۱۱ . مقدمه بخش دوم :

در این بخش راهنما به ساختمان‌های صنعتی با جرثقیل پرداخته خواهد شد و شامل مطالبی از ساختمان‌های صنعتی بخصوص برای جرثقیل های overhead (تمام سطح یادروازه‌ای) و underhung (آویزی) خواهد بود(به اشکال زیر توجه شود.م). در این زمینه، اختلاف اصلی بین ساختمان‌هایی که جرثقیل سقفی دارند و آن هایی که ندارند، تکرر بارگذاری است که توسط جرثقیل به ساختمان تحمیل می شود. بنابراین ساختمان جرثقیل دار باید بعنوان ساختمان با تکرر بارگذاری طبقه بندی شوند.

طبقه بندی این ساختمان‌های جرثقیل‌دار در AISE گزارش فنی شماره۱۳ (AISE 2003) بعنوان D,C,B,A آمده است. طبقه‌بندی دیگری برای جرثقیل ها نیزدر:

CMAA2002 (Crane Manufacturers Association of America)

چاپ شده است. این اسامی طبقه بندی نباید با مشابه آن در ساختمان مخلوط گردد، چرا که از دو طبقه بندی مختلف می باشند.

۱.۱۱ طبقه بندی ساختمان براساس گزارش فنی AISE :

طبقه A : ساختمان‌هایی هستند که اعضاء آن با ۵۰۰ هزار تا ۲ میلیون تکرار و یا بالای دو میلیون تکرار در طول عمر ساختمان حدود ۵۰ ساله روبرو هستند. کارفرما باید با بررسی، تصمیم خود را راجع به شرائط بارگذاری اتخاذ کند. پیشنهاد می‌شود ساختمان‌های تیپ زیر بعنوان طبقه A در نظر گرفته شوند :

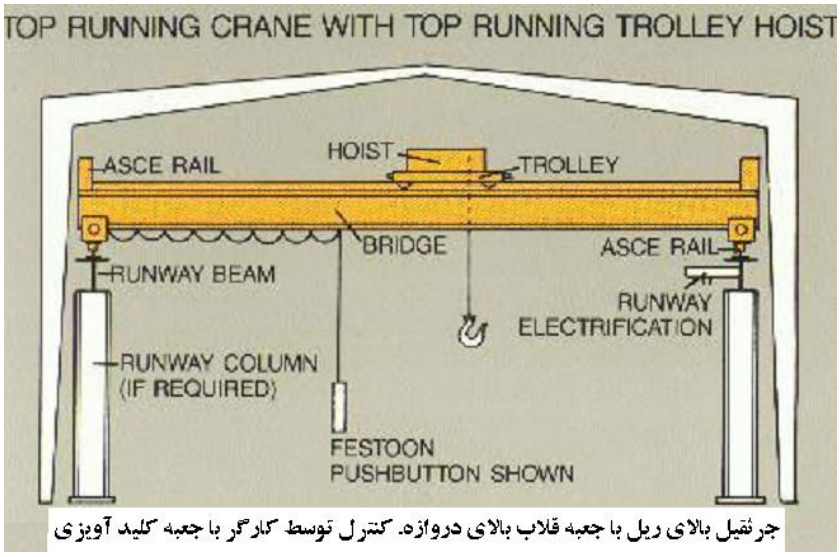
- کارگاه تنش زدائی فولاد
- کارگاه اوراق کردن خودروهای فرسوده
- کارگاه شمش‌های فولادی
- کارگاه سرباره کوره
- کارگاه ریخته گری مداوم
- کارگاه ذوب و ریخته‌گری
- کارگاه تولید بتن
- کارگاه گرم کردن فولاد برای نورد
- کارگاه تولید قطعات فولادی ساختمانی
- کارگاه قالب سازی
- کارگاه خورد کردن ضایعات فولادی

طبقه بندی B : به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که اعضاء آن با تکرار باری حدود ۱۰۰ هزار تا ۵۰۰ هزار در طول عمر خود روبرو هستند. که می‌تواند به تعداد ۵ تا ۲۵ عدد تکرار بارگذاری در روز برای عمر ۵۰ ساله باشد.

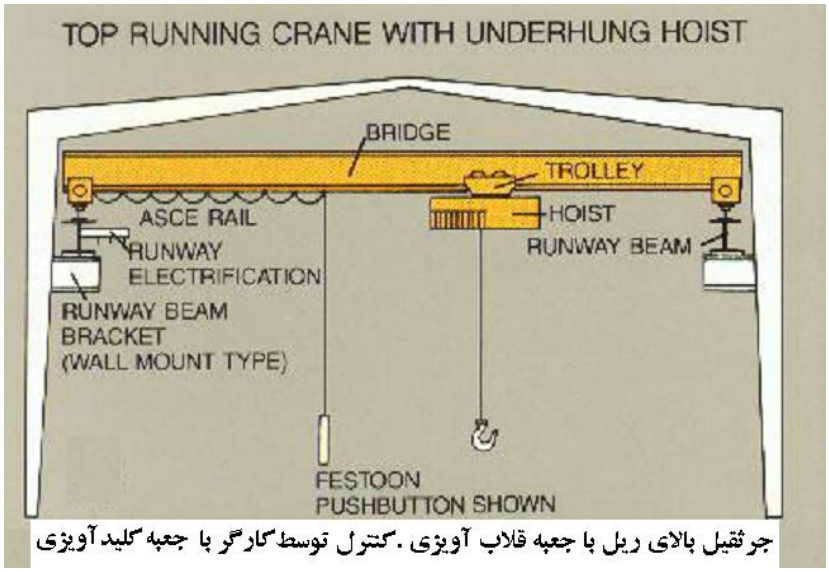
طبقه بندی C : ساختمان‌هایی هستند که اعضاء آن با تکرار باری حدود ۲۰ هزار تا۱۰۰ هزار در طول عمر خود که معادل ۱ تا ۵ تکرار بارگذاری در روز برای عمر ۵۰ ساله است.

طبقه بندی D : به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که هیچ عضوی از آن تجربه ۲۰ هزار تکرار بارگذاری در طول عمر خود را نخواهد داشت.

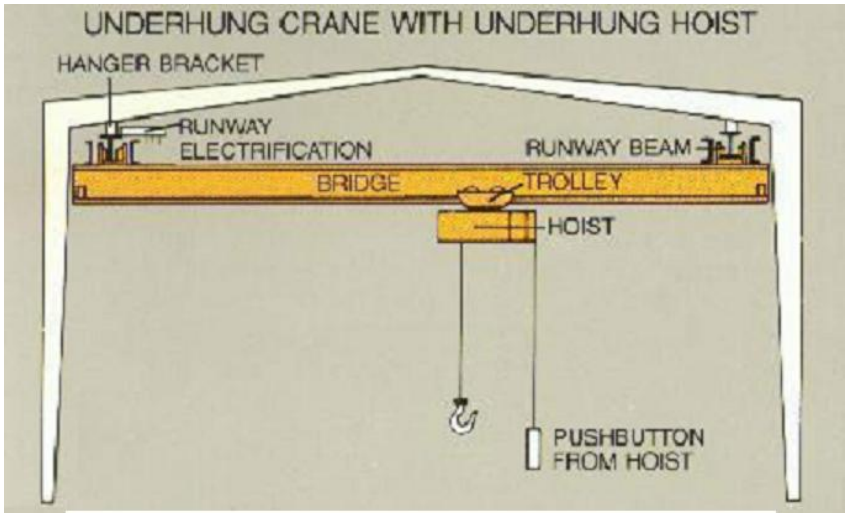
انواع جرثقیل از نظر شکلی در سه تیپ می‌باشد که توسط مترجم در سه شکل زیر آورده شده.



جرثقیل بالای ریل با جعبه قلاب بالای دروازه. کنترل توسط کارگر با جعبه کلید آویزی



جرثقیل بالای ریل با جعبه قلاب آویزی .کنترل توسط کارگر با جعبه کلید آویزی



جرثقیل آویزی با جعبه قلاب آویزی.کنترل توسط کارگر با جعبه کلید آویزی

۲.۱۱ طبقه بندی جرثقیل در سیستم CMAA 70:

طبقه بندی زیر عیناً از CMAA 70 برداشته شده :

"۱۰-۲ طبقه بندی جرثقیل

۱.۲ طبقه‌بندی سرویس‌دهی جرثقیل‌ها طوری تنظیم شده که اقتصادی‌ترین جرثقیل برای صنعت براساس مشخصات آئین‌نامه تعیین گردد.

طبقه‌بندی جرثقیل‌ها براساس طیف باربرداری جرثقیل‌ها هرچه نزدیک‌تر به شرائط واقعی می‌باشد. طیف باربرداری، بار موثر متوسط که به صورت یکنواخت توزیع و براساس یک تخمین احتمالی از میزان و تعداد مشخص ورود بار به یک جرثقیل است، معین می‌شود.

انتخاب یک اندازه مناسب اجزاء جرثقیل برای منظوری که پیش‌بینی شده با تعیین مقدار متغیر بار و تعداد باربرداری به شرح زیر تعیین می‌شود:

$K = \sqrt[3]{W_1^3 P_1 + W_2^3 P_2 + W_3^3 P_3 + ... + W_n^3 P_n}$ که در آن :

W= مقدار بار، که بوسیله نسبت هر بار برداشته شده به ظرفیت جرثقیل بیان می‌شود. عملیات انجام شده، بدون باربرداری، با احتساب هرگونه وزن ملحقات دستگاه باید منظور شود.

P= بار محتمل، که بوسیله نسبت تعداد شرائط شدت هر بار به تعداد نهایی باربرداری بیان می‌شود. مجموع بارهای محتمل P باید برابر با عدد ۱ باشد.

جدول ۱.۲.۱۱ – شرائط بارگذاری جرثقیل

شرائط بار گذاری AISC	طبقه بندی جرثقیل CMAA ۷۰
1	A, B
2	C, D
3	E
4	F

شکل ۱.۲.۱۱

K= ضریب بار موثر متوسط (که فقط برای طبقه‌بندی جرثقیل‌ها بکار می‌رود.) کلیه طبقه‌بندی‌های جرثقیل تحت تاثیر بهره‌برداری می‌باشند. بنابراین، به منظور طبقه‌بندی فرض‌شده است که جرثقیل در شرائط بهره‌برداری نرمال دمای محیطی از صفر تا 104 درجه فارنهایت $(-17.7^0C$ تا $40^0C)$ و شرائط نرمال هوائی (خالی از گرد و خاک زیاد، رطوبت و خوردگی) کار می کند.

جرثقیل‌ها می‌توانند براساس شرائط حداکثری که به قطعات آنها وارد می‌شود طبقه‌بندی شوند. قطعات مجزا که به طور مشخص از دیگر قطعات جدا هستند و یا شرائط سازه‌ای مخصوص خود را دارند، در صورت کاملاً مشخص بودن

شرائط بهره‌برداری می‌توانند بوسیله طبقه‌بندی دیگری از گروه بارگذاری تنظیم شوند.

۲.۲ کلاس A (در انتظار سرویس‌دهی یا کم کار):

این کلاس سرویس دهی در مورد جرثقیل‌هایی است که به طور مثال در نصب و تعمیرات نیروگاه‌ها، خدمات عمومی، محل نصب توربین‌ها و یا موتورخانه ها و ایستگاه ترانسفورمرها (مبدل‌های الکتریکی) ، جائیکه حمل دقیق وسائل با سرعت‌های کم با مدت طولانی استراحت بین دفعات استفاده مورد لزوم است، می‌باشد. ظرفیت حمل از مقدار لازم برای نصب قطعات و یا تعمیرات غیر مستمر بدست می آید.

۳.۲ کلاس B (سرویس‌دهی سبک):

این کلاس سرویس‌دهی در مورد جرثقیل‌هایی است که ممکن است در تعمیرگاه‌ها، کارگاه‌های مونتاژ سبک، کارگاه‌های کوچک و غیره در جائیکه ملزومات سرویس‌دهی سبک و سرعت آن نیز آهسته است، می‌باشد. بارها ممکن است از صفر تا حداکثر میزان باربری با ۲ تا ۵ مرتبه بلند کردن بار در ساعت و متوسط ده فوت برای هر بلند کردن بار باشد.

٤.۲ کلاس C (سرویس‌دهی متوسط):

این کلاس سرویس‌دهی در مورد جرثقیل‌هایی است که در کارگاه‌های ماشین کاری و کارگاه‌های نورد کاغذ و امثال آن، در جائیکه تعمیرات متوسط است،

بکارمی رود. در این مورد جرثقیل‌ها بارهایی را با متوسط ۵۰ درصد حداکثر مقدار باربری و با ۵ تا ۱۰ مرتبه در ساعت و بلند کردن ۱۵ فوت متوسط با باری کمتر از ۵۰ درصد حداکثر بار مجاز جرثقیل می باشد.

۵.۲ کلاس D (سرویس‌دهی سنگین):

این کلاس سرویس‌دهی در مورد جرثقیل‌هایی است که در کارگاه‌های ماشین کار سنگین، کارخانجات، ذوب فلزات، ریخته گری، کارخانجات مونتاژ، کارگاه‌های فولاد، محوطه کانتینرها، کارگاه‌های برش الوار و امثال آن، که با باگت و یا آهنربای استاندارد عملیات باربری و تولیدات سنگین کار می‌کنند. در این روش سرویس‌دهی، بارها تا ۵۰ درصد حداکثر بار در تمام مدت کار مشغول حمل می باشند. سرعت بالا در این سرویس مورد نظر بوده که با تعداد ۱۰ تا ۲۰ باربرداری در ساعت با متوسط بلند کردن ۱۵ فوت، با باری بیش از ۶۵ درصد حداکثر مجاز جرثقیل نباشد.

٦.۲ کلاس E (سرویس‌دهی سخت):

در این نوع، ملزومات سرویس‌دهی سخت، جرثقیل‌هایی است که بارهای در طول عمر آن به حداکثر مجاز باربری می‌رسند. استفاده ممکن است با ترکیب آهنربا یا باگت برای محوطه‌های آهن قراضه، کارخانجات سیمان، کارخانجات الوار، کارخانجات کود شیمیائی، حمل کانتینرها و امثال آن با تعداد ۲۰ یا بیشتر باربرداری در ساعت در نزدیک به بارحداکثر باشد.

۷.۲ کلاس F (سرویس‌دهی دائمی سخت):

در این نوع ملزومات سرویس دهی سخت، قدرت باربرداری دائمی در حداکثر بار مجاز در تمامی عمر آن است. استفاده ممکن است با نظر مشخصات مشتری برای کار بحرانی و تحت تاثیر مجموعه تسهیلات تولید باشد. این جرثقیل‌ها باید تامین کننده بالاترین اطمینان با توجه کامل به راحتی در تعمیرات باشد "

کلاس جرثقیل‌ها، تیپ جرثقیل‌ها و باربری تحت تاثیر طراحی است. خستگی مربوط به طبقه‌بندی جرثقیل‌ها، برای طراحی ریل جرثقیل‌ها و اتصالات تیر به ستون مخصوصاً بحرانی است. کلاس E و F شرائط سخت و جدی برای خستگی پدید می‌آورند، تعیین سطح تنش خستگی و شرائط بارها با جزئیات دقیق‌تر در بخش بعدی آمده است.

طبقه بندی CMAA70 مستقیماً به شرائط بارگذاری AISC برای خستگی مربوط نمی‌شود. شرائط بارگذاری به ضمیمه K از آئین‌نامه AISC ASD (1989) در مورد خستگی برمی‌گردد. طبقه‌بندی AISC ASD، براساس میانگین تعداد باربرداری جرثقیل‌ها در کلاس‌های مختلف CMAA70، در جدول۱۱ .۲ .۱ آمده است .تعداد تقریبی باربرداری برای هر شرائطی در مشخصات AISC ASD جدول $A-K4.1$ آمده است. این جدول در اینجا تحت شماره۱۱. ۲ . ۲ آورده شده. در AISC(LRFD 1999) دیگر به شرائط باربرداری مراجعه نمی-نماید. در این آئین‌نامه روابطی معین شده تا محدوده تنش مجاز برای یک تعداد مشخص از تکرر تنش را تعیین نماید. در آئین‌نامه معین می‌دارد: "مهندس مسئول(Engineer of Record) باید جزئیات کامل را شامل ابعاد

جوش‌ها تهیه نماید یا مقدار مورد نظر تکرر باربرداری در طول عمر پروژه و حداکثر محدوده ممان‌ها و برش و عکس العمل اتصالات را مشخص سازد. "

برای استفاده از روابط LRFD طراح باید مقدار N، که عبارتست از دامنه نوسان تنش در عمر پروژه است را در روابط مربوطه در این آئین‌نامه را بکار برد. مواد منعکس درآئین‌نامه LRFD مطابق روز بوده و نگارنده استفاده از آن را پیشنهاد می‌نماید.

جدول۲.۲.۱۱ -دوره بارگذاری مطابق AISC

شرایط بارگذاری	از	تا
1	20,000[a]	100,000[b]
2	100,000	500,000[c]
3	500,000	2,000,000[d]
4	Over 2,000,000	

a تقریبا معادل با ۲ بار استفاده هر روز برای مدت ۲۵ سال

b تقریبا معادل با ۱۰ بار استفاده هر روز برای مدت ۲۵ سال

c تقریبا معادل با ۵۰ بار استفاده هر روز برای مدت ۲۵ سال

d تقریبا معادل با۲۰۰ بار استفاده هر روز برای مدت ۲۵ سال

(در آئین‌نامه AISC 360-10 که هر دو آئین‌نامه یاد شده در بالا را به صورتی جدید و یکپارچه در آورده مطالب مربوط به خستگی، مانند بسیاری از مباحث دیگر، دچار تغییر شده است. خواننده می‌تواند به ضمیمه ۳ صفحه ۱۹۲ و ۴۷۹ ازآئین‌نامه یاد شده، مراجعه نماید.م)

۱۲. خستگی:

عملکرد مناسب جرثقیل دروازه‌ای(Crain Bridge) بسته به طراحی مناسب و

جزئیات پل ریل (Runway Girder) جرثقیل می‌باشد. در طراحی پل ریل باید آثار خستگی ناشی از عبور تکراری جرثقیل را منظور داشت. پل ریل جرثقیل باید به صورت بخشی متشکل از ریل جرثقیل، اتصالات ریل، پشت-بند، خود پل ریل، پایه‌های نگهداری وسائل الکتریکی، ترمزهای جرثقیل و اتصالات به ستون دیده شود. کل این اجزاء باید در طراحی مداخله داده شده و در جزئیات سیستم پل ریل جرثقیل آورده شود.

براساس تجربه نگارنده، حدود۹۰ درصد مشکلات ریل جرثقیل مرتبط با ترک‌های خستگی می‌باشد.

مهندسین به طراحی ریل جرثقیل‌هایی پرداخته‌اند که با حداقل مشکلات، ملیون‌ها تکرر بار را تحمل نموده است.در تیرهایی که به صورت موفقیت آمیز با جزئیات طراحی شده‌اند، نکات زیر در نظر گرفته شده:

- محدود نمودن دامنه تنش مورد نیاز به سطوح قابل قبول.
- پرهیز از درگیری‌های غیر منتظره در ملحقات و تکیه‌گاه‌ها.
- پرهیز از تمرکز تنش در نقاط بحرانی.
- پرهیز از خروج از مرکزهای ناشی از عدم مستقیمی ریل و یا عبور جرثقیل و یا سایر پیچیدگی‌های خارج از صفحه .
- حداقل نمودن تنش‌های پسماند.

حتی با توجه به تمامی نکات طراحی ، کارفرما باید بعضی تعمیرات سیستم ریل جرثقیل را به صورت متناوب انتظار داشته باشد. سیستم‌های عبوری که درست کار می‌کند، باید بوسیله تعمیرات منظم در مستقیم و تراز بودن ریل و پل نگهداری شود.

بعضی از خرابی‌های ناشی از خستگی باید بوسیله یک طراحی کامل سازه پیش‌بینی شود، چراکه ساخت و نصب سازه نمی‌تواند کامل باشد. رواداری لازم در ساخت، نصب و تعمیرات در:

Code of Standard Practice for Steel Building and Bridges (AISC 2000)
American Welding Society, Structural Welding Society,Structural Welding Code-Steel, AWS D1.1, (AWS 2002)

و در Technical Report 13 AISE:

Guide for the Design and Construction of Mill Buildings (AISE , 2003)

در جهت پیش‌بینی رفتارخستگی باید بکار رود.

ملاحظات در مورد خستگی دارای ضریب ۹۵ درصد اطمینان (دو درصد میزان انحراف استاندارد زیر منحنی متوسط حاصل از اطلاعات آزمایشی بوده) در مورد یک دامنه تنش داده شده، شرائط دوام مورد انتظار است. بنابراین، منطقی است که ۵ درصد از جزئیات مشابه می‌تواند دچار خرابی ناشی از خستگی، قبل از عمر دوام مورد نظر، گردد. البته اگر طراح عمر دوامی را که برای سازه انتخاب نموده کمتر از عمر دوام در اثر خستگی، براساس آئین‌نامه AISC باشد، آنگاه اطمینان از (طراحی.م)جزئیات بحرانی باید بالاتر از ۹۵ درصد باشد.

۱۲. ۱ خرابی خستگی :

خرابی خستگی می‌تواند به صورت یک ترک پیش‌رونده که ناشی از بالا و پائین رفتن تنش در عضو باشد، مشخص شود. ترک‌های خستگی ابتدا در عیوب کوچک و یا نقص‌هایی در مصالح پایه و فلز جوش پدید می‌آید. عیب مانند یک تشدید کننده، تنش الاستیک وارده را تا حد تنش پلاستیک در یک

ناحیه کوچک بالا می‌برد. وقتیکه رفت و برگشت بارگذاری صورت می‌گیرد، تغییر شکل پلاستیک در آن ناحیه کوچک، پیشرفت کرده و باعث ایجاد جدایی در مصالح و پیشرفت ترک می‌شود. در آن نقطه ناحیه تنش پلاستیک به انتهای ترک منتقل شده و باعث جلو رفتن ترک می‌شود. در نهایت اندازه ترک به حدی می‌شود که ترکیب تاثیر اندازه ترک و تنش وارده از حد مقاومت مصالح زیادتر شده و شکست نهایی اتفاق می‌افتد.

خرابی خستگی ناشی از تکرار بار سرویس است، که باعث ترک اولیه و انتشار آن به شکستگی نهایی می‌گردد. متغییر غالب، دامنه تنش کششی متاثر از تکرار بار زنده است و نه حداکثر تنش وارده بوسیله بار زنده باضافه بار مرده. خرابی خستگی در سه مرحله بوجود می‌آید. شروع ترک، پایدار شدن پیش‌روندگی ترک و ناپایداری ترک تا شکستگی. در این سه مورد، شروع ترک حدود ۸۰ درصد عمر خستگی را می‌پوشاند: بنابراین وقتیکه اندازه ترک قابل مشاهده گردد، باید تعمیرات لازم صورت گیرد. تغییرات سریع در مقطع عرضی، عدم پیوستگی هندسی مانند پنجه جوش، عدم یکسرگی غیر عمدی در اثر اشکالات ساخت، تاثیر زنگ‌زدگی و تنش‌های پسماند، همگی باعث تمرکز دامنه تنش کششی در جزئیاتی می‌گردد که شروع ترک از آنجاست. این واقعیت، استفاده از دسته‌بندی‌ها براساس ضوابط طراحی خستگی سازه، که منعکس کننده افزایش در محدوده دامنه تنش کششی ناشی از شدت عدم یکسرگی براساس جزئیات تیپ می باشد را راحت و مقبول ساخته. اعمال ضریب تمرکز تنش به تنش بدست آمده بوسیله روش‌های آنالیز معمولی مناسب نیست.

