقیل در ناحیه اتصال جان و بال تیر [۳۵]

$$\sigma = \frac{n_1 P_1}{t\, z}$$

در رابطه فوق:

P1 : عبارت است از مقدار بار متمرکز چرخ جرثقیل بدون ضریب ضربه و بدون ضریب بار

n1: ضریب مربوط به میزان صلبیت سیستم تعلیق بار جرثقیل است. برای سیستم تعلیق صلب، مقدار n1 برابر ۱/۵، برای سیستم تعلیق انعطاف‌پذیر، مقدار n1 برابر ۱/۳ وبرای سیستم تعلیق ساده کابلی، مقدار n1 برابر ۱/۱ می‌باشد.

t: ضخامت جان تیر

z: طول محدوده توزیع بار چرخ که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z = C_1 \sqrt[3]{\frac{I_f}{t}}$$

در رابطه اخیر: C_1 ضریبی است برابر۳/۲۵ برای تیر باربر جوش شده یا نورد شده

I_f مجموع لنگر اینرسی بال تیر باربر و مقطع ریل نسبت به محورهای خودشان است. اگر ریل به نحوی به تیر باربر متصل شده باشد که عملکرد مرکب آن دوحاصل شود، I_f برابر است با لنگر اینرسی کل مقطع شامل بال تیر و مقطع ریل نسبت به محور اصلی مقطع مرکب.

مقدار تنش موضعی σ که از رابطه فوق حاصل می‌شود، باید در انتخاب ضخامت جان تیر باربر و همچنین در کنترل مقاومت جان تیر در برابر برش به کار رود. مقدار σرا باید با مقدار مجاز تنش فشاری فولاد (مثلاً $0/6F_Y$) مقایسه نمود [۳۵].

در تیر ورق باربر ریل جرثقیل، تنش‌های موضعی زیر چرخ جرثقیل باید به وسیله جوش نفوذی کامل بین بال و جان تیر به جان منتقل شوند. این جوش باید برای نیروی قائم ناشی از بار کامل چرخ و مولفهٔ نیروی برشی افقی بین چرخ و ریل طراحی شود. در محاسبه نیروی قائم بر واحد طول جوش، فرض می‌شود که بار چرخ روی طولی معادل دو برابر مجموع ارتفاع ریل و ضخامت بال تیر پخش می‌شود.

بارهای موضعی زیر چرخ موجب تنش‌های اضافی ناشی از خمش موضعی در بال فوقانی تیر باربر ریل می‌شوند. این تنش‌ها به وسیله رابطه زیر محاسبه شده و مستقیماً به تنش‌های ناشی از خمش کلی تیر اضافه می‌شوند.

$$f_{bw} = \left[\frac{P t_f}{8(I_R + I_F)}\right]\left[\sqrt[4]{2(I_R + I_F)\frac{h}{t}}\right]$$

در رابطهٔ فوق:

f_{bw} تنش موضعی بال ناشی از خمش تحت بار موضعی چرخ بر حسب kg/cm^2

I_R ممان اینرسی مقطع ریل بر حسب cm^4

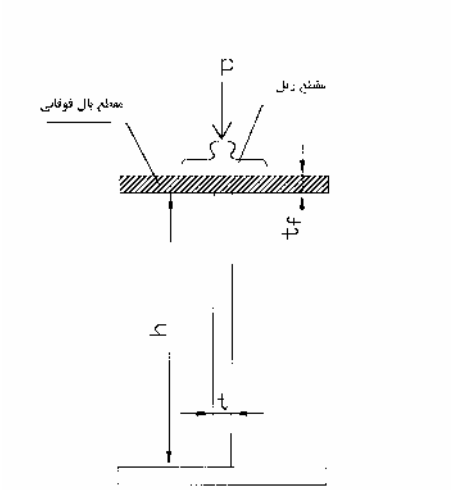
I_F ممان اینرسی بال فوقانی بر حسب cm^4

P حداکثر بار موضعی چرخ بر حسب kg

t ضخامت ورق جان بر حسب cm

t_f ضخامت ورق بال فوقانی بر حسب cm

h فاصلهٔ آزاد بین بال‌ها بر حسب cm



رابطهٔ فوق بر تئوری تیر بر بستر الاستیک با فرض تماس فولاد با فولاد استوار است. فرض شده است که ممان اینرسی مجموعهٔ ریل و بال تیر برابر مجموع ممان اینرسی هر یک از آنهاست. از آثار اصطکاک، گسترش بار چرخ و سهم جان تیر در افزایش سختی خمشی بال فوقانی تیر صرف‌نظر شده است.

اگر از تکیه‌گاه‌های الاستومری بین ریل و بال تیر استفاده شود، تمرکز تنش‌های موضعی ناشی از بار چرخ در بال فوقانی تیر باید به وسیله روش تحلیل اجزای محدود مناسب محاسبه شود [۱۵].

۶-۷ خیز تیر حمال ریل

خیز تیر باربر ریل بر اثر بار زنده بدون ضربه نباید از $\frac{1}{1000}$ طول دهانه بیشتر شود.

۶-۸ پیش‌خیز تیر باربر

برای تیرهای با دهانه بیش از ۲۳ m لازم است که خیز منفی تقریباً برابر خیز ناشی از بار مرده به علاوه نصف بار زنده بدون ضربه به تیر داده شود.

۶-۹ متوقف کننده‌های جرثقیل

مقاطع انتهایی شاه‌تیرهای جرثقیل‌ها باید برای یک نیروی طولی که به متوقف‌کننده‌های جرثقیل‌ها وارد می‌شود طراحی گردند. برای بلوک‌های ضربه‌گیر فنری، نیروی طولی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$F = \frac{wv^2}{gc_t}$$

که در این رابطه:

w = وزن کل جرثقیل همراه با بار حمل شده

v= سرعت جرثقیل در لحظه ضربه، بر حسب متر بر ثانیه (بر اساس نشریه شماره ۶ آیین‌نامه AISE باید ۵۰٪ درصد سرعت در بار با سرعت مستمر کامل باشد)

ct= مقدار جمع شدن فنر در نقطه‌ای که انرژی توقف جرثقیل کاملاً جذب شده است، بر حسب سانتی‌متر

F= کل نیروی اینرسی طولی که در محل مرکز جرم شاه‌تیر و ارابه وارد می‌شود. نیروی روی متوقف کننده هر شاه‌تیر برابر حداکثر عکس‌العمل نیروی اینرسی ضربه‌گیر است که در این نقطه وارد می‌شود.

g = شتاب جاذبه زمین بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه

برای بلوک‌های ضربه‌گیر چوبی یا لاستیکی (که عموماً در جرثقیل‌های قدیمی مورد استفاده قرار گرفته است) رابطه فوق را نمی‌توان مستقیماً به کار برد.

۶-۱۰ ورقهای سرپوش ستونها

جزئیات ورق سرپوش ستون جرثقیل باید طوری باشد که اساساً مانع دوران انتهایی تیرها نشود. اگر پیچ‌های اتصال تیر و ورق سرپوش مابین بالهای ستون واقع شوند، از دوران تیرهای انتهایی توسط یک جفت نیروی بین بال ستون و پیچ جلوگیری خواهد شد. این جزئیات باعث شکست پیچ‌ها می‌شود. بنابراین بهتر است که پیچ‌های اتصال تیر و ورق سرپوش در خارج محدوده مقطع ستون قرار گیرند. در این صورت لازم است که ورق سرپوش ستون از لبه‌های ستون به سمت بیرون امتداد پیدا کند و پیچ‌ها بیرون بال ستون واقع شوند. ورق سرپوش ستون نباید بیش از حد ضخیم باشد چرا که این امر موجب عدم تغییر شکل راحت ورق سرپوش در هنگام دوران انتهای تیر می‌شود. پیچ‌های اتصال ورق سرپوش به تیر باربر باید به اندازه کافی مقاومت برای انتقال نیروی رانش طولی و یا ضربه توقف جرثقیل به مهاربندی طولی جرثقیل را داشته باشند. باید به نحوه استفاده از سوراخهای لوبیایی عمود بر محور ریل یا سوراخهای بزرگتر از حد برای رواداری همراستا کردن جان تیرهای باربر با جان ستونهای زیر آنها توجه شود.

۶-۱۱ مهاربندی K شکل یا زانویی

نیروی طولی جرثقیل معمولاً توسط مهاربندی قائم ضربدری درصفحه تیر جرثقیل تحمل می‌شود.

از کاربرد مهاربندی زانویی برای ایجاد یک قاب صلب برای مقابله با نیروی طولی جرثقیل باید پرهیز شود. مهاربند زانویی در هر بار عبور چرخ جرثقیل از روی آن، تحت نیروی قائم چرخ قرار می‌گیرد.

مهاربندی K نیز تحت همین شرایط قرار می‌گیرد. اگر از سیستم خرپای افقی برای تحمل نیروهای جانبی جرثقیل استفاده شود، از این سیستم می‌توان برای انتقال نیروهای طولی به صفحه ستونهای سازه استفاده نمود. سپس مهاربندی عمودی جرثقیل می‌تواند با مهاربندی ساختمان در محل ستون‌های سازه ادغام شود.

۷

پوشش سقف و دیوار

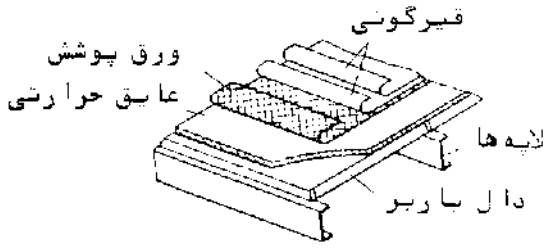
۷-۱ کلیات، انواع پوشش‌های سقف

وظیفه اصلی سقف‌ها، محافظت فضای داخلی در مقابل عوامل مختلف جوّی (برف، باران، سرما و غیره) و انتقال بار به دیگر اعضای باربر است.

یکی از موارد مهمی که در طراحی پوشش‌های سقف باید مد نظر داشت، توجه مالکان ساختمان‌های صنعتی به نصب تجهیزات اضافی یا آویزان نمودن سیستم‌های جدید لوله‌کشی به سقف است، بنابراین، طراح باید با در نظر گرفتن این موضوع تا حدی سیستم سقف (و نهایتاً کل سازه باربر ساختمان) را سنگین‌تر طراحی نماید.

در ساختمانهای صنعتی، دو نوع پوشش سقف‌سازی رایج است. یکی سقف گرم (Warm Roofing) با عایق حرارتی و دیگر، سقف سرد (Cold Roofing) بدون عایق حرارتی.

سقف‌سازی گرم شامل دالهای باربر، مواد عایق حرارتی، یک لایه قیر چسبنده، یک لایه عایق مرطوب، مانند قیرگونی و یک لایه آسفالت ساخته شده است.



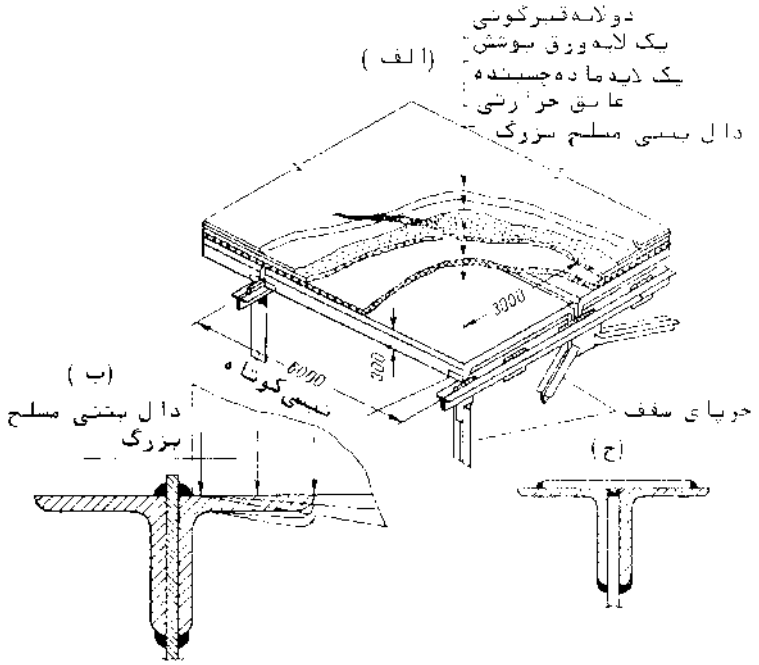
شکل ۷-۱ سقف‌سازی با عایق حرارتی با لایه[۲]

دو نوع سقف یکی با لایه و دیگری بدون لایه اجرا می‌گردد. در نوع اول، اعضای باربر ممکن است دالهای بتن مسلح پیش ساخته استاندارد یا دالهای بتنی یا سیلیکاتی مسلح فوم‌دار (تشکیل شده از اعضای باربر و مصالح عایق حرارتی) و غیره باشد. این دال‌ها بر روی لایه‌ها قرار می‌گیرند، و لایه‌ها نیز به نوبه خود بر روی خرپاها و یا قابها قرار می‌گیرند و بارها را به آنها منتقل می‌نمایند. نوع دیگر، سقف (بدون لایه) شامل دالهای بتن مسلح استاندارد با ابعاد بزرگ است. این دالها مستقیماً روی خرپاهای

سقف و یا قابها قرار می‌گیرند. آنها را به وسیله جوش انتهایی نبشی‌های کوتاهی کـه در داخـل دال قـرار گرفته به یال فوقانی خرپا و یا قاب متصل می‌نمایند.

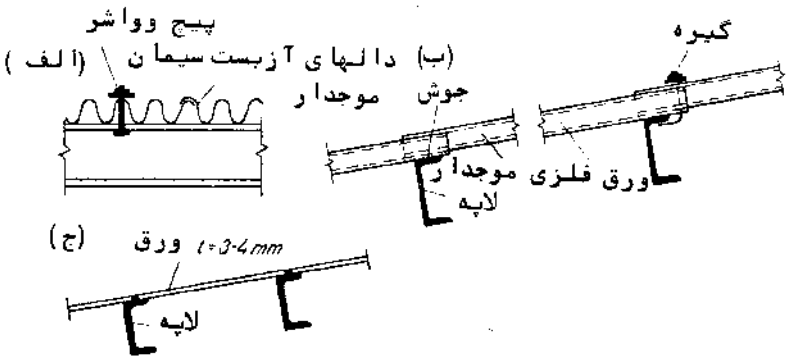
دال‌های بزرگ را نیز با مواد عایق حرارتی (در صورتی که دال‌ها خودشان چنین عملکردی را نداشـته باشند)، ماده چسبنده و یک لایه عایق رطوبت می‌پوشانند.

وقتی که دال‌های بتن مسلح، بر روی نبشی‌های خرپا و یا قاب قرار می‌گیرنـد، خمـش بـال بیرونـی نبشی یال فوقانی خرپا چندان نگران‌کننده نیست، چون با افزایش تغییر شکل نسبی دال، فشار تکیه‌گاهی دال به انتهای بال نبشی منتقل می‌شود (شکل ۷-۲-ب). فقط لازم است که از برش نبشی کـه از فشـار تکیه‌گاهی دال حاصل می‌شود جلوگیری نمود. بدین دلیل باید همراه با این نبشـی یـال فوقـانی خرپاهـا (t<6mm برای دالهای به طول ۶ متر t<14mm برای دال‌های به طول ۱۲ متر) از ورق‌های اتصال بـه ضخامت ۱۰ تا ۱۲ میلیمتر که بر روی نبشی قرار می‌گیرند استفاده نمود (شکل ۷-۲-ج).



شکل ۷-۲ سقف‌سازی با عایق حرارتی بدون لایه[۲]

سقف‌های سرد (بـدون عـایق حرارتـی) در کارگـاه‌هـای گـرم (hot shop) و سـاختمان‌هـای سـرد (cold building) به کار می‌روند.



شکل۷-۳ انواع پوشش سقف بدون عایق حرارتی[۲]

این سقف‌ها که معمولاً به صورت شیبدار ساخته مـی‌شـوند بـرای دهانـه‌هـای بـزرگ مناسـب‌انـد و مصالحی که برای پوشش این سقف‌ها به کار گرفته می‌شود باید در مقابل عوامـل جـوّی از پایـایی لازم برخوردار باشند. سازه سقف‌های شیبدار به صورت خرپای فلزی یا چوبی است.

در ساختمانهای صنعتی، آشیانه هواپیما، انبارهای بزرگ و سایر ابنیه مشـابه کـه معمـولاً دهانـه بـین ستون‌ها و دیوارها از حد معمول بیشتر است، به منظور خودداری از کاربرد تیرهای بتنی و آهنی سنگین از سقف‌های شیبدار استفاده می‌کنند.

برای اطمینان از جاری شدن آب از، سقف‌ها عموماً شیب‌های زیر را برای سقف به کار می‌برند.

- برای سقف‌هایی دارای قیرگونی $i = \frac{۱}{۸}$ الی $\frac{1}{12}$
- برای سقف‌هایی با دال موجدار آزبست- سیمان $i = \frac{۱}{۳}$ الی $\frac{۱}{٤}$
- برای سقف‌هایی با ورق‌های موجدار فلزی $i = \frac{۱}{٥}$ الی $\frac{1}{7}$

پوشش‌های شیبدار معمولاً روی خرپاهای فلزی یا چوبی قرار می‌گیرند. علاوه بر خرپا، در برخی از موارد ممکن است این پوشش‌ها روی سقف‌های بتنی شیبدار و یا طاق ضربی نیز قرار گیرند.

این پوشش‌ها می‌تواند با شیب یکطرفه، دو طرفه و یا به صورت دندانه اره باشند که نوع اخیر بیشتر در کارخانه‌ها و برای استفاده از نور کاربرد دارد.

به طور کلی، پوشش‌های شیبدار می‌توانند از انواع مصالحی که مهمترین آنها به شرح زیر است تشکیل شده باشند [۱۳].

۷-۱-۱ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های سیمان و پنبه نسوز

۷-۱-۱-۱ پوشش با ورق‌های موجدار

ورق‌های موجدار طوری رویهم قرار می‌گیرند که در جهت موج و در راستای عمود بر آن همپوشانی لازم را داشته باشند، بنابراین، این ورق‌ها دو نوع همپوشانی دارند: همپوشانی در جهت موج و همپوشانی در راستای عمود بر موج.

۷-۱-۱-۱-۱ همپوشانی در جهت موج

تصویر افقی این همپوشانی همیشه برابر ۴۷ میلیمتر است که اصطلاحاً به آن نیم موج می‌گویند و به هیچوجه تابع طول ورق، شیب، فاصله تیرریزی و سایر عوامل نمی‌باشد.

۷-۱-۱-۱-۲ همپوشانی در راستای عمود بر موج

این همپوشانی تابع عوامل جوّی و شیب سقف است و حداکثر آن ۲۰ سانتیمتر و حداقل آن ۱۰ سانتیمتر است. برای شیبهای کمتر از ۱۸ درصد باید خمیر آب‌بندی[1] به کار برد. این خمیر باید در مقابل عوامل جوّی از قبیل گرمای شدید، یخبندان و گرد و غبار مقاومت زیادی داشته باشد. خمیر مذکور را باید

---

1. Sealing compound

به صورت نوار به فاصله ۱۵ میلیمتر از حاشیه موج بالا رونده قرار داده و روق بعدی را با فشار روی آن قرار دهند تا فاصله بین دو ورق کاملاً با خمیر پر شود. محلی که قرار است با خمیر آب‌بندی شود باید از گردوغبار کاملاً پاک شده و خشک باشد. در پوشش با شیب کم حتی‌الامکان باید از ورق‌های بزرگتر استفاده شود.

۷-۱-۱-۱-۳ برش گوشه‌های ورق‌ها

ورق‌های $5\frac{1}{5}$ و $6\frac{1}{2}$ موج سیمان- پنبه نسوز را به طریق برشِ گوشه‌ها نصب می‌نمایند. این روش به این علت انتخاب شده که در محل فصل مشترک چهار ورق گوشه دو ورق وسط در یک سطح قرار گرفته و از به وجودآمدن چهار لایه ورق جلوگیری شود. گوشه ورق‌ها را معمولاً با تیغه‌های مجهز به الماس مناسب برش می‌دهند. علاوه بر آن با قیچی مخصوص برش نیز می‌توان این کار را انجام داد.

۷-۱-۱-۱-۴ جهت نصب ورق

همیشه جهت نصب ورق در جهت عکس وزش باد است. نصب همیشه از پایین‌ترین نقطه سقف در جهت عکس وزش باد (که در هر منطقه بر پایه آمار و تجربیات موجود تعیین می‌شود) انجام می‌پذیرد.

۷-۱-۱-۱-۵ گیره‌ها و وسایل نصب

گیره نصب متناسب با نیمرخ پروفیل لایه انتخاب می‌شود. گیره را روی موج‌های ۲ و ۵ می‌بندند و در ورق‌های بزرگ روی تیر افقیِ وسط، بستن یک گیره کافی است. گیره‌ها را معمولاً از فولاد گالوانیزه به قطر ۶ تا ۸ میلیمتر انتخاب می‌کنند. همراه هر گیره یک عدد مهره شش گوش، یک عدد واشر فلزی و یک عدد واشر قیری به کار برده می‌شود. در خطاالراس‌ها و محل برخورد و شیب معمولاً یک عدد تیزه[1] مناسب قرار داده می‌شود.

---

1. Ridge

۷-۱-۱-۱-۶ متعلقات مربوط به ورق‌های موجدار

ورق‌های موجدار آزبست و سیمان علاوه بر تیزه متعلقات دیگری، مانند لبه موجدار، لبه دندانه‌دار، اتصال دیواری مستقیم، ورق برای عبور لوله، کلاهک چهار ضلعی و شش ضلعی و کناره ساده دارند که هر یک باید در جای خود نصب شوند. پیمانکار باید کار نصب را به افراد متخصص و مجرب واگذار نماید.

۷-۱-۱-۲ پوشش با ورق‌های آردواز[1]

ورق‌های آردواز معمولاً به دو اندازه ۶۰×۳۰ و ۳۰×۲۰ سانتیمتر تولید و بکار برده می‌شوند. در نصب این ورق‌ها رعایت نکات زیر ضروری است:

۷-۱-۱-۲-۱ زیرسازی

زیرسازی ورق‌های آردواز باید با چوب نراد خارجی (روسی یا مشابه) انجام گردد. بدین منظور ابتدا چهارتراش‌های چوبی را به عرض حدود ۶ سانتیمتر و ارتفاع حدود ۸ سانتیمتر و به فاصله مناسب در امتداد خط بزرگترین شیب سقف قرار می‌دهند (این فاصله‌ها را اگر در نقشه‌ها مشخص نشده باشد می‌توان حدود ۹۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر در نظر گرفت). چهارتراش‌ها را بسته به اینکه سازه سقف، فلزی، چوبی، طاق ضربی، و یا بتن مسلح باشد، به نحو مناسبی مطابق جزئیات مندرج در نقشه‌ها به سقف متصل می‌نمایند. برحسب اینکه ابعاد ورق‌های آردواز به ترتیب ۶۰×۳۰ سانتیمتر و یا ۳۰×۲۰ سانتیمتر باشد، چهارتراش‌های کوچکتری به ابعاد حدود ۴ سانتیمتر عرض و ۳ سانتیمتر ارتفاع را در فواصل ۲۰ و ۱۰ سانتیمتر عمود بر چهارتراش‌های قبلی روی آنها قرار داده و با میخ می‌کوبند. پس از اینکه زیرسازی از هر لحاظ آماده شد، ورق‌های آردواز را با رعایت همپوشانی لازم نصب می‌نمایند. برای نصب هر ورق یک عدد کرامپون[2] مسی و ۲ عدد میخ به عنوان عامل اتصال مورد نیاز است.

---

1. Ardoise (Francais)
2. Crampon

۷-۱-۱-۲-۲ همپوشانی

همپوشانی طولی این ورق‌ها $\frac{2}{3}$ طول ورق و همپوشانی عرضی $\frac{1}{2}$ عرض آن است. به قسمی که سطح مفید هر ورق برابر $\frac{1}{3}$ سطح آن ورق بوده و سطح کل ورق‌های نصب شده معادل سه برابر سطح پوشش است.

۷-۱-۱-۲-۳ شیب سقف‌های دارای پوشش آردواز

شیب این سقف‌ها با توجه به ابعاد ورق‌ها و وضعیت آب و هوای منطقه به شرح جدول زیر است:

جدول ۷-۱ شیب مناسب برای سقف‌های مناسب با پوشش آردواز[۱۳]

ابعاد آردواز / وضعیت آب و هوا	۶۰*۳۰	۲۰*۳۰
آب و هوای گرم و مرطوب	۲۵ درصد	۴۰ درصد
آب و هوای معتدل با برف کم	۳۰ درصد	۵۰ درصد
آب و هوای سرد با برف زیاد	۳۵ درصد	۶۰ درصد

۷-۱-۲ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های آلومینیوم

ورقهای آلومینیوم ممکن است دارای موج سینوسی یا ذوزنقه‌ای باشند. میزان همپوشانی آنها در جهت موج در مورد ورق‌های سینوسی ۱/۵ موج و در مورد ورق‌های ذوزنقه‌ای یک موج است. در جهت عمود بر موج نیز مقدار همپوشانی بسته به شیب سقف ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر است. این ورق‌ها را باید با توجه به نقشه‌های اجرائی و یا توصیه‌های کارخانه سازنده و با به کارگیری اتصالات مناسب نصب نمود. قطر سوراخ عبور گیره باید اندکی بزرگتر از قطر گیره باشد تا از لحاظ انبساط و انقباض مشکلی پیش نیاید. گیره‌ها باید در راس موج‌ها بسته شوند.

باید یادآوری نمود که هیچ‌گونه اتصال، حتی یک نقطه نباید بین ورق‌های آلومینیوم و اعضای فلزی وجود داشته باشد. بدین دلیل برای اتصال پانل‌ها به خرپاهای فلزی از پیچهای گالوانیزه استفاده می‌شود.

۷-۱-۳ پوشش سقف‌های شیبدار با ورق‌های فولادی گالوانیزه

متداولترین ورق‌های فولادی گالوانیزه ورق‌های موجدار و ورق‌های صاف (بدون موج) است. این ورق‌ها را اصطلاحاً آهن سفید می‌نامند.

۷-۱-۳-۱ پوشش با ورق‌های موجدار

ورق‌های موجدار گالوانیزه را مستقیماً نباید بر روی لاپه‌ها قرار داد. اگر در نقشه‌های اجرایی برای سقف عایق حرارتی و یا قشر میانی دیگری پیش‌بینی نشده باشد، در این صورت باید بین ورق و لاپه در محل گیره‌ها واشر سربی و یا نئوپرن قرار داد. ورق‌های یاد شده طوری روی هم قرار می‌گیرند که در جهت موج و راستای عمود بر آن همپوشانی لازم را داشته باشند. بنابر این، این ورق‌ها نیز مانند ورق‌های آزبست و سیمان موجدار دارای دو نوع همپوشانی هستند: همپوشانی جهت موج و همپوشانی در راستای عمود بر موج

۷-۱-۳-۱-۱ همپوشانی در جهت موج

همپوشانی در جهت موج برابر یک، یک و نیم و یا دو موج است بدین ترتیب که، در محل‌های سرپوشیده محفوظ برابر یک موج و در مناطق نسبتاً آرام $1\frac{1}{2}$ موج و در نقاطی که دارای شرایط جوی شدید و غیر عادی باشند مقدار همپوشانی برابر ۲ موج است.

۷-۱-۳-۱-۲ همپوشانی در جهت عمود بر موج

این همپوشانی تابع عوامل جوّی و شیب سقف است. حداقل همپوشانی برابر ده و حداکثر آن معادل ۲۵ سانتیمتر است. چنانچه این ورق‌ها برای پوشش دیوارهای عمودی به کار برده شوند، حداقل رویهم افتادگی ۱۰ سانتیمتر است. اگر شیب سقف بیش از ۳۵ درصد باشد، همپوشانی ۱۵ سانتیمتر است. هرگاه شیب سقف کمتر از ۳۶ درصد باشد، مقدار همپوشانی بین ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر خواهد بود. در این حالت مصرف خمیر آب‌بند ضروری است.

۷-۱-۳-۱-۳ پی گیره‌ها و وسایل نصب

در اینجا نیز می‌توان از گیره‌های مشابه گیره‌های سقف آزبست و سیمان همراه با واشرهای مربوط استفاده کرد. در مورد این ورق‌ها بویژه اگر مقطع لاپه‌ها از نوع باشند می‌توان از پیچ خودکار استفاده نمود. در این حالت ارجح است ترتیبی داده شود که پیچ‌ها پس از عبور از بال بالایی لایه از داخل یک قطعه چوب به ضخامت حدود ۵ سانتیمتر عبور نمایند. عرض چوب مورد نظر برابر فاصله داخل به داخل لبه برگشته تا جان پروفیل است. فاصله گیره‌ها برای وصل ورق‌ها به لاپه‌ها از یکدیگر نباید از ۴۰ سانتیمتر تجاوز نماید. گیره‌ها باید در راس موج‌ها نصب گردند. علاوه بر گیره‌های فوق، در جهت عمود بر لاپه نیز باید ورق‌ها را در هر ۴۵ سانتیمتر لااقل توسط پرچ، پیچ خودکار و یا اتصال مطمئن دیگری به هم متصل نمود.

۷-۱-۳-۱-۴ متعلقات

ضخامت متعلقات این ورق‌ها مانند تیزه و نظایر آن باید با ورق اصلی یکی بوده و در نصب آنها نهایت دقت مبذول گردد.

۷-۱-۳-۲ پوشش با ورق‌های صاف گالوانیزه

این ورق‌ها معمولا روی خرپاهای چوبی نصب می‌شوند. ورق‌ها را باید با میخ روی خرپای چوبی کوبید و در محل میخ‌ها با خمیر آب‌بند از نفوذ آب جلوگیری به عمل آورد. فاصله میخ‌ها باید حداکثر ۴۰ سانتیمتر باشد. ورق‌های صاف را در امتداد لاپه‌ها ۴ پیچه و در امتداد عمود بر آن را (در امتداد شیب) به صورت دو پیچه به یکدیگر متصل می‌کنند.

۷-۱-۴ پوشش با ورق‌های پلاستیکی صاف

در مورد نصب این ورق‌ها رعایت نکات زیر ضروری است:

الف) فاصله لاپه‌ها معمولاً بین ۵۵ تا ۶۵ سانتیمتر است. مگر اینکه دستگاه نظارت با توجه به ضخامت و خواص مکانیکی ورق‌ها این فاصله را کم یا زیاد نماید.

ب) طول همپوشانی در جهت شیب بین ۱۰ تا ۱۸ و معمولاً برابر ۱۵ سانتیمتر است.

پ) میزان همپوشانی در جهت موج بین یک یا دو موج متغیر است، به این معنی که هر قدر طول سراشیبی کمتر و شیب بیشتر باشد، طول همپوشانی کمتر خواهد بود.

ت) ورق‌ها را می‌توان با اره آهن‌بر یا اره چوب‌بری برید ولی برای قطع ورق‌های منحنی بهتر است از اره مویی (اره مکان) استفاده نمود.

ث) نصب این ورق‌ها با استفاده از پیچ خودکار (در مورد زیرسازی آهنی) و یا زدن میخ (در مورد زیرسازی چوبی) انجام می‌گیرد. بهر حال در هر مورد باید در زیر سرپیچ و یا میخ از واشر مناسب استفاده شود.

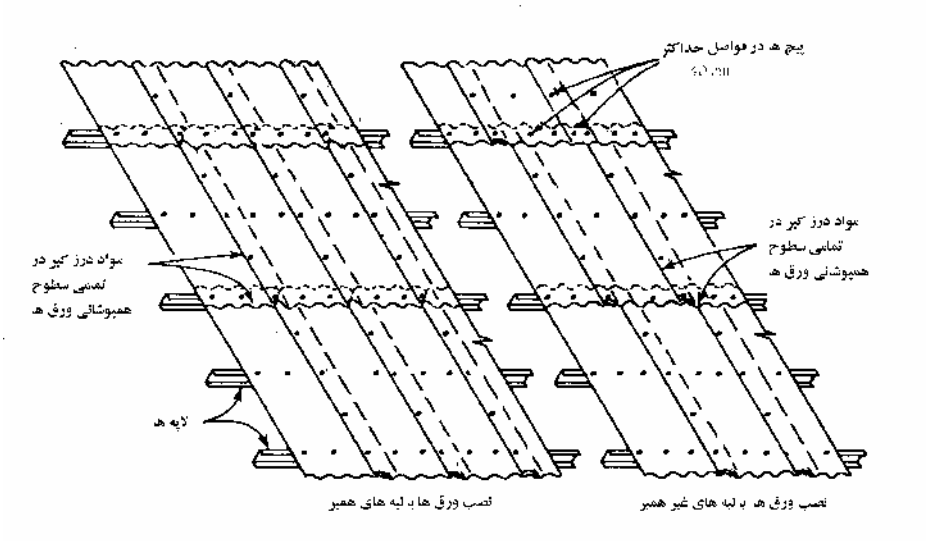
ج) برای سوراخ کردن ورق‌ها می‌توان از مته دستی یا برقی استفاده نمود، ولی قطر سوراخ‌ها باید اندکی بزرگتر از قطر میخ یا پیچ باشد تا قابلیت جابجایی در انبساط و انقباض، هنگام تغییر درجه حرارت هوا وجود داشته باشد.

چ) در نقاطی که باید ورق‌های شفاف خم شوند حداقل شعاع خم برابر ۲ متر خواهد بود.

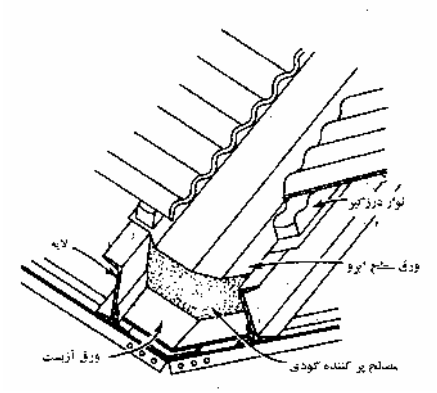
۷-۱-۵ پوشش سقف‌های شیبدار با سایر مصالح

در مورد سایر مصالحی که کمتر متداول است، عملیات اجرایی مطابق مشخصات فنی خصوصی صورت خواهد گرفت.

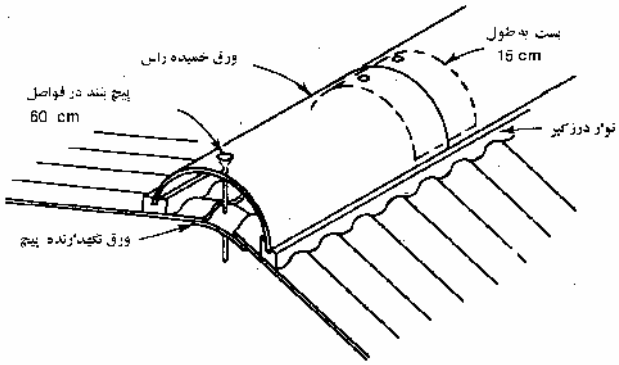
شکل‌های (۷-۴ الف، ب، ج، د) نمونه‌ای از جزییات اتصال پوشش‌های سقف نمایش داده شده است [۳۶].



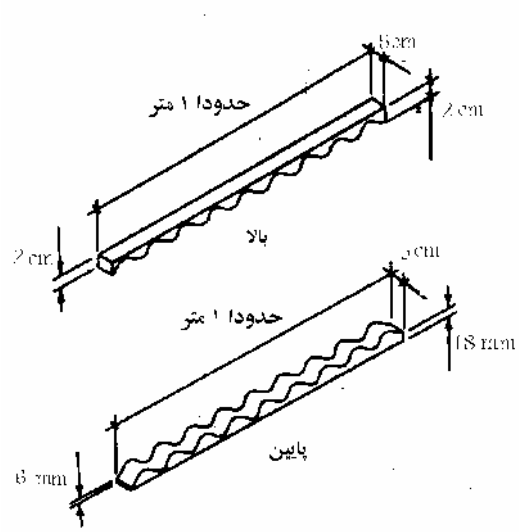
شکل ۷-۴-الف نصب ورق‌ها با لبه‌های غیر همبر و همبر



شکل ۷-۴-ب آبروِ خط القعر سقف

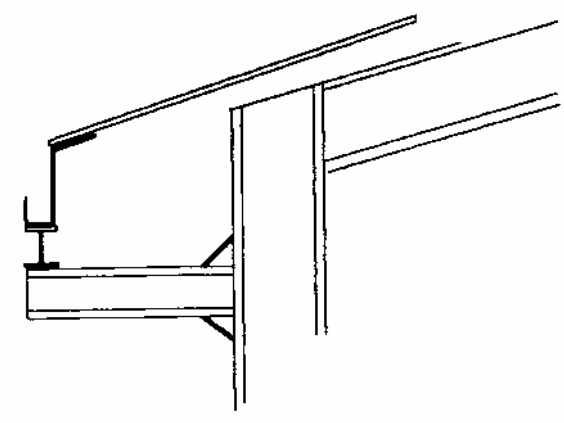


شکل ۷-۴-ج جزئیات آب‌بندی راس سقف



شکل ۷-۴-د نوارهای درزگیر مطابق موج ورق سقف

استفاده از جزئیات مناسب برای آبروهای بام مخصوصا در لبه سقف برای تحمل وزن آب درون آبـرو و هم چنین وزن قندیل‌های یخی متصل به لبه آبرو توصیه می‌شود. معمولا برای تحمل بارهای فـوق از تیرهای باربر طولی و دستک‌های متصل به شانه قاب اصلی استفاده می‌شود (شکل ۷-۵).

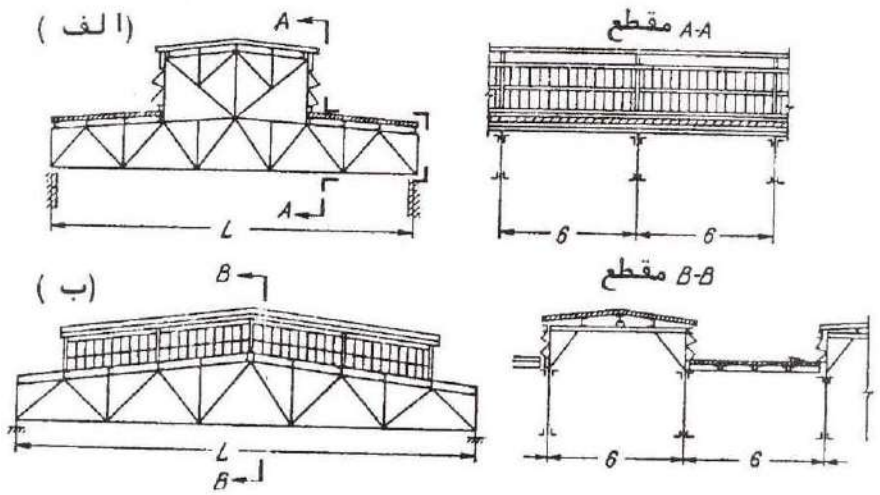


شکل ۷-۵ جزئیات آبرو بام

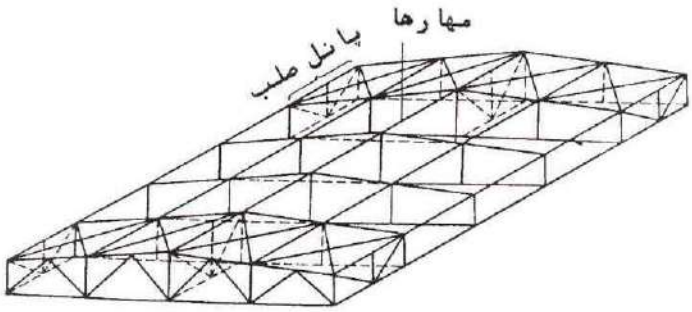
۷-۲ نورگیر سقف‌ها

نورگیرها را می‌توان به صورت دریچه‌هایی در طول ساختمان (نورگیرهای طولی) یا در عرض ساختمان (نورگیر عرضی) به کار برد.

بار کل سقف به وسیله خرپاهای سقف از لاپه‌ها و نورگیرها و یا مستقیماً توسط دال‌های بتن مسلح (با ابعاد بزرگ)، منتقل می‌شود. در سیستم سقف خرپایی فرض بر این است که بارها دقیقاً در صفحهٔ خرپاها تأثیر گذارند. در واقع چنین نیست و بارها با خروج از مرکز ناشی از الزامات طراحی وارد می‌شوند. لزوم جلوگیری از کمانش یال فوقانی (فشاری) خرپا باعث طرح مهاربندی‌هایی (Stays) در خارج از صفحه خرپا می‌گردد. این مهاربندی‌ها یکی به طور افقی در صفحهٔ یال فوقانی خرپا و دیگری به صورت عمودی بین خرپاها و معمولاً در دو انتهای ساختمان و نیز در مجاورت درز انبساط به کار می‌روند.



شکل ۷-۶ نورگیرهای طولی وعرضی[۲]

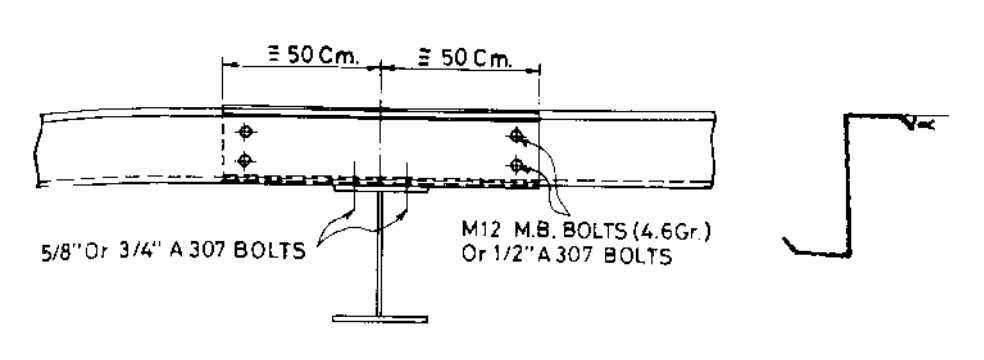


شکل ۷-۷ مهارهای بین خرپاهای سقف[۲]

۷-۳ لاپه‌ها

امروزه انواع لاپه‌هایی که به شکل z ساخته می‌شوند و از نوع نورد سرد به حساب می‌آیند، مورد استفاده عامه قرار می‌گیرند. استفاده از لاپه‌های ناودانی علاوه بر اشکالات اتصال به خرپا و تیر به یکدیگر، وزن

زیادی رانیز بیهوده مصرف می‌کند. لاپه‌های z شکل با لبه برگشته با زاویه کمتر از ۹۰= α درجه امکـان انتقال لنگر بین لاپه‌ها را به راحتی فراهم می‌کند، چرا که در داخل یکدیگر قرار گرفتن و چهار پیچ شدن، مسئله انتقال لنگر حل می‌شود.

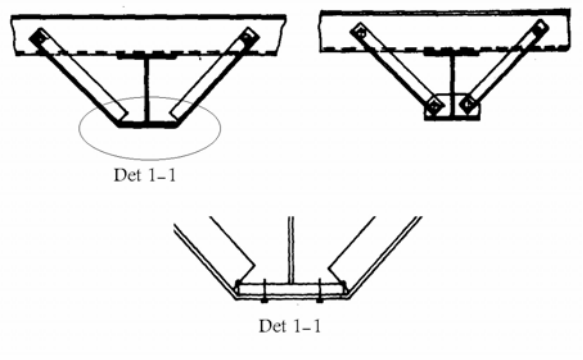


شکل ۷-۸ نمونه‌ای از اتصال لاپه‌ها برای انتقال لنگر خمشی[۳]

توجه به این نکته ضروری است که از نظر محاسباتی در سازه مورد محاسبه، پیوستگی لاپه‌ها کمک قابل توجهی به کاهش افت (DEFLECTION) می‌کند. افت مجاز لاپه‌ها بر اساس آیین‌نامه AISC، $\frac{۱}{۱۸۰}$ دهانه است.

۷-۳-۱ مهاربند بال فشاری(Flange Stay)

برای جلوگیری از کمانش جانبی بال فشاری تحتانی تیر قاب در نزدیکی محل اتصال تیر و ستون و نیـز در مجاورت رأس قاب خمشی که نمی‌توان از صلبیت پوشش سقف به طور مستقیم بـرای ایـن منظـور استفاده نمود، از مهاربندهای مورب در صفحه قائم مانند نمونه‌های شکل ۷-۹ بهـره مـی‌گیرنـد. نیـروی داخلی هر یک از این مهاربندها برابر ۲ درصد نیروی بال فشاری تیر قاب اصلی فرض می‌شود.



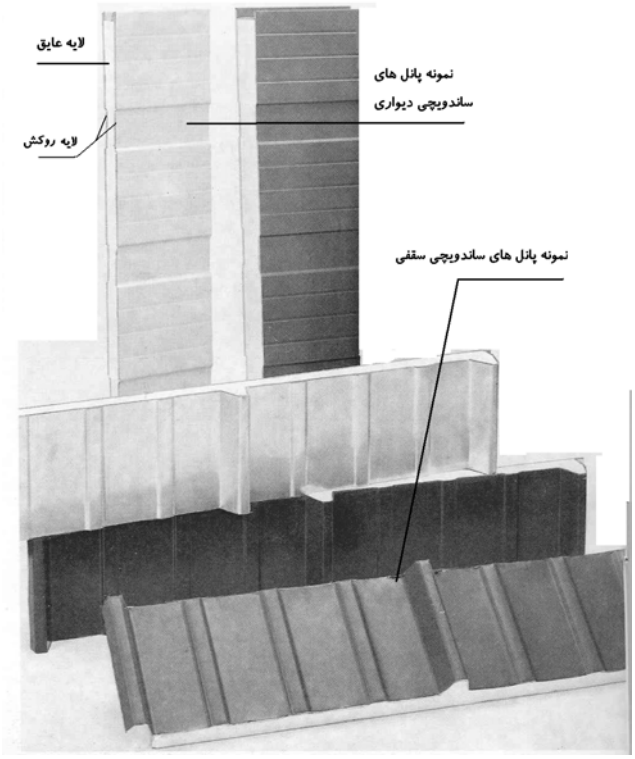
شکل ۷ مهاربندی بال فشاری ۹[۳]

۷-۴ پوشش‌های سبک پیش‌ساخته

یکی از مناسب‌ترین انواع پوشش‌های گرم که توانایی تحمل بار بدون نیاز به لاپه‌های تکیه‌گاهی متعـدد را دارد پانل‌های ساندویچی است. این پانل‌ها شامل دو لایهٔ فلزی در طرفین و یک لایه فـوم چسـباننده عایق در بین آن دو می‌باشد. جنس ورق‌های پوششی می‌تواند از ورق گالوانیزه ساده یا رنگی وآلومینیـوم ساده یا رنگی باشد. ضخامت ورق‌های گالوانیزه در حدود ۰/۵ میلـی‌متـر اسـت. نمـای ورق پوششـی بـه صورت کرکره‌ای، صاف و نوع سقفی عمدتاً با برجستگی ذوزنقه شکل مـی‌باشـد. ورق‌هـای آلومینیـومی سبک‌تر و در برابر زنگ‌زدگی مقاوم‌اند، اما قیمت آنها بالاتر است و از نظر رنگ‌آمیـزی فقـط رنـگ‌هـای خاص کارخانه‌ای را می‌پذیرند. در مقابل ورق‌های فولادی سنگین‌تر و ارزان‌تر است و رنـگ‌آمیـزی آنهـا همانند سازه‌های فولادی انجام می‌شود.

عایق داخل ساندویچ پانل از جنس پلی استایرن و یا پلی یورتان است. ضـخامت لایـه فـوم عـایق و چسباننده وسط پانل بسته به میزان بار وارده عمود بر سطح پانل و دهانه باربر پانل می‌تواند متغیر باشد و با افزایش ضخامت، مقاومت پانل برای تحمل بار افزایش می‌یابد.

این پانل‌ها برای پوشش سقف و دیوارها در سالنها و کارخانه‌های صنعتی به کار می‌روند که به علت عایق صوتی و حرارتی و وزن مخصوص بسیار کم، کاربرد فراوان دارند. نوع سقفی این پانل‌ها دارای ممان اینرسی خمشی بالاتر برای تحمل بارهای زندهٔ سقف است.



شکل۷ –۱۰ نمونه‌ای از پوشش‌های سبک پیش‌ساخته

۷-۵ دیوارهای بنّایی

در بسیاری از ساختمان‌های صنعتی، از دیوارهای بنّایی در محیط پلان ساختمان و یا در داخل پلان به عنوان جداگر فضاها استفاده می‌شود. طرح این دیوارها در برابر بار ثقلی یک محاسبه متعارف مهندسی است و معمولا از این جهت مشکلی وجود ندارد. مسئله اصلی واردشدن بار زلزله، در جهت افقی و عمود

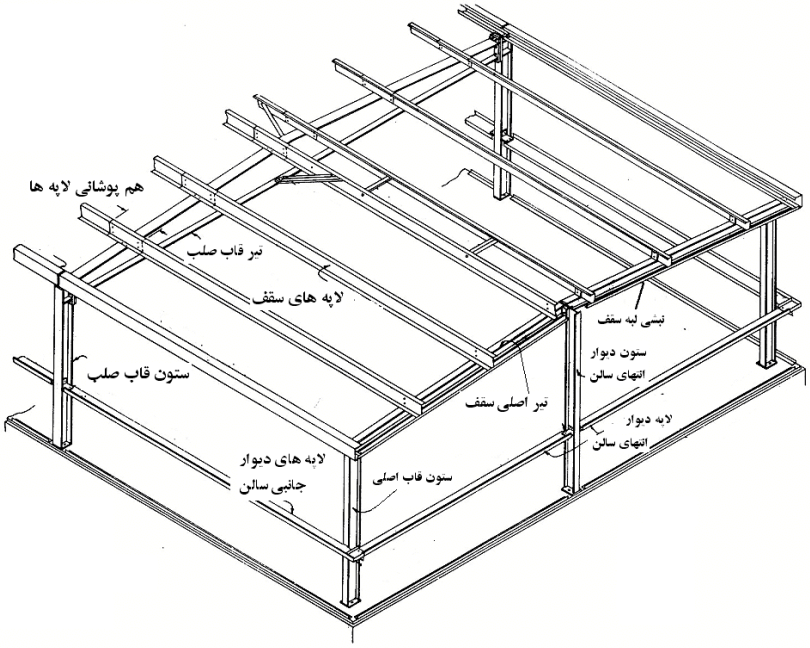
بر صفحه این دیوارهاست که می‌تواند موجب تخریب دیوار و ریزش آن به فضای مجاور گردد. بار زلزله وارده بر دیوارها در جهت عمود بر صفحه از بند ۲-۶ استاندارد ۲۸۰۰ ایران قابل محاسبه است. هر پانل دیوار که محصور بین دو ستون، یک تیر بالایی و یک تیر پایینی یا سطح پی است، باید در برابر نیروهای جانبی زلزله، عمود بر سطح دیوار محاسبه شود. معمولا خمش دیوار که به صورت یک دال با چهار ضلع تکیه‌گاه ساده فرض می‌شود، تعیین‌کننده خواهد بود. در صورت عدم کفایت پانل در برابر نیروی زلزله، می‌توان با افزودن تیر یا ستون اضافی و کوچک‌کردن پانل دیوار، لنگر خمشی ناشی از زلزله را کاهش داد تا به حد قابل تحمل مقطع دیوار برسد. در این مورد باید توجه داشت که مقطع عناصر باربر اطراف هر پانل به نحوی طرح شود که درگیری کافی بین دیوار و این عناصر وجود داشته باشد. در مورد ستون‌های قاب اصلی سازه، می‌توان از اتصال شاخک‌هایی برای قرارگرفتن در رگه‌های افقی ملات دیوار استفاده کرد.

۸

قاب‌بندی ثانویه برای نگهداری پوشش ساختمان

۸-۱ کلیات

قاب‌بندی ثانویه شامل عناصر باربری است که بر سطح سقف و دیوار ساختمان صنعتی توزیع شده‌اند و لاپه نامیده می‌شوند. لاپه‌ها از دید سازه‌ای دارای عملکرد چند گانه‌ای هستند و وظایف آنها شامل نگاهداری پوشش سقف و دیوار، حمل بارهای خارجی به قاب‌های اصلی، مهاربندی بال قاب اصلی، مشارکت در عملکرد دیافراگم سقف و مشارکت در حمل بار به وسیلهٔ مهاربندی قائم دیوارهاست.



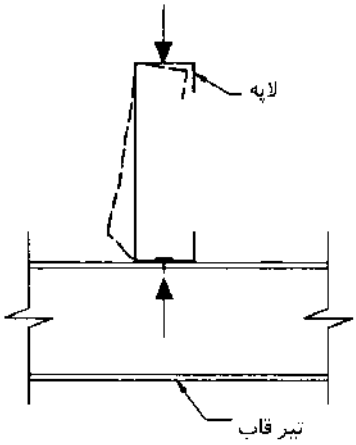
شکل ۸-۱ نمای کلی لاپه‌های سقف و دیوار [۱۷]

از مقاطع گرم نوردیده و نیز مقاطع سرد شکل داده شده به عنوان لاپه استفاده می‌شود. طراحی مقاطع گرم نورشده تقریباً بدون مشکل و نکته خاصی صورت می‌گیرد، اما طراحی مقاطع سرد شکل‌یافته دارای نکات چندی است که در اینجا به آنها اشاره می‌شود. منشأ پیچیدگی طرح لاپه‌های سرد شکل‌یافته

از نازکی ورق‌هایی است که در ساخت این تیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضخامت ورق بین ۳ تا ۶ میلی‌متر متغیر است و برای سهولت خمکاری، معمولاً ورق ضخیم‌تر از ۶mm کاربردی ندارد. ارتفاع لاپه‌ها بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر و پهنای بال آنها بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر است. با توجه به این اعداد، دیده می‌شود که نسبت‌های $\frac{d}{t}$ یا $\frac{b}{t}$ این مقاطع عموماً بالاست و به طور متوسط دو برابر نسبت‌های مشابه در مقاطع گرم نورشده است. بنابر این احتمال بروز ناپایداری موضعی در مقاطع سرد شکل‌یافته بسیار بیشتر از مقاطع نورشده است. موضوع دیگر، پدیده Shear lag در بال‌های مقاطع سرد شکل‌یافته است که موجب غیر یکنواخت شدن تنش ناشی از خمش در بال‌های مقطع می‌شود. برای در نظر گرفتن کمانش موضعی و عدم یکنواختی تنش بال‌ها، معمولاً از ایده "پهنای مؤثر طرح" بهره‌گیری می‌شود که طبق آن فقط بخشی از مقطع در برابر تنش‌های فشاری، مؤثر به حساب می‌آید. این نحوه عمل، تأثیر عمده‌ای در تحلیل تنش و محاسبات خیز لاپه دارد. مشکل این است که پهنای مؤثر طرح وابسته به سطح تنش داخلی عضو است و به طور متقابل سطح تنش نیز وابسته به پهنای مؤثر مقطع است و لازم است که چندین دور محاسبات تکرار شود تا پهنای مؤثر و تنش مقطع با یکدیگر همخوانی داشته باشند. یک روش برای رهایی از محاسبات تکراری که البته نتایج آن محافظه‌کارانه است، این است که فرض شود که سطح تنش داخلی لاپه برابر مقدار تنش مجاز است و بر این اساس حداقل پهنای مؤثر به دست می‌آید.

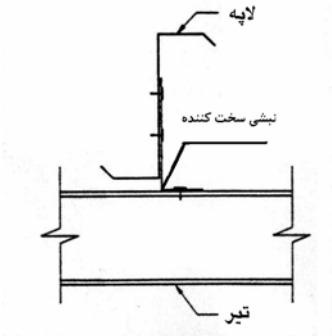
توزیع غیریکنواخت تنش ناشی از خمش در مقاطع سرد شکل‌یافته که غالباً نازک و نامتقارن هستند، می‌تواند باعث ناپایداری پیچشی مقاطع نیز بشود. در سطوح نسبتاً پایین تنش، پدیده کمانش پیچشی- خمشی به صورت پیچش و خمش همزمان لاپه اتفاق می‌افتد. با پائین نگاه داشتن تنش‌های فشاری بال و یا مهاربندی کافی بال فشاری می‌توان از کمانش پیچشی- خمشی جلوگیری کرد.

از دیگر نکات محاسباتی مقاطع سرد شکل‌یافته، می‌توان به کنترل‌های لهیدگی جان اشاره کرد. پدیده لهیدگی جان در اعضای فولادی گرم نورشده نیز اتفاق می‌افتد، اما احتمال آن در اعضای سرد شکل‌یافته به مراتب بیشتر است (شکل۸-۲).



شکل ۸-۲ لهیدگی جان [۱۷]

این پدیده در تکیه‌گاه لاپه‌ها که تنش برشی در حداکثر مقدار است، بیشتر اتفاق می‌افتد. تنش‌های منجر به لهیدگی جان با تنش‌های خمشی قابل جمع هستند و ترکیب آن دو باید در نظر گرفته شود. در تکیه‌گاه به کمک سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی می‌توان از لهیدگی جان جلوگیری کرد. در این موارد فرض می‌شود که تمام نیروی تکیه‌گاه فقط به وسیله سخت‌کننده‌ها به قاب اصلی منتقل می‌شود و از مشارکت جان لاپه چشم‌پوشی می‌شود. حتی می‌توان یک شکاف کوچک در زیر بال لاپه باقی گذاشت. سخت‌کننده‌ها معمولاً از نبشی، ورق و یا ناودانی ساخته می‌شوند. در شکل (۸-۳) بار از جان یک لاپهٔ Z از طریق پیچ به نبشی سخت‌کننده و از آنجا به تیر قاب منتقل می‌شود.

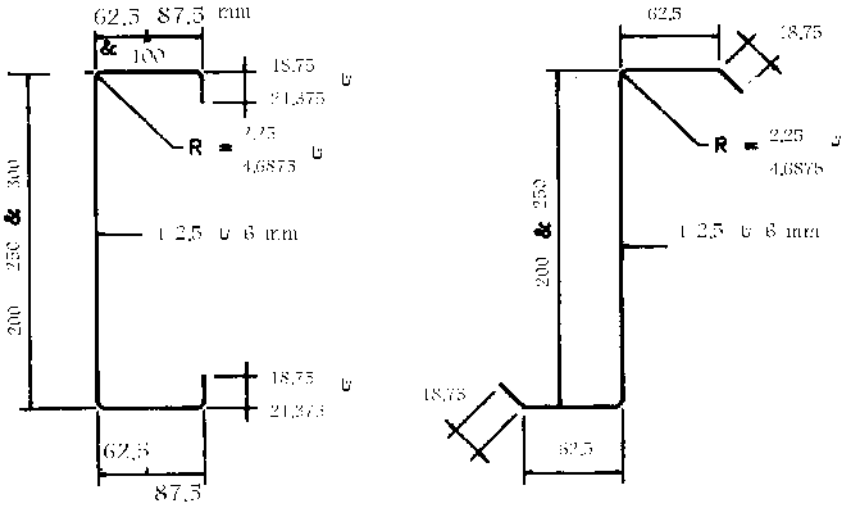


شکل ۸-۳ استفاده از نبشی سخت‌کننده جهت کنترل لهیدگی جان [۱۷]

۸-۲ مقاطع مورد استفاده در لاپه‌های سقف

۸-۲-۱ مقاطع سرد شکل‌یافته

مقاطع C و Z رایج‌ترین مقاطعی است که به صورت سرد شکل‌یافته برای لاپه‌ها کاربرد دارند. لاپه‌های سبک وزن که ارتفاعی برابر ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر دارند، بنابر بار وارده بر سقف، ضخامت و مقاومت ورق و محدودیت خیز می‌توانند تا دهانه‌های ۷/۵ تا ۹ متر استفاده شوند. از ورق‌های St ۳۷ و St ۵۲ برای ساخت این لاپه‌ها استفاده می‌شود. برخی مقاطع سرد شکل‌یافته در شکل زیر دیده می‌شود.