البته تغییرات در تنش فشاری، در منطقه تنش پسماند کششی، ممکن است باعث یک تنش کششی خالص و یا رفت و برگشت تنش گردد، که خود باعث شروع ترک است. آئین‌نامه AISC LRFD 1999 یک رابطه پیوسته

مرتبط با تعداد تکرر بار در طول عمر و دامنه تنش را بجای ضوابط آئین‌نامه‌ای برای عمر خستگی که منعکس کننده اطلاعات براساس نقطه گسیختگی در قالب قدم به قدم بوده، ارائه می‌نماید. در ضوابط AISC 1999 استفاده از یک جدول تقسیماتی براساس شرائط مختلف را توضیح می‌دهد . این تقسیمات عبارتند از:

۱- مصالح خالص بدور از هرگونه جوشکاری .

۲- مصالح متصل شده به صورت مکانیکی (پیچ . م)

۳- اتصالات جوشی که اجزاء قطعات ساخته شده را بهم متصل کرده .

۴- جوش‌های طولی گوشه‌ای انتهایی.

۵- جوشهای عمود بر جهت تنش .

۶- فلز پایه در جوش اتصال عضو عمود بر آن .

۷- فلز پایه در اتصالات کوتاه .

۸- سایر .

جدول ۱.۱.۱۲ طبقه بندی CMAA 70 درمقابل عمرطراحی

عمر طراحی	طبقه بندی جرثقیل مطابق CMAA 70
20,000	A
50,000	B
100,000	C
500,000	D
1,500,000	E
>2,000,000	F

در ضوابط AISC 1999 با استفاده از رابطه‌ای برای طراحی دامنه تنش برای انتخاب عمر طراحی، N ، برای شرائط مختلف و دسته‌بندی تنش ارائه می‌کند. نقطه با پتانسیل شروع ترک با توضیحات گفته شده و در جدول وشکل آمده

است . در این جدول تنش طراحی آستانه F_{TH} برای انواع دسته‌بندی‌هاآمده است. همچنین ثابت C_f تعریف شده، که در محاسبه دامنه تنش طراحی لازم F_{SR} در دسته‌بندی‌های مختلف بکار می‌رود. برای مثال برای بسیاری از دسته-بندی‌ها :

$$F_{SR} = \left[\frac{C_f}{N}\right]^{0.333} \geq F_{TH}$$

(رابطه A-3-1رادر آئین نامه AISC360.10 صفحه۱۹۳ ببینید.م)

در جائیکه:

F_{SR} = دامنه تنش طراحی برای تعیین شرایط بارگذاری (تعداد نوسانات) و یک تنش دسته‌بندی از جزئیات حساس خستگی است.

C_f = ثابت از جدول $A-K3.1$ آئین‌نامه AISC .(جدول A-3.1 درصفحه ۱۹۸ از Appendix 3 آئین‌نامه2010 AISCآمده.م)

N = تعداد بالا و پائین رفتن دامنه تنش در عمر طراحی .که برابراست با تعداد بالا و پائین رفتن دامنه تنش درروز × ۳۶۵ × تعدادسال عمر طرح.

F_{TH} = آستانه دامنه تنش خستگی، حداکثر دامنه تنش برای تعیین عمر طراحی.

رابطه استاندارد طراحی خستگی: $f_{sr} \leq F_{SR}$

که در آن :

f_{sr} = عبارتست از دامنه تنش خستگی براساس دامنه تعداد بارگذاری، در یک مدل آنالیزو مشخصات مقطع عضو معین در محل جزئیات حساس خستگی .

در مشخصات AISC LRFD 1999، همینطور ملاحظات AISC، محدود کردن دامنه تنش مجاز برای طول عمرمورد نظر سرویس‌دهی براساس پیش-بینی‌های شدت بالا رفتن تنش برای یک شرائط ساخت می‌باشد.

در توجه به نیازهای طراحی خستگی، طراح باید به پیش‌بینی تعداد کامل شدت بارگذاری یکنواخت نوسانی بپردازد. برای استفاده مناسب از مشخصات AISC 1999 و روابط خستگی آن در مورد آنالیز خستگی در پل ریل جرثقیل، طراح باید اختلاف بین ملزومات خستگی در AISC، با استفاده از اطلاعات بدست آمده از آزمایشات ثابت شدت نوسانی و شدت متغیرهای بارگذاری نوسانی پل‌ریل جرثقیل،را بداند. معمول است که طراحی پل‌ریل جرثقیل برای عمر سرویس‌دهی ،که براساس کلاس بندی جرثقیل بدست می‌آید، صورت گیرد.انجمن سازندگان جرثقیل در آمریکا،
Crane Manufacturers Association of America (CMAA 2002)
به مشخصات برای جرثقیل‌های تمام سقف الکتریکی، شامل طراحی‌هائی که به تعیین و پیش‌بینی تعداد کامل شدت بارگذاری یکنواخت نوسانی در طول عمر جرثقیل است، می پردازد. ارتباط طراحی برای یک جرثقیل معین در **CMAA70** به عمر خستگی لازم یک سازه، مستقیماً بدست نمی‌آید. جرثقیل هر روز یا هر ساعت بار حداکثر خود را بر نمی‌دارد یا با سرعت حداکثر حرکت نمی‌کند. آنچه در جدول ۱۲. ۱. ۱آمده تخمین تعداد نوسان یک بار با شدت یکنواخت کامل، برای طبقه‌بندی جرثقیل **CMAA70** می‌باشد که ازکلاس A تا Fکه برای بالاتر از ۴۰سال عمر می‌باشد. باید تاکید گردد که این فقط یک خط راهنما است و واقعیت آن باید از طریق مالک و یا سازنده جرثقیل بدست آید.

۱۲. ۲ ملاحظات خستگی درتیر ریل:

در مشخصات AISC 1999 تا آنجائیکه مربوط به طراحی تیر ریل جرثقیل می‌شود، مطالبی در زیر آمده است. یک مثال حل شده کامل بوسیله:

Van de pasوFisher تحت عنوان ملاحظات جدید خستگی برای طراحی پل‌ریـل جرثقیل :

New Fatigue Provisions for the Design of Crane Runway Girders

(Fisher 2002)

ارائه شده. با فرض آنکه تیر ریل براساس ملاحظات AWS برای سازه های با بارهای نوسانی ساخته شده‌است ،ملاحظات خستگی در زیر توضیح داده شده. در چند جمله مختصر، ملزومات اضافی جوشکاری پیشنهاد شده بوسیله AISE نشریه شماره ۱۳نیز آمده است.

تنش بال کششی:

وقتیکه پل‌ریل جرثقیل از ورق ساخته شده، ملزومات خستگی سخت‌گیرانه‌تر از مقاطع نورد شده است. در مشخصات AISC 1999 ضمیمه $K3$، جدول $A-K3.1$بخش 3.1 به بحث استفاده از ورق پرداخته و بخش ۱. ۱ به بحث مواد دیگر پرداخته. تنش در دسته‌بندی B برای تیر ساخته از ورق قابل مقایسه (معادل .م)با استفاده از دسته‌بندی کلاس A برای تیر نورد شده است.

جوش بال به جان:

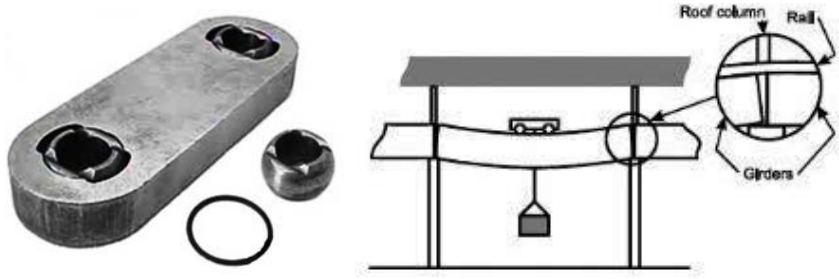
ضمیمه K3، جدول A-K3.1 بخش (Sec.8.2)AISC 1999 کنترل نمودن برش در جوش‌های گوشه‌ای را بر عهده دارد، که جان را به بال کششی یا فشاری متصل می‌نمایدو در دسته‌بندی تنش F است. ترک در تیر ورق‌ها در محل اتصال جان به بال فشاری تیرهای ریل که با جوش گوشه‌ای به‌هم متصل شده-اند دیده شده. این ترک باعث تمرکز تنش کششی خمشی در طرف زیربال از ورق بال فشاری، با هر عبور چرخ جرثقیل می‌شود.(توجه: یعنی بار عبوری چرخ روی بال بالا اعمال شده و آویزان به بال پائین نیست.م). در هر

عبورجرثقیل،عبور چرخ با تعداد دو یا ۴(یا بیشتر)خواهد بود. بنابراین، تعداد نوسان برای چنین شرائطی، معمولاً چندین برابر بزرگتر از آنچه در تعداد نوسان پل جرثقیل تحت دامنه تنش بار زنده که در اثر عبور بار یک جرثقیل است، می‌باشد. محاسبات این تمرکز شدید تنش کششی ناشی از خمش بسیار پیچیده و غیر قابل اتکاء است بطوریکه این ضعف در پشت جزئیات محافظه‌کارانه دفن می‌شود. برای کم‌کردن نتایج این ترک‌ها، گزارش شماره ۱۳ AISE پیشنهاد می‌نماید که اتصال بال فوقانی (فشاری . م) به جان به صورت جوش نفوذ کامل صورت گیرد،که با جوش گوشه‌ا ی تقویت شده.

پشت‌بند:

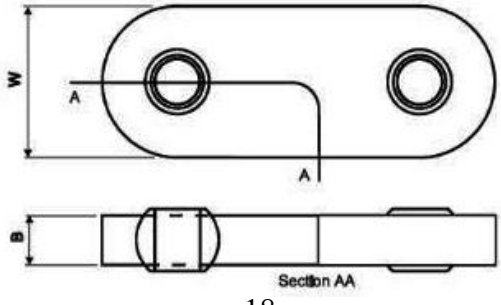
پشت‌بند در انتهای پل‌ریل جرثقیل برای انتقال نیروهای جانبی از بال فوقانی پل به ستون جرثقیل و برای مقاوم‌سازی بال فوقانی پل‌ریل در مقابل کمانش بکار می‌رود. پشت‌بند باید دارای مقاومت کافی برای انتقال بار جانبی جرثقیل باشد. اگرچه، پشت‌بند باید دارای انعطاف کافی جهت حرکت طولی بال فوقانی پل، که بوسیله چرخش انتهای پل ایجاد می‌شود، نیز باشد. مقدار حرکت طولی ناشی از چرخش انتهایی پل ممکن است شدید باشد. چرخش انتهایی از یک پل ۴۰ فوتی که به میزان $1/600$ دهانه افتادگی دارد، حدود 0.005رادیان است. برای عمق ۳۶ اینچ این مقدار تغییر طول افقی بال فوقانی 0.2اینچ است. پشت-بند همچنین باید اجازه حرکت قائم ناشی از کوتاه‌شدن ستون جرثقیل در اثر بار را بدهد. این حرکت می‌تواند در حدود $1/4$ اینچ باشد. بطور معمول پشت-بند باید مستقیماً به بال فوقانی پل‌ریل اتصال یابد. اتصال به جان پل با یک ورق دیافراگمی نباید صورت گیرد. ایجاد بار جانبی در اثر استفاده از این جزئیات، تولید تنش خمشی در جان پل، عمود بر مقطع آن، می‌کند. ضمناً ورق

دیافراگمی باعث مقاومت در مقابل کوتاه‌شدن محوری ستون جرثقیل می-گردد. ملاحظات خستگی مختلفی در AISC برای اشکال مختلف واقعی پشت-بند وجود دارد. (توجه: برای امکان حرکت پل در جهات لازم ،در عین انتقال نیروی جانبی می توان از قطعه ای شبیه زیر استفاده نمود . این قطعه با داشتن دو گوی مانند فقط در جهت محور طولی قطعه نیرو را منتقل می نماید. تغییر شکل پل در اثر بار به شکل زیراست:



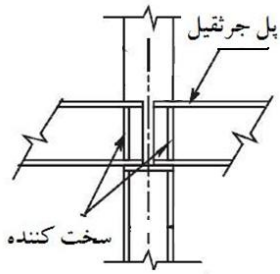
مشخصات ابعادی این اتصال برای استفاده از پیچ 8.8 مطابق جدول زیر است:

Bolt diameter mm	Plate thickness B mm	Plate width W mm	Allowable design force kN
12	12	46	26
16	15	61	47
20	20	77	74
24	20	94	106
30	25	117	165
36	30	141	238
39	30	156	280
42	35	164	324
45	35	178	372
52	40	205	497
56	45	218	576



تلرانس سوراخ‌ها بین صفر تا۰/۱۵+ میلی متر است.ورق اتصالات بالا وپائین باید به هم بسته وسپس سوراخ شود.مقاومت کششی ورق اتصال حداقل ۴۳۰ نیوتن برمیلی متر مربع است.لطفا به احاد اعداد داخل جدول توجه شود.م)

سخت کننده‌های تماسی یااتکائی:



سخت کننده‌های تماسی باید در انتهای پل جرثقیل بکار روند. همانطوریکه در AISC 1999 در پاراگراف K1.3 و K1.4 آمده. ترک خستگی در بین این سخت کننده و بال بالای پل اتفاق می‌افتد. این ترک‌ها وقتی اتفاق می‌افتند که این سخت کننده‌ها به صورت جوش گوشه‌ای به داخل بال بالای پل جوش شوند. عبور هر بار چرخ جرثقیل تولید تنش برشی در این جوش‌های گوشه‌ای می‌کند. AISC 1999 حاوی ملاحظات خستگی معین برای جوش‌های گوشه-ای در برش است. اگرچه، تعیین مقدار واقعی تنش موجود در جوش کاملاً پیچیده است. بنابراین در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE پیشنهاد می‌نمایدکه با استفاده از جوش نفوذ کامل، این ورق سخت‌کننده به بال فوقانی پل متصل شود. قسمت پائینی سخت‌کننده ممکن است به صورت چسبیده به بال تحتانی تیر بدون جوش(ترجیحاً) و یا با استفاده از جوش گوشه‌ای باشد. کلیه جوش-های اتصال سخت‌کننده به جان پل باید یکسره باشد. ترک افقی در جان پل-های ریل که در آن ورق سخت‌کننده ارتفاع کمی دارد ، دیده شده.ترک در بین ورق سخت‌کننده و بال فوقانی شروع شده و سپس به صورت طولی در جان پل ادامه می‌یابد. دلایل زیادی برای توسعه این ترک وجود دارد. یکی از

دلایل آن خروج از مرکز در قرار گرفتن ریل روی پل است که با تابیدگی در مقطع پل و پیچش در این مقطع همراه است.

سخت کننده‌های میانی:

اگر از سخت‌کننده‌های میانی استفاده شود، گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE پیشنهاد می‌نماید که به همان دلایل در مورد سخت‌کننده‌های تماسی گفته شده،بالای این سخت‌کننده‌ها نیز به بال فوقانی پل خرپا جوش نفوذ کامل گردد. این سخت‌کننده‌ها باید نرسیده به بال کششی قطع گردد. این نکته براساس AISC 1999 که در بخش G آمده است. در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE جوش یکسره جان پل به این سخت‌کننده‌ها توصیه شده است.

خستگی باید در مورد این سخت‌کننده وقتیکه در جوار بال کششی قطع می-شود، مورد کنترل قرار گیرد. این موضوع در بخش 5.7 جدول A-K3.1 از آئین‌نامه AISC 1999 آمده است.

ناودانی یا ورق(تقویت) روی پل (Chanel Caps and Cap Plates):

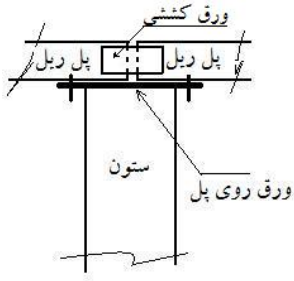
ناودانی روی پل یا ورق روی پل به طور معمولی جهت ایجاد مقاومت بال فوقانی برای انتقال بارهای جانبی به ستون‌های جرثقیل و تامین مقاومت جانبی پیچشی مقطع پل ریل بکار می‌رود. باید توجه داشت که ناودانی یا ورق به صورت صد در صد به بال فوقانی پل خرپا نخواهد چسبید. رواداری مربوط دراستاندارد ASTM A6 آمده است و اجازه می‌دهد که پل ریل تا حدودی پیچیدگی داشته باشد و یا ورق در طول خود مقداری دچار تابیدگی باشد و یا ناودانی در طول دچار پیچیدگی شود. این موضوع باعث باقی‌ماندن فاصله‌ای بین بال فوقانی پل و ناودانی یا ورق روی پل می‌شود. عبور چرخ از روی این

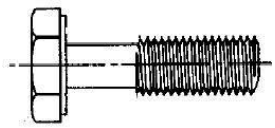
فضای خالی باعث خستگی در جوش‌های ناودانی و یا ورق روی بال فوقانی می‌شود. محاسبه این تنش‌های وارده به جوش‌ها عملی نیست. بعلت این پدیده، استفاده از ناودانی و یا ورق روی بال در جرثقیل‌های کلاس E,F نباید بکار رود. برای جرثقیل‌ها با شدت وظائف کمتر، جریان تنش برشی در جوش‌ها براساس بخش خستگی AISC 1999 در ضمیمه K3 در جدول A-K3.1 بخش ۲.۸ می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. (به Appendix 3 در صفحه ۱۹۲ آئین نامه AISC 2010 مراجعه فرمائید.م) جوش‌های اتصال ناودانی یا ورق به بال فوقانی می‌تواند یکسره یا منقطع باشد. اگرچه در طراحی تنش AISC دامنه تنش برای فولاد پایه در دسته‌بندی B (بخش 3.1) برای جوش یکسره به دسته-بندی E (بخش 3.4) برای جوش‌های منقطع، کاهش یافته است.

ورق روی ستون جرثقیل:

ورق روی ستون جرثقیل بطریقی باید طراحی شود که در مقابل چرخش انتهای پل‌ریل مقاومتی ایجاد نکند. اگر پیچ‌های (اتصال .م) ورق پل‌ریل، دربین بال-های ستون قرار گرفته باشند، یک کوپل نیرو بین بال ستون و پیچ بوجود می-آید که در مقابل چرخش انتهای تیر ریل مقاومت می‌کند. این جزئیات بعنوان دلیل خرابی پیچ شناخته شده.ترجیحاً،پل باید در بیرون مقطع ستون و در روی ورق روی ستون پیچ شود.بنابراین ورق روی ستون باید تابیرون ستون ادامه یابد تاامکان این عمل به وجود آید. ورق روی ستون نباید زیاد ضخیم گرفته شود. چراکه در این جزئیات نیاز به تغییرشکل ورق روی ستون برای چرخش انتهای پل است. پیچ‌های (اتصال .م) پل‌ریل به ورق روی ستون باید جهت انتقال نیروی طولی کششی و ترمز، به بادبندهای ستون، مقاومت کافی داشته‌باشد. استفاده از ورق کششی بین جان پل‌ها ممکنست بعلت نیروی بزرگ کششی

طولی و ترمز ضروری گردد. مهندسین باید با استفاده از پیچ‌هایی تنه باریک (Upset Thread) که به صورت غیر سفت (finger tight) بسته شده، به کاهش خستگی در ورق روی ستون کمک نمایند(Rolfes 2001).





پیچ تنه باریک

(عکس ها را مترجم برای روشن شدن موضوع گذاشته است)

اتصالات دیگر:

ایجاد اتصالات به پل‌ریل نبایدصورت گیرد.گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE مشخصاً جوشکاری اتصالات به بال کششی پل‌ریل را ممنوع کرده . اتصال قلاب‌هایی که وسائل الکتریکی جرثقیل را نگهداری می‌نمایند ضروری است. اگر این قلاب‌ها به جان پل پیچ شوند، بطور مثال در تنش طبقه‌بندی B، بخش 1.3 ازمشخصات AISC 1999 ، مسائل خستگی کمتر خواهد بود . همچنین اگر اتصالات بوسیله جوش گوشه‌ای به جان باشد می‌توان از جدول A-K3.1 ضمیمه K3 بخش 7.2 از AISC استفاده نمود. این ملاحظات جزئیات را در تنش طبقه‌بندیD وE بسته به جزئیات قرار داده . اگر سخت‌کننده‌های عرضی وجود داشته باشند، اتصالات باید به این سخت کننده‌ها متصل شوند.

۱۳. بار القایی جرثقیل و ترکیب بارگذاری:

پیشـــنهاد می شود که طـــراح در نقـــشه مربوطه ، بارهـــای چرخ جـــرثقیل ، فاصله آنها ازهم ، نیروی ضربه گیرها و ضوابط طراحی بکاررفته درسازه را منعکس سازد.
اگرچه شرائط بارگذاری ثقلی ، باد و زلزله در آئین‌نامه ها بسیار خوب تعریف شده است، امّا در مورد جرثقیل ها معمولاً چنین نیست.

همانطوریکه قبلاً گفته شد ، بارخستگی جرثقیل اولین تابع تعیین کننده کلاس سرویس آن است ، که ابتداً براساس تعداد سیکل های یک بارگذاری مشخص می باشد . این طبقه بندی باید براساس طول عمر و میزان بار و تعداد تکرر بار باشد . کارفرما باید طبقه بندی جرثقیل ها را برای تمامی قسمت‌های ساختمان مشخص و یا تائید نماید . طول عمر ۵۰ ساله معمولاً مورد انتظار می باشد.

خلاصه ای ازملاحظات: ASCE 2002(American Soeity of Civil Engineers)
و همچنین: AISE 2003 (Association of Iron and steel Engineers)

در مورد بار وارده برریل جرثقیل در زیر آمده است.در ASCE7 مراجعه به International Building Code(ICC 2003) می‌نماید که ملزوماتی قانونی است. گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE بعنوان خطوط راهنمایی برای شرائطی که بوسیله ASCE7پوشش داده نشده و یا زمانیکه در شرائط پروژه مشخص شده، می‌تواند بکار رود.به اضافه، در:

Low Rise Building System Manual MBMA(2002)

توضیحات جامعی را راجع به بارگذاری جرثقیل‌ها می‌دهد.

در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE پیشنهادات براساس طراحی ASD می‌باشد. در حالیکه در ASCE 7 طراحی هم در مورد ASD و هم در مورد مقاومت نهایی است. در ASCE 7 مشخص می‌سازد که بار زنده جرثقیل همان حد ظرفیت جرثقیل است. هیچگونه پیشنهادی در مورد ضریب بار مناسب برای ارابه(Trolley)، قلاب‌آویز (Hoist) و یا وزن دروازه داده نمی‌شود. نویسنده پیشنهاد می‌نماید ضریب باری معادل 1.2 برای وزن جرثقیل و 1.6 برای وزن قلاب‌آویز و ارابه در نظرگرفته شود.(ارابه آن قسمت از جرثقیل است که بار را بلند می کند و روی ریل یا پل به حرکت می پردازد .م)

جدول ۱.۲.۱۳ گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE - نیروی جانبی جرثقیل

نوع جرثقیل		کل نیروی جانبی جرثقیل در صد از بار برداشته
Mill crane	جرثقیل آسیاب	40
Ladle cranes	جرثقیل ملاقه ای	40
Clamshell bucket and magnet cranes (including slab and billet yard cranes)	جرثقیل تاشو جرثقیل مغناطیسی شامل شمش و تختال	100
Soaking pit cranes	جرثقیل گودال فرو بر	100
Stripping cranes	جرثقیل قالب درآر	100[↑]
Motor room maintenance cranes, etc.	جرثقیل تعمیر و نگهداری	30
Stacker cranes (cab-operated)	جرثقیل پشته ساز باکابین اپراتور	200

[↑] ingot and mold

۱۳. ۱ ضربه قائم (Vertical Impact)

ASCE 7

در ASCE 7 حداکثر بار چرخ بشرح زیر تعریف می‌شود:

" حداکثر بار چرخ وارده عبارتست از، حاصل بار دروازه (Bridge)، به اضافه حاصل جمع مجموعه حد ظرفیت جرثقیل و وزن ارابه، درنقطه ای از مسیر ارابه که وزن ارابه در موقعیت حداکثر خود برای چرخ‌های جرثقیل باشد. "

در این صورت ضریب ضربه قائم به صورت درصدی در مقدار حداکثر بار چرخ ضرب خواهد شد. این ضریب در ASCE 7 مطابق زیر است :

جرثقیل تک محوره (Monorail) دارای نیروی محرکه: 25

(این جرثقیل را ۴ حرکته نیز می‌گویند: بالا، پائین، جلو و عقب.فقط در یک خط مستقیم حرکت می‌کند.م)

جرثقیل کابین‌دار و یا دارای دروازه با نیروی محرکه کنترل‌دار: 25

(جرثقیل دارای دروازه را تمام سطح ویا ۶ حرکته نیز می‌گویند:بالا، پائین، جلو، عقب، چپ و راست.)