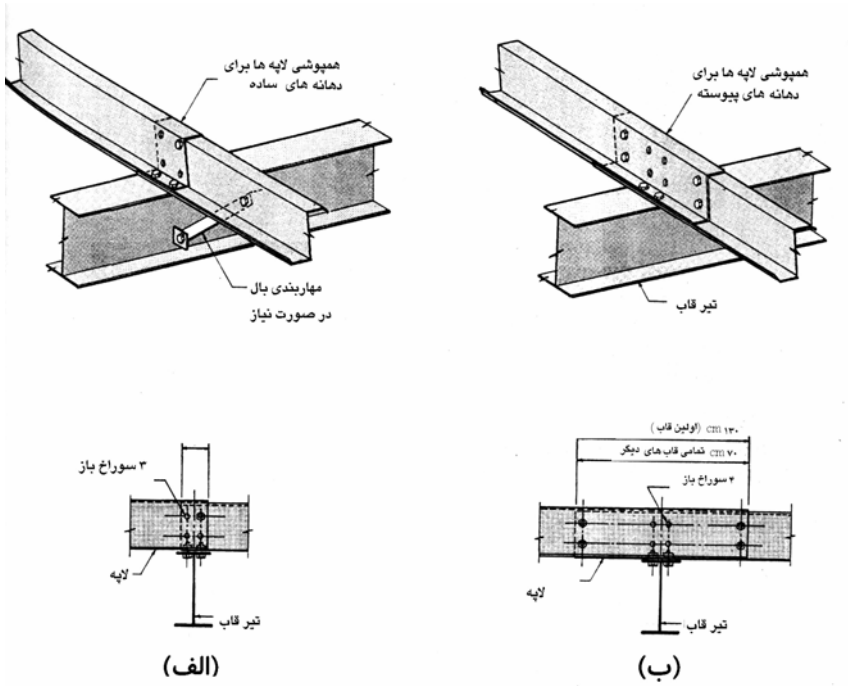


شکل۸- ۴ نمونه‌ای از مقاطع سرد شکل‌یافته [۱۷]

این نوع لاپه‌ها می‌توانند هم در دهانه‌های ممتد و هم در دهانه ساده به کار برده شوند.

مقاطع C شکل به راحتی می‌توانند بر روی یکدیگر هم پوشانی داشته باشند. مقاطع Z نیز می‌توانند در داخل یکدیگر جای گیرند. اگر چه جای دادن این مقاطع در داخل یکدیگر بدون خم کردن جان نسبت به بال مشکل است.

طول همپوشانی لاپه در دهانه‌های پیوسته حداقل ۶۰cm باید باشد. درجه پیوستگی با طول پوشش بیشتر افزایش پیدا می‌کند. تحقیقات اخیر نشان داده است که ظرفیت باربری مقاطع z در صورتی که طول همپوشانی تا نصف دهانه ادامه یابد، به طور قابل ملاحظه‌ای (تا ۱۰۰ درصد) افزایش پیدا می‌کند. برای اتصال لاپه‌ها به قاب اصلی می‌توان از پیچ کردن بال‌ها به یکدیگر در صورت کم بودن تنش لهیدگی جان استفاده نمود. در غیر این‌صورت باید از نبشی تکیه‌گاهی که جان لاپه را نیز سخت می‌کند، بهره گرفت. در شکل ۸–۵، جزئیات دهانه‌های ساده و ممتد و نحوهٔ اتصال آنها به قاب اصلی نشان داده شده است. استفاده از دهانه‌های پیوسته باعث کوچک شدن سطح مقطع لاپه و صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. در عین حال لاپه‌های پیوسته در برابر تغییرات حرارت محیط و نشست ناهمگون قاب‌های اصلی، حساس هستند.در دهانه‌های پیوسته، نقاط بحرانی تنش خمشی در انتهای لاپه‌هاست. معمولاً از طول وصله اضافی در دهانه‌های انتهایی که لنگر خمشی بیشتری دارند، استفاده می‌شود.



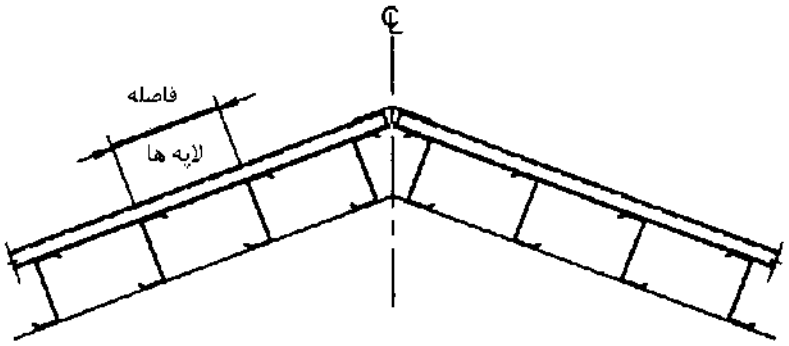
شکل۸– ۵ همپوشی لاپه‌ها– الف) دهانه ساده، ب) دهانه پیوسته [۱۷]

۸-۲-۱-۱ مهاربندی لاپه‌های سقف و دیوار

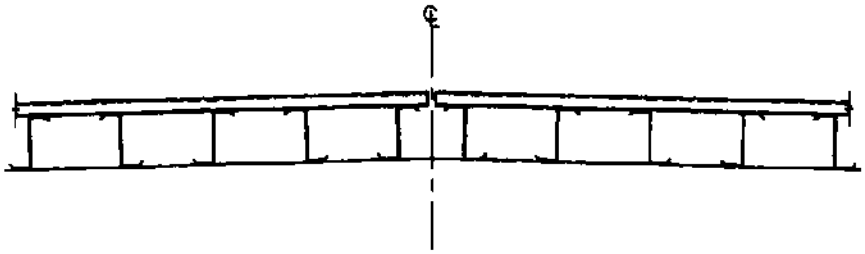
مهندسان سازه آگاهند که بال فشاری مهارنشده هر عضو خمشی با جان منفرد، تمایل به کمانش جانبی تحت بارگذاری قائم دارد. مقاطع با یک محور تقارن (مانند ناودانی) یا با یک محور تقارن (مانند Z) که برای لاپه‌های سرد شکل یافته استفاده می‌شوند دارای تمایل بیشتری به کمانش هستند، چرا که مرکز برش مقطع از محور بارگذاری فاصله دارد. در مورد مقطع Z باید به این نکته نیز توجه داشت که محورهای اصلی مقطع نسبت به جان زاویه دارند و هر گونه نیروی قائم می‌تواند یک مؤلفهٔ جانبی تولید کند. با توجه به این شرایط مقاطع ناودانی و Z مهار نشده تمایل به پیچش و ناپایداری حتی تحت بارگذاری ثقلی روی یک سقف کاملاً افقی دارند.

در سقف‌های شیبدار، جان لاپه نسبت به خط قائم زاویه دارد و به این علت مسئله پیچش بغرنج‌تر می‌شود. نیروی جاذبه را می‌توان به مؤلفه‌هایی به موازات و عمود بر سطح سقف تجزیه نمود که هر دو مؤلفه تمایل به پیچاندن مقطع در جهت‌های مختلف دارند. اگر زاویه استقرار لاپه‌ها به درستی انتخاب شود می‌توان پیچش ناشی از این دو مؤلفه را با یکدیگر خنثی کرد. برای این منظور باید شیب سقف را برابر نسبت پهنای بال لاپه به ارتفاع آن اختیار نمود. مثلاً برای یک مقطع Z به ارتفاع ۲۰۰mm و پهنای بال ۷۰mm، شیب سقف برابر ۳:۱۰ از این نظر مناسب است.

در سقف‌های با شیب بیش از ۱:۲۴، جهت‌گیری مناسب لاپه‌ها مطابق شکل (۸-۶) است. در شیب‌های کمتر از این، جهت‌گیری لاپه‌های به صورت یک در میان عوض می‌شود تا پوشش سقف به عنوان مهار فشاری هر دو لاپهٔ مجاور را به یکدیگر متصل کند، مانند شکل (۸-۷). البته پیش شرط این عملکرد مهاری سقف، اتصال بدون لغزش لاپه‌ها به تیرهای اصلی است و در غیر این‌صورت سقف به عنوان مهاربند عمل نخواهد کرد.



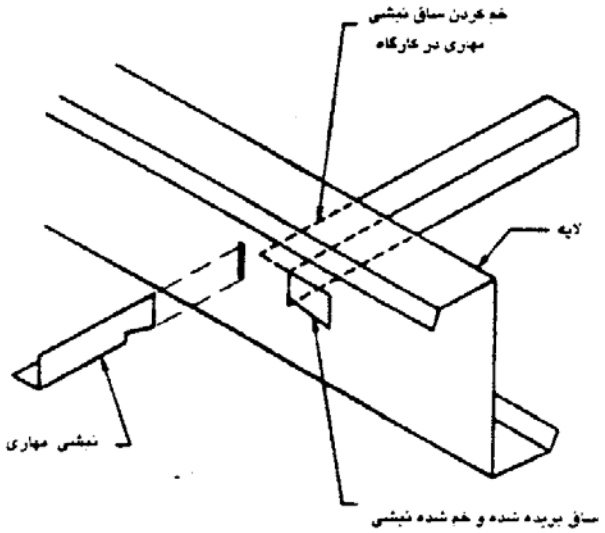
شکل۸ –۶ جهت‌گیری مناسب لاپه‌ها در سقف‌های شیبدار با شیب بیش از ۲۴: ۱ [۱۷]



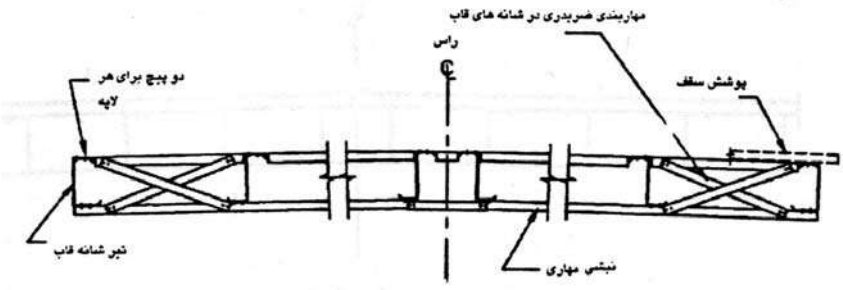
شکل۸-۷ جهت‌گیری لاپه‌های در سقف‌های با شیب کم [۱۷]

آنچه تاکنون گفته شد، بیشتر مربوط به مهاربندی بال فوقانی لاپه‌ها بود. اما بال تحتانی لاپه‌ها نیز می‌تواند در حالت‌های خاص تحت فشار واقع شود. از آن جمله می‌توان به عمل مکش باد روی سطوح ساختمان اشاره کرد که برای سقف ساختمان، باعث قرار گرفتن بال تحتانی لاپه‌ها در فشار می‌شود. همچنین در لاپه‌های یکسره در نزدیکی تکیه‌گاه، بال تحتانی بر اثر نیروی ثقل در فشار قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است که مهاربندی بال تحتانی لاپه‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد.

جهت مهاربندی لاپه‌ها راه‌های متفاوتی وجود دارد. یکی استفاده از سقف‌های فلزی است. این سقف‌ها در صورتی که روی لاپه‌ها به خوبی مهار شوند می‌توانند به عنوان مهارهای لاپه‌ها عمل کنند. راه دیگر استفاده از تسمه‌ها و یا نبشی‌هایی است که از لبه تا لبه این مقاطع ادامه می‌یابند. در شکل‌های ۸–۸ الف و ۸–۸ ب زیر نمونه‌هایی از مهاربندی با استفاده از این روش نشان داده شده است.



شکل ۸-۸-الف مهاربندی لایه‌ها با استفاده از نبشی [۱۷]

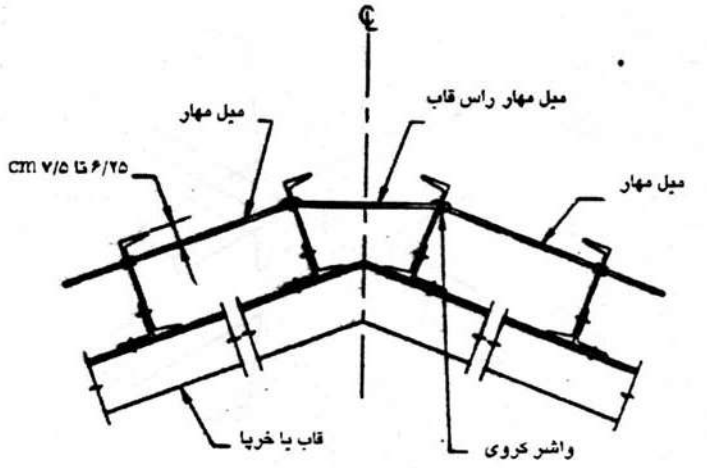


شکل ۸-۸-ب مهاربندی لایه‌ها به وسیله نبشی و اتصال به کمک پیچ خودکار [۱۷]

۸-۲-۲ مقاطع گرم نورد شده

از جمله مقاطع دیگری که به عنوان لایه‌ها ساختمان فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد انواع مقاطع گرم نورد شده است (از جمله مقاطع I شکل و قوطی). از مزایای استفاده از مقاطع گرم نورد شده کاربری در دهانه‌های بزرگتر از ۹m می‌باشد که استفاده از این مقاطع در این دهانه‌ها اقتصادی‌تر از مقاطع سرد

شکل‌یافته است. از معایب این مقاطع نیز می‌توان به قیمت بالا و مشکلات اجـرای دهانـه‌هـای پیوسـته اشاره کرد. جهت استحکام در برابر نیروی جانبی این مقـاطع نیـز از میـل مهارهـا یـا Sagrod اسـتفاده می‌شود. در شکل زیر مقاطع گرم نورد شده و میل مهارها برای استحکام در برابر نیروی جانبی نشان داده شده است.



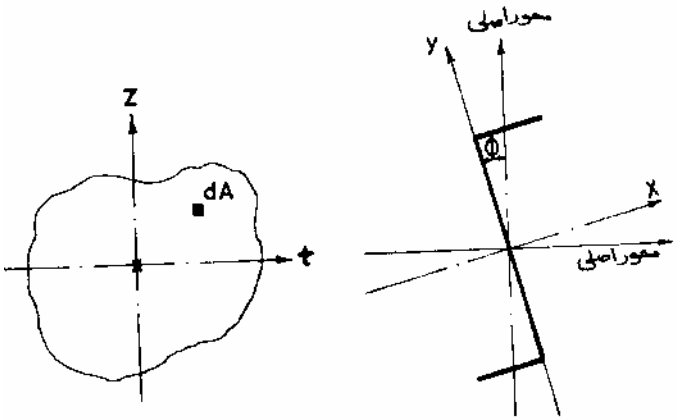
شکل ۸-۹ جزئیات نمونه میل مهار برای لاپه‌های گرم نوردیده [۱۷]

۸-۲-۳ تیرچه با جان باز

از مقاطع دیگری که به عنوان لاپه استفاده می‌شود تیرچه با جان باز می‌باشد. این نوع تیرچه در مقایسـه با مقاطع گرم نورد شده و سرد شکل‌گرفته در دهانه‌های بزرگتری قابل استفاده می‌باشند.

۸-۲-۴ محورهای اصلی (PRINCIPAL AXES) لاپه‌های سقف

می‌توان ثابـت کـرد کـه هـر مقطعـی دارای محورهـای اصـلی اسـت بـه طریقـی کـه مقـدار انتگـرال $I_b = \int_A abdA$ حول آن محور صفر باشد.

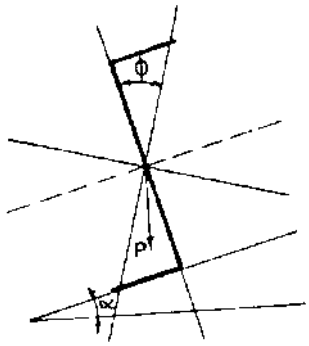


شکل ۸-۱۰ محورهای اصلی لاپه‌های سقف

در هر شکلی محورهای اصلی نسبت به محورهای فرضی (x, y) دارای زاویه دورانی هستند که مقدار آن برابر است . $tg\,2\phi = \dfrac{2\,Ixy}{Iy - Ix}$

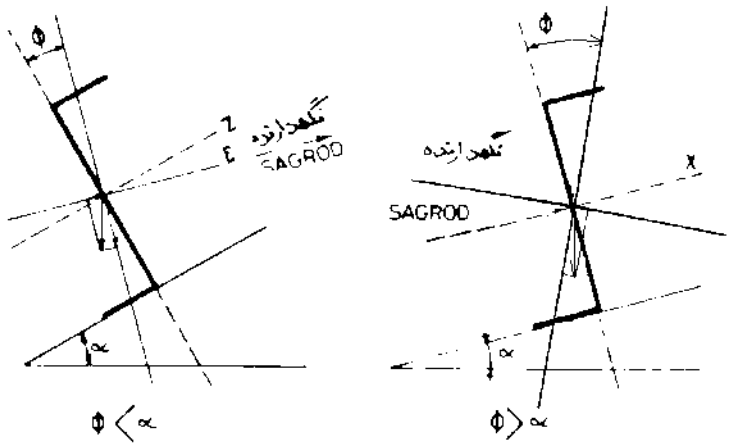
$$Ix = \int_A y^2\,dA \quad , \qquad Iy = \int_A x^2\,dA \quad , \qquad Ixy = \int_A xydA$$

اگر پروفیل z را روی سطح شیبداری به زاویه α قرار دهیم و بار قائم را به آن اثر دهیم،شکل زیر را خواهیم داشت:



شکل ۸-۱۱ محورهای پروفیل Z در روی سطح شیب‌دار

اگر نیروی p بر مرکز ثقل لاپه z عبور کند، در حالت حدی می‌توان شکل‌های زیر را در نظر داشت:



شکل (۸-۱۲الف) **شکل (۸-۱۲ ب)**

نیروی P از مرکز ثقل لاپه Z عبور می‌کند

همانطور که مشاهده می‌شود در مورد شکل(۸-۱۲الف) لاپه باید از بالای شیب نگهداری شود و در مورد (۸-۱۲ ب) لاپه باید از پایین شیب نگهداری شود.

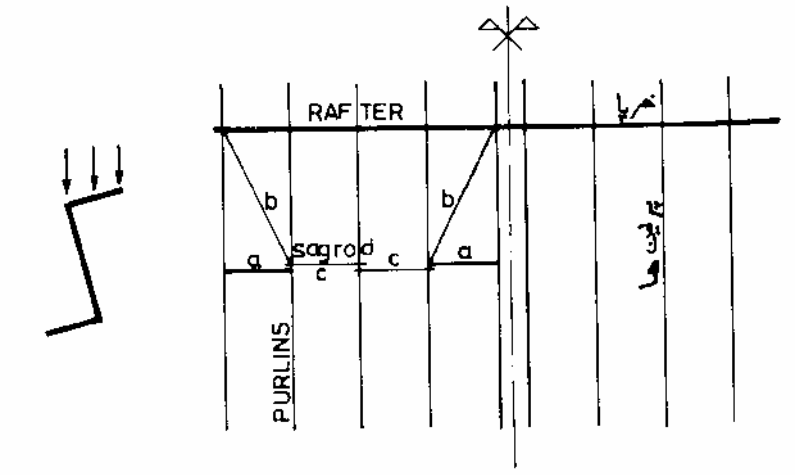
در حالت بین این دو، یعنی $\phi = \alpha$ نیروی جانبی وجود نداشته و مؤلفه روی محور افقی فرعی صفر است. و به صورت نظری می‌توان از گذاشتن SAGROD صرف‌نظر کرد.

لاپه‌هایی که دارای زاویه ϕ زیاد می باشند برای شیب‌های زیادتر و لاپه‌ها با ϕ کوچک برای شیب‌های کوچکتر مناسب هستند تا مقدار مؤلفه وزن در جهت ضعیف مقطع لاپه هر چه کمتر باشد. البته نباید تأثیر نیروی باد را از نظر دور داشت.

نکته اساسی که در مسئله مورد بحث وجود دارد، محل تأثیر نیروی P است که با فرض مؤثر بودن آن در مرکز ثقل لاپه نتایج مورد انتظار حاصل شد. عملاً نقطه تأثیر P نقطه نامعینی از لاپه بوده که بستگی به عواملی از جمله ضخامت لاپه، عرض بال آن، سختی بال و سختی ورق روی لاپه دارد. بدین

معنی که در لاپه های لاغر محل ورود بار P را می‌توان نزدیک جان آن فرض کرد و در لاپه‌های سخت‌تر می‌توان آن را با فاصله از جان گرفت.

در مواردی که حد تشخیص وجود ندارد باید لاپه ها را هم از پایین و هم از بالا نگهداری کنیم، یعنی SAGROD طوری تعبیه شود که از دو طرف بتواند کشش تحمل کند. دراین حالت، مجبور هستیم برای نگهداری عرض لاپه‌های لبه، وسط و کناره‌ها از قطعاتی مثلاً نبشی (a) استفاده کنیم که هم کشش و هم فشار را تحمل می‌نماید و نیروی موجود در قطعات (a,c) را به وسیله قطعه (b) به تیر قاب و یا خرپا منتقل نماییم.



شکل ۸-۱۳ نگهداری عرضی لاپه‌های لبه، وسط و کناره‌ها

۸-۲-۵ محاسبه لاپه‌ها

لاپه‌ها می‌توانند به صورت دهانه‌های ساده به طول فاصله قابها، یا به صورت تیرهای یکسره و یا تیرهای طره‌ای (با برش تیر یکسره در نقاط لنگر صفر و مفصلی نمودن در این نقاط) محاسبه و ساخته شوند. محاسبات مربوط به تعیین لنگر خمشی در هر کدام از حالت‌های فوق مطابق روش‌های کلاسیک مربوط به عمل می‌آید. در محاسبه لاپه‌ها استفاده از هر دو روش محاسبه الاستیک و یا پلاستیک مجاز است.

استفاده از روش پلاستیک در محاسبه لاپه موقعی مجاز است که تیر لاپه شرایط مقطع فشرده با تکیه‌گاه جانبی را برآورده نماید و تحت اثر خمش در دو جهت قرار نگیرد.

لاپه‌ها بر روی قاب‌های شیبدار که نیمرخ آنها بر حسب شیب تیر قاب دارای زاویه تمایلی نسبت به افق خواهد بود، برای خمش در دو جهت طرح و محاسبه می‌شوند. فرض می‌شود که پوشش روی لاپه‌ها در حمل مؤلفه جانبی بار لاپه کمکی نمی‌کنند و تمام این مؤلفه جانبی، توسط میل مهارهای عرضی گرفته می‌شود.

میل مهارهای عرضی برای پوشش‌های سبک (مانند ورق‌های موج‌دار گالوانیزه و یا آزبست سیمان) معمولاً تا دهانه ۶ متر یک ردیف در وسط دهانه و برای دهانه‌های بزرگ‌تر ۲ ردیف در $\frac{1}{3}$ دهانه و یا ۳ ردیف در $\frac{1}{4}$ دهانه خواهد بود.

در محاسبه این مهارها سطح زیر دنده پیچ ملاک تعیین قطر مقطع قرار می‌گیرد. این میل مهارها باید به صورت تک دهانه و حداقل در یک سر برای بستن مهره حدیده شود.

به کار بردن مهارهای یکسره که با اتصال جوش به لاپه‌ها متصل گردد مجاز نیست. تغییر شکل تیر لاپه تحت اثر بارهای مربوط باید محاسبه و کنترل گردد و سعی شود که تغییر مکان حداکثر در وسط دهانه برای مجموع بار مرده و سربار برف از $\frac{1}{250}$ طول دهانه و در حالت‌های استثنایی $\frac{1}{200}$ دهانه تجاوز نکند. مقدار تغییر شکل حداکثر از روش‌های کلاسیکی که برای محاسبه تغییر شکل در تیرهای تک دهانه و یا تیرهای یکسره وجود دارد به دست می‌آید.

معمولاً مسئله تغییر شکل فقط در لاپه‌های تک دهانه (با دهانه ساده) قابل توجه و تعیین‌کننده است، و برای کم کردن تغییر شکل در این گونه لاپه‌ها، می‌توان مقداری گیرداری در اتصال تکیه‌گاه آنها به وجود آورد. برای این منظور می‌توان از اتصال با پیچ دوبله استفاده نمود. در این صورت اگر لنگر مقاوم اتصال نامبرده M باشد، تغییر مکان حداکثر در وسط دهانه از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$\Delta_{MAX} = \frac{5}{384} \times \frac{PL^4}{EI} - \frac{1}{8} \times \frac{ML^2}{EI}$$

P = بار گسترده در واحد طول

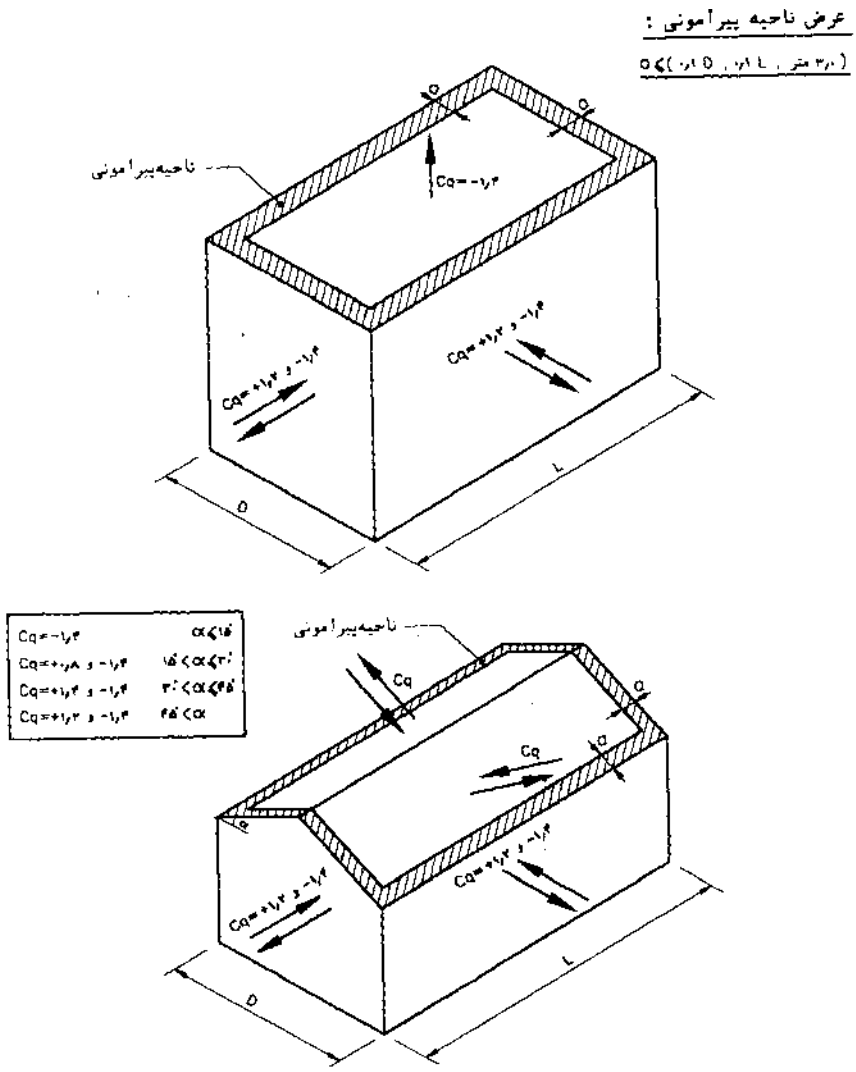
L = طول دهانه

I = ممان اینرسی مقطع نسبت به محور نظیر خمش

E = ضریب ارتجاعی مصالح لاپه

مقدار M برابر R.e در نظر گرفته می‌شود، که در آن R مقاومت مجاز پیچ و e بازوی زوج نیروی مقاوم است.

ذکر این نکته حایز اهمیت است که مطابق بند ۶- ۸ آیین‌نامه، حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی، پوشش بام‌ها و عناصر نگهدارنده آنها باشد، لاپه‌ها، تیرها و اتصالات آنها باید بتوانند فشار یا مکش ناشی از باد را که به طور عمودی بر سطح آنها اثر می‌کند به طور مستقل تحمل نماید [۱۲]. ضریب شکل برای تعیین این آثار باید برای در حالت بارگذاری الف، حالتی که اثر باد در تمام سطح بارگیر قطعه وارد می‌شود و ب) حالتی که اثر به صورت مکش تنها در قسمتی از سطح بارگیر قطعه که در نواحی پیرامونی هر یک از سطوح بام قرار دارد، اثر داده شود. قطعه مورد نظر باید برای حالتی که بیشترین اثر را در آن ایجاد می‌کند طراحی شود. در شکل ۸-۱۴ این مطالب به صورت شماتیک نشان داده شده است. برای دیدن جزئیات بیشتر مراجعه شود به [۱۲].



شکل ۸-۱۴ ضریب شکل C_q برای دیوارها، پوشش بام‌ها و عناصر سازه‌ای نگهدارنده آنها [۱۲]

۸-۳ مقاطع مورد استفاده جهت لاپه‌های دیوار (Girt)

۸-۳-۱ مقاطع سرد شکل داده شده

مقاطع سرد شکل گرفته C و Z برای استفاده در لاپه‌های جانبی یا لاپه‌های دیوار، درست مانند لاپه‌های سقف کاربرد دارند با این تفاوت که این لاپه‌ها در دیوارها به کار می‌روند.