جرثقیل آویزی (Pendant) دارای دروازه نیروی محرکه‌دار: 10

جرثقیل دارای دروازه یا یک‌محوره دارای گیربکس دستی برای پل، ارابه و قلاب : صفر

AISE گزارش فنی نشریه شماره :۱۳

مقدار ضریب ضربه ۲۵ درصد حداکثر بار چرخ برای تمامی جرثقیل‌ها، به استثنای جرثقیل‌های تعمیرات استقرار موتورخانه ها، که ۲۰ درصد گرفته می-

شود. در تمامی حالات، ضریب ضربه در طراحی آویزهای روی ستون (Bracket)، بی‌توجه به آنکه ملزومات ASCE و یا گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE بکار رفته شده، باید منظور شود.

۲.۱۳ نگهدارنده‌های جانبی:

نیروی افقی در بارگذاری جرثقیل ها ناشی از تعدادی ضرائب شامل موارد زیرمی باشد:

۱- عدم مستقیم بودن پل ریل .

۲- کجی جرثقیل .

۳- شتاب ارابه (Trolly)

۴- ترمز ارابه .

۵- فرمان جرثقیل .

ASCE 7

" نیروی جانبی روی تیر ریل با ارابه متحرک برقی باید معادل ۲۰درصد از مجموعه حد ظرفیت جرثقیل و وزن قلاب و ارابه به‌حساب آید. باید فرض شود که این نیرو به صورت افقی در سطح کشش تیر ریل، در دو جهت عمود بر تیر وارد شده و باید توزیع آن بوسیله سختی جانبی تیر ریل و سازه‌نگهدار آن باشد."

گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE

در گزارش فوق لازم می دارد که: " مقاومت جانبی پیشنهادی باید بوسیله سختی سازه‌نگهدارنده ریل بدست آمده از بزرگترین مقادیر زیر باشد.

۱-آنچه در جدول ۲.۳ آمده (درجدول ۱.۲.۱۳ مشخص شده.)

۲-بیست‌درصد از ترکیب بار برداشته‌شده توسط ارابه. برای جرثقیل پشته‌ساز (Stacker) (جرثقیلی که در انبار به صورت ماتریسی طبقات را پر می کند.م)این فاکتور ۴۰درصد ترکیب بار برداشته شده و ارابه و بازوی ثابت می-باشد.

۳-ده درصد جمع بار برداشته‌شده و وزن جرثقیل. برای جرثقیل‌های پشته‌ساز باید ۱۵درصد جمع بار برداشته شده و وزن جرثقیل باشد .

درگزارش شماره ۱۳ نشریه AISE بار برداشته‌شده به شرح زیر تعریف شده:

" کل بار برداشته‌شده بوسیله مکانیزم باربرداری ، شامل بارهای در حال کار، کلیه قلاب‌ها، تیرهای بلندکن، آهن ربا ها و یا سایر دستگاه‌های لازم برای سرویس‌دهی ولی بدون وزن ستون، و وزن بازوها و سایر متعلقات کمکی که به صورت ثابت درراهنماهای قائم در طول باربرداری وارد عمل می‌شوند."

برای جرثقیل‌های آویزی در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE، مقدار نیروی جانبی ۲۰درصد حداکثر روی چرخ‌های پیش‌ران است. در اکثر موارد یکدوم از چرخ‌ها پیش‌ران هستند .

در گزارش یاد شده، لازم می‌سازد که جرثقیل‌هایی که با رادیو(بی سیم.م) کنترل می‌شوند، نیروی جانبی آنها بعنوان جرثقیل کابین‌دار دیده شوند.

جدول ۱.۳.۱۳ تغییرات بین مشخصات AISC و گزارش شماره ۱۳ را ارائه می-کند.

جدول۱.۳.۱۳ – مقایسه نیروی جانبی جرثقیل بین نشریه ASCE وگزارش فنی شماره ۱۳ نشریه AISE		
جرثقیل ۱۰۰ تنی کارگاه نورد	وزن ارابه ۶۰،۰۰۰ پوند (شامل وزن قلاب)	کل وزن جرثقیل =۱۵۷۰۰۰ پوند
مرجع	رابطه (نیروی کلی)	نیروی کلی
ASCE 7 (ASD)	(وزن ارابه + ظرفیت جرثقیل) 0.20	52.00 kips
AISE Report 13	(1) 0.40 (بار برداشته) (2) 0.20 (وزن ارابه + بار برداشته) (3) 0.10 (کل وزن جرثقیل + بار برداشته)	80.00 kips 52.00 kips 35.72 kips

۳.۱۳ نیرویی طولی یا نیروی کششی Tractive Foree

ASCE 7

نیروی طولی در تیرریل به میزان ۱۰درصد حداکثر بار چرخ جرثقیل به‌حساب می‌آید. در ASCE 7 جرثقیل‌هایی با دروازه‌های دارای گیربکس دستی را از این مورد معاف دانسته. که البته نویسنده این نکته را نظر ASCE می‌داند که نیروی کششی طولی را برای این نوع جرثقیل در نظر نمی گیرد. باید فرض گردد که این نیروی طولی به صورت افقی در روی سطح کشش تیر ریل در دو جهت موثر است.

نیروی کششی باید ۲۰درصد حداکثر بار روی چرخ‌های پیش‌ران گرفته شود.

٤.١٣ نیروی توقف جرثقیل:

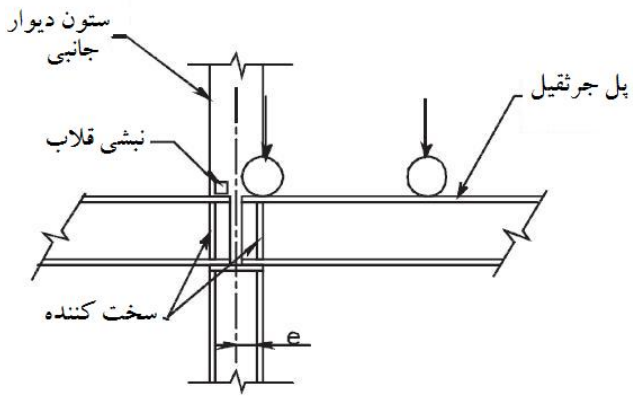
شدت نیروی ضربه‌گیرها، بسته به ابزار جذب کننده انرژی که در ضربه گیرها بکار رفته می‌باشد. این ابزار ممکن است به صورت خطی، مثلاً فنرهای لوله‌ای و یا غیر خطی مانند ضربه‌گیرهای هیدرولیک باشند. بخش ۱۸. ۶ را برای اطلاعات اضافی در طراحی متوقف کننده‌های ریل ببینید.

توقف کننده‌های جرثقیل، ترمزهای جرثقیل، کلیه اعضاء اتصالات که ضربه را به زمین منتقل می‌کنند، برای نیروی جذب ضربه باید طراحی شوند. پیشنهاد می‌شود مهندسین طراح در نقشه‌های سازه، شدت نیروی ضربه استفاده در طراحی را نشان دهند. نیروی ضربه بطور معمولی بوسیله کارفرما و یا تولید کننده جرثقیل مشخص می‌شود. اگر هیچ اطلاعاتی در زمان طراحی قابل دسترس نباشد، بخش ۶. ۶ از جزوه MBMA 2002 را برای بعضی راهنمایی‌ها ببینید.

۱۳. ٥ خروج از مرکز

خروج از مرکز نشیمن ریل جرثقیل، روی ستون، در محاسبه خمش ستون باید در نظر گرفته شود. حالت بحرانی خمشی در این مورد ممکن است زمانی باشد که چرخ‌های جرثقیل در وسط ستون قرار نگرفته و درست در لبه یک طرف

آن قرار گرفته است. همانطوریکه در شکل ۱۳ . ۵ . ۱ آمده است .(منظور خروج از مرکز حول محور عمود بر جان است که در آن حاصل ضرب نیرو درمقدارe حداکثر است.م) توضیحات اضافی برای سایر خروج از مرکزها در بخش ۱۷. ۲ و ۱۸ . ۲ آمده است.



شکل ۱.۵. ۱۳ .مکان محتمل بارگذاری بحرانی

۱۳. ٦ بارهای لرزه‌ای

اگرچه جرثقیل بارهای لرزه‌ای به سازه القاء نمی نماید اما وزن جرثقیل در بارهای لرزه‌ای باید دیده شود. در این مورد وزن جرثقیل و ارابه که بار را بلند کرده‌اند، باید به صورت خالی در نظر گرفته شوند. طراح باید به دقت به تخمین محل جرثقیل برای دست‌یابی به بحرانی‌ترین حالت نیروی زلزله برای سازه بپردازد.

در جائیکه مناسب باشد، تحقیقات میدانی برای یافتن بازتاب مقاطع خاک در مقابل زلزله، باید صورت گیرد.

بازتاب تداخل زلزله بین سازه جرثقیل و لوازم آن باید مورد محاسبه قرار گیرد.

ملاحظات خاص نیز باید به طراحی، بالاتر از آنچه مشخصات آئین‌نامه سازه‌ای برای (زلزله .م) ساختمان آمده، صورت گیرد. چه سازه جرثقیل چه وسائل آن باید آماده سرویس‌دهی بلافاصله بعد از زلزله در سطح زلزله مورد محاسبه باشند. این موضوع ممکن است شامل بررسی شتاب قائم زلزله و تاثیرات آن در قابلیت جرثقیل در بالا پریدن از روی ریل در جریان زلزله باشد. همچنین توجه طراح به این نکته جلب می‌شودکه به تعیین حدود زلزله، که ممکن است به سیستم سازه وارد شود، بپردازد و به تعیین جزئیات خاص مورد لزوم براساس طبقه‌بندی زلزله‌ای طرح نیز توجه کافی معطوف دارد.

۱۳. ۷ ترکیب بارها .

اضافه بر آئین‌نامه‌های به کار رفته ، مالك ممکنست هم‌خوانی آنها را با قوانین مندرج درگزارش شماره ۱۳ نشریه AISE لازم بداند . اگرچه در نبود چنین قوانینی، طراح باید با ملاحظه استفاده ای که ساختمان برای آن پیش بینی می شود به آئین‌نامه‌ها رجوع نماید . آئین‌نامه های ساختمانی معمولاً فاقد ترکیب بارگذاری مختلف جرثقیل ها می باشند . برای مثال : کدام بار باید برای یک جرثقیل و یا چند جرثقیل، در آن واحد، مورد ملاحظه قرار گیرد . امّامعمولاً آن ها ترکیب بار جرثقیل را با بار باد ، برف، زنده ، زلزله و سایر بارها ارائه می دهند. برای یک جرثقیل ، برای هر دهانه باید طراحی برای بدترین حالت بارگذاری ، با قرار گرفتن جرثقیل در بدترین حالت برای هر المان مورد طراحی ، صورت گیرد . همانطوریکه توضیح داده شد، اگر بیش از یک جرثقیل برای بار برداری مورد نظر است ، بسیاری از آئین‌نامه ها برای روش طراحی مسکوت می باشند .قضاوت مهندس رادر این مورد باید در نظر

گرفت. درگزارش شماره ۱۳ نشریه AISE ،که بر پایه ASD می باشد،شامل موارد زیر برای طراحی اعضائی که با چند بار جرثقیل (درآن واحد . م) مواجه هستند،می باشد. این موارد را طراح برای طراحی اعضاء تکیه گاهی مورد استفاده قرار می دهد .

طراحی اعضاء (ویا قاب‌ها) ، مصالح اتصال و اتصال‌دهنده‌ها (پیچ، جوش. م) براساس آنکه هر کدام از سه ترکیب زیر حاکم باشد طراحی می شود . ممان و برش برای هر کدام از بارگذاری ها باید جداگانه لیست شود (برای مثال : بارمرده ، بار زنده ، خروج از مرکزجرثقیل ،نیروی نگهدارنده جرثقیل ، باد و غیره ...). حدود تنش‌های مجاز تحت بار تکراری براساس ملاحظات خستگی باتخمین تعداد تکرر بار براساس طبقه بندی ساختمانی مورد نظر قرار گیرد . مالک باید بصورت تخمین تعداد تکرر باررا برای هر بخش از ساختمان افزایش دهد ، چرا که تضمینی خواهد بود برای تغییرات احتمالی در استفاده ازجرثقیل .

ترکیب اول: $"D + C_{vs}+0.5\ C_{ss}+ C_i$

این مورد به ترکیب بارگذاری برای طراحی اعضا برای بارهای تکراری می پردازد . تعداد تکرر مورد استفاده بعنوان پایه طراحی باید /۵۰۰/۰۰۰ تا /۲/۰۰۰/۰۰۰ (شرط ۳ بارگذاری)و یا بالاتراز /۲/۰۰۰/۰۰۰ (شرط ۴ بارگذاری)، همانطوریکه توسط کارفرما برای ساختمان باکلاس A ساختمان با کلاس B وکلاس C باید برای /۱۰۰/۰۰۰ تا /۵۰۰/۰۰۰ تکررطراحی شود (شرط ۲ بارگذاری) و /۲۰/۰۰۰ تا /۱۰۰/۰۰۰ (شرط ۱ بارگذاری) به ترتیب . این مورد برای کلاسD ساختمان‌ها، نباید بکار رود."

باید توجه داشت محاسبه بار D(بار مرده) نباید در این مورد بارگذاری در نظر گرفته شود، چراکه بار مرده ایجاد شرائط تنش نوسانی نمی‌نماید. گزارش شماره ۱۳نشریه AISE اجازه استفاده از متغیرهای سطح بالاتری را برای طیف دامنه تنش می‌دهد.

ترکیب ۲:

تک جرثقیل : $(1)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_{VS}+C_i+C_{ss}+C_{ls}$ "

چند جرثقیل : $(2)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_{vm}+C_{ss}+C_{ls}$

این مورد در تمامی طبقه‌بندی ساختمان ها قابل استفاده است. تنش کامل ممکن است مورد استفاده قرار گیرد . "

ترکیب ۳:

$(1)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_{VS}+C_i+W$

$(2)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_{VS}+C_i+C_{ss}+0.5W$

$(3)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_{VS}+C_i+0.67C_{bs}$

$(4)\ D+L+(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)+C_d+E$

این ترکیب در تمامی طبقه‌بندی‌های ساختمان‌ها قابل استفاده است.
تاثیر جمع کل بار ترکیبی ممکنست با ضریب 0.75، بدون هیچگونه ازدیاد در تنش مجاز، بکار رود."
برای روابط فوق گزارش شماره ۱۳ نشریه AISEتعاریف زیر بکار می‌رود :

C_{VS} = بار قائم ناشی از تک جرثقیل فقط در یک راهرو.(یک سالن و یا راهروی عبوری. م)

C_{SS} = نیروی جانبی ناشی از تک جرثقیل فقط در یک راهرو.

C_i = ضربه قائم ناشی از تک جرثقیل فقط در یک راهرو.

C_{ls} = کشش طولی ناشی از تک جرثقیل فقط در یک راهرو.

C_{vm} = بار قائم ناشی از چند جرثقیل.

C_{bs} = ضربه‌گیر ناشی از تک جرثقیل فقط در یک راهرو با صد در صد سرعت.

C_d = بار مرده تمامی جرثقیل‌ها، متوقف در یک راهرو، در موقعیت حداکثر اثر زلزله .

E = بار زلزله .

F = بار ناشی از مایعات .

L = بار زنده ناشی ازاستفاده واشغال شامل بار زنده سقف، به استثنای بار برف و بار ریل‌های جرثقیل.

L_r = بار زنده سقف .

S = بار برف .

R = بار باران (با در نظرگرفتن زه‌کشی‌های غیر کافی)

H = بار ناشی از فشار جانبی خاک و آب در خاک .

P = بار ناشی از استخری شدن.

T = نیروهای درونی، مثل جمع شدن یا بازشدگی در اثر حرارت، افت حجمی، تغییر رطوبت، خزش و یا اختلاف در نشست .

W = بار باد.

از آنجـائیکه در استاندارد طبـقه بندی درگزارش شماره ۱۳ نشریه AISE طبقه بندی ساختمان هابـراساس بیشترین شرائـط مواجه(با ساختمان.م) می باشد ، باید در مورد آنها با قضاوت مهندسی عمل نمود . مهندس با مشاوره با کارفرما باید ضوابط مشخصی را تعیین نماید . برای مثال ، سایر ترکیب های بارگذاری مورد استفاده توسط مهندسین می تواند شامل مواردزیر باشد .

۱- حداکثر دو جرثقیل که به یکدیگر متصل شده اند با حداکثر بار چرخ - ها ۵۰ درصد نیروی مشخصه جانبی برای هر جرثقیل و۹۰ درصد نیروی مشخصه کششی طولی ، بدون هیچگونه ضریب ضربه قائم.

۲- یک جرثقیل در راهرو و دیگری در راهرو مجاور با حداکثر بار چرخ ، نیروی مشخصه ضربه ای قائم و با ۵۰ درصد نیروی مشخصه جانبی و نیروی مشخصه کششی طولی از هریک از دو جرثقیل .

۳- حداکثر دو جرثقیل در یک راهرو و یک یا دوجرثقیل در راهرو مجاور با حداکثر بار چرخ و ۵۰ درصد نیروی مشخصه جانبی جرثقیل ها در راهرو که حداکثر نیروی جانبی را تولید می کنند ، بدون محاسبه نیروی جانبی جرثقیل در راهرو مجاور ، بدون نیروی ضربه قائم و نیروی کششی طولی .

اطلاعات اضافی در مورد ترکیب بارگذاری در جزوه:
MBMA: Low Rise Building Systems Manual می باشد. اطلاعات داده شده درمورد ترکیب بار در این جزوه شبیه اطلاعات AISE گزارش شماره ۱۳ می باشد .

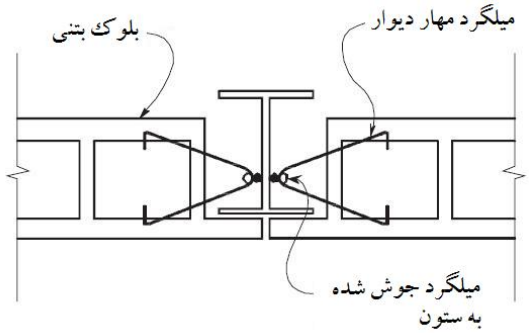
۱٤- سیستم سقف

جرثقیل در سیستم های صنعتی تاثیری در اصول پوشش سقف ندارد . سازه جرثقیل تکان می خوردو هرگونه تاثیری که این حرکات در سقف بجا می گذارد باید دقیقاً مورد توجه قرار گیرد . این بدان معنی است که باید به جزئیات اتصالات مانند ، آبچکان‌ها ، ورق‌های تیزه و ... توجه شود .

یک اختلاف در طراحی سیستم نگهداری سقف برای ساختمان‌های با جرثقیل که در تضاد با ساختمان‌های صنعتی بدون جرثقیل می‌باشد، اینستکه طراحی سیستم دیافراگم سقفی تنها باید بعد از توجه کافی به بارهای موضعی که از سوی جرثقیل به آن وارد می‌شود صورت گیرد.همین طور بار باد معمولاً به-صورت یکنواخت نیرو را به دیافراگم سقف وارد می‌کند. در حالیکه بار جرثقیل موضعی است و ایجاد نیروی متمرکز تکراری نموده که از قاب باید به دیافراگم منتقل شود. این بار متمرکز در ترکیب طبیعت نوسانی بار جرثقیل (خستگی) باید به صورت دقیق قبل از انتخاب دیافراگم سقفی مورد بررسی قرار گیرد.

۱۵- سیستم دیوارها :

توجه مخصوصی باید به دیوارهای سالن جرثقیل به علت حرکت و لرزش معطوف گردد . ستون ها معمولاً به سیستم دیوار بسته می شوند ، تا نگهدارنده ای (Bracing) برای ستون باشند و یا ستون‌ها دیوارها را نگهداری نمایند . (مورد آخر فقط به ستون هایی که به صورت سبک بار شده اند موبوط می شود) . برای دیوارهای مصالح ساختمانی یا بتنی لازم است با استفاده از جزئیات مناسب ستون به دیوار بسته شود . شکل ۱۵. ۱ نشان دهنده یک جزئیات اتصال که برای دیوارهای مصالح ساختمانی مناسب است ، می باشد.



شکل۱.۱۵.قلاب جهت دیوارهای مصالح ساختمانی

میلگردهای قلاب دارخم شده با انعطاف خود اجازه حرکت عمود بر دیوار را داده ولی سختی خود را در جهت موازی دیوار حفظ می کنند ، که دیوار را قادر می سازد تا در جهت محور ضعیف ستون ، آنرا نگهداری نماید. استفاده از دیوار جهت سیستم نگهداری جانبی ستون در صورتیکه امکان توسعه آینده (و احتمالاً حذف دیوار . م) وجود دارد نباید صورت گیرد .اگر یک اتصال صلب بین ستون و دیوار بوجود آید و در آن حرکت جرثقیل و لرزش های مربوطه مورد پیش بینی قرار نگرفته باشد ، مشکلات دیوار اجتناب ناپذیر است. (البته طبیعی استکه جزئیات فوق در عمل نمی تواند دقیقاً به این صورت باشد وحفره موجود بین ستون و دیوار باید بوسیله بتن یا ملات پر شود ووجود ترک اجتناب ناپذیر است ولی استفاده از این جزئیات یا مشابه برای نگهداری جانبی ستون ضروری است.م)

۱۶- سیستم قاب :

پیشنهادات عمومی که در مورد ساختمان‌های صنعتی قبلاً ارائه شد ، در مورد ساختمان های صنعتی با جـرثقیل نیز صـادق می باشد . اگـرچه ، اقتصادی ترین فـرم قاب ها ، معمولاً بوسیله جرثقیل دیکته می شود، معمولا دهانه بهینه برای ساختمان‌های با جرثقیل، دهانه کوچکتر است و بین ۲۵ تا ۳۰ فوت می

باشد. این ابعاد اجازه استفاده از مقاطع نورد شده را برای ریل جرثقیل در بارهای پائین تر ارائه می کند . دهانه های اصلی ۵۰ تا ۶۰ فوتی ، با ستون‌های باد ، معمولاً با فونداسیون‌های عمیق و جرثقیل‌های سنگین اقتصادی‌تر است .