تفاوت عمده‌ای که در کاربرد این دو قطعه وجود دارد، مهاربندی بالهای لاپه‌های جانبی است. بالهای بیرونی لاپه‌های جانبی معمولا توسط پوشش دیوار مهار می‌شود، و این در حالی است که بالهای داخلی می‌توانند توسط صفحات روکش‌دار داخلی که به عنوان نمای داخلی به کار می‌روند مهار شوند.

۸-۳-۱-۱ روش‌های استقرار لاپه‌های جانبی دیوار

لاپه‌های سبک وزن را می‌توان در سه موقعیت مختلف نسبت به ستون نصب نمود:

الف- نصب به صورت روکار

در این حالت، لاپه به سطح خارجی ستون‌ها متصل می‌شود تا بتوان دهانه‌های پیوسته لاپه‌ها را ایجاد نمود. در این حالت به راحتی می‌توان لاپه‌ها را به بال ستون پیچ کرد. البته اگر لهیدگی جان مشکلی را ایجاد نکند. در غیر این صورت باید از نبشی تکیه‌گاهی به عنوان واسطه و سخت‌کننده استفاده نمود.

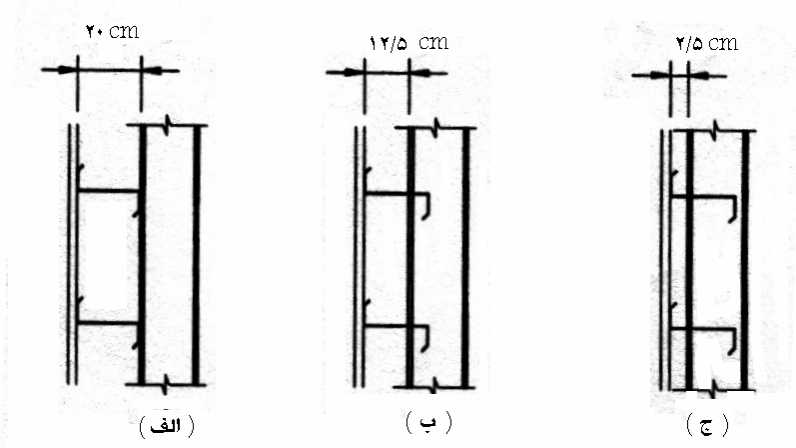
ب- نصب به صورت نیمه روکار

در این حالت، به برش لاپه‌ها احتیاج است که در این حالت بخشی از مقطع لاپه به صورت پیوسته از روی ستون ادامه پیدا می‌کند. نبشی‌های تکیه‌گاهی برای اتصال لاپه به سطح خارجی بالهای ستون مورد احتیاج است.

ج- نصب به صورت توکار

در این حالت، لاپه‌ها توسط نبشی‌های تکیه‌گاهی از داخل به جان ستون پیچ می‌شوند. در عمل لاپه‌ها

برای در نظر گرفتن رواداریهای نصب در حدود ۳cm-۲ به پشت ستون ادامه پیدا می‌کنند. شکل شماتیک ۸-۱۵سه روش عنوان شده در بالا به اضافه نحوه نصب آنها در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

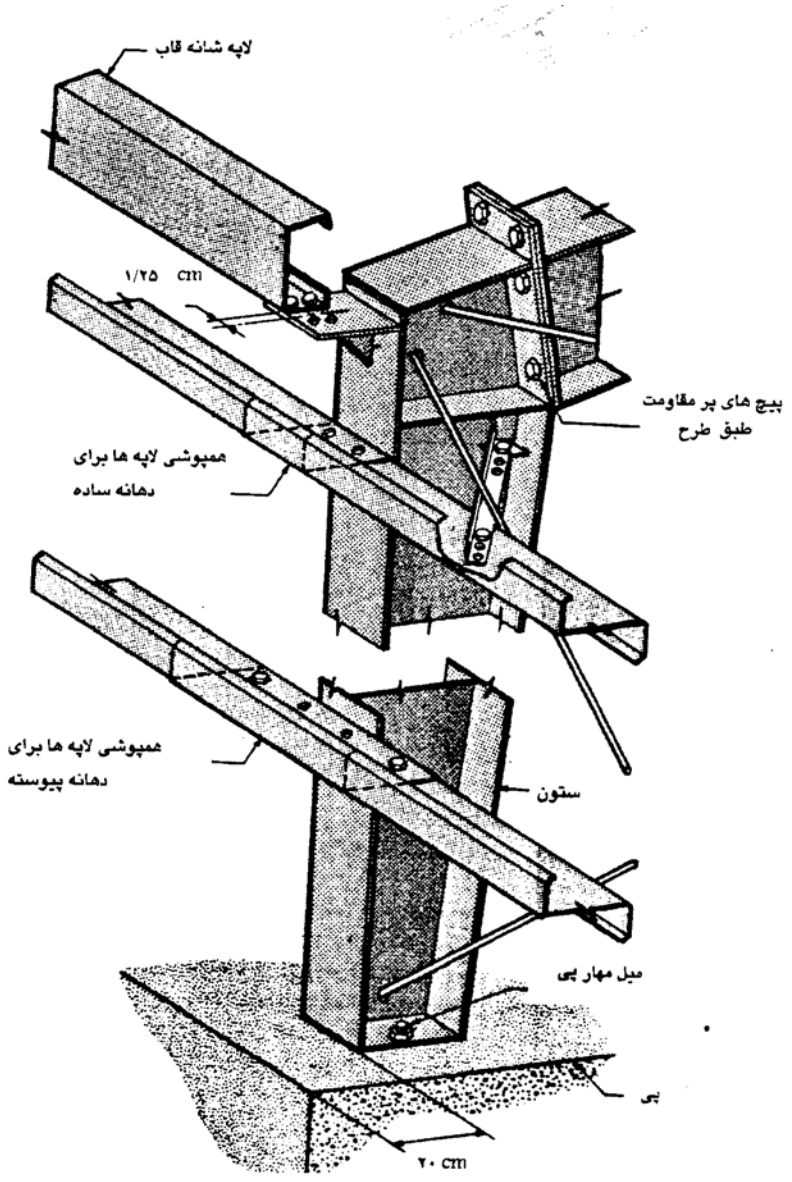


شکل۸- ۱۵ نصب لاپه‌های دیوار الف) روکار ب) نیمه روکار ج) توکار[۱۷]

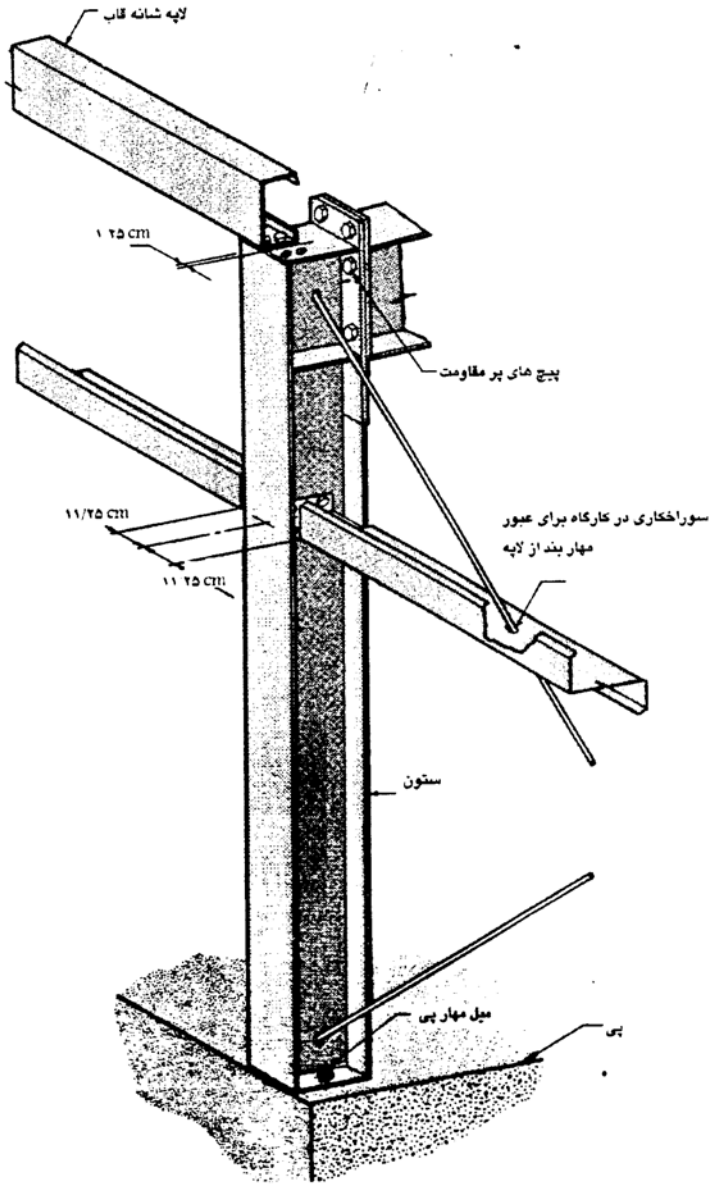
در شکل‌های ۸-۱۶ و ۸-۱۷ به نحوه اتصال لاپه شانه قاب دقت کنید که در حالت نصب به صورت توکار به راحتی توسط پیچ به بالای ستون متصل می‌شود، ولی در حالت نصب به صورت روکار احتیاج به دستک‌های تکیه‌گاهی مخصوص است. در دیوارهای انتهایی سالن، اِعمال هر یک از روش فوق مشکل خاصی ندارد، چرا که لاپه به راحتی به انتهای ستون‌ها به حالت طره نصب می‌شود.

۸-۳-۱-۲ انتخاب لاپه‌های قائم و یا لاپه‌های افقی در دیوارها

مهم‌ترین عملکرد لاپه‌ها انتقال بارهای باد از پوشش دیوار به قاب اصلی است. رایج‌ترین روش استفاده از لاپه‌ها به صورت افقی بین دهانه‌های ستون‌های قاب است. اگر فضای متوالی بین دو ستون خیلی زیاد باشد (بیشتر از ۹m)، آنگاه ستون‌های میانی برای نگهداری لاپه‌ها در مقابل نیروی باد طراحی می‌شود.

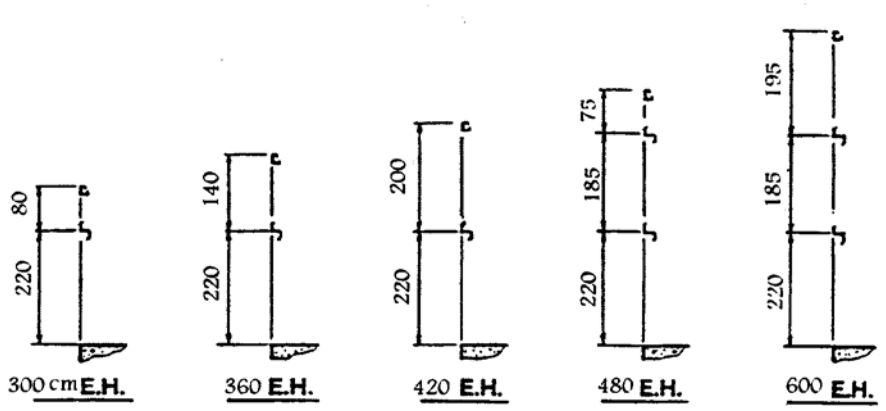


شکل۸-۱۶ نحوه نصب روکار برای لاپه‌های دیوار [۱۷]



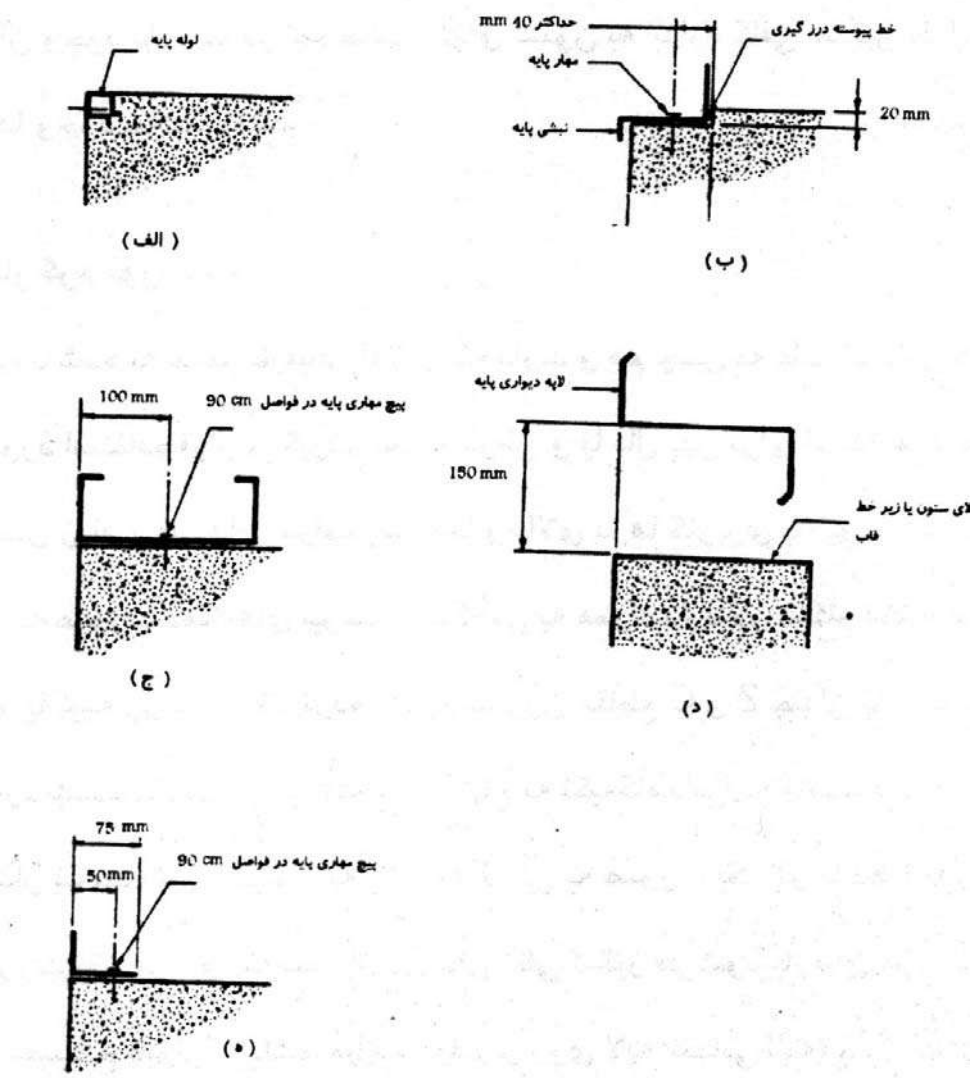
شکل۸-۱۷ نحوه نصب تو کار برای لاپه‌های دیوار [۱۷]

به همین منظور دیوارهای فلزی که بیشترین استفاده در میان مصالح مورد استفاده برای پوشش دیوارهای سازه‌های صنعتی دارند دارای دهانه‌های عمودی‌اند و به هر کدام از لاپه‌ها، تکیه‌گاه پی و لاپه شانه قاب متصل می‌شوند. فاصله بین لاپه‌ها با توجه مقاومت باربری پانل‌های دیوار تعیین می‌شود، که این فاصله اغلب بین ۱/۵ تا ۲/۵ متر برای پوشش‌های یک جدار است شکل ۸–۱۸ فضای استاندارد بین لاپه‌های تولیدی توسط یکی از سازندگان را نشان می‌دهد. تراز ارتفاعی اولین لاپه برای ایجاد دهانه آزاد درها تعیین می‌شود.



شکل۸–۱۸ فضای استاندارد بین لاپه‌ها [۱۷]

در قسمت زیرین پانل‌ها وسیله‌های مختلفی به عنوان تکیه‌گاه پانل به کار برده می‌شود که جزئیات آنها در شکل (۸–۱۹) دیده می‌شود. زهوار زیرین برای جداسازی پانل از پی بتنی به کار می‌رود.



شکل۸–۱۹ جزئیات انواع مختلف تکیه‌گاه پانل‌ها [۱۷]

یکی از روش‌های کمتر شناخته شده برای استفاده از لاپه‌ها، کاربرد به صورت قائم از پی تا لاپه انتهایی است. لاپه‌های قائم مشابه با ستونک‌های دیوار در دهانه‌های عریض مورد استفاده قرار می‌گیرند

و به صورت قابی به لاپه‌های شانه قاب ملحق می‌شوند که به صورت تیر بین دو ستون عمل می‌کنند و در مقابل نیروی باد پایداری می‌کنند. لاپه‌های سرد شکل گرفته شده استاندارد مقاومت کافی برای این منظور را ندارند، لذا ترجیح داده می‌شود از تیرهای با مقاطع گرم نورد شده استفاده شود.

در هنگام استفاده از لاپه‌های قائم باید به این موضوع توجه کافی داشت، در صورتی که ارتفاع تا لاپه انتهایی بیشتر از ۳۰ فوت باشد باید از لاپه‌های میانی استفاده کرد. نکته دیگری که باید در نظر داشت. این که بال‌های ستون به چه صورت مهار خواهند شد، زیرا در این حالت، از لاپه‌های قائم نمی‌توان به این منظور استفاده نمود.

البته این امکان وجود دارد که در این حالت، بالهای ستون به اندازه کافی سنگین طراحی شود که احتیاجی به مهار بال‌ها وجود نداشته باشد.

۸-۳-۲ لاپه‌های دیوار با مقاطع گرم نورد شده

مقاطع گرم نورد شده به دلیل ظرفیت بالایی که دارند و هم چنین به علت آشنایی بهتر طراحان با مشخصات آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقاطع قوطی و یا بال پهن برای استفاده به عنوان لاپه‌ها در دهانه‌های با فواصل زیاد و قاب‌های اطراف پنجره‌ها و بالای درها کاربری بالایی دارند. به علت اینکه استفاده از این مقاطع به صورت دهانه‌های پیوسته مشکلاتی به همراه دارد، در هنگام استفاده برای نصب به صورت توکار و یا نیمه روکار به کار برده می‌شوند. وزن مقاطع C و Z چندان قابل توجه نمی‌باشد، اما مقاطع گرم نورد شده سنگین‌ترند و احتیاج به تکیه‌گاه‌هایی در فاصله‌های منظم دارند که Sagrod یا میل مهار نامیده می‌شوند. لاپه با مقطع قوطی به صورت یک تیر با دهانه ساده تحت اثر بارهای باد و به صورت یک تیر پیوسته تحت اثر بارهای ثقلی تحلیل می‌شود، و بارهای ثقلی شامل مجموع وزن لاپه‌ها و وزن مصالح دیوار است. میل مهارها بر روی لاپه انتهایی (لبه) و یک عضو گرم نورد شده تکیه می‌کنند.

لاپه‌ها معمولاً در سطح خارجی بال مهار می‌شوند. نازک کاری اتاق مثل دیوارهای پیش‌ساخته سبک اگر بر روی ستونک‌های فولادی قرار داشته باشد می‌تواند تکیه‌گاه کافی برای بال‌های داخلی را فراهم کند. دو راه برای طراحی میل مهارهای نگهدارنده لاپه‌ها که از بال داخلی مهار نشده‌اند وجود دارد. روش

اول، فرض کنیم هیچ مهاری در بین فاصله دو دهانه ستون وجود ندارد. مقطع فولادی با این فرض سنگین طرح خواهد شد. که در این صورت این سوال برای کارفرما و پیمانکار وجود دارد که چرا مقطع به این سنگینی طراحی شده است. راه حل دیگر، فرض در عملکرد گیرداری مهارها می‌باشد. لاپه‌ها در محل هر میل مهار به صورت جانبی مهار می‌شوند. و میل مهارها برای یک مقطع لاپه در فاصله‌های هر چه نزدیکتر به یکدیگر قرار می‌گیرند. برای تشریح بیشتر به جزئیات مهاربندی بال داخلی لاپه دیوار می‌پردازیم.

برای امکان‌پذیر شدن کمانش جانبی بال داخلی (که این مود محتمل‌ترین مود شکست است)، این بال باید به صورت عمودی حرکت و چرخش داشته باشد. این حرکت در محل اتصال لاپه به پوشش بیرونی و نیز در محل اتصال مهار جان امکان‌پذیر نیست. بالهای داخلی و خارجی توسط جان به یکدیگر متصل شده‌اند که این جان به صورت یک تیر طره مانع از حرکت آزاد بال مهار شده می‌شود. معمولاً فرض می‌شود که بال فشاری یک عضو خمشی را می‌توان مهار شده فرض کرد به شرط آنکه مهار بتواند در حدود ۲ درصد نیروی فشاری بال را تحمل کند. بنابراین، عملکرد مهارکنندگی در صورتی اتفاق می‌افتد که جان برای تحمل این نیروی مهار به صورت خمش جان توانایی کافی داشته باشد. پهنای مؤثر جان برای خمش طبق قضاوت مهندسی تعیین می‌شود.

برای لاپه‌هایی که عمق بیشتر از ۲۰۰ میلی متر دارندممکن است که جان برای اینکه به صورت کنسول عمل کند باید خیلی نازک باشد .در این حالت لازم است چندین خط پیوسته از مهارهای بال داخلی تعبیه شوند که به لاپه شانه قاب و به پی متصل شوند.

۹

بررسی انواع مهاربندی‌ها

۹-۱ کلیات

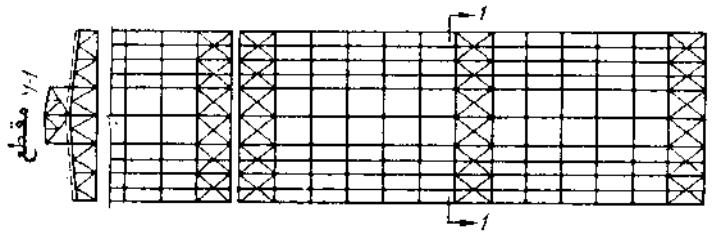
جهت تأمین صلبیت فضایی قاب‌ها و پایداری اعضای آنها (در یک سالن صنعتی)، از مهارهایی که بین قابها نصب می‌شوند استفاده می‌گردد. مهاربندی افقی در صفحه یالهای فوقانی و تحتانی خرپاهای سقف و مهاربندی قائم بین خرپاها و ستون‌ها، نسبت به سایر موارد مهاربندی دارای اهمیت بیشتری است.

هدف اصلی استفاده از مهاربندی عبارت است از:

۱ – جلوگیری از تغییر شکل‌های سازه در زمان بهره‌برداری و مراحل نصب

۲ – تامین پایداری اعضای فشاری

۳ – توزیع تمام بارهای افقی و مقاومت در مقابل آنها به عنوان مثال، نیروی باد و نیروهای افقی حاصل از ترمز کردن جرثقیل.



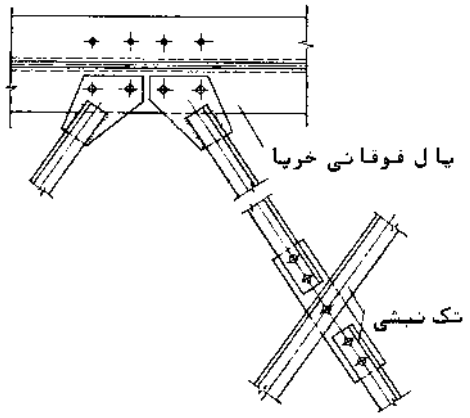
شکل۹-۱ مهاربندی یال فوقانی خرپا در یک سقف با لاپه[۲]

۹-۲ مهاربندی در صفحه افقی

مهاربندی در تراز یال فوقانی خرپاهای سقف، پایداری را در جهت عمود بر صفحه خرپا تأمین می‌نماید.

در سقف‌های بدون لاپه و زمانی که دالهای پیش ساخته بزرگ به یالهای فوقانی خرپاها متصل شده‌اند، صلبیت چنان بالاست که به نظر می آید نیاز به نصب هیچ گونه مهاربندی نیست. به هر حال، با در نظر گرفتن نیاز به تأمین صلبیت کافی اعضا در مدت زمان قبل از نصب دالها، لازم است که در تراز یال فوقانی خرپاها در طرفین درزهای انبساطی، مهاربندی‌هایی تعبیه کنیم.

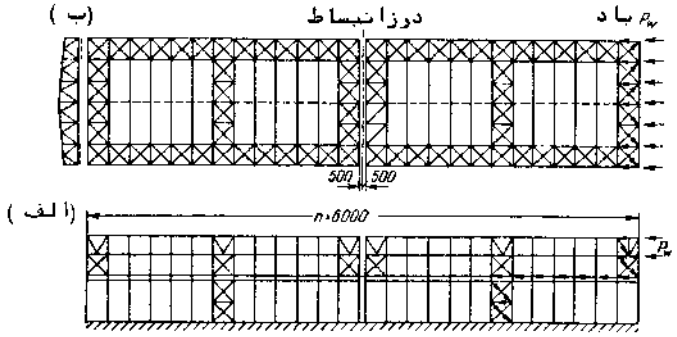
ضریب لاغری یال فوقانی بین نقاط مهار شده در مدت زمان نصب دالها نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید. برای اتصال مهارها و یال فوقانی خرپاهای سقف معمولا از پیچ استفاده می‌گردد.



شکل۹- ۲ اتصال مهارها به یال فوقانی درز انبساط[۲]

در تراز یالهای پایین خرپاها در امتداد طول و عرض سالن مهارهایی تعبیه می‌شود. در مهاربندی که در امتداد عرض سالن و در دو انتهای آن به صورت خرپای باد جهت انتقال بار باد وارد بر دیوارهای دو انتهای سالن به کار می‌رود، یالهای تحتانی خرپاهای مجاور به صورت یالهای خرپاهای باد عمل می‌کنند. به منظور افزایش صلبیت سقف در طرفین درزهای انبساطی هم، مهاربندی‌هایی در جهت عرض تعبیه می‌شوند.

در صورتی که فاصله درزهای انبساطی زیاد باشد و برای اینکه فاصله مهاربندی‌های عرضی از ۵۰ تا ۶۰ متر تجاوز نکند، در میان آنها نیز اقدام به نصب مهار می‌کنند. این مهارها ضروری است، چون مهارها اغلب به وسیله پیچ‌هایی که اجازه تغییر مکانهای قابل ملاحظه‌ای را می‌دهند، به خرپاها متصل شده‌اند. بنابراین آثار آنها در فواصل زیاد از بین خواهد رفت. مهاربندی افقی طولی در تراز یال تحتانی خرپاهای سقف اصولاً برای سهیم‌کردن دهانه‌های مجاور در مقاومت در مقابل بارهای موضعی نظیر جرثقیل به کار می‌روند.



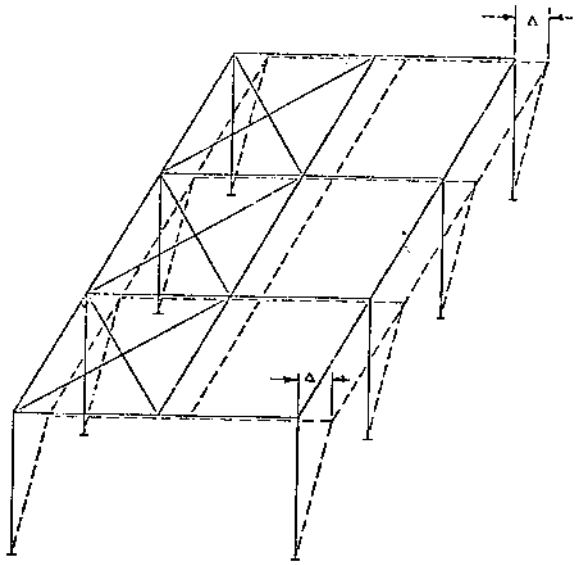
شکل۹- ۳ مهاربندی یال تحتانی خرپاها و بین ستونها[۲]

این موضوع در همه حال و بدون توجه به نوع قاب‌بندی ساختمان (مثلاً قابهای صلب تیر ورقی و خرپایی یا قابهای مهار شده)، صادق است. مهاربندی سقف به نیروهای جانبی جرثقیل اجازه می‌دهد که به قاب‌های کناری نیز برسد. این انتقال بار جانبی باعث کاهش لنگرهای ستون قاب بارگذاری شده خواهد شد. به هر حال باید توجه کرد که در سازه‌های با قاب صلب، لنگرهای قاب نمی‌تواند بیش از لنگرهای حاصل از باد کاهش داده شود.

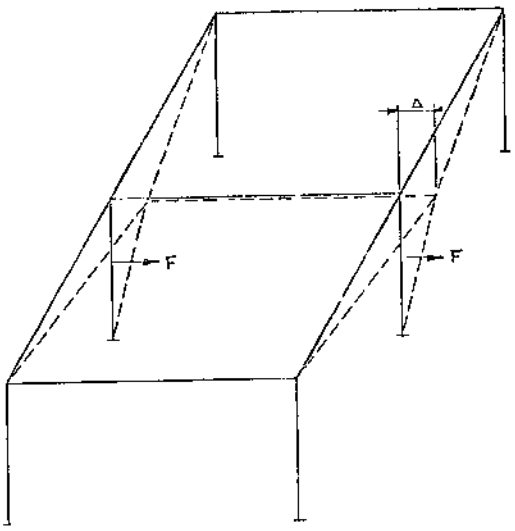
در شکل‌های ۹-۴ و ۹-۵، زیر مفاهیم استفاده از مهاربندی سقف برای انتقال بار جانبی جرثقیل در ستونها نشان داده شده است. بر اثر بار باد، تمام قابها و ستونها یکنواخت جابجا می‌شوند شکل(۹- ۴). در ساختمان جرثقیل‌دار بدون مهاربندی سقف، بارهای جانبی جرثقیل به یک ستون منتقل شده و تغییر مکان ستون منفرد در قاب بارگذاری شده اتفاق می‌افتد شکل (۹-۵). اضافه کردن مهاربندی سقف باعث تقسیم بار بین قابها می‌شود، به این نحوکه ستون‌های مجاور قاب بارگذاری شده وادار به حرکت جانبی شده و بارها بین آنها تقسیم خواهند شد شکل (۹-۶).

از تحلیل این مسئله به وسیله کامپیوتر دیده شده است که می‌توان فرض کرد که دو قاب مجاور قاب بارگذاری شده به همان اندازه حرکت می‌کنند.

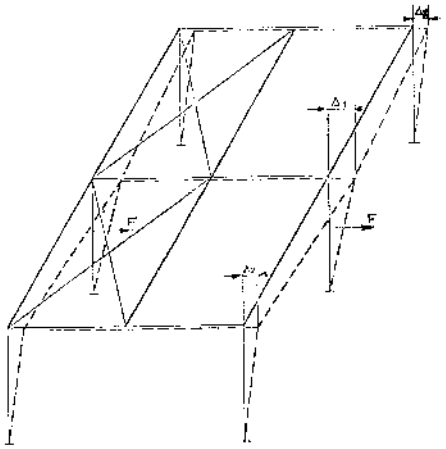
چون سختی مهاربندی سقف در انتقال بار به قابهای مجاور بسیار مهم است، بهتر است که برای اعضای مهاربندی به جای میلگرد از نبشی یا مقطع T استفاده شود.



شکل ۹-۴ مهاربندی سقف [۲]

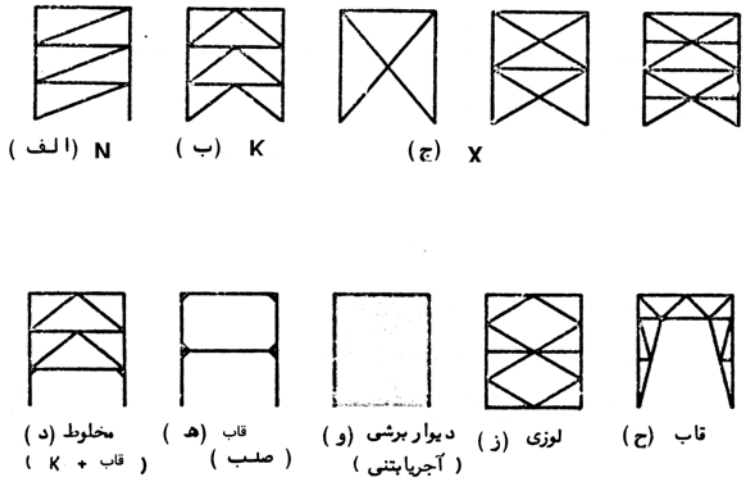


شکل۹-۵ مهاربندی سقف [۲]



شکل۹-۶ مهاربندی سقف [۲]

انواع مهاربندی‌هایی که در ساختمانهای صنعتی استفاده می‌شود، می‌توان به صورتی که در شکل‌های ۹-۷ دیده می‌شود تقسیم‌بندی نمود.



شکل۹-۷ انواع سیستم‌های مهاربند جانبی [۲]

ǨǦII N ﷺ مهاربند Ĥ-ĥ-Ĭ

قطعات قطری متناوباً کششی یا فشاری هستند. این قطعات را باید برای کمانش طراحی نمود.

ǨǦII K ﷺ مهاربند ĥ-ĥ-Ĭ

مثل N می‌باشد، ولی طول کمانش آن کمتر است. لیکن تعداد گره‌ها بیشتر است.

Ĭ-ĥ-Ħ مهاربند ﷺ به (سیله kǐ صل Ł

در این صورت، نیروهای افقی را قاب دو طبقه (که خود پایدار است) به صورت خمش منتقل می‌کند، ولی غالباً مهاربندی به صورت ضربدری یا k هم لازم است تا تغییر شکل‌های جانبی کم شود.

Ĭ-ĥ-ħ ۲ﷺوار برااي

در این سیستم، انتقال نیرو به صورت برش دیوار برشی و یا دیوار باربر صورت می‌گیرد لیکن به این نوع مهاربندی به دلیل این که ممکن است در آینده توسط بهره‌بردار برداشته شود و در ساختمانهایی با جرثقیل به دلیل ارتعاش ساختمان نمی‌توان زیاد اعتماد داشت، کلاً پیشنهاد نمی‌گردد.

Ĭ-ĥ-Ĩ مهاربند ﷺ ﷺوزﷺ

در این نوع مهاربندی نیز قطعات مهاربندی تحت کشش یا فشار می‌باشند.

Ĭ-ĥ-Ĩ مهاربند ﷺ jاربدرﷺ

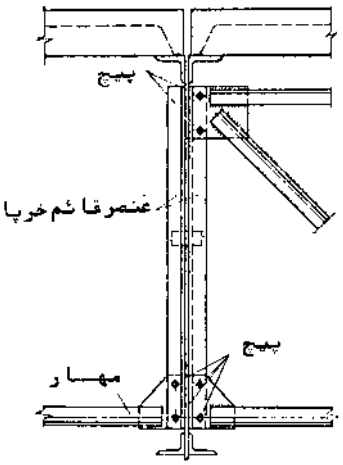
وقتی که برای مهاربندی از شبکه ضربدری استفاده می‌کنیم، فرض می‌شود که بارهای وارده در هر طرف فقط به وسیله اعضای مورب کششی تحمل می‌شوند، در حالی که اعضای فشاری باری را تحمل نمی‌کنند. چنین فرضی وقتی صحیح است که ضریب لاغری اعضای قطری بزرگتر از ۲۰۰ باشد، به این دلیل قطعات مهاربندی ضربدری را قاعدتاً به صورت تک نبشی طراحی می‌نمایند. در موقع کنترل ضریب لاغری قطعات کششی قطری مهاربندی‌های ضربدری، که از یک تک نبشی ساخته شده‌اند، شعاع

ژیراسیون نبشی بر اساس محور موازی ساق آن گرفته می‌شود. با شبکه‌بندی مثلثی، خرپاهای مهاربندی ممکن است در تمام قطری‌ها تنش‌های فشاری ظاهر شوند، بنابر این حداکثر ضریب لاغری آنها ۲۰۰ می‌باشد که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

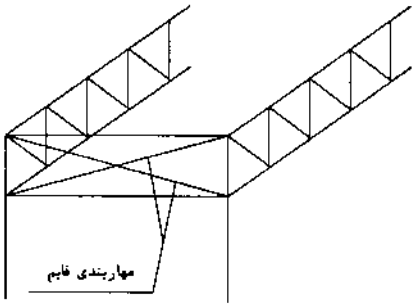
برای دهانه‌های بلندتر از ۲۴ متر به دلیل بالا بودن ضریب لاغری جانبی یال تحتانی خرپاها، اغلب لازم است که در میانه دهانه‌ها نیز اقدام به نصب مهارهای اضافی نماییم. این عمل، لرزش خرپا را در حین کار جرثقیل‌ها از بین می‌برد.

۹-۳ مهاربندی‌های قائم

مهاربندی قائم بین خرپاها را معمولاً در محل تکیه‌گاه‌های خرپاها (بین ستون‌ها) و میانه دهانه (یا زیر اعضای عمودی نورگیرها) نصب می‌کنند. نصب آنها در تمام طول کارگاه در محل‌هایی که مهارهای افقی جانبی در یال تحتانی خرپا نصب شده‌اند انجام می‌شود.



شکل۹-۸-الف مهاربندی قائم



شکل۹-۸-ب اتصال مهارهای قائم[۲]

هدف اصلی نصب مهارهای قائم تأمین پایداری یک عضو فضایی، شامل دو خرپای سقف و مهارهای عرضی در تراز یالهای فوقانی و تحتانی خرپاها می‌باشد. مهاربندی قائم به شکل ضربدری با تک نبشی

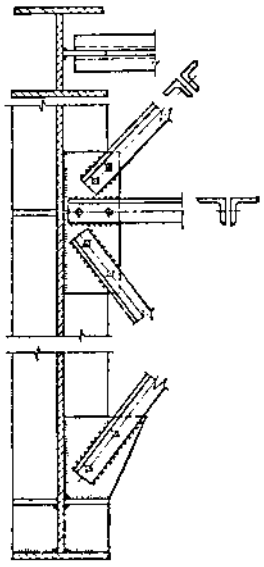
طراحی می‌شود، که همیشه با یک عضو افقی ساده، یا به شکل خرپای کوچک با یک شبکه مثلثی، همراه است.

برای اتصال مهارهای قائم به خرپاهای سقف معمولا از پیچ استفاده می‌شود.

به دلیل کم بودن تنش قطعات کششی، مقدار کمی خروج از مرکز که در طراحی این‌گونه اعضا وجود دارد، توسط آنها تحمل می‌گردد.

مهارهای قائم را برای تامین پایداری ساختمانها، در جهت طولی و مقاومت در برابر نیروهای ترمز طولی و فشار باد در انتهای ساختمان، بین ستونها در طول کارگاه نصب می‌کنند. در جهت عرضی، قاب‌ها در شالوده گیردار بوده و سیستم غیر قابل تغییر شکلی را به وجود می‌آورند، اما در جهت طولی، تعدادی قاب وجود دارد که در محل اتصال شاه تیرهای جرثقیل مفصلی بوده و سیستم ناپایداری تشکیل می‌دهند که در غیاب مهاربندی قائم ممکن است منهدم شود (تکیه‌گاه‌های ستون‌ها در جهت طولی به عنوان تکیه‌گاه مفصلی در نظر گرفته شده‌اند). بدین دلیل، قطعات مهاربندی بین ستونها (زیر شاه تیر جرثقیل‌ها)، که برای پایداری کل سازه بسیار مهم است باید با صلبیت کافی و برای جلوگیری از ارتعاش طراحی شوند، این کار را می‌توان با محدود کردن ضریب لاغری این قطعات انجام داد.

برای قطعات کششی مهاربندی بین ستون‌ها، ضریب لاغری نباید از ۳۰۰ تجاوز کند. برای اعضای فشاری، این مقدار نباید از ۲۰۰ بیشتر شود، قطعات مهاربندی‌های ضربدری بین ستون‌ها را معمولاً از نبشی می‌سازند. مهاربندی‌های سنگین مخصوص، از یک جفت ناودانی که به وسیله چپ و راست یا قید بهم متصل شده‌اند، ساخته می‌شوند.



شکل۹-۹ طراحی مهارهای قائم و اتصال‌شان به ستون‌ها[۲]

در موقع محاسبه ضریب لاغری قطعات مهاربندی ضربدری، طول مؤثر در صفحه مهاربندی از مرکز گره تا محل برخورد مهاربندها گرفته می‌شود، در حالی که طول مؤثر قطعات در جهت عمود بر صفحه مهاربندی تابع عوامل زیر است:

صلبیت خمشی هر عضو مهاربندی

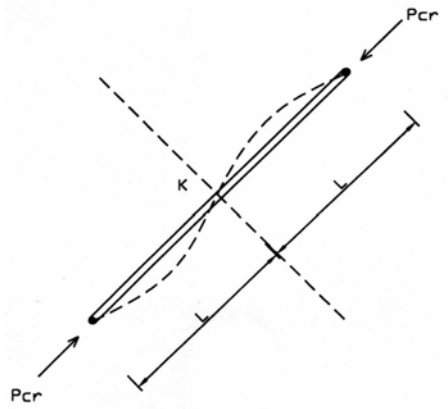
طول هر عضو مهاربندی

نیروی محوری فشاری یک عضو مهاربندی

اگر فرض کنیم که عضو کششی مهاربندی به صورت یک تکیه‌گاه در وسط دهانه عضو فشاری مهاربندی عمل می‌کند، در این صورت، حداقل سختی این تکیه‌گاه فنری برای وادار ساختن عضو فشاری به کمانش در مود دوم عبارت است از:

$$K_{\min} = \frac{2P_{cr}}{L}$$

نشانه‌های بکار رفته در رابطهٔ فوق در شکل ۹-۱۰ دیده می‌شود:



شکل۹-۱۰ بار کمانش

Pcr = بار کمانش عضو فشاری مهاربند با طول فرضی L

k= سختی تکیه‌گاه فنری ناشی از خمش عضو کششی مهاربند تحت بار نقطه‌ای در وسط دهانه خود بنابراین اگر رابطهٔ فوق برقرار باشد و یا $K \geq K_{min}$، آنگاه می‌توان ضریب طول کمانش عضو فشاری مهاربند در جهت عمود بر صفحه مهاربندی را برابر ۰/۵ در نظر گرفت. در غیر این صورت، ضریب کمانش از ۰/۵ بزرگتر و در حالت حدی برابر ۱/۰ خواهد بود. چون به هر حال عضو کششی مهاربندی دارای مقداری صلبیت خمشی و توانایی جلوگیری از تغییر شکل نامحدود عضو فشاری است، معمولاً ضریب ۰/۶۷ تا ۰/۷ برای طول کمانش عضو فشاری مهاربندی در نظر گرفته می‌شود.

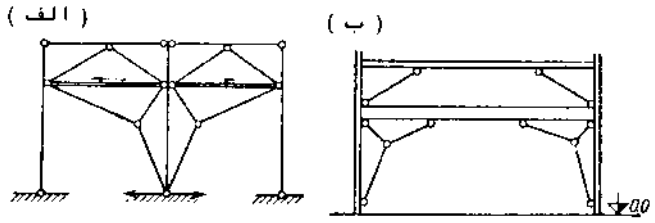
راه ساده دیگری که برای کنترل ضریب طول کمانش عضو فشاری مهاربند ضربدری رایج است، کنترل مقاومت خمشی عضو کششی مهاربندی برای تحمل نیروهای وارده از عضو فشاری به میزان ۲ درصد مقاومت فشاری عضو فشاری است. در این کنترل باید تأثیر همزمان نیروی محوری کششی و لنگر خمشی وارده از اثر عضو فشاری را در نظر گرفت.

مهاربندی ضربدری قائم معمولاً بر اساس اینکه، فقط اعضای کششی کل بار باد را می‌گیرند، بررسی می‌شود. اگر رفتار فشاری قطعات مهاربندی ضربدری را در محاسبات زلزله، در نظر بگیریم کل بار را

می‌توان به صورت مساوی بین قطرها توزیع نمود. در محاسبه مهاربندی‌ها برای تحمل نیروهای ناشی از زلزله باید به مندرجات بند ۸ پیوست ۲ استاندارد ۲۸۰۰ ایران عمل شود.

برای تأمین انبساط و انقباض حاصل از تغییرات درجه حرارت در جهت طولی، بهتر است که مهاربندی قائم بین ستون‌ها در میانه مقطع انبساطی یا نزدیک آن قرار داده شود (ارجاع به شکل ۹-۳-ب). از آنجا که بنای یک ساختمان، غالباً از دو انتها شروع می‌شود، بنابراین بهتر است که برای تأمین پایداری، دو ستون اولی در یک قاب را به یکدیگر متصل نمائیم.

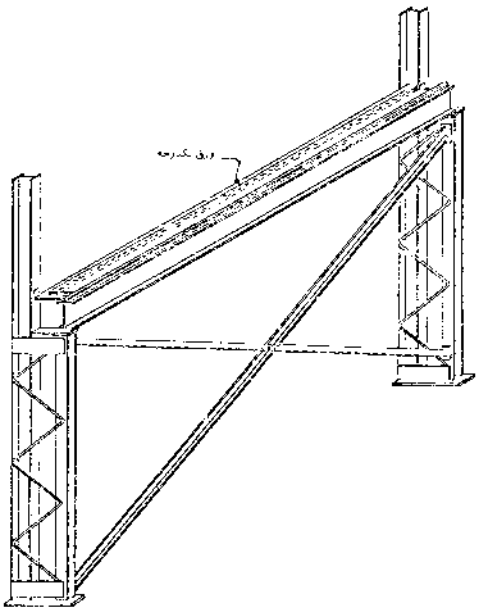
اگر به دلایل فنی نتوان یک دهانه را به طور کامل برای نصب مهاربندی به کار برد و همچنین موقعی که فاصله ستون‌ها زیاد باشد، مجبور به استفاده از مهاربندی پرده‌ای خواهیم بود. در این حالت، ملاحظه می‌شود که تحت تأثیر یک بار یکطرفه مهارهای یک گوشه تحمل کششی می‌نمایند، در حالی که قطعات گوشه دیگر، به دلیل داشتن ضریب لاغری بالا، بدون استفاده می‌باشند.



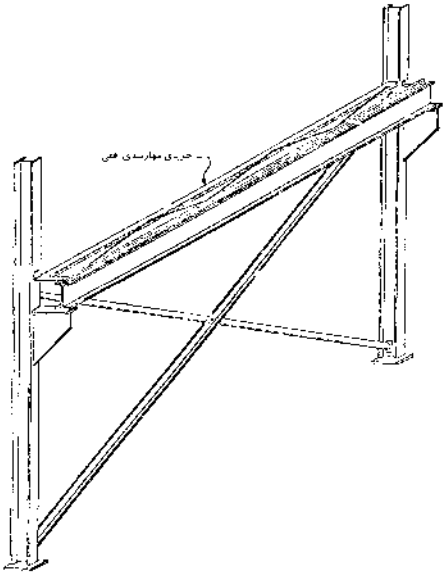
شکل ۹-۱۱ مهارهای قائم قابی الف- فاصله ۶ متری ستونها، ب- فاصله ۱۲ متر یا بیشتر ستونها[۲]

برای جرثقیل‌های سبک، مهاربندی در صفحه دیواربرای بار طولی ممکن است برای مقابله با نیروی طولی جرثقیل کافی باشد. چون برای ترتیب مهاربندی نشان داده شده در شکل۹- ۱۲، نیروی طولی جرثقیل نسبت به صفحه مهاربندی دارای خروج از مرکزیت است، ستون جرثقیل تحت پیچش قرار خواهد گرفت.

در حالی که نیروهای طولی سیستم جرثقیل بزرگتر می‌شود، یک خرپای افقی یا عضو دیگری ممکن است برای جلوگیری از چرخش ستون و انتقال بار طولی جرثقیل به محور مهاربندی به کار رود. برای نیروهای طولی بسیار بزرگ، باید مهاربندی باد در صفحهٔ ریل‌های جرثقیل قرار گیرد.



شکل۹-۱۲ مهاربندی ریل‌های جرثقیل [۲]



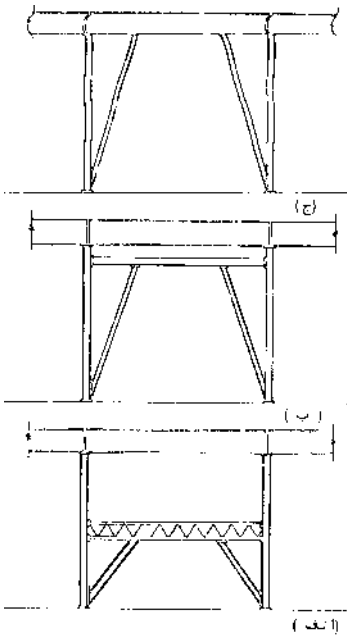
شکل۹-۱۳ مهاربندی ریل‌های جرثقیل [۲]

به عنوان پیشنهاد، محدودیت‌های زیر را می‌توان در مورد انتخاب صحیح مهاربندی برای انتقال بار طولی جرثقیل به کار برد.

نوع مهاربندی مناسب	نیروی طولی
مهاربندی برای باد	کوچک (تا ۲ تن)
استفاده از خرپاهای افقی برای انتقال نیرو به صفحه مهاربندی	متوسط (۲ تا ۴ تن)
استقرار مهاربندی در صفحه نیروی طولی	بزرگ (بیش از ۴ تن)

چنانچه ذکر شد برای مهاربندی عموماً از نوع ضربدری استفاده می‌شود، لیکن در صورت نیاز به باز ماندن یک دهانه باید از یک شکل پرتال (دروازه‌ای) استفاده نمود. در این حالت اغلب اوقات نیاز به طراحی ستون برای خمش در جهت محور ضعیف است.

باید توجه نمود که این مهاربندی نیاز به طراحی مخصوصی برای شاه تیر آن دهانه دارد و از طرفی به اعضای قطری، نیروی زیادی از بارهای قائم جرثقیل می‌رسد. این سیستم فقط قابل کاربرد برای ساختمانهای صنعتی سبک با خستگی پائین (رده D) می‌باشد. سیستم‌های نشان داده شده در شکل‌های ب و ج را می‌توان در اکثر حالت‌ها به کار برد.



شکل۹-۱۴ انواع مختلف مهاربندی [۲]

۱۰

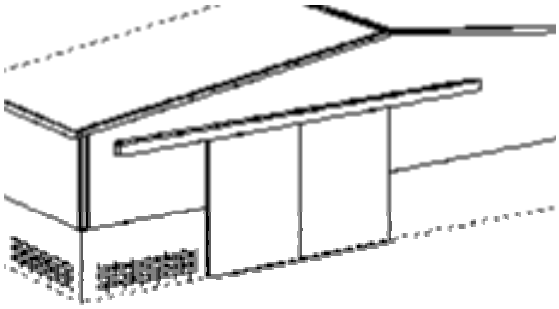
طرح بازشوها

۱۰-۱ کلیات

ورود و خروج اجسام حجیم به ساختمان‌های صنعتی برای تامین نیاز خط تولید و یا به منظور نگاهداری و انبار کردن کالاها و وسایل امری طبیعی است. بنابراین، وجود بازشوهای بزرگ در این ساختمانها، قابل پیش‌بینی است. در مواردی به علت دمای بالای محیط داخلی ساختمان، مانند سالن تولید فولاد مذاب یا سالن پخت آند ومانند آن نیازی به بستن بازشوها احساس نمی‌شود. در این‌گونه فضاها، مسئله بازشوها فقط در تعیین دهانهٔ قاب‌ها و فاصله قاب‌ها از یکدیگر و تنظیم فواصل لاپه‌های جانبی پوشش دیوار موثر است. اما در صورتی که حفظ دمای مناسب در محیط داخلی ساختمان، نیازمند بستن بازشوها باشد، آنگاه مسئله طراحی درهای مناسب و قاب‌بندی محل اتصال درها برای جذب نیروهای ناشی از عملکرد درها مطرح می‌شود. از نظر شکل و عملکرد، دو نوع در کشویی و تاشو در ساختمانهای صنعتی عمومیت دارد.

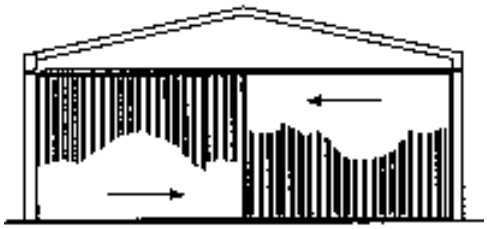
۱۰-۲ درهای کشویی

این درها به کمک ریل‌هایی در پایین و بالای بازشو که محل حرکت غلتک‌های متصل به در است، باز و بسته می‌شوند. نمونه‌ای متعارف از این درها در شکل ۱۰-۱ دیده می‌شود.



شکل۱۰-۱ درهای کشویی

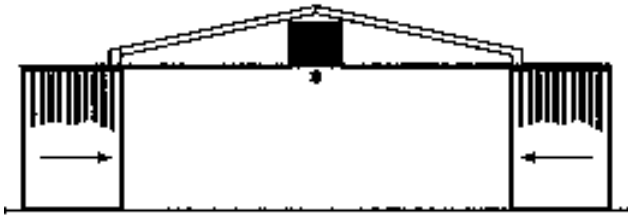
در شکل ۱۰–۱، در، از دو لنگه تشکیل شده است و در طرفین بازشو جای کافی برای ادامه‌یافتن ریل‌ها و حرکت درها وجود دارد. بنابر این یک خط ریل برای عملکرد در کفایت می‌کند. در برخی موارد، مانند شکل ۱۰– ۲، بازشو تمام فضای بین ستون‌های قاب را اشغال می‌کند و بنابر این برای حرکت درها به دو خط ریل نیاز است.



شکل ۱۰–۲ بازشو تمام فضای بین ستون‌های قاب را اشکال کرده است

در صورت زیاد شدن لنگه‌های در، تعداد ریل‌های لازم نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل ۱۰– ۲ دیده می‌شود که امکان باز شدن کامل بازشو وجود ندارد و فقط می‌توان $\frac{1}{2}$ سطح بازشو را مورد استفاده قرار داد. برای رفع این ایراد، دو روش وجود دارد. روش اول، که از بازوهای بیرونی کمک می‌گیرد، در شکل ۱۰–۳ نشان داده شده است.

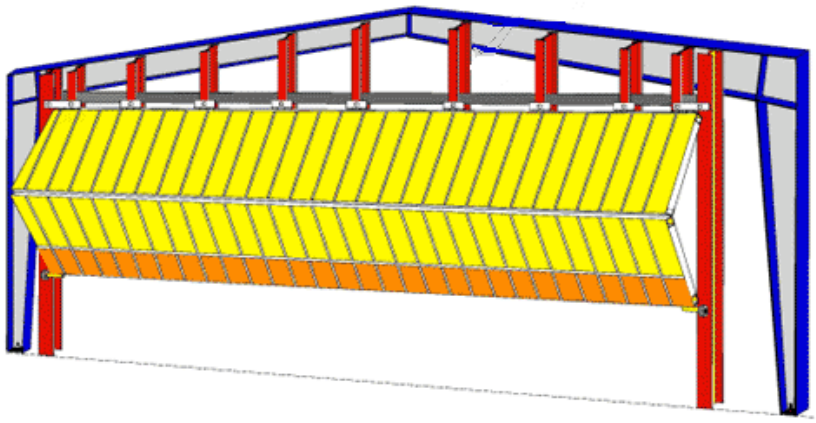


شکل ۱۰–۳ بازشدن در توسط بازوهای خارج دیوار

در شکل ۱۰–۳، بالا دیده می‌شود که ریل‌های فوقانی در به وسیله بازوهایی در خارج دیوارهای ساختمان ادامه یافته‌اند. به این ترتیب امکان استفاده از تمام سطح بازشو فراهم می‌شود. با زیاد کردن لنگه‌های در و طبیعتاً زیاد شدن تعداد خطوط ریل، می‌توان طول بازوهای بیرونی را کاهش داد.

۱۰-۳ درهای تاشو

روش دیگری که برای استفاده از تمام سطح بازشو مابین ستون‌های سازه‌ای مناسب است، بهره‌گیـری از درهای تاشو است. شمای کلی این سیستم در شکل ۱۰-۴ زیر دیده می‌شود.

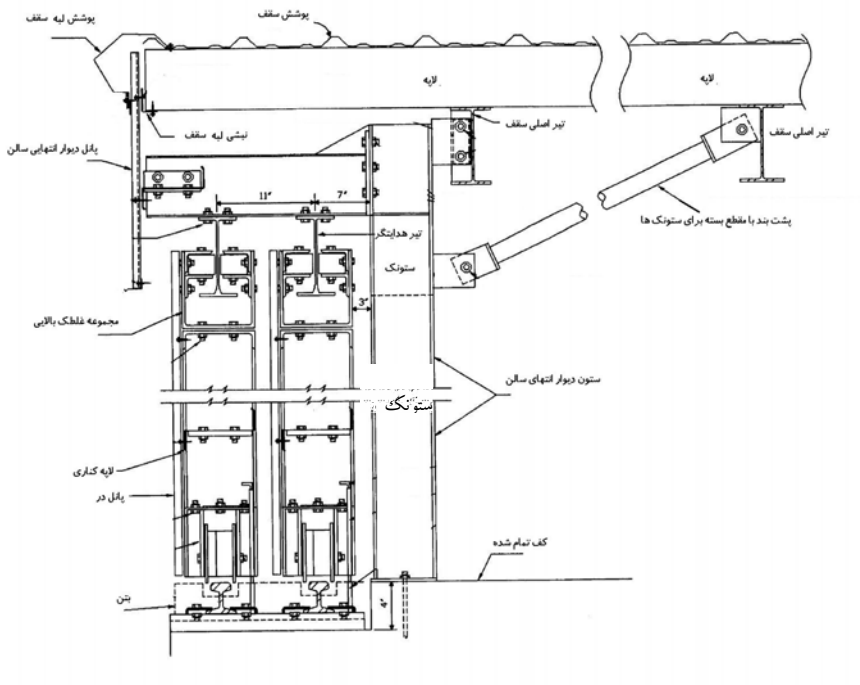


شکل۱۰-۴ درهای تاشو

به گونه‌ای که در شکل ۱۰-۴ فوق دیده می‌شود، در از دو تکه تشکیل شـده، و دارای یـک لـولا در وسط ارتفاع خود است. به کمک موتورهای الکتریکی و کابل و قرقره، در به صورت تاشو جمع شده و بالا می‌رود و از تمام فضای بازشو می‌توان استفاده کرد. امکان تعبیه درهای کوچک برای پرسنل و نیز پنجره در این سیستم وجود دارد.

۱۰-۴ سازه نگهدارنده در

هر یک از دو سیستم ریلی و تاشو شرایطی را برای سیستم سازه‌ای پشتیبان خود ایجاد می‌کنند. در شکل ۱۰- ۵، جزئیات نصب درِ کشویی دارای دو خط ریل در دیوار انتهای سالن نشان داده شده است.