طراحی قاب درساختمان‌های جرثقیل‌دار باید با توجه کافی به شرائط بهره برداری که کنترل کننده مقـدار مطلق و نـسبی حرکت جـانبی ریل می باشـد و توسط قـاب و سختی سیـستم بادبندی تامین می گردد، صورت گیرد. دلیل ایجاد حرکت جانبی می تواند نیروهای جانبی خارجی (باد و زلزله) و یـا نیروهای جانبی ناشی از عملیات جرثقیل باشـد . ضوابط طـراحی برای جـرثقیل معلق در مـقابل جرثقیل‌های کابین دار ،بعلت آنکه راننده در کابین و با جرثقیل حرکت می کند مختلف می باشد . در قاب های شیبدار با جرثقیل (تیپ سوله.م) ، بار قائم درتیرهای سقف باعث دور شدن زانوی قاب (محل اتصال تیر به ستون . م) و در نتیجه دور شدن ریل های جرثقیل از هم می شود . بلعکس ، خروج از مـرکز روی براکت های نشیمن ریـل ها روی ستون ها ، باعـث کشیده شدن سر سـتون در اثر بار جرثقیل ، به داخل گردد. که خود باعث نزدیک شدن ریل‌های جرثقیل به یکدیگر می‌شود . مورد دیگر، نیروی کششی درون ریل ایجاد حرکت طولی در ریل کرده که با ایجاد پیچش در ستون‌های نگهدارنده ، در صورت استفاده از براکت ، و یا در صورت استفاده از اتصالات صلب برای نگهداری ریل ، باعث خم شدن ستون قاب می گردد . حرکت طولی ریل در صورت استفاده از سیستم بادبندی، به ندرت مشکل ساز می گردد . محدودیت های بهره برداری پیشنهادی برای قاب های نگهدارنده جرثقیل عبارتند از:

۱- جرثقیل‌های معلق: تغییرمکان جانبی (drift) قاب به ارتفاع ریل(فاصله ریل از صفحه ستون.م) به کمتر از عدد ۱۰۰ براساس فشار باد ده ساله و یا

نیروی جانبی جرثقیل روی قاب لخت باشد . ازآنجائیکه این محدودیت باعث ایجاد رفتاررضایت بخشی می شود، این دامنه حرکت باید برای مطالعه به کارفرما ارائه شود ، چرا که ممکن است مقدار آن، در یک ساختمان تمام شده، خیلی زیاد بنظر آید . (در نشریه مرجع،که راهنمای شماره ۳ از AISC می باشد فقط کلمه ارتفاع در مورد کل سازه ها،آمده وقید شده که براساس تجربیات تهیه کننده آن با رعایت این محدودیت، حرکت سازه قابل رویت نخواهدبود. نویسنده این کتاب کلمه ارتفاع را به ارتفاع ریل تعبیر کرده است .بنابر این احتمالاً باید ارتفاع زانوی قاب مورد توجه قرار گیرد ونه ارتفاع ریل چراکه موضوع به شرائط سرویس دهی مربوط است .م)

۲- جرثقیل بهمراه راننده در کابین : تغییر مکان جانبی قاب کمتر از ارتفاع ریل به عدد ۲۴۰ باشد و کمتر از ۲ اینچ براساس فشار باد ده ساله و یا نیروی جانبی جرثقیل روی قاب لخت باشد .

۳- کلیه جرثقیل هایی که در روی بال فوقانی ریل حرکت می کنند : حرکت نسبی بداخل دو ریل به سمت یکدیگر نباید بیشتراز نیم اینچ کوتاه شدن فاصله دو ریل از هم باشد(منظور نزدیک شدن دو ریل جرثقیل به یکدیگر می باشد. م) . این تغییر مکان ممکن است ناشی از بار قائم استاتیکی جرثقیل باشد .

۴- کلیه جرثقیل‌هایی که درروی بال فوقانی ریل حرکت می کنند: حرکت نسبی به خارج دو ریل و ازدیاد فاصله نباید از یک اینچ، در جهت فاصله دو ریل، بیشتر باشد . بار مربوط به این تغییر مکان بسته به مکان ساختمان می باشد . در مکان‌هایی که بار برف روی سقف آنها کمتر از 13 PSF باشد ، برای کنترل سرویس‌دهی هیچ بار برفی منظور نمی گردد. در مکان‌هایی

که بار بــرف روی سقف بین 13 PSF تا 31 PSF باشد پنجاه درصد بار برف باید در نظر گرفته شود . در نهایت در مکان‌هایی که بار برف از 31PSF تجاوز می کند ، هفتادوپنج درصد باربرف باید در نظر گرفته شود .

(در جزوه راهنمای شماره ۳ ازسری نشریات AISC بنام :

SERVICEABILTY DESIGN CONCDERATIONS FOR STEEL BUILDINGS

حرکت طولی ریل ،در صورتی قابل صرفه نظرکردن منظور شده که سیستم بادبندی به صورت ضربدری و ازپروفیل های گرم نورد شده مورد استفاده قرار گرفته باشد . درصورت عدم استفاده از بادبندی و استفاده از قاب خمشی در این جهت ممکنست نیروی طولی که ناشی از کشش ،یاد شده در بند ۱۳-۳، و یا برخورد جرثقیل به ضربه گیرها باشد ، ستون را بیش از اندازه دچار خم-شدگی نماید . در نبود هیچ استانداردی ، پیشنهاد گردیده برای این حرکت همان محدودیت های حرکت عرضی، یعنی محدودیت یاد شده دربند ۱ و ۲ فوق، در این جهت نیزبکاررود. م)

توضیح محدودیت‌های سرویس‌دهی همچنین به صورت جزئیات در راهنمای شماره ۳ (Steel Design Guide N0.3) (Fisher 2003):

به اضافه آنچه در بالا در مورد شرائط سرویس‌دهی آمد، آورده شده. ساختمان‌های دفتری باید از ساختمان با جرثقیل جداسازی گردد. چرا که لرزش و صدای ناشی از حرکت جرثقیل در سطح دفاتر به حداقل برسد.

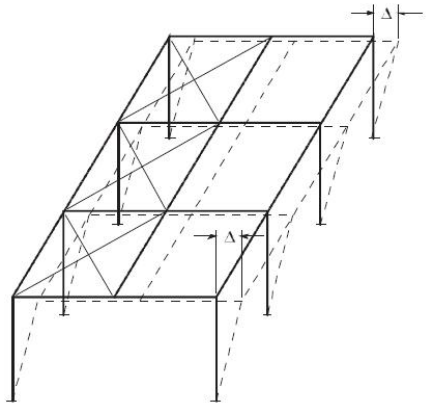
۱۷ . سیستم بادبندی:

۱.۱۷ بادبندی در سقف:

بادبندی در سقف درساختمان‌های با جرثقیل بسیار مهم می باشد . این بادبندها اجازه می دهد تا نیروی جانبی ناشی از جرثقیل ، در قاب‌های مجاور نیزتقسیم

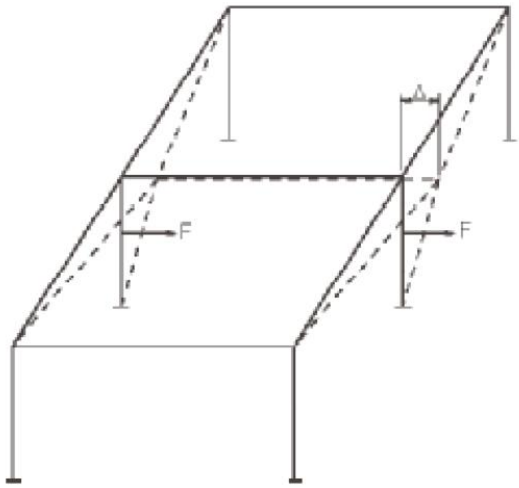
شود. این تقسیم نیرو باعث کاهش ممان در ستون قاب تحت این نیرو می گردد. این موضوع برای تمام فرم های قاب صادق است (بـرای مثال : قاب های خـمشی ساخته از پـروفیل‌ها ، ورق‌ها و خـرپاها و همچنین قاب‌های بادبندی شده) . اگرچه باید توجه داشت در مورد قاب‌های صلب ممان درقاب نمی تواندبه کمتر از ممان ناشی از باد کاهش یابد .

شکل ۱.۱.۱۷ و ۲.۱.۱۷ و ۳.۱.۱۷ به صورت گرافیکی نشان دهنده اصول استفاده از بادبندی سقف برای توزیع نیروی جانبی جرثقیل در ستون‌ها می باشد . برای بارباد کلیه قاب‌ها و ستون‌ها دارای تغییر مکان و یکنواخت آنطور که در شکل ۱.۱.۱۷ آمده می‌باشند .



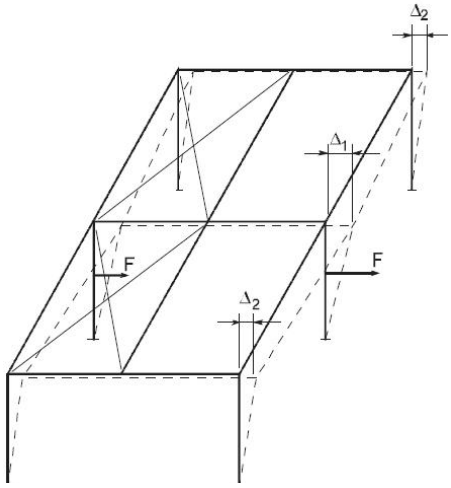
شکل ۱.۱.۱۷ .تغییر مکان جانبی یکنواخت ناشی از بار باد

برای ساختمان با جرثقیل بدون بادبندی سقفی بارجانبی جرثقیل به یک قاب منتقل می شود . (شکل ۲.۱.۱۷) که باعث تغییرمکان کاملاً مختلف بین قاب‌ها می گردد . اضافه نمودن بادبند در سقف‌ها باعث همکاری قاب‌های مجاور در بردن بار می گردد . ستون‌های مجاور قاب بار شده ، با تقسیم بار بین خود ، از اختلاف شدید تغییر مکان بین خود خواهند کاست . (شکل ۳.۱.۱۷).



شکل۲.۱.۱۷ .تغییر مکان جانبی قاب باد بندی نشده ناشی از بار جرثقیل

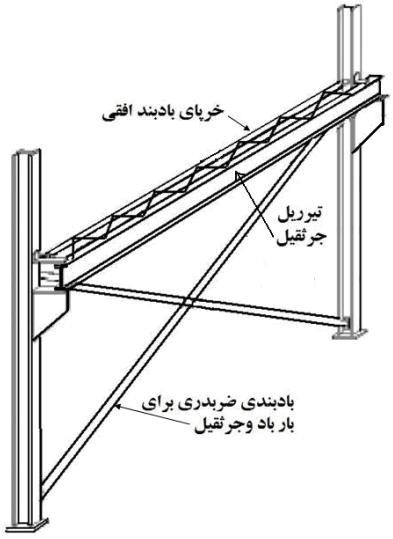
استفاده ازنبشی‌ها و مقاطعT معمولاً سختی لازم را در این سیستم بوجود می آورند . (استفاده از نبشی وT و مقاطعی که دارای شعاع ژیراسیون کمی هستند امکان دارد در اثروزن خود دچار شکم دادگی در هنگام نصب گردد . که اگر ازاتصالات پیچی برای آنها استفاده شود با کشیدن و استفاده از گوه مخصوص میزان کردن سوراخ‌ها ، با ایجاد نیروی کششی ، مستقیم می گردند . امّا اگر از اتصالات جوشی استفاده شود ، احتمالا دچار افتادگی خواهند شد و عملکرد آنها در نیرو بری مختل می گردد . در این موارد استفاده از حرارت دادن قطعه بادبند و سپس جوش کردن آن ممکن است موثرباشد . در غیراینصورت بهتر است ازمقاطع میلگرد برای این قطعات استفاده نمود که با استفاده ازدو پیچ Turn Buckle و یا بست قورباغه کاملاً تنیده و محکم می گردد . برای محاسبه نیرو دراین بادبندها به صفحه ۱۶۵ کتاب طرح و محاسبه قاب‌های شیبدار تالیف مترجم می توان رجوع نمود . م) توضیحات اضافی در مورد توزیع باردربخش ۲۰-۱ آمده است .



شکل ۳.۱.۱۷ تغییر مکان جانبی قاب بادبندی شده ناشی از بار جرثقیل

۲.۱۷ بادبندی در دیوارها:

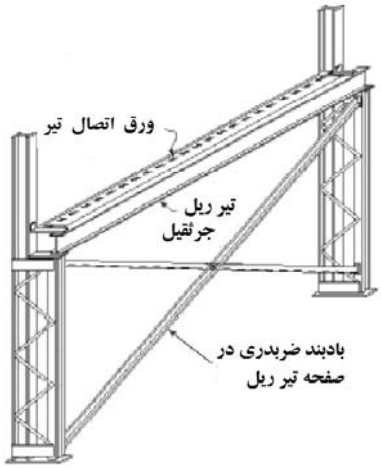
تعیین اثرنیروهای طولی جرثقیل درسازه ، برای تعیین بادبندی مناسب دیوار و جرثقیل مهم است . (بادبندی دیوار برای هر دومورد باد و جرثقیل ممکنست بکاررود.)برای جرثقیل های سبک ، بادبندی در مقابل باد در صفحه دیوار ممکنست برای مقابله با نیروهای طولی جرثقیل کافی باشد (شکل ۱.۲.۱۷).برای نیروهای طولی بزرگ ،بادبندی بیشتری لزوم می یابد که در



شکل۱.۲.۱۷بادبندی دیواری
برای جرثقیل

صفحه ریل جرثقیل قرار گیرد (شکل ۲.۲.۱۷). برای تنظیم بادبندی نشان داده شده در شکل ۱.۲.۱۷ ، نیروی طولی جرثقیل نسبت به صفحه بادبند ضربدری خروج ازمرکزدارد . بنابراین ستون‌های جرثقیل در صورت عدم استفاده از خرپای افقی تمایل به پیچیدگی (Twist) دارند .

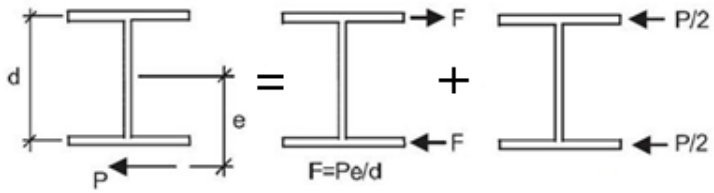
این پیچیدگی باعث ایجاد تنش های اضافی درستون می گردد. مهندس طراح باید مقدار این تنش را محاسبه و به تنش محوری و خمشی ستون اضافه نماید .



شکل ۲.۲.۱۷ .بادبندی قائم برای جرثقیل سنگین

آنالیز پیچشی در مورد تعیین این تنش می تواند بکار رود . یا می‌توان به صورت محاسبه تقریبی محافظه کارانه این تنش را با فرض اینکه این پیچش به صورت کوپل نیرو در بال ستون مقابله می شود ، همانطوریکه در شکل ۳.۲.۱۷ آمده در بال‌ها محاسبه گردد. تنش خمشی در بال‌ها می‌تواند بوسیله نیروهای بوجود آمده در بال‌ها، بدست آورد . برای انتقال پیچش ، Pe ، به دو بال ، ممکنست به سخت کنندهائی (Stiffeners) در محل ورود P نیاز باشد . (بنظرمی رسد منظورنویسنده ازپیچیدگی (Twist) تابیدگی(Warping) باشد . و باید بوسیله سختی پیچشی مقطع مقابله گردد . طراح باید توجه

داشته باشد که این نوع تنش دارای جهتی برشی است و ایجاد تنش کششی و فشاری در بال‌ها نمی کنند . م)



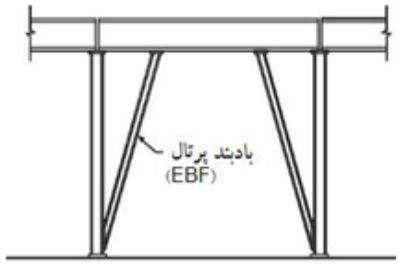
شکل ۳.۲.۱۷ نیروی خارج از مرکز ستون

ضوابط زیر برای تعیین نیاز بادبندی برای انتقال نیروی طولی جرثقیل می باشد .

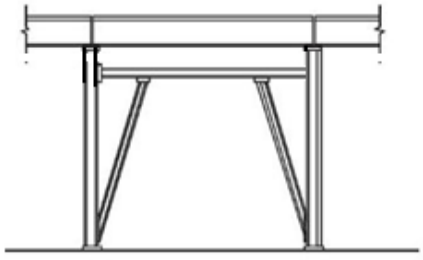
۱. برای بارهای کوچک طولی (تا 4 kips) استفاده از بادبند مقابله با نیروی باد، در جائیکه ستون برای القای نیروی خروج از مرکز طراحی شده موثراست .

۲. برای بارهای متوسط طولی (4kips تا 8 kips) خرپای افقی معمولاً برای انتقال نیروی طولی جرثقیل به صفحه ستون بادبندی ضربدری لازم است .

۳. برای بارهای بزرگ طولی (بزرگتر از 8 kips) استفاده ازبادبندی درصفحه نیروی وارده معمولاً موثرترین سیستم باد بندی می باشد . ممکنست لازم باشد که بادبندی ضربدری به صورت مجزا، در قاب‌های باد بندی شده، درجهت خروج از مرکزها اجرا گردد .



شکل۴.۲.۱۷ سیستم بادبندی ریل جرثقیل



شکل ۵.۲.۱۷ سیستم بهبود یافته بادبندی ریل جرثقیل

معمولاً بادبندهای ضربدری که این نیروی افقی جرثقیل را تحمل می کنند بهتر است از نبشی و یا مقاطع T بجای میلگرد باشند . در جائیکه بایداین دهانه ها برای عبور بازباشند بهتراست از سیستم خمشی (PORTAL) بجای طرح ستون برای خمش در جهت ضعیف استفاده نمود . (شکل ۴.۲.۱۷) (سیستم E.B.F.م). لازم است توجه شود که سیستم PORTAL نیازمند طراحی خاص برای عضو افقی (تیر) می باشد و اعضـاء مورب نـیز درصد بزرگـی ازنیروی عـمودی جرثقیل را مـی گیرد . این سیـستم باید فقط برای جرثقیل های سبک با شرائط خستگی پائین مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۴.۲.۱۷). سیستم نشان داده شده در شکل ۵.۲.۱۷ می تواند بجای سیستم شکل ۴.۲.۱۷ بکار رود . (در این سیستم بار قائم جرثقیل به موربها وارد نخواهد شد. م) .

۱۸. طراحی ریل جرثقیل :

ملزومات مقاومت برای طراحی تیرجرثقیل ، ابتداً بوسیله خستگی برای جرثقیل هادر CMAA 70 کلاس E وF و بعضی از درجات کلاس D مورد کنترل قرار می گیرد . بار چرخ ، فاصله آنها از هم و دهانه تیر برای طراحی تیر جرثقیل لازم می باشد . هزینه تیرجرثقیل به صورت معمول با استفاده از مقاطع ساخته شده (تیر ورق) بالا خواهد رفت . محدودیت های خستگی در مقاطع ساخته شده شدیدتر است. اختلاف بین مقطع نورد شده در مقابل تیر ساخته شده باجوش گوشه ای یکسره ،کاهش در تنش خستگی مجاز خواهد بود.

خلاصه زیردر مورد ضوابط انتخاب تیر جرثقیل ممکن است کمک نماید .

۱- جرثقیل سبک و دهانه کوچک – یک تیر بال پهن استفاده شود .

۲- جرثقیل متوسط و دهانه متوسط – یک تیر بال پهن و در صورت لزوم، به اضافه تقویت بال فوقانی به صورت ناودانی استفاده شود .

۳- جرثقیل سنگین و دهانه بلندتر – استفاده ازیک تیرورق و خرپای افقی یا یک ورق توپر در بال فوقانی .

۴- محدودیت افتادگی در زیر بار جرثقیل به شرح زیر :

افتادگی قائم تیر جرثقیل ناشی از بار چرخ (بدون ضربه)

L/600 برای جرثقیل سبک و متوسط کلاس A,B,C در CMAA 70

L/800 برای جرثقیل سبک و متوسط کلاس D در CMAA 70 (Fisher2003)

L/1000 برای جرثقیل کارخانه نورد. کلاس E,F در CMAA 70

L/400 تغییر شکل افقی تیر جرثقیل ناشی از بارهای جانبی در مورد تمامی جرثقیل ها.

۱.۱۸ مراحل طراحی تیر ریل جرثقیل(ASD)

همانطوریکه قبلاً گفته شد ، ریل جرثقیل با هردو بار قائم و افقی از سوی تکیه گاه‌ها مواجه است . بنابراین ، ریل جرثقیل باید برای ترکیب خمش حول محور X و Y محاسبه شود .

SALMON (1997)وGAYLORD (1992) خاطر نشان کرده اند که رابطه آئین‌نامه AISC برای مقاومت کمانش پیچشی جانبی براساس آنستکه بار در نقطه تار خنثی تیر وارد شود. اگر بار در بالای تار خنثی وارد شود (برای مثال ، در بال فوقانی تیر که در مورد ریل های جرثقیل می باشد.) مقاومت کمانش پیچشی جانبی کاهش می یابد. به‌اضافه آنکه بارهای جانبی سیستم جرثقیل در سطح بال فوقانی وارد می شود و تولید ممان پیچشی در تیر می نماید . زمانیکه بار قائم و جانبی در یک زمان وارد می شود ، این دو اثر روی هم گذاشته می شود. برای جبران این اثر، کلاً فرض می شود که بارجانبی ناشی از ممان پیچشی توسط بال فوقانی تحمل می شود . با این فرض ،

Salmonو Gaylord هردوپیشنهاد نمودند مقاومت جانبی تیری که این‌چنین با ممان دو جهته مواجه است،نوعاً تحت تاثیر ممان حول محور ضعیف ممان خمشی (M_y)نمی باشد . در نتیجه تنش مجاز خمشی (F_b)برای ترکیب تنش های خمشی براساس ضوابط جاری شدن و معادل $0.6\ F_y$ برای مقاطع بدون نگهداری می باشد. مثال‌های تهیه شده بوسیله SALMON و GAYLORD برای تیرهای نسبتاً کوتاه است. در چاپ قبلی این راهنما ، روش ارائه شده بوسیله اساتید یاد شده مورد استفاده قرار گرفت.اگرچه نویسنده از هرگونه تحقیق فشرده ای درمورد استفاده از این روش برای تیرهای ریل، با شکل ها و دهانه های متفاوت، بی‌اطلاع می باشد وبنا بر این پیشنهاد می نماید که از رابطه تداخلی بار محوری وممان خمشی برای تیرریل جرثقیل مندرج در AISCاستفاده شود.

ضابطه دیگری که مربوط به تیرهای ریل جرثقیل براساس آئین‌نامه AISC می شود بنام کمانش جانبی جان (Sidesway Web Buckling بخش K1.5آئینامه) می باشد . این ضابطه شامل جلوگیری از کمانش در بال کششی تیر در جائیکه بال ها در مقابل بارهای متمرکز نگهداری و یا سخت (Braceیا Stiffener) نشده اند. این نوع خرابی معمولاً زمانی اتفاق می افتد که بال فشاری در فواصل کوتاهتری ازبال کششی نگهداری شده باشد و یازمانیکه یک مقطع غیر متقارن با بال فشاری بزرگتر ازبال کششی باشد (برای مثال ، بال پهنی که با یک ناودانی در روی بال فوقانی تقویت شده باشد .) حداکثر بارمجاز متمرکز برای ضابطه حدی کمانش مورد استفاده قرار می گیرد .

ایـن ضابطه درحـال حاضر به تـیرهایی که به صـورت همزمان با تعـدادی بار چرخ مواجه هستند اشاره ای ندارد .

نویسنده اطلاعی از مشکلات گزارش شده در مورد تیرهای پل که بوسیله بار یک چرخ وبا این ضوابط طراحی شده اند ندارد.

برای ریل جرثقیل ها روش طراحیASD زیرپیشنهاد می شود ، که منطقی و مستدل بوده و در جائیکه خستگی بعنوان فاکتوری مطرح نمی باشد ، بکارمی رود . روش طراحی LRFD مشابه می باشد. مثال ۱.۱.۱۸ و۲.۱.۱۸ را برای مشاهده روش ASD وLRFD ببینید.

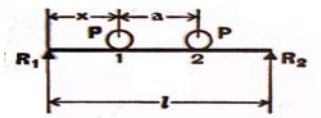
۱- محاسبه کنید ممان اینرسی لازم (I_y , I_x) برای کنترل مطمئن افت برای L/600 تا L/1000 برای افتادگی قائم.

L/400 برای تغییرشکل جانبی.

۲- موقعیت جرثقیل را برای ایجاد بدترین حالت بارگذاری تنظیم کنید . با استفاده از روابطی که در نشریه AISC برای جرثقیل های بادو چرخ روی یک دهانه ساده می باشد.(به روابط زیر مراجعه فرمائید.م)

برای تنظیم سایر چرخ‌ها حداکثرممان با استفاده از قراردادن چرخ ها بطریقی که وسط دهانه بین منتجه بارها و نزدیکترین چرخ به این منتجه قرار گیرد .