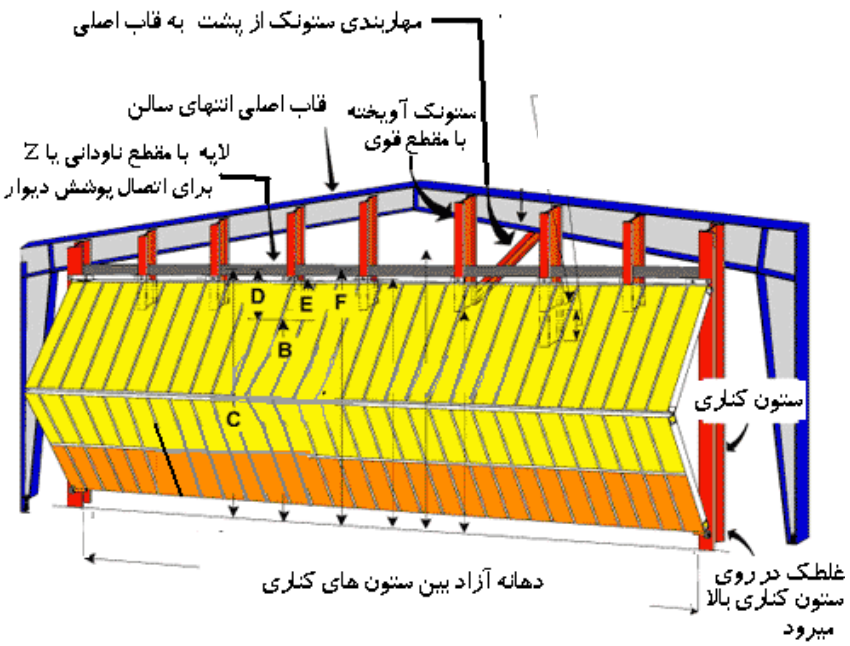
شکل ۱۰-۵ سازه نگهدارنده در

به طوری که در شکل ۱۰-۵، دیده می‌شود، ریل‌های پایین روی کف بتنی نصب شده‌اند. در بالای در، مجموعه هدایتگر دیده می‌شود که روی تیرهای هدایتگر استوار شده و حرکت می‌کند. تیرهای هدایتگر به تیرهای طره‌ای که طول آنها وابسته به تعداد ریل‌هاست، اتکا دارند. برای نگهداری این تیرهای طره‌ای، از ستون‌های دیوار سالن در طرفین بازشو و از ستونک‌های آویخته از سقف در محدودهٔ بازشو استفاده می‌شود. ستون‌های دیوار سالن دارای تکیه‌گاه روی کف سالن و نیز روی جان تیرهای اصلی سقف هستند. ستونک‌های آویخته دارای تکیه‌گاه روی تیرهای سقف بوده و برای انتقال نیروی باد به سازه اصلی دارای پشت‌بندهایی با مقطع بسته هستند که به تیرهای اصلی سقف اتکا دارند.

اگر درِ کشویی در دیوارهای جانبی ساختمان تعبیه شود، بدیهی است که می‌توان از تعدادی از ستون‌های قاب‌های اصلی ساختمان، به عنوان تکیه‌گاه تیرهای هدایتگر فوقانی استفاده کرد. این ستون‌ها دارای مقاومت کافی برای این امر هستند و نیازی به تقویت ویژه ندارند. در این حالت،

ستونک‌های آویخته از سقف در محدوده بازشو و تیرهای اصلی سقف در یک صفحه قرار نمی‌گیرند و لازم است با تعبیه تیرهای فرعی در فواصل بین قاب‌های اصلی ساختمان، تکیه‌گاه مناسبی برای اتکای دستک‌های پشت‌بند ستونک‌ها فراهم شود.

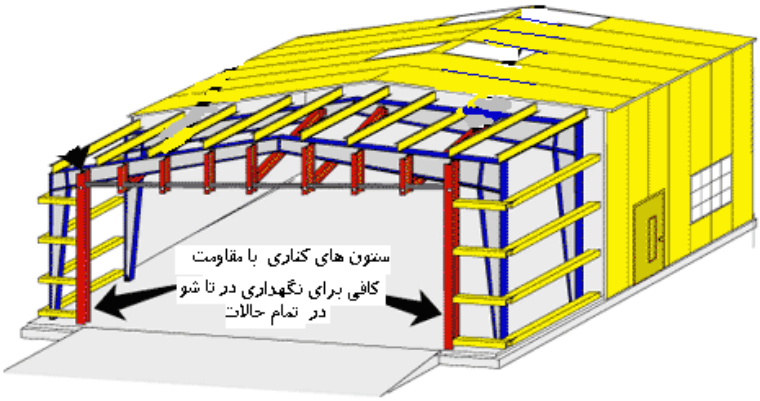
نحوه نصب عمومی درهای دو تکه تاشو در شکل ۱۰-۶ دیده می‌شود. برای تأمین مسیر حرکت غلتک‌های طرفین در، لازم است که دو ستون کناری در دو طرف در تعبیه شود. برای تحمل وزن در و آویزان نگهداشتن آن به تعدادی ستونک در بالای در نیاز است. این ستونک‌ها به قاب اصلی ساختمان متصل‌اند و برای حفظ تعادل آنها در صفحه عمود بر قاب اصلی، لازم است که مهاربندهایی به صورت پشت‌بند متصل به نزدیک‌ترین قاب اصلی، این ستونک‌ها را در جای خود تثبیت نماید.



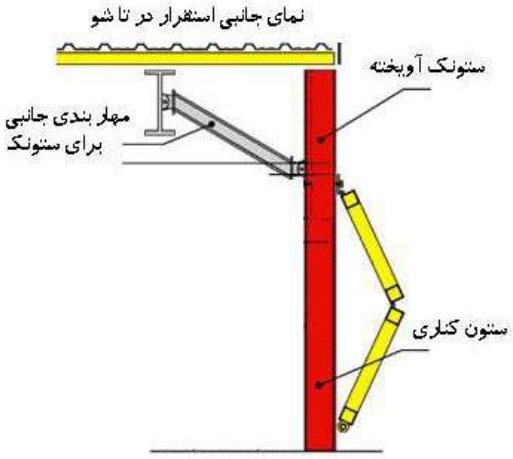
شکل ۱۰-۶ نحوه نصب عمومی درهای دوتکه تاشو

در شکل ۱۰-۷، موقعیت بازشو و چارچوب آن و نیز ستون‌های طرفین بازشو و ستونک‌های بالای آن دیده می‌شوند.

همچنین در شکل ۱۰– ۷، پوشش ساختمان و لاپه‌های سقف و دیوارهای جانبی نیز نشان داده شده است. در این شکل، مهاربندی‌های پشت‌بند ستونک‌های بالای در نیز دیده می‌شود. در شکل ۱۰– ۸، نمای جانبی درِ تاشو و سیستم استوار شده آن دیده می‌شود.



شکل ۱۰–۷ موقعیت بازشو و چارچوب



شکل۱۰–۸ نمای جانبی در تاشو

نیروی باد وارد بر در تاشو در حالت بسته بین غلتک‌ها در پایین و تکیه‌گاه در، روی ستونک‌ها تقسیم می‌شود. بنابراین سهم نیروی محوری هر یک از مهاربندی‌های جانبی ستونک‌ها قابل محاسبه است.

نیروی محوری این مهاربندها به تیر قاب اصلی مجاور منتقل می‌شود. مؤلفه افقی نیروی وارد بر تیر موجب تولید لنگر پیچشی در تیر می‌شود. با تعبیه تعداد کافی مهاری بال پائین تیر که به لاپه‌های مستقر بر تیر متصل می‌شوند، می‌توان لنگر پیچشی را متعادل نمود. مؤلفه قائم نیروی وارد بر تیر موجب لنگر خمشی در تیر می‌شود که باید در ترکیب بار شامل اثر باد در سازه لحاظ شود و در طرح مقطع تیر به آن توجه شود.

۱۱

درزهای انبساط و انقباض و طرح آنها

۱۱-۱ کلیات

طول و عرض یک ساختمان صنعتی، به وسیله شرایط کاربری ساختمان، تعیین می‌شوند. وقتی که ابعاد افقی (طول یا عرض) بزرگتر می‌شوند، با وجود اینکه ساختمانهای صنعتی، اغلب از مصالح انعطاف‌پذیر ساخته شده‌اند، درزهای انبساط سقف و ساختمان لازم می‌گردد. در غیر این صورت، به علت تغییرات درجه حرارت فصلی و اختلاف درجه حرارت محیط و درجه حرارت زمان نصب ساختمان و تکرار این چرخه در طول عمر مفید ساختمان، ممکن است ساختمان در معرض خطر انهدام قرار گیرد.

عملکرد این درزها باید به گونه‌ای باشد که انبساط و انقباض طرفین درز کاملاً همساز شوند. لازمه چنین درزهایی این است که هیچگونه پیوستگی در طرفین درز برقرار نباشد. این درزها باید با کمترین مقاومت در مقابل انقباض و انبساط قادر به باز یا بسته شدن باشند. عموماً این درزها در تمام قسمت‌های سازه به طور پیوسته قرار گرفته و از کف تا سقف ادامه می‌یابند. برای حصول اطمینان از جدایی کامل دو قسمت مجاور، رعایت این مسئله ضروری است.

برای تعیین طولی از ساختمان که بین دو درز انبساط می‌تواند به طور پیوسته امتداد داشته باشد و همچنین برای تعیین میزان حرکت لبه‌های درز انبساط از روابط پایه انبساط فلزات استفاده می‌شود.

مقدار تغییر طول حاصل از تغییر درجه حرارت Δt برابر است با

$$\Delta L = \alpha L \Delta t$$

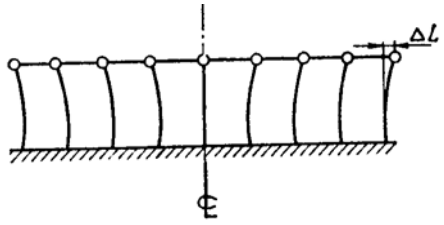
در این رابطه

α= برابر است با ضرب خطی انبساط حرارتی آهن (α =۰/۰۰۰۱۲)

L= برابر است با طول ساختمان

Δt= برابر است با تغییرات درجه حرارت

شکل ۱۱-۱، افزایش تغییر مکان رأس را در ستونهای یک ساختمان صنعتی از مرکز ساختمان به طرف لبه‌ها که بر اثر افزایش درجه حرارت به وجود آمده است نشان می‌دهد.



شکل۱۱-۱ تغییر شکل حرارتی ستون‌ها[۲]

برای تعیین فاصله بین درزهای انبساط، در ساختمانهای فلـزی، در مـواردی کـه در محاسـبات آنهـا هیچ‌گونه تنش حاصل از درجه حرارت در نظر گرفته نشود می‌توان از جدول زیر استفاده نمود.

جدول۱۱-۱ حداکثر ابعاد مقاطع انبساطی ساختمانها بر حسب متر[۲]

طبقه‌بندی ساختمان	حداکثر فاصله از انتهای مقطع تا مرکز نزدیکترین مهاربندی قائم	حداکثر طول مقطع (در طول ساختمان)	حداکثر عرض مقطع (ساختمان)
ساختمانهای گرم	۹۰	۲۳۰	۱۵۰
ساختمانهای گرم نشده و کارگاه‌های گرم	۷۵	۲۰۰	۱۲۰
سالنهای روباز	۵۰	۱۳۰	–

وقتی که در فاصله بین دو مقطع حدی انبساط یک ساختمان، از کشش‌ها یا مهاربندی قـائم اسـتفاده می‌کنیم، فاصله مرکز تا مرکز آنها نباید از ۵۰ متر برای ساختمان و ۳۰ متر برای سالنهای روبـاز بیشـتر باشـد. وقتی که ستونهای بتن مسلح پیش تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد، فاصله درزهای انبسـاط نبایـد از ۶۰ متـر بیشتر شود و برای دیوارهای باربر آجری فاصله درزهای انبساط از ۴۰ تا ۶۰ متر نباید بیشتر گردد.

بهترین روش ایجاد درز انبساط استفاده از یک محور با ستونهای دوبله است، کـه در محـل درزهـای انبساط به فاصله کافی و مؤثر کنار یکدیگر قرار داده شده باشند.

بیشتر آیین‌نامه‌های ساختمانی دارای محدودیت‌هایی در مورد محـل و فاصـله دیوارهـای ضـد آتـش Fire wall می‌باشند. این دیوارها اغلب می‌توانند در محل استقرار درزهای انبساط باشند. در ایـن حالـت احتیاج است که جزئیات درزها کاملاً بررسی و مقایسه شوند. به غیر از ستون دوبله برای درزهای انبسـاط

غالباً از عناصر لغزان با اصطکاک کم استفاده می‌شود. این سیستم‌ها هرگز کاملاً آزاد نبوده و تا حدی در مقابل حرکت مقاومت می‌کنند. تجربه نشان داده است که این سیستم‌ها قابل اعتماد نمی‌باشند.

۲-۱۱ توصیه‌های AISE در گزارش فنی شماره ۱۳

در ساختمانهایی که در معرض خطرهای ناشی از تغییرات درجه حرارت قرار می‌گیرند پیشنهاد می‌کند که حتماً درزهای انبساط تعبیه شود. این درزهای انبساط باید تقریباً در فواصل ۱۲۰m از یکدیگر تعبیه شود. اگر تغییرات دمایی گسترده‌ای در ساختمان تأثیرگذار نیست، این فواصل را می‌توان تا ۱۵۰m افزایش داد. در ساختمانهایی که دارای چندین دهانه‌اند علاوه بر درزهای انبساطی عرضی باید در طول نیز این تمهیدات در صورت نیاز اجرا شود. ساختمانهایی که دارای عرض بیشتر از ۱۵۰m و یا دارای بیش از ۵ دهانه‌اند باید دارای درز انبساط طولی باشند. درزهای انبساط ترجیحاً باید به وسیله ستون‌های دوبله مستقل طراحی و اجرا شوند.

بین ساختمانهای طویل و ساختمانهای متقاطع با آنها در پلان و یا بین ریل‌های جرثقیل طویل و ریل‌های متقاطع باید درز انبساط در نظر گرفته شود.

به طور کلی، در هنگام ساخت باید ملاحظات اجرایی درزهای انبساطی در نظر گرفته شود. برای تعبیه درزهای انبساطی همان‌طور که عنوان شد می‌توان با ایجاد ستون‌های دوبله در محل‌هایی که طبق ضوابط باید درزهای تعبیه شوند از پیوستگی سراسری قاب جلوگیری به عمل آورد. بدین ترتیب با جداسازی قاب می‌توان این مشکل را برطرف نمود. در غیر این صورت باید نحوه اتصالات و پوشش سقف در محل‌های مشخص شده به نحوی باشد که از تنش های ایجاد شده جلوگیری نمود. اتصالات پرلین به اجزای سقف باید به صورت سوراخ‌های لوبیایی باشد تا امکان حرکت وجود داشته باشد. نکات اجرایی و نحوه نصب این اتصالات باید به طور کامل رعایت شود.

در شرایط خاص که به هر دلیل امکان تعبیه درزهای انبساط در فواصل پیش گفته مقدور نباشد، لازم است که تحلیل سازه تحت اثر تغییرات درجه حرارت مورد انتظار در محل ساختمان، انجام شود. میزان Δt مورد استفاده در این تحلیل بستگی به حداکثر تغییرات سالیانه دما در منطقه و نیز دمای محیط در

هنگام نصب و اجرای ساختمان دارد. مقادیر Δt مابین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد در ایران، معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. در موارد خاص که نیاز به دقت بیشتری در این زمینه باشد، لازم است از کارفرمای طرح استعلام گردد.

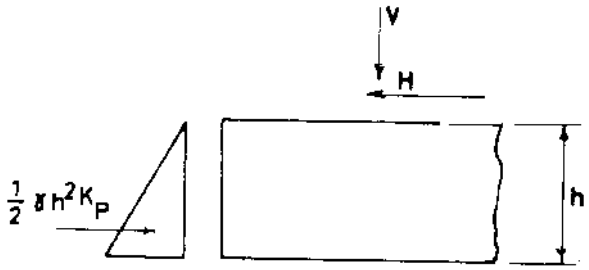
۱۲

طرح پی‌ها و کف ستون‌ها

۱۲-۱ پی‌ها

قابهای شیبدار پی از اهمیت خاصی برخوردار است. چرا که پی‌ها معمولاً دچار رانش افقی هستند، در حالی که بار قائم آنها چندان بزرگ نیست. برای مثال برای قاب‌های تک دهانه با ارتفاع کوتاه و شیب سقف اندک، نیروی قابل توجهی به صورت افقی به پی وارد می‌شود.

برای جلوگیری از رانش پای قاب و پی باید پیش‌بینی‌های لازم انجام شود. در مواردی با گذاشتن کش‌های فلزی که در بتن دفن شده‌اند و یا شناژهای معمولی ساختمانی می‌توان از این رانش جلوگیری بعمل آورد. تجربه نشان داده است که در عمل، این‌گونه تمهیدات یا بسیار پرخرج هستند و یا بر اثر سهل‌انگاری در هنگام اجرا بی‌فایده می‌باشند. استفاده از فشار غیر محرک (Passive) خاک می‌تواند در این موارد بدون آنکه هزینه اضافه‌ای تحمیل شود مؤثر باشد.



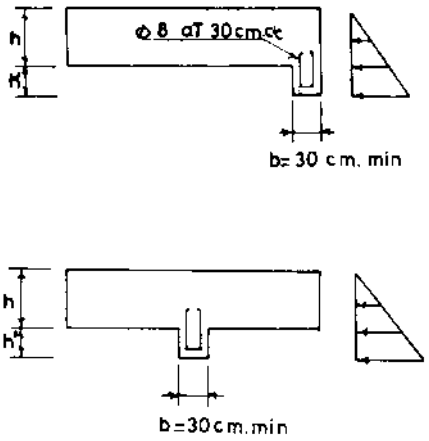
شکل ۱۲-۱ منشا غیرمحرک

در مورد خاکهای خوب، بتن‌ریزی اگر چسبیده به سطح خاکبرداری انجام شود می‌تواند با نیروی وارده مقابله کند. از این‌رو باید سفارش لازم در این مورد داده شود که در خاکهای خوب از قالب‌بندی چوبی و مجزاکردن بتن از خاک خودداری به عمل آمده و در خاکهایی که به علت ریزش مجبور به قالب‌بندی هستیم، بعد از گرفتن بتن و برداشتن قالب‌ها تا فاصله مناسبی از شالوده که قبلاً با نظر مهندس محاسب خاکبرداری شده، با خاک خوب و با روش‌های مناسب، پر و کوبیده شود. اضافه عرض

بتن مگر نسبت به لبه شالوده که در اکثر نقشه‌های سازه‌ای داده می‌شود، علاوه بر ازدیاد حجم خاکبرداری باعث از بین رفتن اتصال خاک و شالوده می‌شود.

استفاده از برشگیر در زیر پی بسیار مؤثر است. هزینه این برشگیر در مقایسه با یک شناژ عرضی که بین پی‌ها گذاشته می‌شود بسیار کم، اما عملکرد آن مؤثر است.

طول این برشگیر می‌تواند هم عرض شالوده باشد و بتن‌ریزی آن با شالوده یکجا انجام شود و در صورتی که پهنای مقطع آن زیادتر گرفته شود حتی می‌توان از گذاشتن میلگردهای برشی صرف‌نظر کرد.



شکل۱۲-۲ استفاده از برشگیر در زیر پی

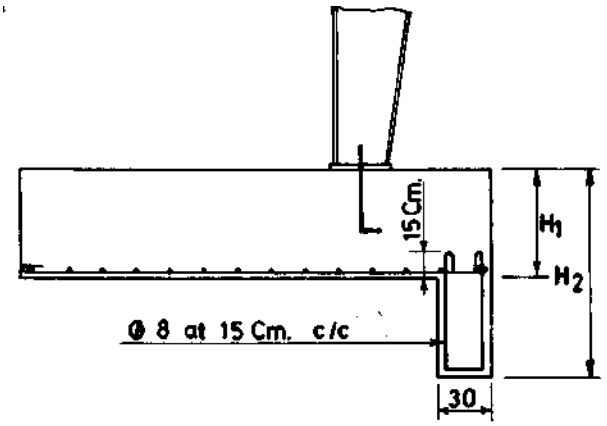
بهتر خواهد بود که این برشگیر در قسمت داخلی شالوده (به داخل دهانه قاب) باشد، تا به هنگام تأثیر نیروی افقی در قسمت کشش واقع شود، نه فشار و مقدار سطح تماس برشی خاک نیز بدین طریق زیاد گردد.

ضریب اصطکاک بین بتن و خاک معمولاً $tag\frac{2}{3}\phi$ فرض می‌شود. در خاکهای چسبنده، چسبندگی بتن و خاک معمولا $\frac{3}{4}c$ تا $c'=\frac{1}{2}c$ فرض است.

c چسبندگی خاک و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک هستند.

باید توجه داشت که در صورت استفاده از فشار غیر محرک در محاسبه پی به هیچ علتی خاک از پـی جدا نگردد.

در شکل۱۲ –۳ نمونه‌ای از طرح عملی زائده برشگیر در لبه پی دیده می‌شود.



شکل۱۲-۳ زائده برشگیر در لبه پی [۱۴]

در موارد فوق باید توجه داشت:

۱ – اگر خاکبرداری در خاک خوب انجام شده، قالب‌بندی انجام نشود.

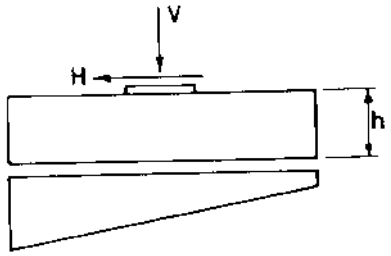
۲ – اگر خاکبرداری در خاک سست انجام شده، پشت شالوده با خاک خوب کوبیده شود.

مسئله دیگری که بخصوص در قابهای شیبدار قابل توجه است، مسئله مقاومت قائم خاک زیر پی در مقابل بارهای افقی و قائم است.

همانطور که می‌دانیم:

$$f=\frac{P}{A}\pm\frac{H\times h}{w}$$

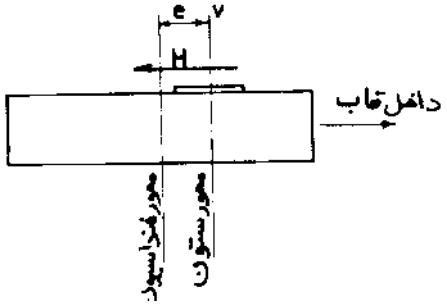
w اساس مقطع افقی شالوده است.



شکل ۱۲-۴ بارهای افقی و قائم

با محاسبه قابهای تک دهانه و یا چند دهانه مشخص خواهد شد که جمله دوم رابطه فوق چقدر در میزان تنش زیر پی مؤثر خواهد بود. با تغییر مکان ستون بر روی پی و با انتقال پی به میزان $e=\frac{H\times h}{V}$ به سمت خارج قاب می‌توان مقدار قابل ملاحظه‌ای در ابعاد پی صرفه‌جویی کرد.

$$f=\frac{P}{A}\pm\frac{H\times h}{w}+\frac{V.e}{w}=\frac{P}{A}$$



شکل ۱۲-۵ تغییر مکان ستون به سمت خارجی قلب

اگرچه باید تاثیر نیروهای باد و زلزله را در ترکیب با بارگذاری‌های مختلف روی چنین شالوده‌ای بررسی کرد، تجربه نشان داده است که چنین ترکیباتی در بارگذاری تعیین کننده نخواهد بود.

مسئله دیگری که در شالوده ها باید در نظر داشت، وجود پایه‌های بتنی یا PEDESTAL است. کوتاهی و چاقی این‌گونه اعضا معمولاً باعث می‌شود که به عنوان یک قطعه صلب برای پایه قاب به حساب آمده و در محاسبه شالوده باید نیروها را معمولاً مؤثر به رأس پایه بتنی دانست. این کار باعث

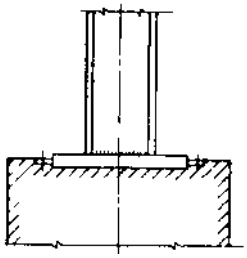
می‌شود که نیروی افقی تأثیر بسیار زیادی در محاسبه شالوده داشته باشد، چرا که مقدار h در روابط فوق به نحو قابل توجهی اضافه می‌شود. در این حالت تأثیر نیروهای جانبی ناشی از عملکرد جرثقیل، باد و زلزله، در تعیین ابعاد و فولادگذاری پی قابل چشم‌پوشی نیست.

آنچه در سطور فوق گفته شد، مربوط به پی‌های سطحی است، در صورت ضعف خاک زیر پی و یا بزرگی نیروهای وارده از ساختمان به پی، لازم است از پی‌های عمیق (شمع) نیز استفاده شود.

۱۲-۲ کف ستون‌ها

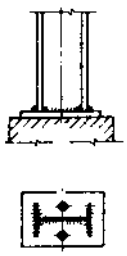
برای اتصال ستون به شالوده و توزیع نیروی متمرکز آن روی سطح شالوده، به طوری که تنش در محل اتکا از حد معینی تجاوز ننماید انتهای تحتانی (پای) ستونهای فلزی را به ورق‌های تقسیم فشار ختم می‌نمایند. انواع اصلی تکیه‌گاه ستون‌ها به دو نوع گیردار و مفصلی تقسیم می‌گردد.

ساده‌ترین نوع تکیه‌گاه مفصلی که برای ستونهای با نیروی محوری بزرگ استفاده می‌شود، عبارت است از یک ورق تقسیم فشار ضخیم که انتهای ستون روی آن قرار داده شده است.



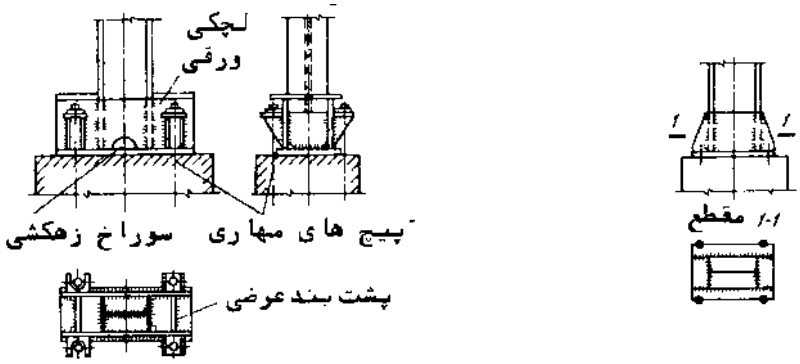
شکل۱۲-۶ کف ستون

برای ستون‌های سبک، تکیه‌گاه طوری طراحی می‌شود که در آنها تمام بارها از طریق جوش به ورق تقسیم فشار منتقل شوند.



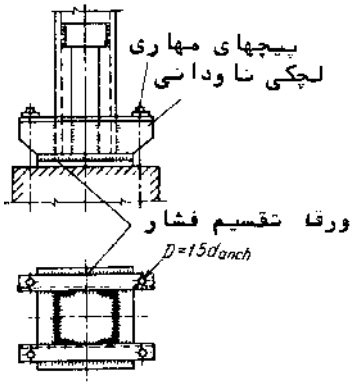
شکل۱۲-۷ انتقال بارها از طریق جوش

در صورتی که بار ستون و برون محوری آن زیاد باشد، اتصال ستون به ورق تقسیم فشار با استفاده از قطعات ورق یا لچکی‌ها انجام می‌پذیرد.



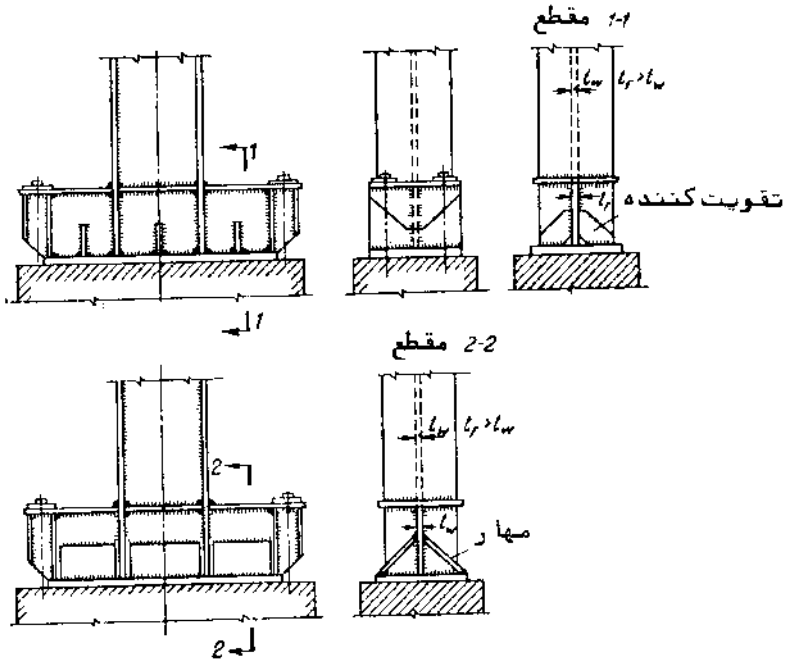
شکل۱۲-۸ استفاده از قطعات ورق و یا لچکی [۱۴]

اگر بار و برون محوری خیلی زیاد باشد حتی می‌توان از پروفیل‌های نورد شده نظیر ناودانی برای اتصال ستون به ورق تقسیم و توزیع یکنواخت بار ستون روی ورق مزبور کمک گرفت.



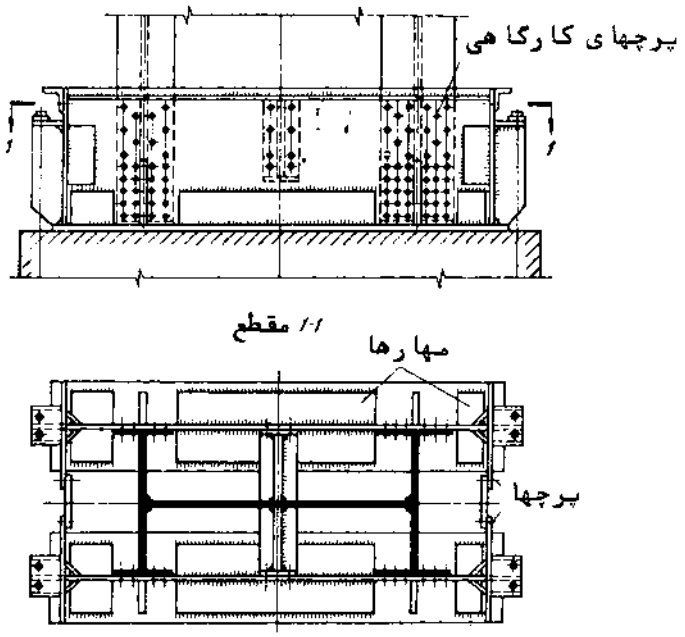
شکل۱۲-۹ استفاده از قطعات تقریبی [۱۴]

برای جوشکاری راحت‌تر، بهتر است که از پایه‌های با یک جان که به وسیله سخت‌کننده یـا مهارهـایی از ورق تقویت شده‌اند استفاده نمود. این نوع پایه‌ها در جهت عمود بر صفحهٔ قاب دارای سختی کمی می‌باشند.