تیر دو سر مفصل _دوبار مساوی متحرک متمرکز



$$R_1 \text{ max.} = V_1 \text{ max.} \left(\text{at } x = o\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = P\left(2 - \frac{a}{l}\right)$$

$$M \text{ max.} \begin{cases} \left[\begin{array}{l}\text{when } a < (2-\sqrt{2})\ l = .586l \\ \text{under load 1 at } x = \frac{1}{2}\left(l - \frac{a}{2}\right)\end{array}\right] & = \frac{P}{2l}\left(l - \frac{a}{2}\right)^2 \\ \left[\begin{array}{l}\text{when } a > (2-\sqrt{2})\ l = .586l \\ \text{with one load at center of span} \\ \text{(case 40)}\end{array}\right] & = \frac{Pl}{4} \end{cases}$$

ماکزیمم ممان در زیر نزدیکترین چرخ به وسط دهانه اتفاق خواهد افتاد . برای دهانه های یکسره حداکثرممان از طریق آزمون و خطا بدست خواهد آمد. استفاده ازکامپیوتر دراین مورد پیشنهاد می شود .

۳- ممان خمشی(M_X, M_Y) را با درنظرگرفتن ضربه محاسبه نمائید . بسیاری از مهندسین برای تعیین M_y ، باواردکردن نیروی جانبی جرثقیل به بال فوقانی تیر ریل، می پردازند. در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE لازم می سازد که مقدار نیروی جانبی به علت آنکه به بالای ریل وارد می شودونه بالای پل، ایجاد خروج از مرکز نموده و باید افزایش یابد.

۴- برای مقاطع بدون ناودانی در بال فوقانی به آزمون مقطعی بدون در نظر گرفتن تاثیر بارجانبی(M_Y) از رابطه : $S_x = M_x / F_{bx}$

درجائیکه F_{bx} ازروابط بخش F آئین‌نامهAISC بدست می آید.(در آئین‌نامه AISC 360-10 نیز بخش F می باشد.م)برای تعیین تاثیر محور ضعیف ،به انتخاب مقطع بال پهنی ، چنداندازه قویتر از آنچه از رابطه فوق بدست آمده می پردازیم . برای مقاطع با ناودانی روی بال فوقانی ازضمیمه ۱و۲ می توان کمک گرفت.اگر از ناودانی با فولاد A36 روی تیر پل ریل با فولاد A992 استفاده شود،باید مقاومت کمانش پیچشی جانبی لازم براساس فولاد A36 محاسبه شود. همچنین مقاومت در جهت ضعیف باید بر پایه فولاد ناودانی مورد محاسبه قرار گیرد.

۵- مقطع را با استفاده از رابطه زیر بدست آورید :

$$\frac{M_x/S_x}{F_{bx}} + \frac{M_y/S_t}{F_{by}} \le 1.0$$

S_t = مدول مقطع نیمهٔ فوقانی مقطع حول محور y می باشد. برای مقاطع نورد شده بدون ناودانی فوقانی S_t باید به صورت یک دوم از کل S_y مقدار مقطع

گرفته شود ، چرا که در فرضیات طراحی مقاومت در مقابل بار جانبی جرثقیل را فقط بال فوقانی انجام می دهد. در مقاطعی که بوسیله ناودانی روی بال فوقانی تقویت شده اند S_t برابرمدول مقطع مساحت ناودانی و بال فوقانی خواهد بود . مقادیر این پارامتر در ضمیمه A جدول ۱ برای ترکیبات مختلف مقاطع C,W آمده است . جدول ۱ همچنین برای مقادیر I_x و S_1, S_2, Y_1 آمده که S_1, S_2 مدول مقطع نسبت به بال تحتانی و فوقانی بترتیب می‌باشد. Y_1 عبارتست از فاصله بین بال تحتانی و مرکز مقطع است. جدول ۱ همچنین ممان اینرسی I_t از بال فوقانی برای ترکیبات C,W رامی دهد.

۶- کنترل کنید مقطع را با توجه به کمانش جانبی جان همانطوریکه در بخش K 1.5 آئین‌نامه AISC آمده است.

کنترل های فوق در جمع بندی با تنش های ناشی از کشش های طولی در تیر ریل نمی باشد. در ASCE 7 ترکیب بار خاصی برای نیروهای درون تیر ریل ارائه نشده. اگرچه در گزارش شماره ۱۳ نشریه AISE شامل دو ترکیب بارگذاری است که نیروهای کششی طولی را در نظر گرفته. نویسنده به صورت معمول به کنترل تنش های طولی درتیرهای ریل براساس سطح مقطع کل تیر پرداخته. در اکثر موارد سطح تنش بسیار پائین بوده ، به طریقی که می تواند مورد صرفه نظر قرارگیرد.

در انتخاب آزمونی مقاطع نورد شده ممکن است استفاده از ضریب زیربرای مقاطع Wبدون تقویت بال فوقانی بوسیله ناودانی کمک کننده باشد :

شکل W	S_x/S_y
W8تاW16	3 to 8
W16 تا W24	5 to 10
W24 تا W36	7 to 12

جدول ۲ در ضمیمه A شعاع ژیراسیون r_T و d/A_f برای ترکیبات معمول W,C را نشان می دهد. باضافه آنکه ، برای این ترکیبات ، حداکثردهانه (طول مهار نشده) برای آنهایی که تنش مجاز برابر $0.6F_y$ می تواند گرفته شود ، نوشته شده .

درجائیکه خستگی مورد توجه است ، در روش فوق باید محدوده تنش های مربوط به بارزنده برای حالات بحرانی از تنش خستگی آورده شده آئین‌نامه AISC ضمیمه K تجاوز ننماید .

مثال ۱.۱.۱۸: طراحی ریل جرثقیل (ASD):

ظرفیت جرثقیل: 20ton معادل 40Kips

دهانه پل جرثقیل : (Bridge) معادل 70ft

نحوه هدایت: کنترل باکابین

وزن پل جرثقیل : 57.2 Kips

وزن ارابه و قلاب : 10.6 Kips

حداکثر بار چرخ (بدون ضربه) : 38.1 Kips

فاصله چرخ‌ها: "0 -12'

دهانه ریل جرثقیل: "0 – 30'

فرض نمائید هیچگونه کسری در تنش های مجاز برای خستگی ، پیش بینی نمی‌کنیم .

از ضوابط AISC و فولاد A992 برای مقطع تیروبرای ناودانی کلاهی ازفولادA572 با گرید 50 استفاده نمائید .

مکان باربحرانی چرخ‌ها براساس ممان خمشی که در شکل ۱.۱.۱۸ نشان داده شده:

$$M_x = \frac{P}{2(30)}\left(30 - \frac{12}{2}\right)^2 = 9.60(P)Kip - ft$$

مکان بار بحرانی چرخ‌ها براساس افتادگی که در شکل ۲.۱.۱۸ نشان داده شده :

$$\Delta_{Max.} = \frac{P(9)}{24(29000)(I)}\left[3(30)^2 - 4(9)^2\right](1728) = \frac{53.1(P)}{I}$$

در بار اسمی:

حداکثر بار قائم بر هر چرخ : 38.1 Kips

حداکثر بار افقی برهر چرخ : 0.20(40+10.6)/4=2.53Kips

با استفاده از ضابطه L/600 برای افتادگی حداکثر قائم ریل :

$$\Delta_{Allow} = 30(12)/600 = 0.60''$$

ممان اینرسی مورد نیاز: I_{x-x} =53.1 (38.1)/0.60 = 3372 in^4

با استفاده از ضابطه L/400 برای حداکثر تغییر مکان افقی ریل:

$$\Delta_{Allow} = 30(12)/400 = 0.9in.$$

ممان اینرسی مورد نیاز (برای بال فوقانی):

$$I_{y-y} = 53.1(2.53)/0.90 = 149\ \text{in}^4$$

محاسبه M_x و M_y:

با فرض وزن ریل معادل ۱۴۸پوند بر فوت

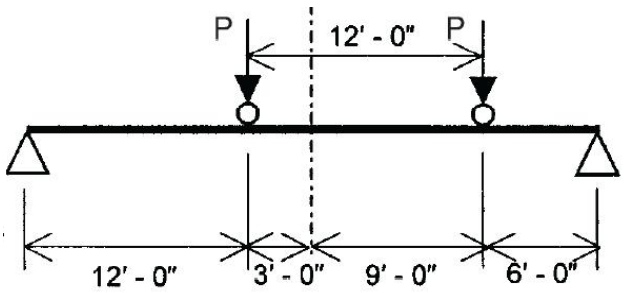
M_x (شامل ضربه):

M_x=9.60 (38.1)(1.25)+0.148(30^2)/8 = 473.85- Kip.- ft

M_y=9.60 (2.53) =24.29 Kip.- ft

برای بال کششی: ($0.6\ F_y$) F_{bx}= 30KSI

S_1 (مورد نیاز) = 472.26 (12)/30= 188.90in^3



شکل ۱.۱.۱۸ .مکان بار چرخ برای ایجاد خمش

برای بال فشاری:

با استفاده از جدول ۱ ضمیمه A، از یک W27× 94 و یک C15X33.9 بعنوان ناودانی کلاهی استفاده می کنیم :

$I_{xx} = 4530\ in^4 > 3372\ in^4$ 0.

$I_{yy} = 377\ in^4 > 149\ in^4$ 0.K $\quad$ (I_{yy} = (برای بال فوقانی و ناودانی)

$S_1 = 267.82\ in^3$ Say 268

$S_2 = 435.55\ in^3$ Say 435

$S_t = 50.25\ in^3$

کنترل ممان حول محور X :

$$f_{bx}\ (\text{کششی}) = \frac{M_x}{S_1} = \frac{473.85(12)}{267.82} = 21.2\ KSI$$

F_{bx} (کششی) $= 0.6\ F_Y = 30\ KSI > 21.2\ KSI$ 0.K

$$f_{bx}\ (\text{فشاری}) = \frac{M_x}{S_2} = \frac{473.85(12)}{435.55} = 13.1 KSI$$

از جدول ۲ ضمیمه A دیده می شود که F_{bx} معادل $0.6\ F_Y$ نمی باشد.بنا بر این تنش مجاز پیچشی جانبی باید محاسبه شود. .

ازجدول۲: $r_T = 4.465$ و $d/A_f = 1.57$ بنابراین: $L/r_t = 360/4.46 = 80.6$

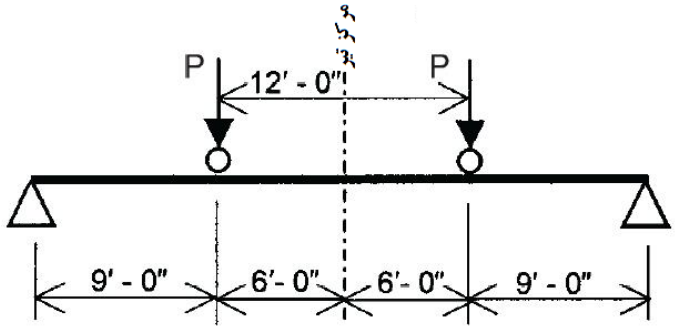
براساس این مقدار L/r_t رابطه F1-6 برای محاسبه F_b به همراه رابطه F1-8 مناسب می باشد. از رابطه F1-6 مقدار F_b=22.7 می گردد واز رابطه F1-8 مقدار F_b=21.2 می گردد. بنابراین F_b=22.7 ksi است.

کنترل برای خمشی دو جهته در بال فوقانی:

$$f_{by} = M_y / S_t = 24.29(12)/50.25 = 5.80\ \ ksi$$

حداکثر تنش خمشی ترکیبی : $\dfrac{M_x / S_x}{F_{bx}} + \dfrac{M_y / S_t}{F_{by}} \le 1.0$

$$\frac{13.07}{22.71}+\frac{5.8}{(0.75)50}=0.58+0.15=0.73 \quad O.K.$$



شکل۲.۱.۱۸ . مکان بار چرخ برای ایجاد افتادگی

کنترل کمانش جانبی جان :

با استفاده از رابطه K1.7 آئین‌نامه AISC ASD خواهیم داشت :

$$R_{Allow.}=\frac{6800t_w^3}{h}\left[0.4\left(\frac{d_c/t_w}{L/b_f}\right)^3\right]$$

$$=\frac{6800(0.49)^3}{25.41}\left[0.4\left(\frac{24.2/0.49}{360/9.99}\right)^3\right]=32.5 \quad kips$$

حداکثر بار چرخ با ضربه : 38.1 (1.25)=46.9>32.5 Kips N.G.

محاسبات نشان می دهد که یک بال پهن W30×99 بهمراه MC18×42.7 ویایک بال پهن W27× 146 کفایت می کند. پیشنهادات در مورد کمانش جانبی جان را در انتها مثال ۳.۱.۱۸ ببینید. بنابراین از یک بال پهن W30×99 بهمراه MC18×42.7 ویایک بال پهن W27× 146 استفاده می کنیم. واضح است که استفاده از یک تیر W27× 146 مقرون به صرفه تر است.

از جهت بررسی نیروی کششی طولی برای این مثال .7.62 kips می باشد. براساس مساحت یک تیر146 ×W27 سطح تنش ناشی از نیروی کششی برابر با .177 ksi است.

مثال۲.۱.۱۸: طراحی ریل جرثقیل LRFD

ضوابطی شبیه آنچه در مثال ۱.۱.۱۸ خواهد بود اما کنترل طراحی براساس AISC LRFD می باشد .

محاسبه بار ضریبدار از ASCE7-02 :

ضرایبی که هم اکنون برای بار جرثقیل ها بکار می رود به شرح زیر است :

برای وزن پل جرثقیل (Bridge) ضریب بار ۱/۲

برای وزن ارابه وقلاب و بار برداشته شده ضریب بار ۱/۶

برای جرثقیل این مثال ، بارهای چرخ ضریب دار به شرح زیر است :

P(ضریبدار) =P (پل) ×1.2 + P (ارابه + بار برداشته شده) ×(1.6)

P (پل) =57.2/4= 14.3 Kips/ هر چرخ

(حداکثر بار چرخ38.1 Kips شامل وزن پل جرثقیل.)

P(بار برداشته شده + ارابه) =38.1-14.3= 23.8Kips

برای بار قائم : هر چرخ /55.2Kips= (1.6)23.8+(1.2)14.3= P(ضریبدار)

برای بارافقی:

P(ضریبدار) =(10.6+40)(1.6)(0.20) /4= 4.05kips / هر چرخ

ضوابط کنترل افتادگی براساس روش تنش مجاز بوده و بنابر این همان روش محاسبات۱.۱.۱۸ دنبال می شود .

محاسبه M_x و M_y ضریبدار:

با فرض وزن ریل معادل ۱۴۸ پوند برفوت ، ممان های ضریبدار که شامل ضربه نیز می باشد به شرح زیر است :

M_x (ضریبدار) $=9.60(55.2)(1.25)+0.148(30)^2\ (1.2)/8= 682.9$ Kips-ft

M_y (ضریبدار) $= 9.60(4.05)= 38.9$ Kips-ft

تحقیق در مورد مقطع ناودانی CI5×33.9 با W27×94 که در روش ASD دیده شد :

کنترل خمش حول محور X:

برای: $L_b \leq L_p\ ,\ M_n = M_p = F_y Z$

برای : $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - M_r\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

برای: $L_b > L_r\ ,\ M_n = M_{cr}$

$$L_p = 1.76\sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}r_y$$

r_y برای بال فشاری بشرح زیر محاسبه می شود :

$I_{y\text{-}y}$ (بال فشاری) $= 377\ in^4$

A (بال فشاری) $=9.99(0.745) + 9.96= 17.40\ in^2$

$r_{y\text{-}y}$ (بال فشاری) $= \sqrt{\frac{377}{17.4}} = 4.65\ \ in$

بنابر این: $L_p = 1.76\sqrt{\frac{29000}{50}} \times 4.65 = 197\ \ \text{in.}$

$L_b = 30(12) = 360\ \text{in} > L_P$

بنابر این : $M_n < M_p$

مقدار L_b که M_{cr} از مشخصات AISC LRFD جدول A-F1.1 را ، مساوی با $F_L S_{xc}$ می کند،به صورت آزمون وخطا می تواند یافت شود.

نویسنده چندین چرخه محاسباتی را آزمود و مقدار L_b را معادل 440 in. اینچ یافته. آخرین چرخه آزمون در زیر آمده است.

از آنجائیکه ناودانی به بال فوقانی جوش شده است:

F_r=16.5 ksi

$F_L S_{xc}$ =435.6(50-16.5)=14591 in-kips

برای این شکل، مشخصات هندسی مقطع مربوطه به شرح زیر است:

$I_y = 439 \text{ in.}^4$

$J = 4.03 + 1.02 = 5.05 \text{ in.}^4$

$I_{yc} = 377 \text{ in.}^4$

$h \cong 24 \text{ in.}$

$C_b = 1.0$

$$B_1 = 2.25\left[2\left(I_{yc}/I_y\right)-1\right]\left(\frac{h}{L_b}\right)\sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

$$B_1 = 2.25\left[2\left(377/439\right)-1\right]\left(\frac{24}{440}\right)\sqrt{\frac{439}{5.05}} = 0.821$$

$$B_2 = 25\left(1-\frac{I_{yc}}{I_y}\right)\left(\frac{I_{yc}}{J}\right)\left(\frac{h}{L_b}\right)^2$$

$$B_2 = 25\left(1-\frac{377}{439}\right)\left(\frac{377}{5.05}\right)\left(\frac{24}{440}\right)^2 = 0.784$$

$$M_{cr} = \frac{2EC_b}{L_b}\sqrt{I_y J}\left(B_1+\sqrt{1+B_2+B_1^{\,2}}\right) \le M_p$$

$$= \frac{58000}{440}\sqrt{439(5.05)}\left(0.821+\sqrt{1+0.784+(0.821)^2}\right)$$

$$= 14826 in.-kips \approx 14591 in.-kips.$$

بنا بر این: $L_r = 440 in.$

M_r برابر است با حداقل از دومقدار:

$F_y S_{xt} = 50(267.8) = 13391 \quad in.kips$ و $F_L S_{xc} = 14591 \quad in.kips$

می باشد. بنابر این $M_r = 13391 \quad in.kips.$ انتخاب می شود.

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - M_r)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p$$

ازمقادیرجدول آئین نامه LRFD خواهیم داشت: $Z_x = 357 \quad \text{in.}^3$

$$M_p = F_y Z_x = 50(357) = 17850 \quad in.-kips$$

$$M_r = 13391 \ in.-kips, L_b = 360 \ in., L_r = 440 in.$$

$$L_p = 1.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} r_y = 1.76\sqrt{\frac{29000}{50}}(4.65) = 197.0 \ in.$$

$$M_n = 1.0\left[17850 - (17850 - 13391)\left(\frac{360 - 197}{440 - 197}\right)\right] = 14859 \ in.-kips$$

$$\phi M_{nx} = 0.90(14859) = 13373 \ in.-kips$$

$$M_{ux} = 679.28(12) = 8151 \ in.-kips < 13373 \ kip-in.$$

کنترل ممان دو جهته در بال فوقانی:

رابطه H1-1b ازآئین‌نامه،کنترل مناسبی را برای این مورد بارگذاری می دهد.

رابطه H1-1b :
$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \le 1.0$$

$\phi = 0.90$

M_{ny} از ظرفیت ممان پلاستیک ناودانی روی بال فوقانی به اضافه بال فوقانی مقطع W ، به دست می آید.

M_p = M_p (ناودانی) + M_p (بال فوقانی)

$$M_p = 50.8(50) + 38.8/2(50) = 3510 \ in.-kips.$$

به علت آنکه کاملاً نگهداری شده است بنابراین $M_{ny} = M_p$ است.

$$\phi M_n = 0.90(14859) = 13373 \ in.-kips.$$

$$\frac{8148}{13373}+\frac{38.88(12)}{3159}=0.757<1.0\ \ o.k.$$

کنترل کمانش جانبی جان:

استفاده از معادلهٔ K1-7 از مشخصات AISC LRFD برای بال فشاری مقاوم نشده در برابر پیچش:

$$\frac{h/t_w}{L/b_f}=1.37<1.7$$

بنابراین:
$$R_n=\frac{C_r t_w^{\ 3}\ t_f}{h^2}\left[0.4\left(\frac{h/t_w}{L/b_f}\right)^3\right]$$

$$M_{ux}=8151\ \ in.-kips\ \ <M_y=S_{xt}F_y=13391\ \ in.-kips$$

بنابر این:
$$C_r=960000ksi$$

$$t_w=0.490\ \ in.$$

$$t_f=0.745\ \ in.$$

$$h=24.2\ \ in.$$

$$R_n=\frac{960000(0.490)^3(0.745)}{(24.2)^2}\left[0.4(1.36)^3\right]=148\ \ kips$$

$$\phi\ =\ 0.85\ ,$$

بنابراین:
$$\phi\ R_n=0.85(148)=125.9\ \ kips.$$

حداکثر بارضریبدار چرخ، با ضربه:
$$55.5\ (1.25)=69\ \ kips<125.9\ \ kips.$$

$$69.0<94.8$$

مقطع W27×94 همراه با C15×33.9 بر پایه طراحی روش LRFD کفایت می کند.

محاسبات نشان می دهد که مقطع W24 × 131 نیز بر پایه طراحی روش LRFD کفایت می کند.

از مقطع W30×94 با C15×33.9و یا مقطع W24 × 131 استفاده شود.

انتخاب مقطع اخیر اقتصادی ترین است.

باید توجه داشت که در روش ASD در حال حاضر ازدیاد قابل قیاسی در بار مجاز متمرکز برای کنترل کمانش جانبی جـان وقتیکه تنش خـمشی جان کـمتر از F_y 0.6 باشد ارائه نمـی نماید . بنابر این یک عدم هماهنگی در دو روش LRFD و ASD وجود دارد که در آن روش ASD محافظه کارانه تر خواهد بود. بهرحال با آنکه پیشنهاد نمی‌گردد به صورت مخلوط ازضوابط ASDوLRFD استفاده شود ، از آنجائیکه خرابی در اثر کمانش جانبی جان دارای حالت حدی مستقل می باشد ، بنظر می رسد مستدل باشد که در هنگام طراحی ریل جرثقیل به روش ASD ، کمانش جانبی جان توسط روش LRFD مورد کنترل قرار گیرد. در مثالی که دیدیم در صورتیکه محاسبه کمانش جانبی جان بر پایه طراحی روش LRFD باشد، مقطع W27×94 همراه با CI5×33.9 برای روش ASD کفایت می کند.

۱۸. ۲ تیر ورق ها:

طراحی تیر ورق‌ها بعنوان تیر ریل جرثقیل مشابه مقاطع نورد شده است ، اما موارد زیر برای طراحی مهمتر است:

۱- تیـــر ورق‌ها معمولاً در کارخـانجات نورد که تعـداد سیکل بارگـذاری بسیار زیاد است ، استفاده می شود . از آنجائیکه این مقاطع ساخته شده می باشند ، مسئله خستگی در آنها بسیار مهم است .

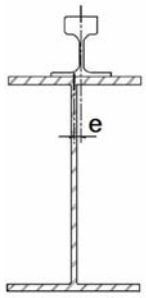
۲- جوش دادن سخت کننده ها به جان تیر ورق ، ممکنست شرائطی را برای خستگی پدید بیاورد که کاهش درمحدودهٔ تنش ها الزامی گردد (Reemsynder.1978). ضخیم کردن جان تیر ورق که وجود سخت کننده ها را غیرلازم سازد (به استثنای سخت کننده های تماسی که در نقاط با تنش

خمشی کم قرار گرفته اند) ممکنست اقتصادی تر باشد . اگرچه ، درسال‌های اخیر، تعدادی از ترک‌های ناشی از خستگی در حد فاصل بال فوقانی وجان تیر ورقها مشاهده شده که ممکنست این ترک‌ها ناشی از :

a: چرخش (تکراری . م) بال فوقانی ، زمانی که مرکز ثقل ریل جرثقیل مستقیماً بالای صفحه جان قرارنگرفته (شکل ۱.۲.۱۸)

b: وجود تنش پس‌ماند ناشی از جوش‌های بال‌ها و یا سخت کننده به جان.

c: تنش های موضعی تحت بارهای متمرکز چرخ جرثقیل.