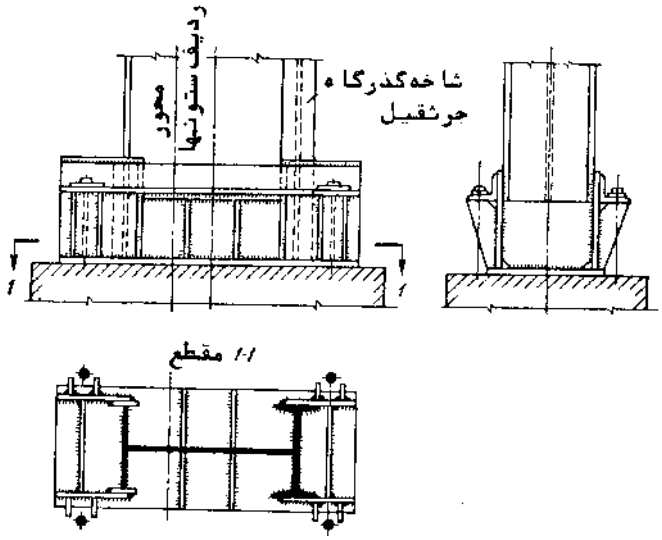
شکل۱۲-۱۰ پایه‌های با جان باز[۱۴]

برای ستون‌های سنگین‌تر می‌توان از پایه‌هایی با دو جان استفاده نمود. در این حالت پایه‌ها دارای ابعاد بزرگ بوده و به این دلیل آنها را نمی‌توان به عنوان یک عضو همراه ستون منتقل نمود.



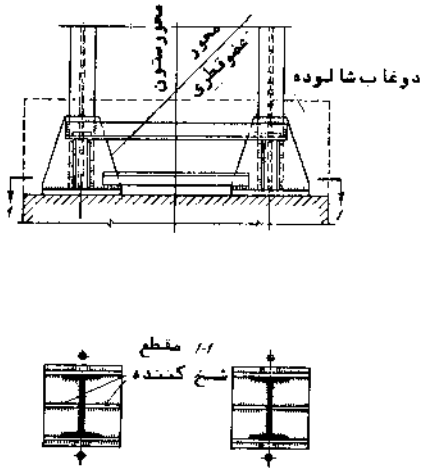
شکل۱۲-۱۱ پایه با دو جان مهار بندی شده[۱۴]

در ستون‌های یکپارچه با مقطع متغیر می‌توان از تکیه‌گاه نشان داده شده در شکل ۱۲-۱۲، استفاده نمود.



شکل۱۲-۱۲ پایه‌های با لچکی‌های مجزا[۱۴]

در ستون‌های مجزا (با جان باز) در ساختمانهای صنعتی می‌توان از دو پایهٔ جدا از هم که به وسیله نبشی کششی بهم متصل شده استفاده نمود، و این در حالی است که فاصله بین دو شاخه یک ستون ساختمان صنعتی زیاد باشد. این نوع پایه نسبت به نوع مشابه یکپارچه اقتصادی‌تر است.



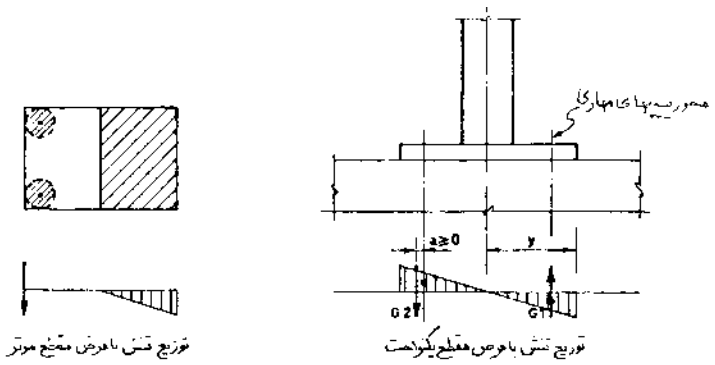
شکل۱۲-۱۳ پایه ستونهای با جان باز[۱۴]

ورق‌های تقسیم فشار به وسیله پیچ‌های مهاری به شالوده متصل می‌شوند. نقش اصلی پیچ‌های مهاری انتقال کشش حاصل از برون محوری بار ستون است. ولی گاه انتقال نیروی برشی وارد بر ستون نیز به پیچ‌های مهاری واگذار می‌شود. ضخامت ورق تقسیم فشار به طور متعارف ۱۴ تا ۳۰ میلیمتر بوده و برای ورق پای بدون پشت بند لچکی ستون‌ها گاه تا ۶۰ میلیمتر نیز می‌رسد. ضخامت لچکی‌ها ۸ تا ۱۶ میلیمتر بوده و گاه تا ۲۴ میلیمتر نیز برای لچکی‌ها و پشت‌بندها مصرف می‌گردد. در ساختمانهای معمولی قطر پیچ‌های مهاری معمولاً ۱۶ تا ۳۲ میلیمتر بوده و در ساختمانهای صنعتی تا ۱۰۰ میلیمتر نیز می‌رسد.

در ساختمانهای معمولی، پیچ‌های مهاری از سوراخ‌هایی که دورورق کف ستون تعبیه می‌شوند عبور نموده و مستقیماً روی آن بسته می‌شوند، ولی در ساختمانهای صنعتی، وقتی که تنش‌های وارده در پای ستون زیاد باشد، پیچ‌های مهاری را در خارج ورق کف ستون قرار داده و آنها را به کمک شاهین به ورق تقسیم فشار تکیه می‌دهند. به عبارت دیگر، پیچ‌های مهاری روی شاهین بسته شده و شاهین نیروی آنها را روی ورق تقسیم فشار اعمال می‌نماید.

۱۲-۲-۱ نکاتی پیرامون طرح و محاسبه کف ستون‌ها و پیچ‌های مهاری آنها

به طور معمول وقتی که برون محوری بار ستون کم باشد، با قبول پیوسته بودن شالوده و ستون و با کاربرد فرمولهای مقطع یکنواخت پس از محاسبه توزیع تنش در زیر ورق کف ستون، ضخامت ورق کف ستون را تعیین می‌نمایند.



شکل۱۲-۱۴ توزیع تنش در زیر ورق کف ستون

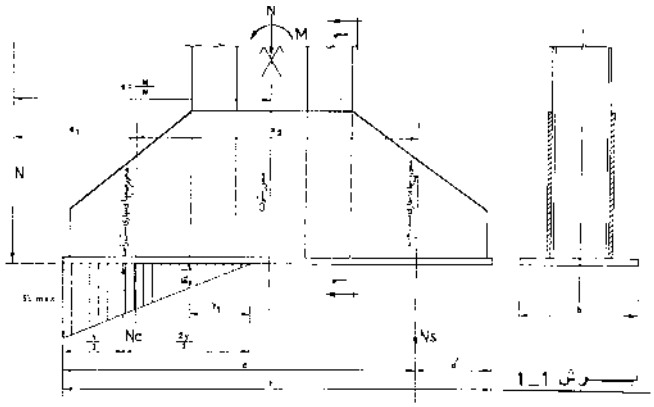
۱۲-۲-۲ تعیین ابعاد ورق کف ستون و توزیع تنش در زیر آن

برای تعیین ابعاد ورق کف ستون و تنش زیر آن، در ستونهایی که به خمش مرکب، یعنی تحت اثر توام نیروی محوری N و لنگر خمشی M یا تحت اثر بار برون محور کار می‌کنند به طریق زیر عمل می‌نماییم.

ابتدا سطح لازم برای کف ستون را از تقسیم بار ستون به تنش مجاز بتن شالوده به دست آورده، سپس با توجه به مقادیر نیروها و با رعایت شرایط عملی مربوط به پیچ‌های مهاری، b عرض تقریبی کف ستون فرض کرده و h طول تقریبی آن در صفحه خمش را به دست می‌آوریم.

در این روش، در واقع افزایش تنش در یک سمت کف ستون به علت اثر لنگر خمشی را معادل افزایش تنش مجاز موضعی بر اثر همکاری بتن موجود در اطراف محل اتکا فرض می‌نماییم.

در صورتی که مقادیر b و h متناسب بودند، مقدار برون محوری را محاسبه کرده و با احتساب نسبت $\frac{e}{h}$ مقادیر تنش محاسبه خواهد شد. در صورت غیر قابل قبول بودن مقدار تنش باید با افزودن عرض یا طول ورق محاسبات را تکرار کرده و با مشخص شدن مقدار نیروی کششی می‌توان مقطع پیچ‌های مهاری را محاسبه نمود (جزئیات بیشتر در مرجع [۱۴]).

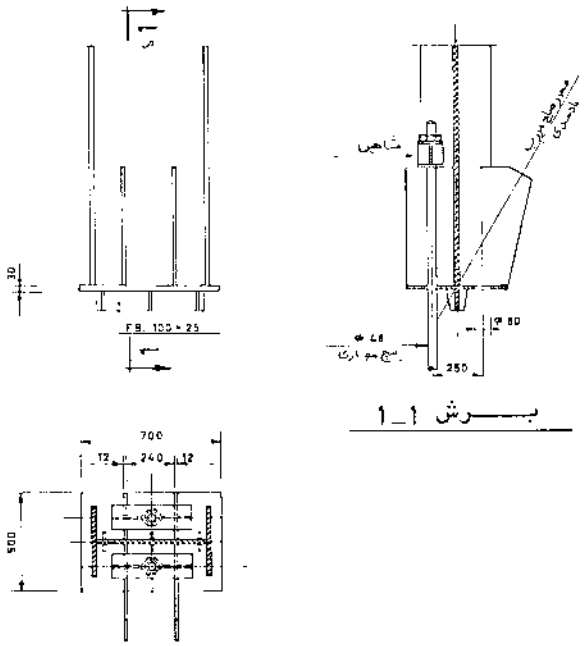


شکل۱۲-۱۵ توزیع تنش در زیر ورق کف ستون [۱۴]

نظر به اینکه بتن، در مقابل فشار قطری پیچ‌های مهاری، یعنی فشاری که در امتداد قطر مقطع و توسط پیچ به بتن وارد می‌شود ضعیف بوده و خیلی سریع لب غلاف بتن خرد می‌شود، در صورتی که کف ستون بدون واسطه روی شالوده بتن یا بتن مسلح تکیه کرده باشد، یعنی قطعه واسطه فلزی جهت اتکای پیچ‌های مهاری در شالوده کار گذاشته نشده باشد، انتقال نیروی برشی پای ستون به شالوده نباید از طریق پیچ‌های مهاری انجام پذیرد. در این حالت باید ترتیبی اتخاذ گردد که کف ستون بتواند از طریق اصطکاک نیروی برشی را انتقال دهد. ضریب اصطکاک ورق کف ستون روی بتن برای محاسبه مقدار برشی که می‌تواند از این طریق منتقل گردد، معمولاً ۰/۴ در نظر گرفته می‌شود.

۱۲-۲-۳ انتقال برش به شالوده با استفاده از زبانه

گاه اتفاق می‌افتد که به علت زیاد بودن نیروی برشی و یا کم بودن نیروی محوری ستون، نیروی اصطکاک کف ستون روی شالوده کوچکتر از نیروی برشی بوده و نمی‌تواند با آن مقابله نماید. در این حالت مطابق شکل (۱۲-۱۶) زائده‌ای در زیر کف ستون جوش می‌نمایند که در سطح بالنسبه وسیعی روی بتن تکیه کرده و انتقال نیروی برشی کف ستون را به شالوده میسر می‌سازد. این حالت، بیشتر در ستون‌های قابهایی که بادبندی شده‌اند پیش می‌آید که حتی گاهی نیروی محوری آنها کششی است. در این نوع ستون‌ها، زبانه زیرین کف ستون علاوه بر انتقال نیروی برشی به بتن، کار کردن محل اتصال ستون به شالوده را به صورت مفصل، تسهیل می‌نماید.



شکل ۱۲-۱۶ انتقال برش به شالوده با استفاده از زبانه [۱۴]

۱۲-۲-۴ تعیین طول پیچ‌های مهاری

طول پیچ‌های مهاری شامل دو قسمت است:

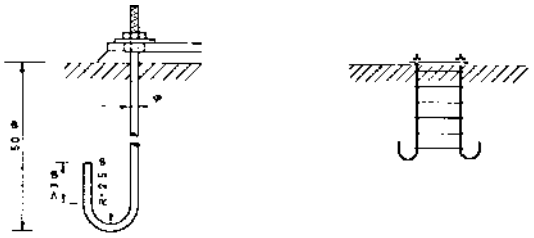
قسمت اول، معمولاً در طول ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر برای پیچ‌های مهاری متعارف و گاه تا ۳۰ سانتیمتر برای پیچ‌های مهاری به قطر بزرگ در ساختمانهای صنعتی، دنده می‌شوند. این قسمت از بتن بیرون مانده و پس از تنظیم کف ستون، بسته به مورد با مهره بدون واسطه واشر روی آن بسته می‌شود.

قسمت دوم، در داخل بتن شالوده قرار می‌گیرد. طول این قسمت باید به اندازه‌ای باشد که بتواند مهاری لازم برای انتقال نیروی کششی به شالوده را به نحو مطلوب تأمین نماید. این طول تابع شکل پیچ مهاری بوده و شکل پیچ مهاری خود تابع ضخامت شالوده، شرایط میلگردبندی شالوده، قطر پیچ

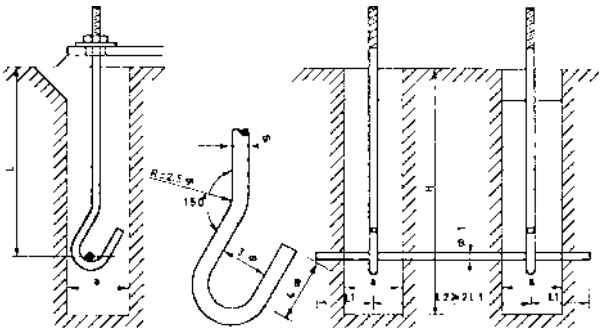
مهاری، مقدار و ماهیت نیروهایی که به پیچ مهاری وارد می‌شوند و بالاخره تابع نحـوه نصـب پـیچ‌هـای مهاری است.

در ساختمانهای صنعتی، بسته به مورد باید فاصله ورق تحتانی و فوقانی کف ستون و یا فاصله سـطح فوقانی شالوده تا شاهین را نیز به دو طول فوق اضافه نمود.

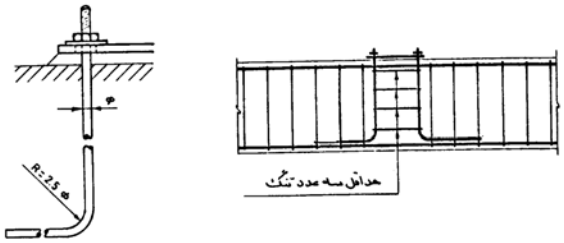
انواع پیچهای مهاری در شکل‌های ۱۲-۱۷ تا ۱۲-۲۲ دیده می‌شود.



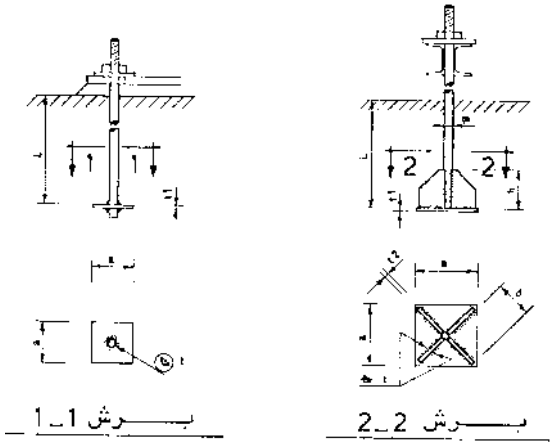
شکل۱۲-۱۷ پیچ مهاری با قلاب انتهایی [۱۴]



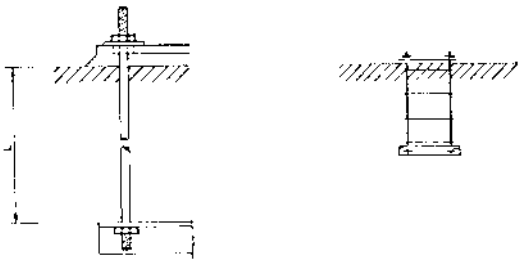
شکل۱۲-۱۸ پیچ مهاری با قلاب انتهایی و رکاب[۱۴]



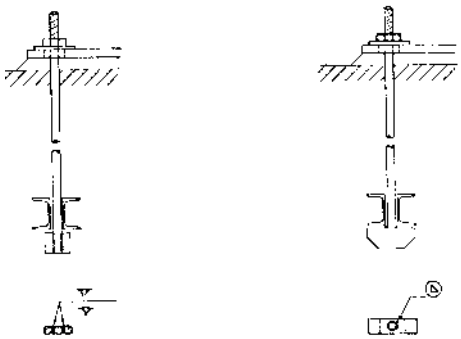
شکل۱۲-۱۹ پیچ مهاری با قلاب انتهایی و رکاب[۱۴]



شکل۱۲-۲۰ پیچ مهاری با صفحه مهاری[۱۴]



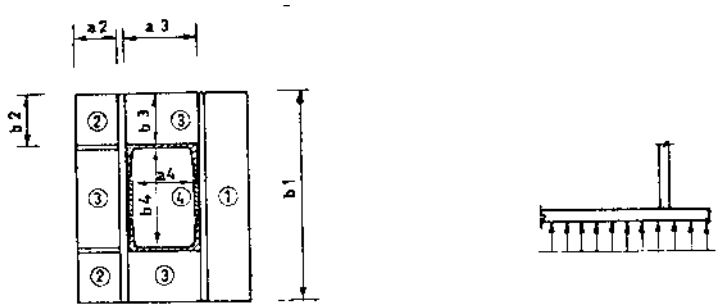
شکل۱۲-۲۱ پیچ مهاری با نبشی مهاری[۱۴]



شکل۱۲-۲۲ پیچ مهاری کلنگی[۱۴]

۱۲-۲-۵ محاسبه ضخامت ورق کف ستون

ورق کف ستون به صورت یک ورق که روی مقطع ستون و پشت‌بندها تکیه داشته و تحت اثـر بـاری از پائین به سمت بالا قرار دارد محاسبه می‌شود. این ورق به خمـش کـار کـرده و از لحـاظ محـل اتکـاء ۴ منطقه متفاوت در آن تمیز داده می‌شود.



شکل۱۲-۲۳ تقسیم محل اتکا به ۴ منطقه متفاوت [۱۴]

منطقه ۱، فقط در یک سمت اتکاء داشته و به صورت طره کار می‌نماید.

منطقه ۲، در دو طرف متکی است.

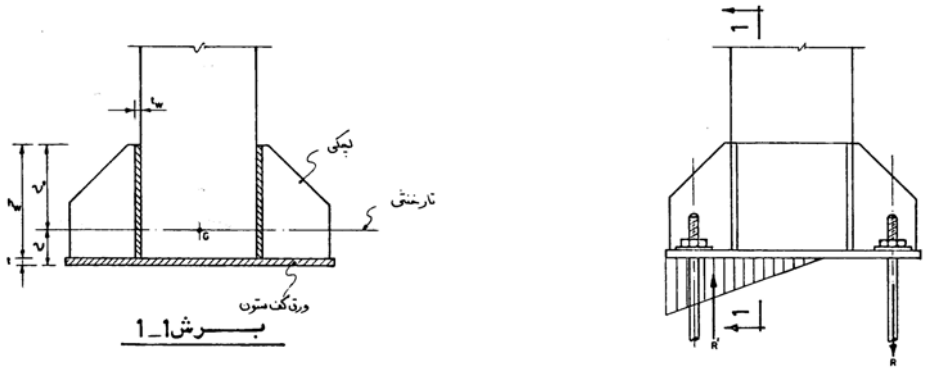
منطقه ۳، در سه طرف متکی است.

بالاخره منطقه ۴، در چهار طرف اتکاء دارد.

با شناسایی نمودار توزیع تنش در زیر ورق کف ستون، بارگذاری‌های هر یک از مناطق چهار گانه فوق نیز شناخته می‌شوند. در صورتی که توزیع تنش در زیر ورق کف ستون یکنواخت باشد، بار وارد به هر یک از این قسمت‌ها هم یکنواخت بوده و شدت آن مساوی مقدار تنش در زیر ورق خواهد بود. در صورتی که توزیع تنش در زیر ورق کف ستون ذوزنقه شکل و یا مثلثی باشد، طبعاً توزیع بار در مناطق مختلف هم یکنواخت نخواهد بود، ولی برای تسهیل در کار و محاسبه، بارگذاری هر منطقه را یکنواخت در نظر گرفته و شدت بار را، اگر منطقه کوچک باشد، مساوی بزرگترین مقدار تنش و اگر منطقه بزرگ و اختلاف تنش در دو انتهای منطقه زیاد باشد، مساوی مقدار متوسط آن اختیار می‌نمایند. به عبارت دیگر، همیشه محاسبه ورق در مناطق مختلف به ازای بار یکنواخت گسترده انجام می‌گیرد. برای جزئیات بیشتر مراجعه شود به [۱۴]

۱۲-۲-۶ لچکی‌ها و پشت‌بندها

پس از تعیین عرض، طول و ضخامت ورق کف ستون باید با توجه به نیروهای وارد به آن، ابعاد لچکی‌ها و پشت‌بندها را تعیین نمود. این کار، از طریق کنترل تنش در مقطعی که از برِ ستون می‌گذرد انجام می‌پذیرد. مقطع مورد کنترل مرکب از ورق کف ستون و لچکی‌هاست. این مقطع باید در مقابل اثر توام لنگر خمشی و تلاش برشی مورد محاسبه و کنترل قرار گیرد.



شکل ۱۲-۲۴ لچکی‌ها و پشت‌بندها [۱۴]

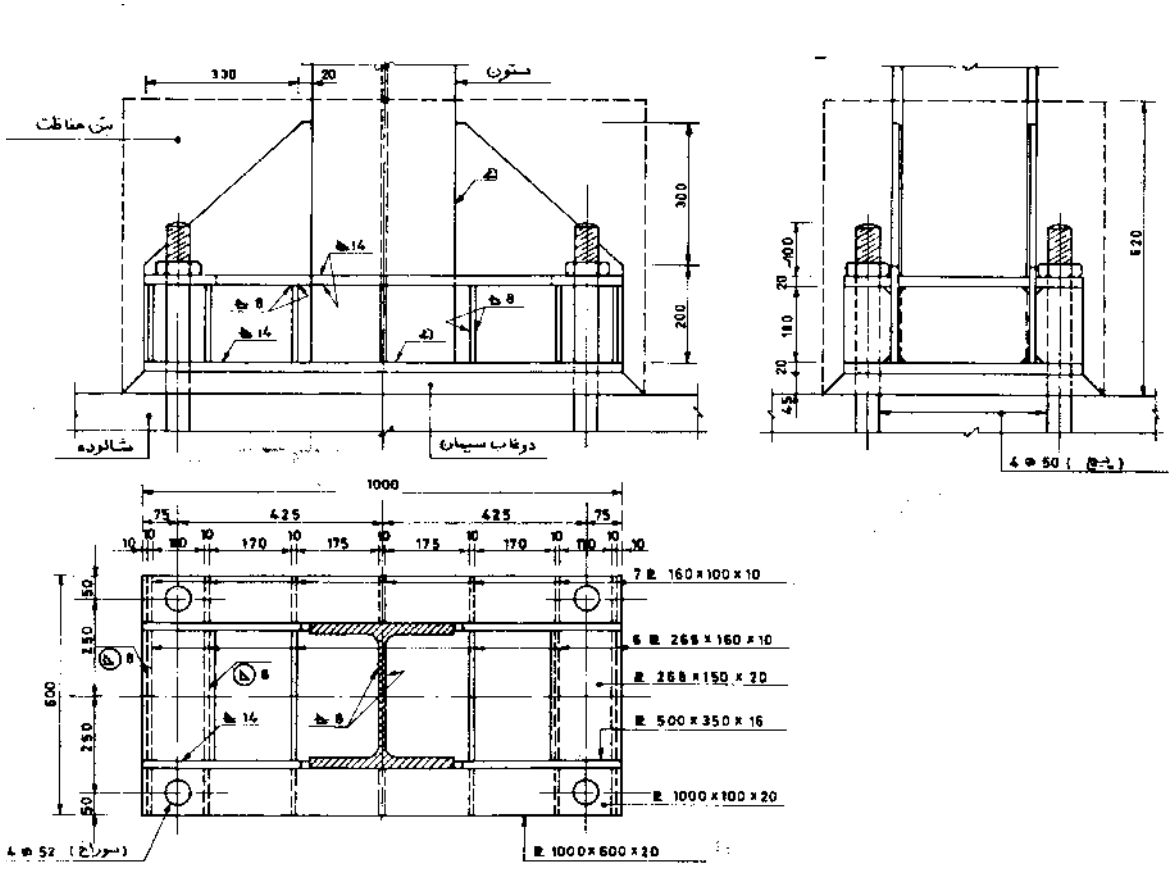
قبل از شروع محاسبه ابعاد لچکی‌ها، باید موقعیت آنها مورد بررسی قرار گرفته و موقعیت پیچ‌های مهاری طوری اختیار شود که در موقع نصب، پیچاندن مهره‌ها و آچارکشی آنها به راحتی میسر باشد. برای تأمین این منظور داشتن حداقل ۱/۵ϕ فاصله از محور پیچ تا بر پشت‌بندها ضروری است که ϕ مساوی قطر پیچ است.

در سمت فشاری کف ستون، لنگر خمشی و تلاش برشی موثر در مقطع از فشار وارد به زیر کف ستون ناشی می‌شوند. در سمت کششی، لنگر خمشی و تلاش برشی از کششی که به وسیله پیچ‌های مهاری اعمال می‌گردد، به دست می‌آیند و علی الاصول باید مقطع در هر دو حالت کنترل گردد. ولی نظر به اینکه کف ستون معمولاً قرینه ساخته می‌شود و تلاشهای ناشی از اثر پیچ‌های مهاری از تلاشهای منتج از فشار زیر کف ستون کمتر است، به طور متعارف کنترل سمت فشاری کف ستون کافی تلقی

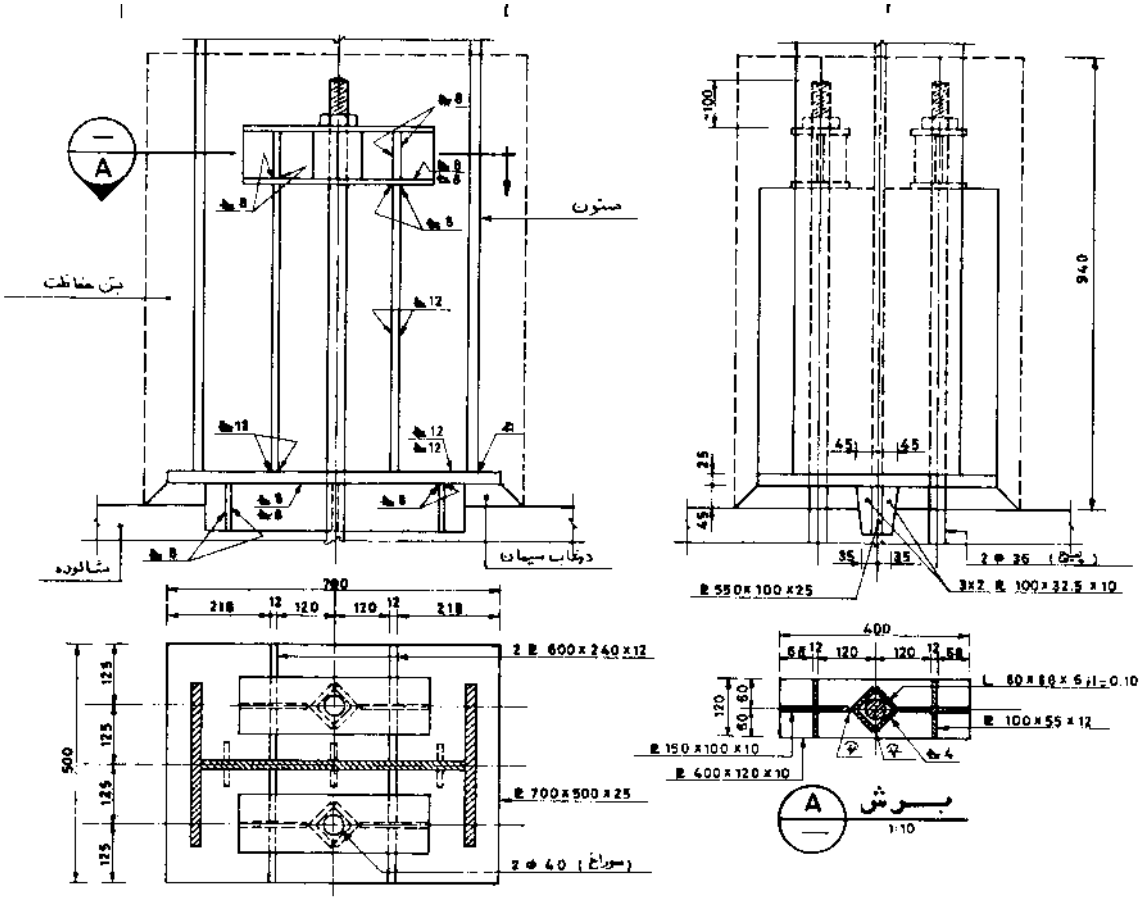
می‌گردد. ولی ستونهای قابهایی که بادبندی شده‌اند از این قاعده مستثنا می‌باشند. بـرای جزئیـات بیشـتر محاسبات به [۱۴] رجوع شود.