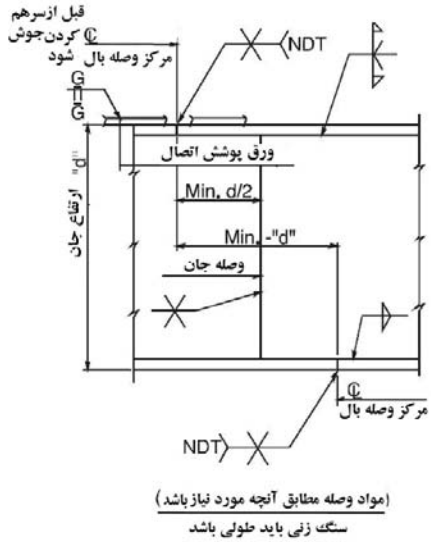


شکل ۱.۲.۱۸ عدم مرکزیت ریل:

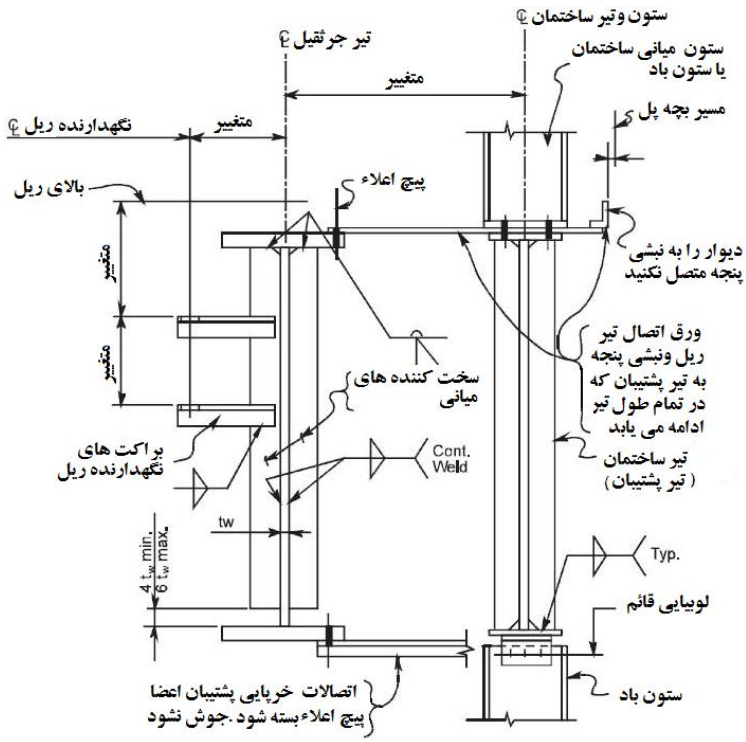
حضور یا عدم حضور سخت کننده ها مسائل بند a,c رابوجود می آورند . اگر از سخت کننده های میانی صرفه نظرشود و یا کاهش یابد ، مسائل خروج از مرکز ریل جرثقیل جدی ترمی شود . اگر از سخت کننده های میانی استفاده شود ، باید با جوش نفوذ کامل اتصال بالای سخت کننده به زیر بال فوقانی جوش شود . در بال کششی سخت کننده ها باید در فاصله حداقل ۴ برابر و حداکثر ۶ برابر ضخامت جان ، از پنجه جوش بال به جان ، متوقف شود .(کوتاه گرفته و به بال تحتانی جوش نشود . به شکل ۳.۲.۱۸ برای مشاهده نحوه جوشکاری سخت کننده های میانی به تیر ورق مراجعه شود . البته در این شکل پنجه جوش ماخذ محاسبه کوتاه بودن واقع نشده و محل تلاقی بال و جان گرفته شده که صحیح به نظرنمی رسد برای مشاهده مرجع به AISC ASD بخش G4مراجعه شود .م)

آنچه در اشکال ۲.۲.۱۸ تا ۷.۲.۱۸ آمده است ، جزئیاتی برای نشان دادن اتصالات ریل های جرثقیل های سنگین می باشد .

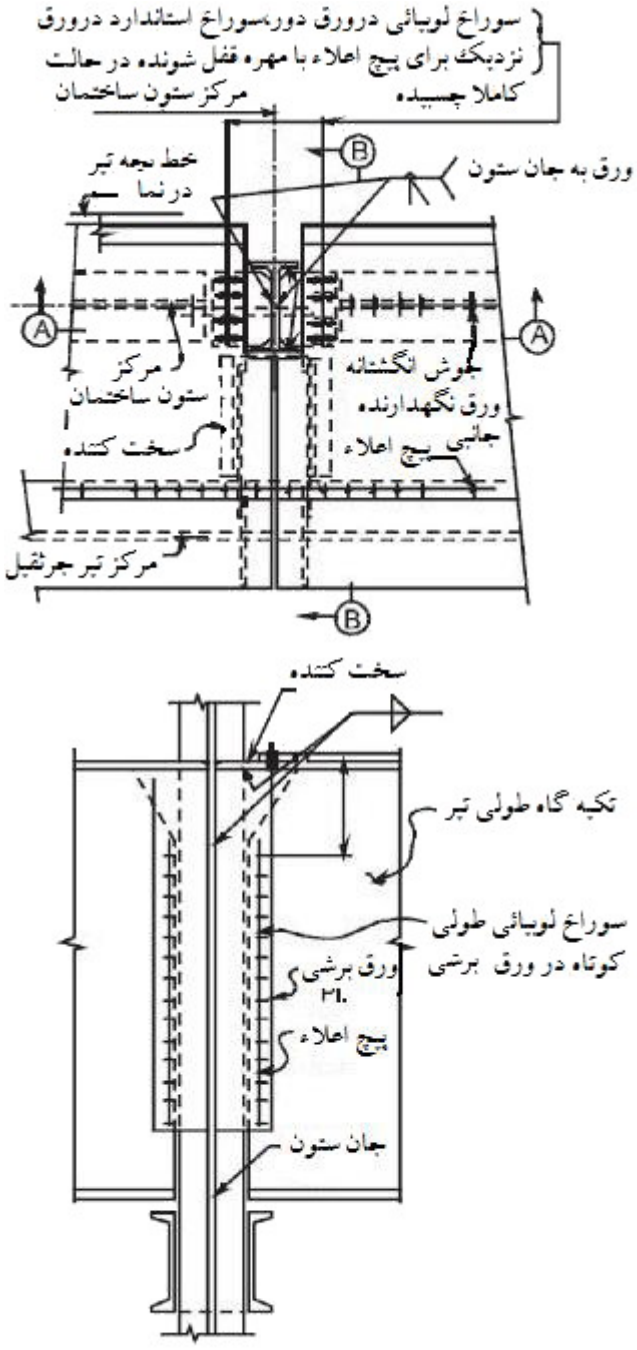
میل‌گرد کششی نشان داده شده در شکل ۷.۲.۱۸ مسیر اضافی برای باربری (به غیر از پیچ ها در ترکیب کشش و برش) برای نیروها توقف ایجاد کرده وممکن است جزئیات خوبی برای جرثقیل های با سرعت بالا باشد .تفاوت در جزئیات جوش و سخت کننده ها بین نشرهای قدیمی و جدید AISC ، که در اینجا آمده، به صورت معمول ناشی از نتایج تکنیک جزئیات تغییرات یافته‌ای است که برای شرائط خستگی پدید آمده.



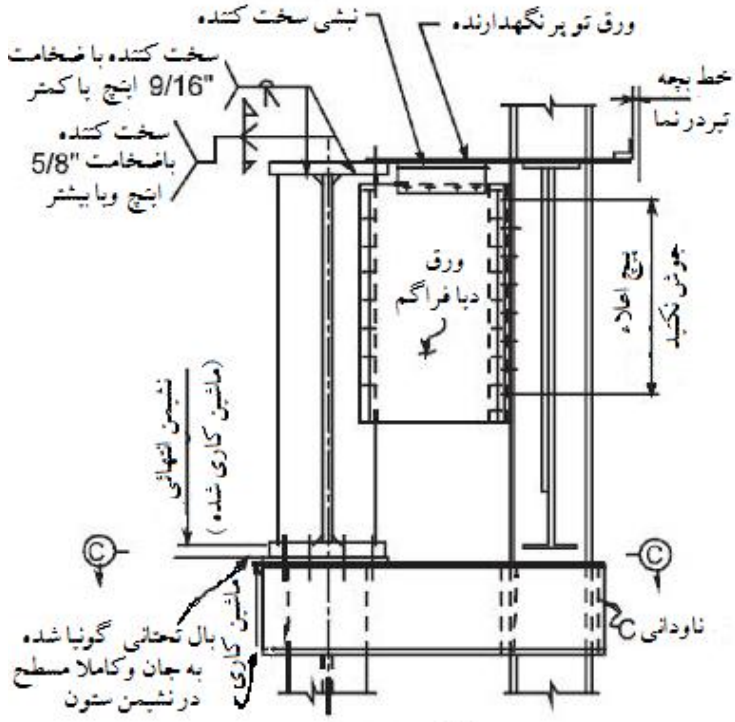
شکل ۲.۲.۱۸ .وصله تیر



شکل۳.۲.۱۸.جزئیات پل ریل جرثقیل

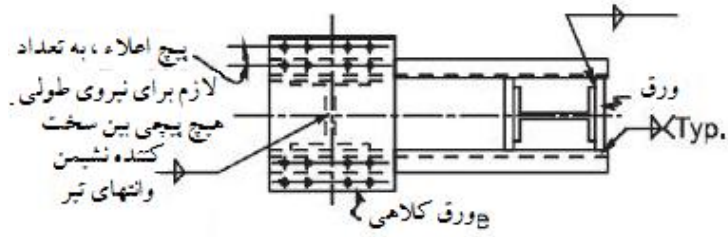


شکل ۴.۲.۱۸ ومقطع Ⓐ-Ⓐ



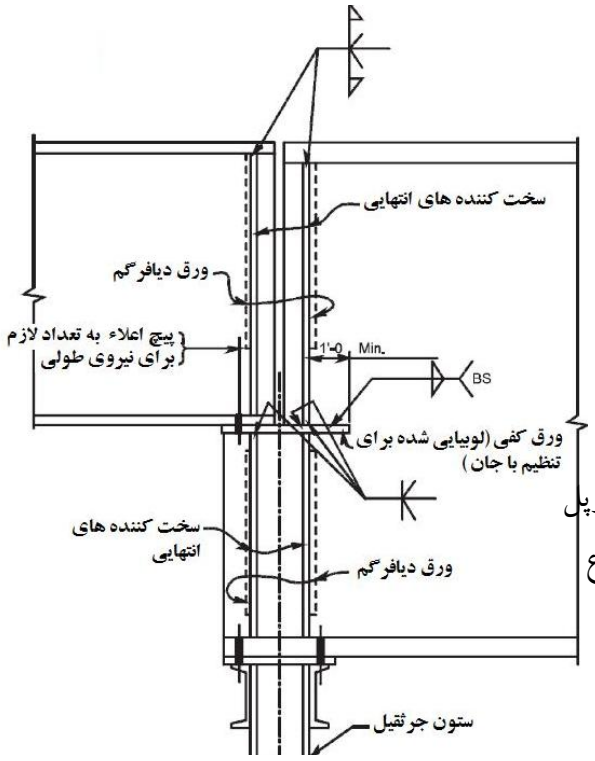
مقطع Ⓑ Ⓑ

تیر جرثقیل- جزئیات سخت کننده نشیمن

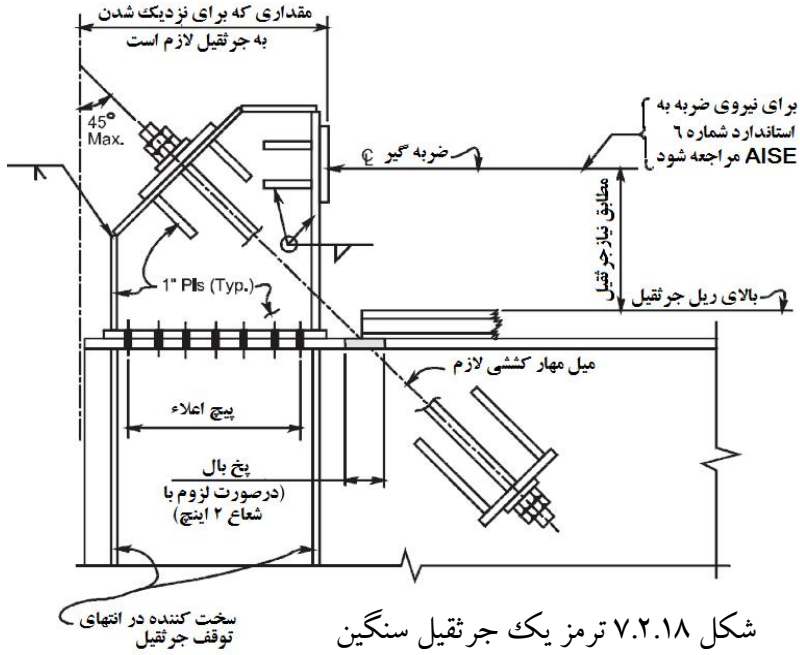


مقطع Ⓒ Ⓒ

شکل ۵.۲.۱۸ ومقاطع C و B ازشکل ۴.۲.۱۸



شکل ۶.۲.۱۸ مقطع دوپل
جرثقیل غیر هم ارتفاع



شکل ۷.۲.۱۸ ترمز یک جرثقیل سنگین

۳.۱۸ دهانه ساده در مقایسه با ریل یکسره:.

تصـمیم برای آنکه تیرساده و یایکسره برای ریل جرثقیل باید بکار رود سال‌ها مورد بحث بوده است .

در پائیـــن مختصری راجـع به مزایای هردو خـواهد آمد . روشن است کـه هر کدام آن‌ها موارد استفاده ای دارند .

۱- مزایای دهانه ساده :

a: سادگی زیاد برای طراحی انواع ترکیبات بار .

b: معمولاً بی تاثیر از نشست نامساوی تکیه گاه ها .

c: آسان برای تعویض در صورت خرابی.

d: آسان برای تقویت در صورت بالابردن ظرفیت جرثقیل .

۲- مزایای دهانه یکسره :

a: یکسرگی باعث کاهش افت تیرریل که معمولاً کنترل کننده می باشد است.

b: پیچش و حرکت انتهایی کاهش می یابد .

c: باعـث سبکتر شدن مقـاطع و صرفه جوئی درفولاد مصـرفی ، وقتیکه خستـگی فاکتـورتعیین کننده ای نباشد.

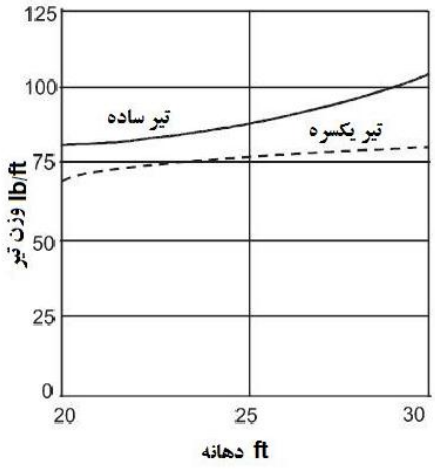
اگرتفاوت نشیمن تکیه‌گاه‌ها به اندازه ای بزرگ باشد که باعث آسیب زدن به اعضاء یکسره باشد نباید از پل‌های یکسره استفاده کرد .

همچنین زمانی که پل‌های یکسره تحت تاثیر خستگی قرار دارند و دارای اتصالات جوش داده شده به روی بال فوقانی خود می باشند (نگهدارنده‌های ریل) محدوده مجاز تنش به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد .

وجود هر یک از موارد فوق می تواند باعث ازبین بردن امتیاز دهانه یکسره شود.

شکل ۱۸-۳-۱ نشان دهندهٔ نتایج طراحی های مختلف برای ریل با دهانه ۲۰ تا ۳۰ فوت می باشد. از فولاد A36 وA50 برای ساخت یک جرثقیل چهار چرخ ده تنی با دروازه ۷۰ فوت با پل ریل یکسره (دو دهانه) در مقایسه پل ریل با دهانه ساده استفاده گردید. در این مثال‌ها افتادگی کنترل نشد و خستگی نیزدرنظر گرفته نشد .

منحنی های شکل مذکور (به صورت معمول) نشان دهندهٔ این روند برای جرثقیل های سنگین‌تر در حالت کلی می باشند . در کل می توان به این نتیجه رسید که استفاده از پل‌های دو دهانه یکسره حدود ۱۸٪ صرفه جویی در وزن نسبت به پل‌های ساده دارند .



شکل ۱.۳.۱۸ وزن پل‌ریل

۱۸-٤ ناودانی های تقویت بال فوقانی (کلاهی):

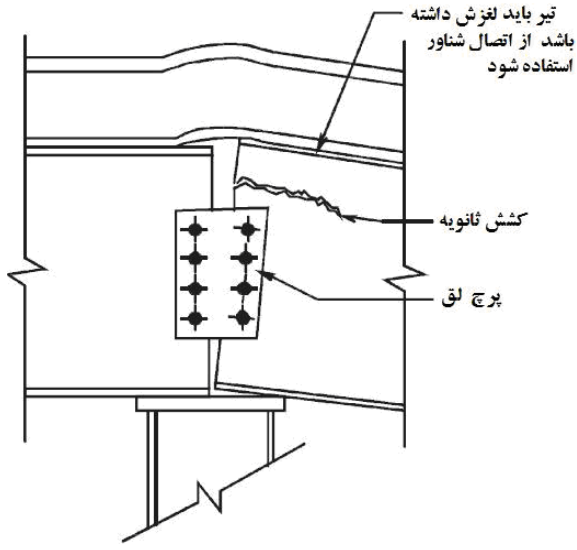
استفاده از ناودانی کلاهی معمولاًبرای کنترل تغییر شکل جانبی و کنترل تنش ناشی ازبارهای جانبی می باشد . برای جرثقیل های سبک (کمتر از۵ تن)

ناودانی کلاهی ممکنست نیاز نباشد. مطالعات نشان داده است که صرفه جوئی فولاد تقریباً ۲۵ پوند بر فوت لازم است تا توجیه کننده بهای جوشکاری یک ناودانی کلاهی به یک مقطع ساختمانی باشد .

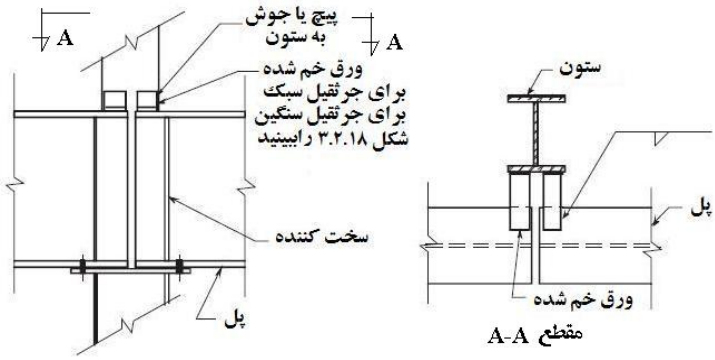
۵.۱۸ اصول نگهداری (Bracing) پل ریل جرثقیل:

یک مقاله بسیار عالی در مورد نگهداری تیر جرثقیل مقاله Mueller می باشد. چندین نکته قابل توجه (و معمول) به شرح زیرآمده است .

۱- همانطوریکه درشکل ۲ در مقاله یاد شده آمده است (دراینجا نیز به صورت شکل ۱.۵.۱۸ تکرار شده) جزئیات نامناسب برای شرائط انتهای اتصال تماسی می تواند باعث پارگی جان پل‌ریل گردد . جزئیات در شکل ۲.۵.۱۸ نشان دهنده روش حل برای جرثقیل های سبک می باشد . جزئیات آمده درشکل ۳.۲.۱۸ و ۴.۲.۱۸ ممکنست جزئیات مشابهی را برای جرثقیل های سنگین ارائه کنند . استفاده ازاین جزئیات اجازه چرخش انتهایی را داده و انتقال مناسب بارهای جانبی به ستون را نیز فراهم می‌کند.



شکل ۱.۵.۱۸ طراحی نا مناسب اتصال پل



شکل ۲.۵.۱۸ جزئیات مناسب پشت بند

۲- یک روش معمول برای نگهداری پل جرثقیل استفاده از یک خرپای افقی (Lacing) است .یا یک ورق افقی برای اتصال بال فوقانی پل جرثقیل به عضو نزدیک سازه ای که درشکل ۱.۲.۱۷ و ۲.۲.۱۷ قبلاً نشان داده شد . (برای صرفه جوئی درمصرف ورق و جوشکاری شاید استفاده از ورق های نردبانی افقی به فواصل مناسب، که مسئله کمانش جانبی را کنترل نماید و سختی لازم را نیز برای تغییرشکل افقی به پل جرثقیل بدهد ، بجای استفاده از یک ورق یکسره اتصال که درشکل ۲.۲.۱۷ آمده بهتر باشد. در توضیح زیر نیز این بهینه سازی اثر خود را در آزادی تغییرشکل قائم پل جرثقیل نشان می دهد . م)

نکته بحرانی آنچه در بند ۲ آمده آنست که سیستم یاد شده جلوی آزادی افت قائم پل خرپا رانباید بگیرد . و آزادی نسبی تغییر شکل نسبت به اعضاء سازه ای که به آن متصل شده است را داشته باشد . اگر سیستم انعطاف کافی را نداشته باشد ، تنش های ایجاد شده باعث خرابی ناشی از خستگی در این سیستم می گردد ، که باعث از دست رفتن نگهداری جانبی پل جرثقیل می شود .

۳- در گزارش تکنیکی AISE شماره ۱۳ لازم می داند در پل های جرثقیل با طول بیش از ۳۶ فوت ، باید دارای سیستم خرپای افقی در بال تحتانی نیز باشند . در جائیکه ضرورت رعایت آئین‌نامه یاد شده وجود نداشته باشد ، بسیاری ازمهندسین برای بال تحتانی نیز از ناودانی برای تقویت دهانه های بلند استفاده می کنند (شاید در مورد دهانه ۴۰ فوت وبیشتر). مبداء پیدایش این شرط روشن نیست ، اگرچه براساس ضوابط AISC دررابطه کمانش جانبی جان ممکن است به صورت محاسباتی این شرط برآورده شود.

۴- خوشبختانه دوپل جرثقیل که با یک ورق به هم متصل شده اند ، همدیگر را به صورت متقابل نگهداری می نمایند . البته این موضوع باعث خواهد شد ، که یک تیر بسیار قوی در مقابل نیروهای جانبی داشته باشیم . همچنین ورق مابین دو پل می تواند به عنوان یک محل عبور جهت تعمیرات درنظر گرفته شود . باربرداری و باراندازی جرثقیل ها ، باعث خرابی ناشی از خستگی درورق اتصال دو پل موازی جرثقیل می شود ، مگر آنکه جزئیات مناسبی برای آن پیش بینی شده باشد . ورق متصل کننده دو پل باید نرمی و انعطاف کافی برای جداسازی تغییر مکان های عمودی دو پل را داشته باشد .

٦.١٨ ترمز جرثقیل ها:

بخش پایانی ریل جرثقیل به طراحی برای نیروهای طولی که به ترمز ها وارد می شود ، می پردازد . برای نوع فنری ضربه گیرها ، نیروی طولی وارده از طریق رابطه زیرمی تواند محاسبه شود :

$$F = \frac{WV^2}{ge_t}$$

که در آن W برابر است با مجموعه وزن جرثقیل و بار برداشته شده وV برابر است با سرعت مشخصه جرثقیل در لحظه ضربه، ft/s،(که در گزارش فنی AISE شماره۶ برابر ۵۰ درصد بارکامل و در سرعت حد است .)

و e_t = جمع شدگی فنر وقتیکه انرژی توقف جرثقیل را کاملاً جذب کرده است .(ft.)

F= مجموع نیروی اینرسی طولی که در ارتفاع مرکز وزن دروازه وارابه قراردارد. نیروی وارده به هر ترمز برابر است با حداکثر عکس العمل ضربه گیر که از نیروی اینرسی اثر کننده در آن مکان حاصل می شود .

g = برابر است با شتاب ثقل ، ۳۲/۲ فوت بر مربع ثانیه.

برای بلوک‌های ضربه گیر چوبی یا لاستیکی (که معمولاً درجرثقیل های قدیمی بکار رفته) رابطه فوق مستقیماً قابل استفاده نیست .اطلاعات سازنده گان و تجربه برای این موارد باید بکار رود . درنبود اطلاعات مشخص، پیشنهاد می شود طراح از نیروی ضربه گیر معادل بزرگترین دو مقدارزیر استفاده نماید

۱- دو برابر نیروی کششی (طولی.م).

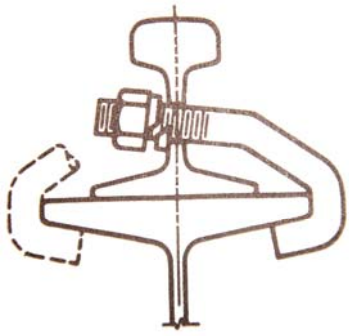
۲- ده درصد کل وزن جرثقیل.

برای ضربه گیر های هیدرولیک ومحاسبه نیروی ایجاد شده در آن ، خواننده باید به گزارش فنی شماره ۱۳ نشریه AISE (AISE 2003)مراجعه نماید.

۷.۱۸ اتصالات ریل جرثقیل:

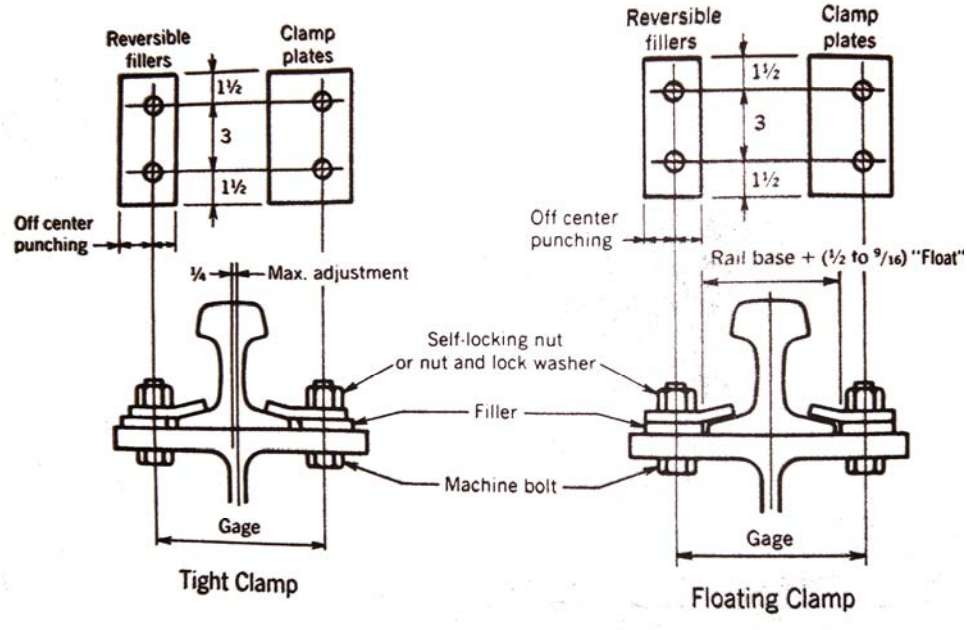
چهار نوع معمول ابزار اتصال دراتصال ریل جرثقیل به پل آن بکار می رود ، این ابزار عبارتند از پیچ قلاب (Hook Bolt) ، بست ریل (Rail Clips) و قفل ریل (Rail Clamps) و بست های ثبت شده (Patented Clips) برای

مشاهده پیچ قلاب و قفل ریل به آئین‌نامه AISC مراجعه شود . (از نظر راحتی این اشکال در اینجا آورده شده . م)



پیچ قلاب

بست ریل



قفل ریل

۱.۷.۱۸ پیچ قلاب (Hook Bolts):

پیچ قلاب وسیله مناسبی برای اتصال ریل های سبک (۴۰ تا ۶۰ پوند) و جرثقیل های با وظائف سبک (کلاس A وB و C در طبقه بندی CMAA70). مزیت پیچ قلاب عبارتست از: ۱-نسبتاً ارزان هستند ، ۲-نیازی به سوراخ دربال پل ریل جهت نصب نیست . ۳- راحت برای نصب و تنظیم و مستقیم نمودن ریل هستند . این اتصال برای جرثقیل های با وظائف سنگین (کلاس DوEوF از طبقه بندی CMAA70) یا با جرثقیل های سنگین (بزرگتر از ظرفیت ۲۰ تن باربرداری) پیشنهاد نمی شود. چرا که این اتصال بعنوان شل شدن و کشیده شدن (Elongate) شناخته شده. بطورمعمول استفاده ازاین اتصال برای ریل های طولانی تر از ۵۰۰ فوت پیشنهاد نمی شود ، چرا که اجازه حرکت طولی را به ریل نمی دهد . از آنجائیکه این اتصال به شل شدن دربعضی استفاده های مشخص شناخته شده ، یک برنامه پریودیک نظارت جهت سفت کردن آنها باید به مرحله اجراگذاشته شود . طراحان این گونه اتصال باید متوجه باشند که بعضی از تهیه کنندگان این قلاب ها را باقطر کمتری از آنچه که مشخص شده و چاق گرفتن دنده های (Upset)آن می سازند . (برای دیدن این نوع دنده پیچ به صفحه ۲۲ مراجعه نمائید.م)

۲.۷.۱۸ بست ریل (Rail Clips) :

بست ریل به صورت ریختگی و یا آهنگری و به شکلی تهیه می شوند که با مقاطع ریل قابل تطبیق باشند . این بست بطورمعمول به بال پل‌ریل با یک پیچ بسته شده و یا به آن جوش می شود . این بست به صورت رضایت بخش در تمام کلاس‌های جرثقیل استفاده می شود . اگرچه یک اشکال این اتصال بعلت استفاده از یک پیچ می باشد که بعلت تغییرات طولی ریل می

تواند بچرخد . این چرخش بست ممکن است به علت عمل نیروی (Camming Action) (نیروی پیش تنیدگی در پیچ یا فنر.م)باعث خارج شدن ریل از مستقیم بودن شود . بعلت این محدودیت اتصال ریل باید فقط برای جرثقیل هایی بکار رود که استفاده از آنها کم است و یا طول ریل آنها کمتر از ۵۰۰ فوت می باشد .

۳.۷.۱۸ قفل ریل (Rail Clamps) :

این اتصال برای جرثقیل های با تعداد بار برداری سنگین و زیاد است . این قفل برای دو نوع جزئیات تهیه می شود : سفت (Tight) وشناور (Floating) .
هر قفل شامل دو ورق می باشد ، یک ورق بالائی قلاب و یک ورق پرکننده پائینی .
ورق پائین مسطح است و تقریباً به ضخامت پنجه بال ریل می باشد . ورق بالائی بزرگتر بوده و ورق پائینی را پوشش داده و روی بال تحتانی ریل نیز ممتد می شود . در نوع اتصال سفت ، جزئیات ورق بالائی به طریقی است که به صورت سفت بالای بال تحتانی ریل را نگه می دارد بنابراین قفل شدن وقتی اتفاق می افتد که اتصالات (پیچ ها . م) محکم بسته شوند . در گذشته این بست با ورق‌های پرکننده ای بکار می رفت که محکم پنجه بال را نگهداری می کرد . این نوع سفت شدن معمولاً در عمل بدست نمی آمد و نیازی نیز به میزان سفت شدن نیست . در قفل شناور جزئیات قطعات به طریقی است که بین پنجه بال تحتانی ریل و زیر ورق بالائی در دو طرف ، خلاصی لازم وجود داشته باشد . (لطفاً به اشکال مراجعه فرمائید . م) این نوع اتصال درواقع ریل را قفل نمی کند ولی ریل را در حدود رواداری های قفل نگهداری می کند . پیچ اعلاء (H .S.B) برای هردو نوع این قفل پیشنهاد می شود (این در حالی است

که آئین‌نامه AISC 1989 پیچ نرمه (M.B.) را نیز برای این اتصال تجویز کرده است . م)

قفل ریل سفت معمولاً بوسیله سازندگان جرثقیل ترجیح داده شده و تجویز می شود ، چرا که احساس می‌کنند که اجازه حرکت طولی که در قفل های شناور وجود دارد باعث شدت فرسودگی در چرخ‌ها و نشمین ها می شود .

قفل شناور ممکنست در جائیکه طراح جهت جلوگیری (و یاکاستن) اثرحرارت در سیستم ریل و حرکت طولی ریل را آزاد می‌کند ، لازم باشد .

بدلیل آنکه قفل سفت جلوی حرکت طولی ریل را می‌گیرد ، نباید در ریل های بلند تر از ۵۰۰ فوت مورد استفاده قرار گیرد . از آنجائیکه قفل های شناور معمولاً مورد استفاده اند ، و کارخانجات سازنده جرثقیل نگران حرکت طولی بوجود آمده هستند ، یک قفل شناور بهبود یافته مورد نیاز است .

در این مورد ، جزئیاتی مورد نیاز است که ورق پائینی با رواداری کمتری نسبت به پنجه بال پائینی ریل نزدیک باشد . این فاصله بین ورق پائین و پنجه می تواند بین چسبیدن و1/8 اینچ تغییرکند . خلاصی 1/8 اینچ اجازه حداکثر 1/ 4 اینچ شناوری را در سیستم میسر می‌کند . این موضوع نباید توسط سازندگان جرثقیل مورد اعتراض باشد چرا که این مقدار شناوری در حدود رواداری CMAA70 برای جرثقیل های با دهانه ۵۰ تا ۱۰۰ فوت قرار می‌گیرد، که برای ساختمان‌هایی که با آن مواجه هستیم ، معمولی محسوب می شود .

جهت تنظیمات کارگاهی ، تغییرات عرض ریل ، مستقیم نمودن پل‌ریل ، انحراف های تیر و محل سوراخ‌های مربوط به پیچ های پل ریل ، ورق پائینی می تواند به صورت خارج از مرکز سوراخ شده با چرخیدن بهترین حالت برای جا افتادن را ایجاد کند . جایگزین دیگر استفاده از سوراخ بیضوی کوتاه می

باشد و یا سوراخ بزرگتر از قطر پیچ . در این صورت باید به طریقی برای جلوگیری حرکت ورق پر کننده پائین ، با سفت کردن پیچ مطمئن شد .
قفل ریل معمولاً بوسیله دو پیچ برای هر قفل استفاده می‌شود ومورد قبول تر است چرا که جلوی عمل کشیده شدن(Camming Action)، که قبلاً در مورد بست های ریل ریخته گری و یا آهنگری گفته شد،را می گیرد . طراحی با استفاده از دو عدد پیچ در قفل های ریل مخصوصاً اگر برای ازدیاد طول که در بالا گفته شد طراحی شده اند ، پیشنهاد می گردد . ریل ها بعضاً بوسیله یک بالشتک بین ریل و پل ریل نصب می شوند . در این صورت نباید شناوری جانبی ریل از ۱/۳۲ اینچ تجاوز نماید . این بعلت کم کردن احتمال از کار افتادن بالشتک در زیر ریل می باشد .

٤.٧.١٨ بست های ریل ثبت شده (Patented) :

این چهارمین نوع اتصال ، بسیاری ازاتصالات ثبت شده را می پوشاند . هر کارخانه ای جزئیاتی مربوط به خود را معرفی می کند که طراحی های مختلفی را نشان می دهد . به صورت معمول این جزئیات نصب دامنه بزرگی از اتصالات مخصوص به آنها را آسان سازی می کند . تا محدویت های مناسب با تغییر مکان‌های جانبی و رواداری های حرکت های طولی را بپوشاند . اینگونه اتصالات باید بتواند بعنوان متغیری ماندگار ، با اتصالات رایج قلاب‌های ریل، بست ریل و قفل ریل رقابت نماید . بخاطر ماهیت تعریف شده این گونه اتصالات می توان آنها را بدون محدویت بکار برد، مگر آنچه بوسیله پیشنهادات کارخانه سازنده محدود شده است . نصب با این اتـصالات در بعـضی مواقع بهمـراه بالشتک زیر یکی شده است . زمانیکه این مورد انجام شود ، شناوری جانبی ریل باید محدود به قفل های ریل گردد .

۵.۷.۱۸ طراحی اتصالات ریل:

طراحی اتصالات ریل ها ، به صورت عمده‌ای تجربی است . انتخاب اندازه و فاصله اتصالات بسته به اندازه ریل است . این رابطه درریل هایی که براساس بارطراحی شده اند ، منطقی می باشد .

براساس فاصله و ترتیب اتصالات ، پیشنهادات زیر ارائه می گردد . پیچ قلاب باید به صورت متقابل با ۳ تا ۴ اینچ فاصله بین قلاب‌ها باشد . (منظور فاصله دو قلاب روبرو در جهت طول ریل از یکدیگر ۳ تا ۴ اینچ فاصله داشته باشد . م) فاصله دو قلاب (دو قلاب متوالی در جهت طول ریل . م) نباید بیشتر از دو فوت باشد . بست ریل یا قفل ریل نیز باید به صورت متقابل بسته شود . فاصله دو بست یا قفل متوالی نباید بیشتر از سه فوت باشد .

اضافه برآنچه در فوق آمد ، اتصالات دیگری نیز مانند بست ، براکت (Bracket) ، سخت کننده (Stiffener) و غیره ، به پل ریل وصل می شوند . این اتصالات معمولاً بوسیله پرسنل مهندسی کارگاه اضافه می شود . جوشکاری فقط باید بعد از تحقیق دقیق مهندسی در اثر این عمل ، صورت گیرد . جوشکاری (شامل نقطه جوش Tack Weld) می تواند به شدت عمر قطعه در مقابل خستگی را کاهش دهد . بنابراین :

۱- هیچگاه ریل را به پل زیر آن جوش نکنید .

۲- جهت جلوگیری از اثر خستگی با بست یا قفل یا پیچ کلیه اتصالات را به پل جرثقیل متصل نمائید.

۳- کلیه تغییرات را قبل ازشروع ، به مهندس مربوطه جهت مرور و تائید ارسال نمائید .

۸.۱۸ ریل جرثقیل و اتصالات آن:

انتخاب ریل جرثقیل مربوط به ملاحظات شرائط جرثقیل (بخصوص وزن آن) بوده و عموماً بوسیله کارخانه سازنده جرثقیل صورت می‌گیرد . زمانیکه این تصمیم اتخاذ شد، اصول ملاحظاتی مربوط به آنستکه چگونه مقاطع انتخابی متصل شوند . چندین روش برای اتصال ریل وجود دارد امّا در این زمان دو روش مرسوم است .

اتصال سر به سر ، اتصال رایج ریـــل ها می باشد . مستقیـــم شدن اتصال سربه ســـر بوسیله ورق‌های پیـچ شده صورت می گیرد . این ورق‌ها باید کاملاً منظم شود (پیچها کاملاً محکم شود). اگر پیچ‌ها شل شود و اتصال دچار نا مستقیمی گردد، پتانسیل حاصله تعدادی مشکلات جدی بوجود خواهد آورد که شامل لب پریدگی ریل، بروز خستگی در پیچ‌ها، خرابی چرخ های جرثقیل و در اثر ضربات ، ازدیاد تنش در پل زیر ریل . خرابی در جان پل بعنوان نتیجه این جریان دیده شده است.

اتصال سربه سر جوش شده ، وقتیکه به صورت مناسب در جهت بوجود آوردن مقاومت کامل ساخته شده باشد ، ایجاد اتصالی عالی و فاقد تعمیرات را نتیجه خواهد داد . یا اینحال اگر تغییراتی در ریل مورد نیاز باشد ، پروسه این تعمیرات و نتیجتاً زمان از دست رفته معمولاً زیادتر از اتصال پیچی خواهد بود . متالوژ ی ریل باید برای روش جوشکاری مورد کنترل قرار گیرد و اگر بتوان اینکار را به انجام رساند ، مزایای زیادی عاید می گردد . اصل اینستکه در اتصالات جوش شده حذف شدن تنش ناشی ازضربات ، که دراتصالات جوشی دیده نمی شود ، باعث جلوگیری از سائیدگی چرخ‌های جرثقیل می-گردد.

نقطه اتصال ریل‌ها باید به‌طریقی باشد که، در دو ریل دو سوی دروازه،روبروی هم قرار نگیرد. فاصله این دو اتصال نیز نباید برابر فاصله مرکز به مرکز دو چرخ پشت سر هم زیر یک طرف دروازه باشدو همچنین نباید کمتر از یک فوت باشد.

عدم مستقیم بودن ریل تنها دلیل بحرانی ظاهری ضربات شدید و تنش های جانبی در پل ریل می باشد . تعمیرات و نگهداری مناسب آنچه به ریل متصل می شود در این مورد بسیار مهم است . آنچه به ریل متصل می شود ، باید کاملاً قابل تنظیم باشد و در عین حال ریل را در مسیرمستقیم نگه دارد . بعلت آنکه ریل ممکنست دچار عدم مستقیم بودن شود ، نگهداری و تعمیرات منظم دراین مورد نقش اساسی را دارد .

یکی از جنبه های طراحی ریل ، موضوع استفاده از بالشتک ها است . معمولاً استفاده از بالشتک های آماده ساخته شده با اتصال ریل های جوش شده بهترکار می کند. بالشتک های ارتجاعی در کاهش خستگی ، لرزش و صدا موثر هستند . کاهش در تنش های متمرکز فشاری در جان نیز با استفاده از این بالشتک ها حاصل می شود . کاهش قابل توجه در فرسودگی در بالای بـال بالائی تیر ریـل نیز بهمین تـرتیب . به استثنای چـند سیستم ثبت شده ، بالشتک ها معمولاً همسازی مناسبی در نصب ریل شناور ندارند . ضمناً قبل از استفاده از یک سیستم بالشتک رسیدگی دقیق به هزینه آن سیستم باید صورت گیرد .

۱۹ . رواداری های ساخت و نصب جرثقیل و ملحقات:

رواداری های ساخت و نصب جرثقیل و ملحقات ، باید در مشخصات پروژه ذکر گردد ، چرا که استاندارد رواداری های مورد نیاز درکارهای فولادی برای ساختمان ها با جرثقیل به اندازه کافی دقیق نمی‌باشند.

رواداری ها برای مقاطع ساختمانی و ورق‌ها دربخش استاندارد نورد در: Manual of Steel Construction توسط AISC گفته شده.این رواداری ها مقادیرتغییرات مجازدر مشخصات هندسی را پوشش می دهدواز مشخصات ASTM وراهنمای AISI وکاتالوگ های تهیه کننده گان گرفته شده.

باضافه این استانداردها ، موارد زیرنیزباید درمورد محل استقرار جرثقیل ها رعایت گردد :

a: جابجائی (Sweep) :حداکثر یک چهارم اینچ در ۵۰ فوت طول تیر.

b: خیز (Camber) :حداکثر یک چهارم اینچ در ۵۰ فوت طول تیر کمتر یا بیشتر ازآنچه درنقشه ها آمده است.

c: گونیایی (Squareness) : در هر ۱۸ اینچ هرانتهای پلی ، بال باید خالی از انحنا بوده وبه سطح جان گونیا باشد.

ستون‌ها ، ورق پای ستون و فونداسیون باید با رواداری های زیر منطبق باشد :

a: میل‌مهارهای پای ستون از محل تعیین شده خود نباید بیشتر از ۰/۴ برابر تفاوت قطرمیل‌مهار و قطر سوراخ تعبیه شده برای عبور آن انحراف داشته باشد.

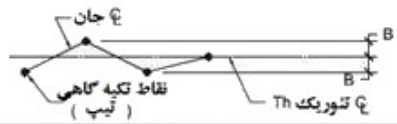
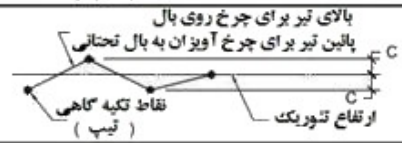
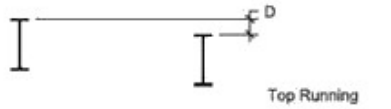
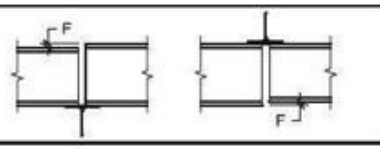
b: ورق های پای ستون جدا از هم باید در حدود رواداری $\pm\frac{1}{16}$ اینچ برای تراز تئوریک خود و درحدود رواداری تر از $\pm$ 0.01 اینچ در عرض و طول ورق باشد . ورق های پای ستون جفتی برای ستون‌های دو تایی باید در یک ارتفاع قرارگرفته و در ارتفاع نسبت به هم اختلاف کمتر از 1/16 اینچ داشته باشند.

پل‌های محل عبور جرثقیل و ریل آن باید با رواداری های زیر ساخته و نصب شوند.

a: ریل جرثقیل ها باید مرکزشان مطابق با خط مرکزی پل ریل باشد . حداکثر خروج از مرکزیت وسط ریل نسبت به خط مرکزی پل باید برابر سه چهارم ضخامت جان پل باشد .

b: ریل جرثقیل و تیر زیر آن باید مطابق با رواداری های زیر نصب شوند:

۱. فاصله افقی بین ریل جرثقیل نباید ازحدود ابعاد تئوریک بین آنها $\pm\frac{1}{4}$ اینچ که در ۶۸ درجه فارنهایت اندازه گیری می شود ، خارج شود .

مورد		رواداری	حداکثر نرخ تغییر
دهانه		A = 3/8″	1/4″ / 20′
مستقیم بودن جان		B = 3/8″	1/4″ / 20′
مستقیم بودن بال		C = 3/8″	1/4″ / 20′
چرخ روی بال فوقانی		D = 3/8″	1/4″ / 20′
چرخ آویزان به بال تحتانی		E = 3/8″	1/4″ / 20′
تنظیم اتصال		F = 1/8″	N / A نیازی نیست

شکل ۱۹.۱ خلاصه رواداری‌های پل وریل جرثقیل

انحراف طولی افقی از خط راست ریل نباید از $\pm\frac{1}{4}$ اینچ در ۵۰ فوت با یک حداکثر جمع انحراف $\pm\frac{1}{2}$ اینچ درطول کلی ریل تجاوزنماید .

۲. انحراف قائم در طول ریل جرثقیل از خط مستقیم نباید از $\pm\frac{1}{4}$ اینچ در ۵۰ فوت در خط مرکزی ستون بایک حداکثر جمع انحراف $\pm\frac{1}{2}$ اینچ در طول کلی ریل تجاوزنماید .

رواداری های گفته شده از گزارش شماره ۱۳ تکنیکی AISE گرفته شده . جدول نشان داده شده در شکل ۱.۱۹ ازMBMA'S :

Low Rise Building Systems Manual

گرفته شده و بعنوان یک مجموعه جایگزین برای رواداری های نصب ارائه شده می باشد .

۲۰ طراحی ستون:

در اینجا هیچگونه تلاش خاصی برای تدوین و ارائه مقاله ای درطراحی ستونهای فولادی نمی گردد و خواننده را به تعدادی مقالات عالی که در این مورد وجود دارد رجوع می دهیم .(Gaylord 1992 ,Salmon 1997) .

این بخش از راهنمای حاضر، مثال توضیحی راجع به روش آنالیز ستونهای جرثقیل و اینکه چگونه جزئیات و ساخت ساختمان تاثیر در بارهایی که ستون جرثقیل دریافت می کندمی گذارد و چه مقدار ممان و برش در طـول آن توزیـع می گردد . این راهـنما همچنین شامل جزئـیات یک مثال حـل شده که نشان دهنده جنبه های مشخص یک طراحی ستون می باشد است .