۱۲-۲-۷ نمونه‌های اجرا شده

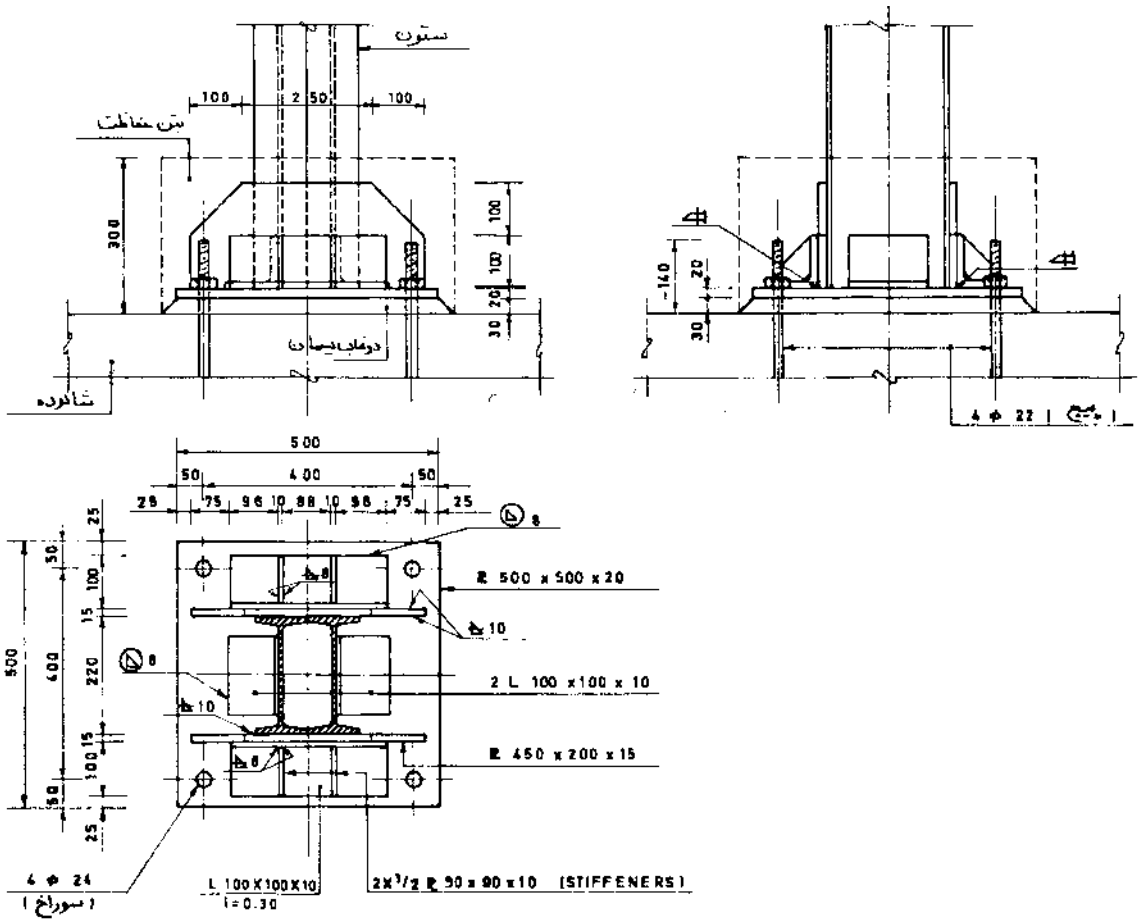
نقشه‌های جزئیات تعدادی از انواع کف ستون‌ها در صفحات بعدی آورده شده است.



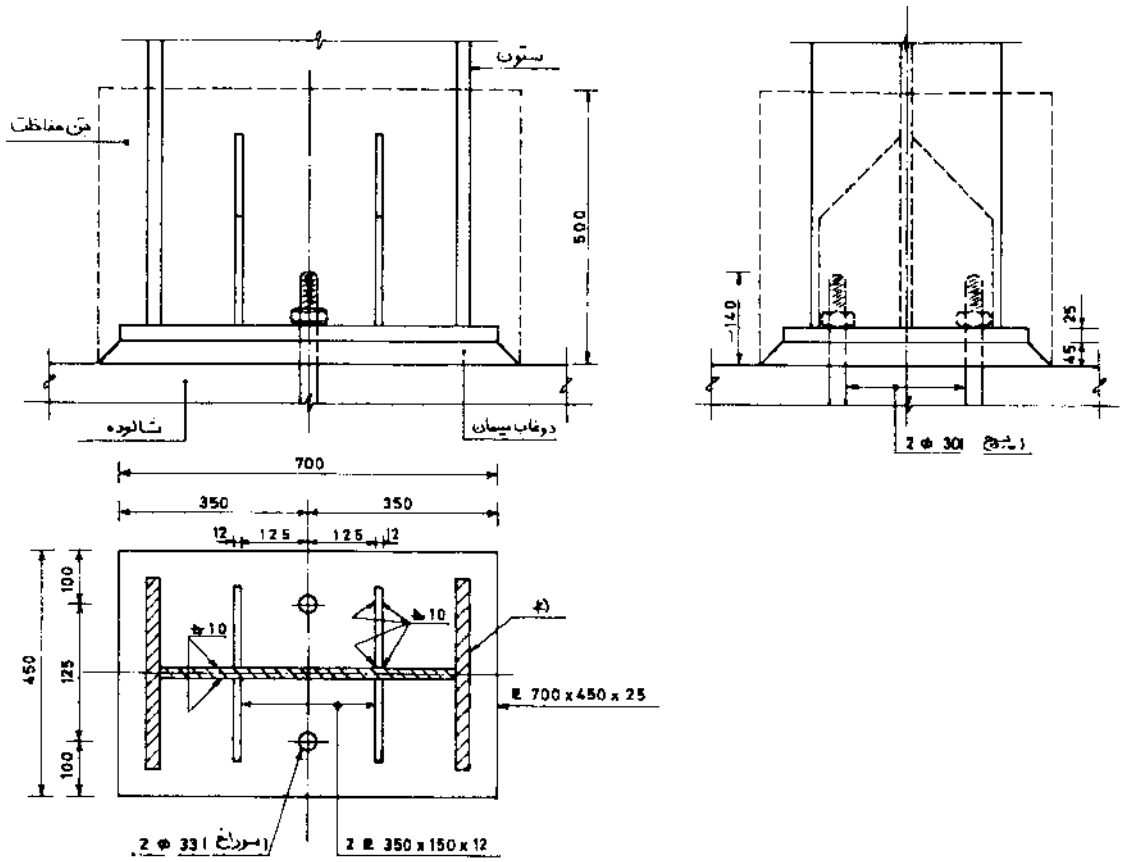
شکل۱۲-۲۵ کف ستون نوع اقتباس از کارخانه ماشین سازی تبریز[۱۴]



شکل ۱۲-۲۶ کف ستون نوع اقتباس از کارخانه ماشین‌سازی تبریز[۱۴]



شکل۱۲-۲۷ کف ستون نوع اقتباس ازتوسعه کارخانه گچ تهران[۱۴]



شکل۱۲-۲۸ کف ستون نوع اقتباس از کارخانه ماشین سازی تبریز[۱۴]

فهرست منابع

۱- مگردیچیان، آرگ. "طرح و محاسبه قابهای شیبدار و قوسی فلزی"، دفتر تحقیقات و استانداردهای فنی، نشریه شماره ۶۱، اردیبهشت ماه ۱۳۵۵.

۲- فخر یاسری، سیروس، پور و شسب. رستم، "طرح و محاسبه سالنهای صنعتی سبک سنگین" انتشارات دهخدا، تهران، بهار۱۳۸۰.

۳- کرمی، محمد جعفر. "طرح و محاسبه قابهای شیبدار"، ۱۳۶۵.

۴- وارسته، مهدی. "طرح و محاسبه سوله"، انتشارات اندیشمند، تهران، ۱۳۶۲

۵- وارسته، مهدی. "طرح و محاسبه قابهای شیبدار"، انتشارات آستان قدس رضوی، زمستان ۶۸.

۶- اپل، جیمزم. آصف وزیری، اردوان. مترجم، "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی"، انتشارات تندر، تهران، ۱۳۷۲

۷- میرقادری، سید رسول. مترجم "آئین نامه سازه‌های فولادی AISC" جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. زمستان ۶۸

۸- طاحونی، شاپور. "طراحی سازه‌های فولادی"، کتابفروشی دهخدا، بهار ۷۴.

۹- "مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۱۰،طرح و اجرای ساختمانهای فولادی"، دفتر نظامات مهندسی، ۱۳۷۴

۱۰- "راهنمای مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی"، وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران.

۱۱- "آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله"، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آذر ۱۳۷۸

۱۲- "آئین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی" تجدید نظر در استاندارد ۵۱۹، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۷۹.

۱۳- "مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی" نشریه شماره ۵۵، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، تهران، ۱۳۷۳.

۱۴- قالیبافیان، مهدی. "طرح و محاسبه و اجرای کف ستون‌ها"، کتابفروشی دهخدا، تهران، ۱۳۶۸.

15- "Guide for the Design and Construction of Mill Buildings", AISE Technical Report No.13, 1979 Association of Iron and Steel Engineers, Pittsburgh, Pa,USA

16- "Low Rise Building Systems Manual", Metal Building Manufacturers Association, MBMA, 1996, Cleveland , Ohio , USA

17- ALEXANDER NEW MAN, "Metal Building Systems Design and Specifications", 1997.

18- "International Building Code 2000", International Code Council lnc. USA

19- "Uniform Building Code (1997)", International Conference of building officials USA.

20- "Specification for EOT Cranes for steel Mill service", AISE Technical Report No.6, 2000, Association of Iron and Steel Engineers.

21- Salmon and Johnson, "Steel Structures Design and Behavior", Intext Educational Publishers.

22- Ballio, G., Poggi, C., and Zonon, P. (1981) "Elastic Plastic Bending of Plates Subjected to Concentrated Loads", Joints in Structural Steelwork, John Wiley and Sons, New York. NY. Quoted from Ref .16 .

23- "Specifications for Top Running Bridge & Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Traveling Cranes". CMAA Specification # 70 (1994) Crane Manufactures Association of America, Inc., Affiliate of Material Handling Institute, 8720 Red Oak Boulevard, Suite 201, Charlotte, NC 28217-3957. Quoted from Ref .16 .

24- "Specifications for Underhung Cranes and Monorail Systems", ANSI MH27.1-1981 (1981) Monorail Manufacturers Association, Inc., 8720 Red Oak Boulevard, Suite, Charlotte, NC 28217- 3957. Quoted from Ref .16 .

25- "Monorails and Underhung Cranes", ANSI B30.11- 1988 (1988) American Society of Mechanical Engineers, 354 East 47th Street, New York, NY 10017-2392. Quoted from Ref .16 .

26- "Overhead and Gantry Cranes (Top Running Bridge, Single Girder, Underhung Hoist)", ANSI B30.17- 1980 (1980) American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York, NY 10017- 2392. Quoted from Ref .16 .

27- "Overhead and Gantry Cranes (Top Running Bridge, Single or Multiple Girder, Top Running Trolley Hoist)", ANSIB 30.2- 1900 (1900) American Society of Mechanical Engineers, ASCE Journal of the Structural Division, 345 East 47th Street, New York, NY 10017, May. Quoted from Ref .16 .

28- "Specification for Top Running and Under Running Single Girder Electric Overhead Traveling Cranes Utilizing Under Running Trolley Hoist", CMAA Specification # 74 (1994) Crane Manufacturers Association of America, Inc., Affiliate of Material Handling Institute, 8720 Red Oak Boulevard, Suite 201, Charlotte, NC 28217- 3957. Quoted from Ref .16 .

29- "Manual of Steel Construction Allowable Stress Design", American Institute of Steel Construction, Inc., One East Watcher Drive, Suite 3100, Chicago, IL 60601- 2001, 9th Edition. Quoted from Ref .16 .

30- "Guide for the Design and Construction of Mill Buildings", AISE Technical Report No. 13 (1991) Association of Iron and Steel Engineers, Three Gateway Center, Suite 2350, Pittsburgh PA 15222, August. Quoted from Ref .16 .

31- Morrell ,M.L. and Lee,G.C. "Allowable Stress for Web-Tapered Beams with Lateral Restrains", WRC Bulletin No.192,Feb.1974 .

32- Lee,G.C. , Morrell ,M.L. and Katter , R.L., "Design of Tapered Members", WRC Bulletin No.173,June.1972 .

33- "Specification for Structural Steel Buildings , Allowable Stress Design", 9th Edition , AISC 1990 .

34- "Structural Steel Welding Code", ANSI / AWS D1-1-90 , American Welding Society .

35- K.K.Mukhanov, "Design of Metal Structures", Mir Publishers Moscow, 1968

36- "Architectural Graphic Standards", AIA, The American Institute of Architects, Charles G.Ramsey and Harold R.Sleeper, sixth Edition, 1966

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی – فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

معاونت امور فنی

فهرست نشریات منتشر شده در سالهای اخیر
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ملاحظات	نوع الاستوراد	تاريخ نشر الإعلان		رقم الإعلان	عنوان المشروع
		آخر	أول		
تاريخ فتح العروض	أ		٢٠١٣/٠٦	١٦٦	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٦٧	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثانية
	أ		٢٠١٣/٠٦	١٦٨	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثالثة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٦٩	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الرابعة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٠	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخامسة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧١	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السادسة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٢	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السابعة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٣	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثامنة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٤	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة التاسعة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٥	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة العاشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٦	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الحادية عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٧	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثانية عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٨	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثالثة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٧٩	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الرابعة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٠	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخامسة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨١	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السادسة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٢	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السابعة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٣	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثامنة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٤	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة التاسعة عشرة
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٥	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة العشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٦	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الحادية والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٧	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثانية والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٨	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثالثة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٨٩	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الرابعة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٠	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخامسة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩١	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السادسة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٢	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السابعة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٣	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثامنة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٤	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة التاسعة والعشرون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٥	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٦	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الحادية والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٧	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثانية والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٨	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثالثة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	١٩٩	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الرابعة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٠	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخامسة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠١	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السادسة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٢	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السابعة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٣	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثامنة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٤	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة التاسعة والثلاثون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٥	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٦	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الحادية والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٧	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثانية والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٨	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثالثة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢٠٩	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الرابعة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١٠	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخامسة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١١	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السادسة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١٢	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة السابعة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١٣	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الثامنة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١٤	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة التاسعة والأربعون
	ب		٢٠١٣/٠٦	٢١٥	مشروع بناء المدارس في الأحياء الشرقية – المرحلة الخمسون

العنوان المنشور	رقم الإيداع المنشور	تاريخ النشر الفعلي		نوع الوسيط المستورد	ملاحظات
		الفعلي	المتوقع		
فهرس الخدمات الهندسية المعدة للتأجير (قاعة الاجتماعات)	٢٠٢٤٠٠١		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
دليل نظام التشغيل الخاص بالأجهزة	٢٠٢٤٠٠٢		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
مقالات في الطب الشرعي	٢٠٢٤٠٠٣		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
أ- دستور العمل التعاوني المعدل ب- دستور العمل التعاوني الجديد	٢٠٢٤٠٠٤		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
مجلة الأبحاث الزراعية المجلد ١ (٢٠٢٤) العدد ١ المجلد ١ (٢٠٢٤) العدد ٢ المجلد ١ (٢٠٢٤) العدد ٣ المجلد ١ (٢٠٢٤) العدد ٤ المجلد ٢ (٢٠٢٥) العدد ١ المجلد ٢ (٢٠٢٥) العدد ٢ المجلد ٢ (٢٠٢٥) العدد ٣ المجلد ٢ (٢٠٢٥) العدد ٤	٢٠٢٤٠٠٥		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
دستور العمل وسياسات الموارد البشرية	٢٠٢٤٠٠٦		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
راهنماي آزمايشگاه ها داده‌بندي رسوب	٢٠٢٤٠٠٧		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
معيارهاي برنامه‌ريزي و گزارش‌هاي ساليانه	٢٠٢٤٠٠٨		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
شرايط گرمايش (DESIGN CONDITIONS) براي مناطق سردسير ! تعدادي از شهرهاي ايران	٢٠٢٤٠٠٩		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
راهنماي بهره‌برداري از سازه‌هاي حائل بتني	٢٠٢٤٠١٠		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
راهنماي تعيين بار برف روي سقف‌ها به روش ايستا و ديناميكي	٢٠٢٤٠١١		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
دستور العمل نمونه‌برداري آب	٢٠٢٤٠١٢		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
روابط بهداشتي و ايمني در سيستم‌هاي فاضلاب	٢٠٢٤٠١٣		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
شرح خدمات قاعة الاجتماعات حد بتن و حرارت رودخانه ها مدل	٢٠٢٤٠١٤				
راهنماي بررسي ايستايي سازه‌هاي بتني در آبگوندهاي سدهاي خاكي و روش هاي تعمير آن	٢٠٢٤٠١٥		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
راهنماي انتخاب واحدهاي حرارتي تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب شهري	٢٠٢٤٠١٦		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
فني مهندسي زلزله‌سازي راه‌آهن	٢٠٢٤٠١٧		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
فني مهندسي راهداري	٢٠٢٤٠١٨		٢٠٢٤/٠١/٠١	١	
روابط مهندسي آبياري و زهكشي	٢٠٢٤٠١٩		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
روابط هيدروليكي آبياري ساختمان‌هاي تنظيم كننده و آبگيرها در خطوط روباز	٢٠٢٤٠٢٠		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
فهرس خدمات مهندسي مرحله ساخت آبياري و زهكشي	٢٠٢٤٠٢١				
راهنماي بهره‌برداري و نگهداري از تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب شهري	٢٠٢٤٠٢٢		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
راهنماي تعيين و انتخاب وسائل و ابزار آزمايشگاه تصفيه‌خانه‌هاي فاضلاب	٢٠٢٤٠٢٣		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
روابط آبياري سيستم‌هاي آبياري تحت فشار	٢٠٢٤٠٢٤		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
آبياري بناهاي درماني (٢) - راهنماي آبياري	٢٠٢٤٠٢٥		٢٠٢٤/٠١/٠١	٣	
آبياري بناهاي درماني (٢) - راهنماي برنامه‌ريزي و آبياري معماري					

ملاحظات	نوع الكتاب المستورد	تاريخ النشر		رقم الكتاب	عنوان المنشور
		آخر	حالي		
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠١	مرافق العناية المركزة للأطفال I.C.U ٦٠١-٠٠١
					دليل الممرضة المسؤولة عن وحدة العناية المركزة للأطفال I.C.U
					دليل الممرضة المسؤولة عن وحدة العناية المركزة للأطفال I.C.U
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٢	قسم الأطفال الخدج في المستشفيات ٦٠١-٠٠٢
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدج في المستشفيات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدج في المستشفيات
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٣	قسم الأطفال حديثي الولادة NICU ٦٠١-٠٠٣
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال حديثي الولادة NICU
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال حديثي الولادة NICU
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٤	قسم الأطفال الجراحة ٦٠١-٠٠٤
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الجراحة
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الجراحة
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٥	قسم الأطفال الباطنة ٦٠١-٠٠٥
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الباطنة
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الباطنة
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٦	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠٠٦
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٧	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠٠٧
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٨	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠٠٨
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠٠٩	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠٠٩
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٠	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٠
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١١	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١١
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٢	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٢
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٣	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٣
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٤	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٤
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٥	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٥
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٦	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٦
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٧	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٧
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٨	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٨
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠١٩	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠١٩
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
			٢٠١٣	٦٠١-٠٢٠	قسم الأطفال الخدمات ٦٠١-٠٢٠
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات
					دليل الممرضة المسؤولة عن قسم الأطفال الخدمات

عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار: اول	تاریخ انتشار: آخر	نوع دستورالعمل	ملاحظات
آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران (۱۱ جلد) ۱- ملاحظات عمومی و بارگذاری ۲- مصالح ۳- مکانیک خاک و پی ۴- اصول و مبانی ملاحظات و طراحی بنادر ۵- موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی ۶- سازه و تجهیزات پهلوگیری ۷- آبراهه و حوضچه ۸- تسهیلات و تجهیزات بهره‌برداری و پشتیبانی بنادر ۹- لوله‌های دریایی ۱۰- ملاحظات زیست‌محیطی بنادر ۱۱- سازه و تجهیزات تعمیر شناور	۳۰۰	۱۳۸۵		۳	
مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن	۳۰۱	۱۳۸۴		۱	
دستورالعمل ملاحظات هیدرولیکی و آبشستگی پل	۳۰۲	۱۳۸۴		۳	
مشخصات فنی عمومی کارهای خطوط لوله‌های آب و فاضلاب شهری	۳۰۳	۱۳۸۵		۱	
راهنمای طراحی نمای ساختمان‌های عمومی	۳۰۴	۱۳۸۵			
شرح خدمات مطالعات برنامه‌ریزی و تهیه طرح‌های تفصیلی – اجرایی جنگلداری جنگل‌های شمال کشور	۳۰۵	۱۳۸۵			
آماده‌سازی و تمیزکاری سطوح فلزی قبل اجرای پوشش	۳۰۶	۱۳۸۴		۳	
راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه	۳۰۷	۱۳۸۴		۳	
راهنمای طراحی دیوارهای حائل	۳۰۸	۱۳۸۴		۳	
راهنمای طراحی سازه‌ای تونل‌های آب‌بر	۳۰۹	۱۳۸۴		۳	
دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور	۳۱۰	۱۳۸۴			
راهنمای حفاظت کاتدی خطوط لوله و سازه‌های فولادی	۳۱۱	۱۳۸۴		۳	
ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی	۳۱۲	۱۳۸۴		۳	
فهرست خدمات مهندسی مطالعات بهسازی بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری	۳۱۳	۱۳۸۴		۳	
ارزیابی ظرفیت وام‌گیری کشاورزان در طرح‌های آبیاری و زهکشی	۳۱۴	۱۳۸۴			
راهنمای نگهداری سامانه‌های زهکشی	۳۱۵	۱۳۸۴			
راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه	۳۱۶	۱۳۸۴		۳	
ضوابط طراحی هیدرولیکی ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های آبیاری و زهکشی»	۳۱۷	۱۳۸۴		۳	
دستورالعمل کنترل کیفیت در تصفیه‌خانه‌های آب	۳۱۸	۱۳۸۴		۳	
ضوابط طراحی تعیین فاصله و زهکش‌های زیرزمینی	۳۱۹	۱۳۸۴		۳	
فهرست خدمات ارزشیابی عملکرد سامانه‌های زهکشی زیرزمینی	۳۲۰	۱۳۸۴		۳	
ضوابط طراحی هیدرولیکی سیفون‌ها و آبگذر زیر جاده	۳۲۱	۱۳۸۴		۳	
دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیکی خاک	۳۲۲	۱۳۸۴			
دستورالعمل ارزشیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های آب و فاضلاب در مرحله اجمالی	۳۲۳	۱۳۸۴			
ضوابط طراحی ساختمان‌های با اتصال خورجینی	۳۲۴	۱۳۸۵		۱	

عنوان نشریه	ردیف نشریه	تاریخ انتشار شماره		نوع دسترسی	ملاحظات
		تاریخ	شماره		
راهنماي آموزشي آكوستيكي فضاهاي آموزشي	٣٨٨٣	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
آشنايي با نامه سازه‌هاي بتني ACI 318	٣٨٨٢	١٣٩٣/٠٦/٣١			
راهنماي آجري و اجراي بتن در ساختمانهاي بتني موجود با استفاده از الياف FRP	٣٨٨١	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
ضوابط و مباني آجري و بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي بنايي غيرمسلح (آجر سفالي)	٣٨٨٠	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
شرح خدمات مرحله دوم آبياري تحت فشار	٣٨٧٩	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
ضوابط انتخاب و آجراي مخزن آزمايشي زهكشي زيرزميني	٣٨٧٨	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
شرح خدمات مرحله دوم آبياري تحت فشار	٣٨٧٧	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
مقررات تهويه در معادن	٣٨٧٦				
مراحل مختلف اجراي سنگ چيني	٣٨٧٥				
معيارهاي فني آجري نمايشگاه‌هاي صنايع دستي	٣٨٧٤				
راهنماي آجري روسازي فرودگاه	٣٨٧٣				
راهنماي آجري و اجراي بتن در روسازي راه‌هاي كشور	٣٨٧٢				
دستورالعمل بر اجراي روسازي راه‌آهن	٣٨٧١				
ضوابط و دستورالعمل تردد وسايل مكانيكي سنگين در ETM استراحت كاربري و شوراي مقابله سازماندهي شده	٣٨٧٠				
ضوابط آجري و مصالح ساختماني صنعتي فولادي	٣٨٦٩	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
دستورالعمل ساخت و اجراي بتن در كارگاه	٣٨٦٨	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
مقاومت اكتاني و خصوصيات مكانيكي معدني	٣٨٦٧	١٣٩٣/٠٦/٣١			
فهرست خدمات مشاوره براساس مدل TQM رودخانه‌اي	٣٨٦٦	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
دستورالعمل آماربرداري از منابع آب	٣٨٦٥	١٣٩٣/٠٦/٣١			
راهنماي تجزيه خاكهاي انتقادي و تعيين ارزش پوزولاني و توصيه مقادير مجاز توسعه منابع آب	٣٨٦٤	١٣٩٣/٠٦/٣١			
راهنماي آجري ساخت و نگهداري تونل ها در كارهاي مهندسي رودخانه	٣٨٦٣	١٣٩٣/٠٦/٣١			
شرح خدمات توجيه فني و اقتصادي- اجتماعي سامانه‌هاي آبياري تحت فشار (در سه سطح - كلان - خرد)	٣٨٦٢	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
روش نامه مطالعات توجيه فني اقتصادي- اجتماعي و زيست‌محيطي سامانه‌هاي آبياري تحت فشار	٣٨٦١	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
راهنماي بهره‌برداري هيدروليكي از مخزن سدهاي بزرگ	٣٨٦٠	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
راهنماي برداشت مخدوش رودخانه‌اي	٣٨٥٩	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
ضوابط آجري هيدروليكي ساختمان‌هاي حفاظتي و تثبيت‌هاي تبديل و القمني و ساختمان‌هاي حفاظ در مقابل فرسايش سامانه‌هاي آبياري	٣٨٥٨	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
دستورالعمل ارزيابي اثرات زيست‌محيطي آجري سدهاي خاكي و فاضلاب در مرحله تفصيلي	٣٨٥٧	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
مشخصات فني اجرايي بازشوهاي سرد آسفالتي	٣٨٥٦	١٣٩٣/٠٦/٣١			
تعاريف و مفاهيم در فعاليت‌هاي معدني و واژه‌ها و اصطلاحات مورد استفاده معدن	٣٨٥٥	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
مشخصات فني اجرايي بازشوهاي گرم آسفالتي	٣٨٥٤	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
راهكار كاهش نوفه ترافيك براي ساختمانهاي حواشي بزرگراه‌هاي شهري	٣٨٥٣	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
راهنماي آجري آكوستيكي فضاهاي آموزشي	٣٨٥٢	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
آشنايي با نامه سازه‌هاي بتني ACI	٣٨٥١	١٣٩٣/٠٦/٣١			
راهنماي آجري و ضوابط اجرايي تقويت ساختمانهاي بتني موجود با استفاده از الياف تقويتي FRP	٣٨٥٠	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
ضوابط و مباني آجري و بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي بنايي غيرمسلح (آجر سفالي)	٣٨٤٩	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
شرح خدمات مرحله دوم آبياري تحت فشار	٣٨٤٨	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
ضوابط انتخاب و آجراي مخزن آزمايشي زهكشي زيرزميني	٣٨٤٧	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	
شرح خدمات مرحله دوم آبياري تحت فشار	٣٨٤٦	١٣٩٣/٠٦/٣١		آزاد	

عنوان نشريه	شماره نشريه	تاريخ انتشار		نوع دسترسي	ملاحظات
		تاريخ	وضعيت		
پيوند نرم‌افزارهاي مورد استفاده در محيط كار گروه (GIS) براي كاربردهاي مهندسي و مديريت شبكه‌هاي آبرساني	۱۰۱				
	۱۰۲				
	۱۰۳				
دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي موجود	۱۰۴				
تغيير دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي موجود	۱۰۵				
ضوابط اجرايي بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي موجود	۱۰۶				
راهنماي كار براي دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي موجود	۱۰۷				
دستورالعمل ارزيابي سريع لرزه‌اي ساختمانهاي موجود	۱۰۸				
شرح خدمات بهسازي لرزه‌اي سامانه‌هاي آبرساني	۱۰۹				
شرح خدمات بهسازي لرزه‌اي تأسيسات صنعتي برق	۱۱۰				
شناسنامه فني آبها	۱۱۱				
	۱۱۲				
ضوابط احداث و بهره‌برداري از تونل مترو شهري	۱۱۳				

این نشریه
با عنوان «ضوابط طرح و محاسبه ساختمانهای صنعتی فولادی»، شامل دوازده است.
کلیات، بارگذاری، طراحی قاب خمشی فولادی، انواع جرثقیل‌ها و تکیه‌گاه‌های آنها، بارگذاری ناشی از جرثقیل، طراحی تیر باربر ریل جرثقیل، پوشش سقف و دیوار، قاب‌بندی ثانویه برای نگهداری پوشش ساختمان، بررسی انواع مهاربندی‌ها، طرح بازشوها، درزهای انبساط و انقباض و طرح آنها، و طرح پی‌ها و کف‌ستونها، فصلهای مختلف نشریه را تشکیل می‌دهند.
رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرحهای عمرانی الزامی است.