در بیشتر ساختمان های جرثقیل دار ، از نظر ساختمانی، ستون قطعه ای نا معین تعریف می شود . به صورت معمول پای ستون بدرجات مختلف گیردار می

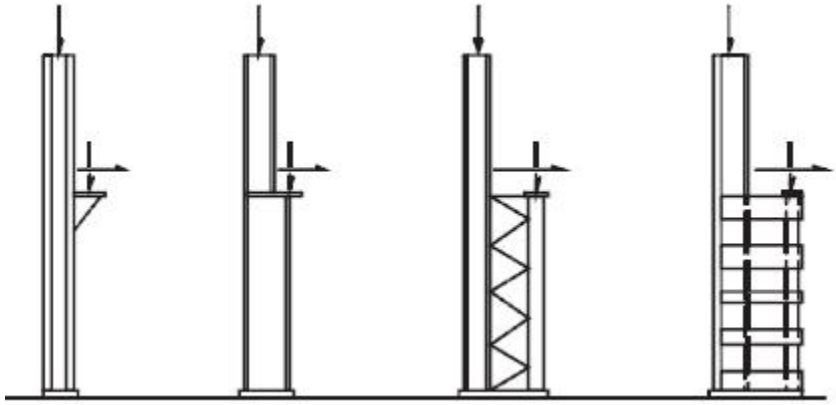
باشد. این درجه گیرداری عمیقاً به طراحی مربوط است، که ممکنست یک طراحی گیردار و یا مفصل را مشخص سازد .
لازم است درک شود که یک طراحی مناسب برای ستون جرثقیل ، نیازمند تعیین واقعی ممان ها است .
این تعیین نمودن نیازمند آنالیز کامل قاب و دستیابی به نتایج قابل اعتماد است. حتی اگر با استفاده یک برنامه کامل کامپیوتری این کار صورت گیرد ، فرضیات مشخص ، هنوز باید جهت تعیین درجه گیرداری پای ستون و توزیع بارهای جانبی در سازه ، صورت گیرد . بعلاوه ، در بسیاری از موارد یک طراحی اولیه برای ستون جرثقیل باید صورت گیرد تا مقاطع اولیه را وارد کامپیوتر نمود و یا حدس های اولیه قیمت را برای بررسی های اولیه بدست آورد . ساده سازی فرضیات برای این منظور لازم است.

۲۰ . ۱گیرداری پایه و تقسیم بار:

ستون‌های جرثقیل به شکل‌های زیر ساخته می شوند . در هر مورد خروج از مرکز بارها و بار جانبی در ستون ایجاد ممان می نماید . توزیع ممان در ستون جزو اصول می باشد . برای هر موردزیر بارهای خارج از مرکز و بارهای جانبی ، در ستون ممان ایجاد می نماید.توزیع ممان در ستون یک مورد اساسی است. برای یک بار گذاری داده شده ممان ستون جرثقیل به متغییر های زیادی وابسته است. بسیاری از این متغیرها (برای مثال ، هندسه ، غیر منشوری بودن) در مسیر طراحی که با استفاده از روش‌های استاندارد صورت می گیرد، ظاهر می شوند . دو متغیر که اثر مشخص در ممان ستون دارند . عبارتند از :

۱- گیرداری پایه

۲- میزان بار تقسیم شده با قاب های مجاور



Bracket	Step	Lace	Batten
لچکی	پله ای	خرپائی	نردبانی

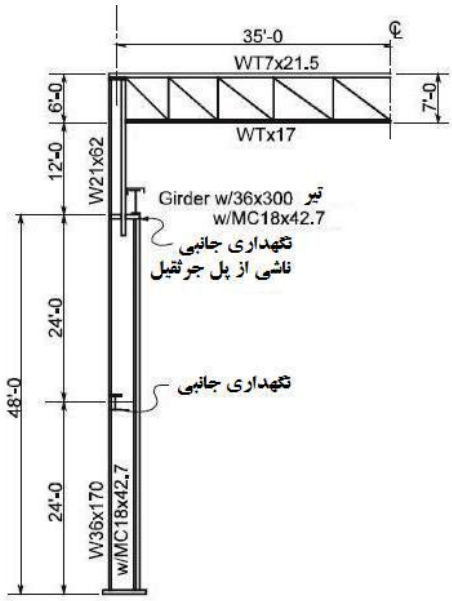
شکل ۱.۱.۲۰ اشکال مختلف ستون جرثقیل

بعنوان مثال : با مراجعه به شکل ۲۰ . ۱ . ۲ بار جرثقیل ۱۰۰ تنی (بار قائم ۳۱۰ Kips و بار جانبی در هر طرف ۲۳ Kips) . ستون پله ای (Step Columm) مورد استفاده است ، امّا همین اصول در مورد انواع ستون‌های دیگر نیز معتبر است.

۱- گیرداری پایه: اثر گیرداری پایه در ممان ستون‌ها ، از طریق محاسبات کامپیوتری برای قاب با پایه مفصلی و پایه گیردار بدست می آید . نتایج این محاسبات که در شکل ۲۰ . ۱ . ۳ آمده است ، نشان دهنده آنستکه تکیه گاه مفصلی ممان شدیدی در قسمت بالای ستون بوجود می آورد و سازه دارای انعطاف بسیار بیشتری نسبت به سازه با پایه گیردار می باشد .

برای پایه ستون گیردار بالاترین ممان به بخش پایه ستون منتقل می شود ، آنجائیکه در این مثال ، ستون در این بخش ابعاد بزرگتری دارد و بهتر می تواند آنرا تحمل نماید .

به صورت معمول مهندسین موافقند که استفاده از امتیاز گیرداری کامل ، در هیچ مورد عملی نیست . با اینحال، جرثقیل بارهای جانبی خود را که به ستون منتقل می نماید ، دارای یک زمان کوتاه است و یک اتصال ذاتاً گیردار ، به صورت معمول ، با یک طراحی مناسب بدست می آید .



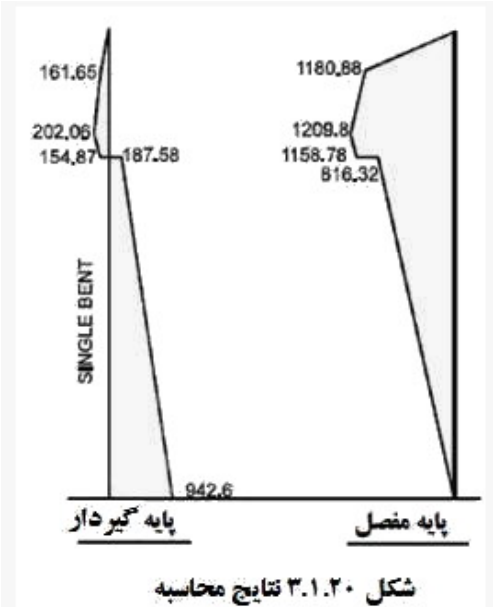
شکل ۲.۱.۲۰ قاب مورد مثال

کاهش ممان ستون (۲۲ درصد در مثال قبلی) ناشی از گیرداری تکیه گاه ، مزیت اقتصادی خوبی را بدست می دهد ، بدون آنکه سختی را از دست دهیم. مواردی وجود دارد که خاک زیر پی ، محدودیت هایی را دارد و امکان بوجود آمدن گیرداری پای ستون را فراهم نمی کند (فونداسیون در خاک به همراه ستون تغییر زاویه می دهد . م) در این صورت باید ستون را با تکیه گاه مفصلی طراحی نمود.

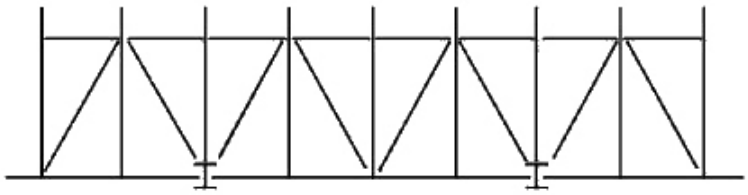
ازآنجائیکه فرض تکیه گاه گیردار برای طبیعت بار کوتاه مدت جرثقیل مناسب بوده ، باید دانست که بـرای سایر بارهـای طولانی مـدت ، فرض گـیرداری کامل ممکن است مناسب نباشد . خواننده به مقاله ای که توسط Galambos

(Galambos 1960)در مورد اتصال گیردار پایه و تاثیر آن بر مقاومت کمانشی قاب‌ها نگاشته شده رجوع داده می شود .
(مقدارتغییر مکان زانوی قاب به سمت بیرون یا داخل قاب، محدودیت هائی در عمل‌کرد ریل به وجود می آورد. خصلت بارهای دائمی تغیر مکانی ثابت است. اما در بارهای کوتاه مدت تغییر مکان متناوب دارد که باید مورد توجه قرار گیرد.اگر مقدار آن از حدود مجاز تجاوز نماید،ممکنست صدماتی را وارد کند. در این حالت استفاده از گیرداری و یا نیمه گیرداری در پای قاب می تواند کمک نماید.م)

۲- شرکت دادن قاب‌های مجاور در بار بری: اگر ازسیستم بادبندی باسختی زیاد استفاده شود . (برای مثال : بادبند سقفی آنطوریکه در شکل ۲۰ . ۱ . ۴ آمده است) نیروی جانبی و برشی جرثقیل می تواند بین اتصالات بعدی پخش شده و از ممان ستون بکاهد . توجه شود که این بادبند نمی تواند ممان حاصل از باد و یا زلزله و یا بار سقف وارده به ستون را کاهش دهد و فقط اثر بار جرثقیل را کاهش می دهد . (البته به نظر می رسد بادبندی مناسب افقی سقف می تواند انواع بارهای جانبی رابین ستون های مجاور به اشتراک بگذارد.م) شکل ۲۰ .۱. ۵ نمایشگر دیاگرام ممان در ستون یک قاب می باشد که بر پایه بارهای جانبی جرثقیل بوده و با دو قاب مجاور خود به صورت مشترک متحمل بار می شود . (به بیان دیگر ، دو سوم نیروی جانبی به قاب-های دیگر منتقل شده .) وقتیکه این دیاگرام با شکل ۲۰ . ۱. ۳ مقایسه شود . ، یک کاهش مشخص درمقدار ممان را مشاهده می کنیم . (توجه شود که مقدار دو سوم کاهش بعلت توزیع بار ، مقداری انتخابی بوده که جهت نشان دادن فرضیات و مزایای مشخص این توزیع بار می باشد.)



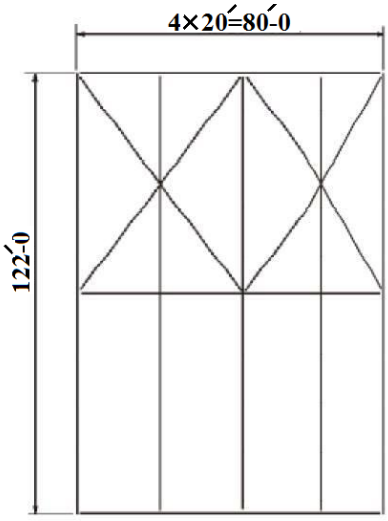
شکل ۳.۱.۲۰ نتایج محاسبه



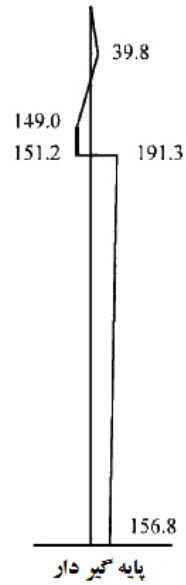
شکل ۴.۱.۲۰ بادبندی افقی

فرض نمائید یک بخش ازسیستم سقف متشکل از پنج قاب بادبندی ، همانطوریکه در شکل ۲۰ . ۱. ۶ آمده می باشد . نیروی جانبی جرثقیل در قسمت پائین خرپای سقفی موثر است (شکل ۲۰ . ۱ . ۷). توزیع این بارعکس العملی می تواند بوسیله روش سختی تعیین شود . این عمل با محاسبه سیستم بادبندی افقی بعنوان یک خرپا روی یک رشته از تکیه گاه‌های الاستیک کامل می شود . تکیه گاهها بوسیله قابهای ساختمان ایجاد شده اند و مثل فنرهایی با ضریب سختی الاستیک خطی معادل با تغییر مکان رفت و برگشتی قاب‌های تکی ناشی از بار واحد جانبی می باشد (شکل ۲۰ . ۱. ۸) . مدل مشابه شـــکل

۲۰. ۱. ۹ اســت . فنرها اعــضاء مجازی هستند کــه مقاومت تغیــیر مکانی معادل قاب‌ها را نشان می دهند .



شکل ۶.۱.۲۰ بخش سقف

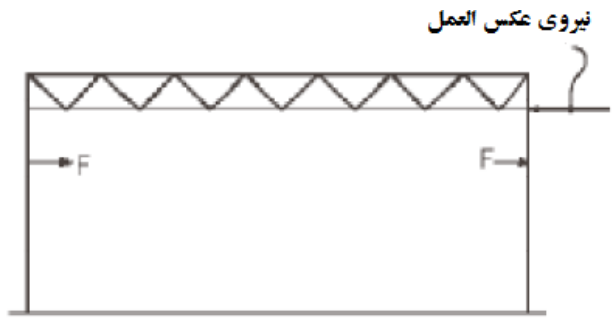


شکل ۵.۱.۲۰ دیاگرام ممان باشراکت در باربری

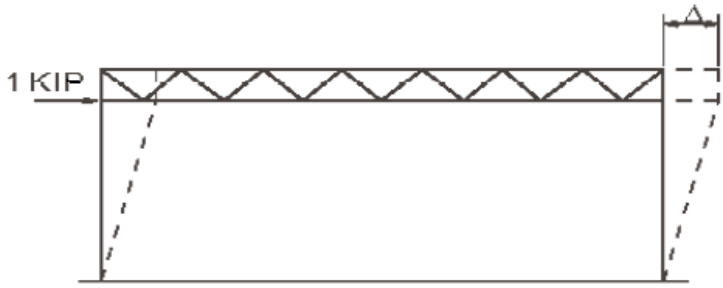
این روش برای بسیاری از قاب‌های تیپ ساختمانی برنامه ریزی و محاسبه شده است . واضح است که درجه توزیع بار متغیر است ، و بسته به سختی نسبی بادبندها به قاب می باشد ، اگر چه ، مشخص شده است ، برای سیستم بادبندهای افقی معمول، بار وارده به یک قاب منفرد داخلی تقریباً بین حداقل پنج قاب دیگر به صورت مساوی تقسیم می شود . این نکته منطقی است چرا که بادبندهایی که دارای طراحی مناسبی باشند و از اعضاء بار بر فشاری ساخته شده اند در بسیاری از مواقع به سختی قاب‌هایی ممان گیری هستند که براساس سختی خمشی قطعات خود ساخته شده اند .

یک ساختمان که دارای یک جرثقیل ۱۰۰ تن می باشد ، برای نشان دادن سهم بار بری انتخاب شده سقف شامل یک مجموعه دارای پنج قاب و بادبندی

ضربدری مطابق شکل ۲۰ . ۱. ۶ می باشد این سیستم برای بار 20 Kips وارد بر قاب وسط محاسبه شده است ، تا نیروی درون هر قاب بدست آید . این نیرو بعنوان نیروی وارده در سطح بال پائینی ناشی ازتکیه گاههای افقی جرثقیل ، در بالای پل خرپا در شکل ۲۰ . ۱. ۷ نشان داده شده . توزیع نهایی نیرو در شکل ۲۰ . ۱. ۱۰ آمده است .

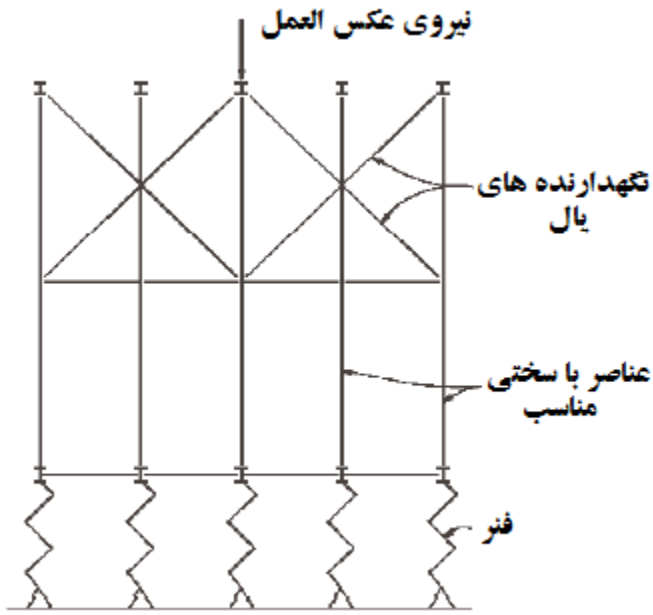


شکل ۷.۱.۲۰ نیروی عکس العمل

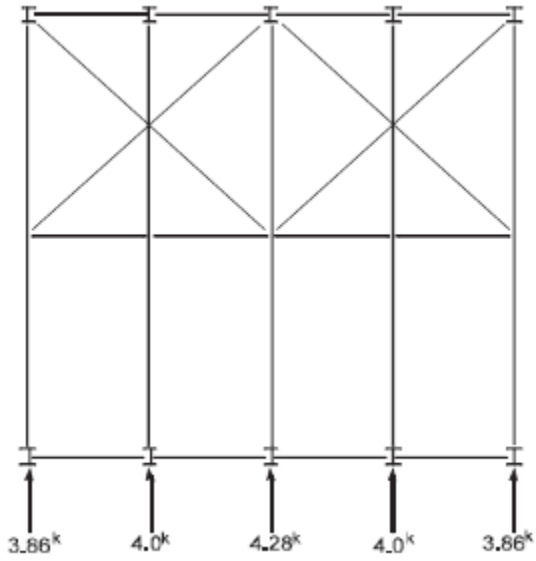


شکل ۸.۱.۲۰ بارواحد جانبی

با اینکه یک طراحی مناسب و مستدل در مورد بادبندی ، بار متمرکز وارده را به حداقل پنج قاب منتقل می‌نماید ، ولی پیشنهاد می شود که توزیع بارها به سه قاب محدود گردد. (یعنی به قابی که به آن وارد می شود و دو قاب هم جوار آن .) این پیشنهاد محافظه کارانه بدان علت است که در خرپاهایی که اعضاء افقی آن پیش تنیده نیستند ، افتادگی (شکم دادن) خرپای افقی بادبند باعث می شود که در هنگام ورود نیرو ، تغییر مکان معینی قبل از آنکه خرپای افقی



شکل ۹.۱.۲۰ مدل کامپیوتری



شکل ۱۰.۱.۲۰ توزیع نهائی بار

بادبند به بالا کشیده شود ، در قاب بوجود آید و از تاثیر کامل بادبند جلوگیری می شود . (این عمل در مورد بادبندهایی که با بست پیش تنیده مانند دو پیچ

(TurnBuckle) کشیده می شوند ، صادق نیست ولی نباید فراموش کرد که در این نوع بادبند نیز اعضاء دارای سختی فشاری نیستند . م)

بعضی از طراحان ممکنست با فرض تقسیم بار جانبی به سه ستون طراحی خود را ساده سازند ، امّا این طراحی غلط است . هر ستون منفرد جرثقیل باید برای بار کامل جانبی جرثقیل محاسبه شوند . این فقط بار نگهدارنده (Reactive force) بوده و در سطح بادبند سقفی به قاب‌های جانبی توزیع می شود. (توجه به شکل ۲۰ . ۱ . ۵ و ۲۰ . ۱ . ۷ موضوع را روشن می سازد . این دو نیرو که یکی نیروی وارده از جرثقیل بوده (Active) و دیگری نیروئی است که از حالت تکیه گاهی بادبندی سقف به مقابله با آن می آید (Reactive) در یک سطح قرار ندارند . اصولاً بهتر است قبل از آنکه به نیرو توجه داشته باشیم که ماهیتی مجازی دارد ، به تغییرشکل توجه کنیم که ماهیتی مادی و فیزیکی دارد. نیروی وارده ازسوی جرثقیل می خواهد سرستون را به بیرون براند . در اینجا ستون‌های مجاور با کمک خرپای بادبند سقفی و یا هر نگهدارنده دیگری ، می خواهند خود را با این تغییر شکل تطبیق داده و بسته به سختی بخشی از این تغییر شکل را متحمل شوند . بنابراین جلوی حرکت آزاد بالای ستون را که نیرو به آن وارد شد می گیرند و عملاً به آن نیروی نگهدارنده یا Reactive وارد می کنند.به طورخلاصه باید طراحی به صورت مدل منعکس در شکل ۱.۲.۲۰ باشد. م)

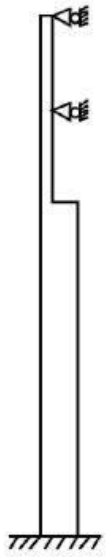
نتیجه محاسبات فوق باید با نتایج سایر محاسبات که تحت تاثیر توزیع بار قرار ندارند ، مانند : ثقلی ، باد و زلزله ، جمع یا مقایسه شود .

به صورت خلاصه ، مقرون به صرفه ترین فرم طراحی زمانی خواهد بود که فرضیات زیر در طراحی منظور شود :

۱- گیرداری پای ستون

۲- خرپای بادبندی افقی سقف (مگر آنکه باد کنترل کننده باشد) که نیروی جانبی جرثقیل بتواند بین ستون‌های مجاور تقسیم شود.

۳- زمانیکه از خرپا برای تیرهای سقف استفاده می شود ، اقتصادی ترین مکان برای نصب بادبندهای خرپائی ، بال تحتانی خرپای سقفی می باشد ، چرا که معمولاً آسانتر برای نصب می باشد . بال تحتانی سیستم بادبندی که برای نیروی uplift و کنترل ضریب لاغری لازم است، ممکن است برای توزیع بارهای متمرکز جانبی نیز کافی باشد.



شکل ۱.۲.۲۰ مدل کامپیوتری ،بدون حرکت جانبی راس

۲.۲۰ روش طراحی اولیه :

روش طراحی اولیه برای ستون جرثقیل بعلت پیچیدگی در طراحی این اعضاء، به طراح کمک خواهد نمود . حتی با وجود برنامه های کامپیوترهای فراوان ، یک طراحی اولیه مناسب ، می تواند سود زیادی را در طراحی کلی عاید کند . در بخش قبلی این راهنما این واقعیت مشخص گردید که برای

بدست آوردن ممان ستون ، محاسبه قاب لازم است . این روش طراحی دستی قابل اعتماد، فقط کمک کننده نبوده ،بلکه برای کاهش زمان محاسبه نهایی مناسب است .

محاسبه دقیق قاب شامل موارد زیر باید باشد :

۱- محاسبه حرکت جانبی .

۲- به صورت مناسب وضعیت گیرداری یا مفصلی پائین و بالای ستون را مشخص سازد .

۳- غیر منشوری بودن هندسی مقطع ستون را در محاسبه اعمال نماید .

یک طراحی اولیه نیازمند روشی برای محاسبه است که سختی مناسب را برای ستون تخمین بزند ، بطریقی که در یک مرحله محاسبه دقیق قاب را به نتیجه برساند . مدلی که در شکل ۲۰ . ۲ . ۱ آمده است ، برای دریافت یک نتیجه خوب در بارگذاری جرثقیل شناخته شده است ، که بادبندهای افقی را در طراحی نهایی مورد استفاده قرار می دهد . این یک مدل برای ستون بدون تغییرشکل جانبی است ، که شامل پایه گیرداربوده ، و دو تکیه گاه در محل تلاقی بال های خرپای تیر سقف با ستون را برای ستون ایجاد می کند .

دیاگرام ممان بدست آمده در مدل بدون تغییرشکل جانبی ، برای ستون جرثقیل ۱۰۰ تن قبلاً در شکل ۲۰ . ۱ . ۲ آمده بود در شکل ۲۰ . ۲ . ۲ نیز آمده است .

مقایسه شکل ۲۰ . ۲ . ۲ با شکل ۲۰ . ۱. ۵ نشان می دهد که به شکل عمومی شبیه یکدیگر است ، (البته کاملاً مشابه نیست . م) و مقدار ممانها تقریباً یکسان است . برای طراحی اولیه مدلی با دو تکیه گاه بدون حرکت جانبی به قدر لزوم دقیق می باشد . این مدل به صورت استاتیکی دارای دو

درجه نا معین می باشد . بنابر این حتی یک طرح اولیه نیز دارای محاسبه پیچیده ای است و فرضیات معینی را می طلبد .

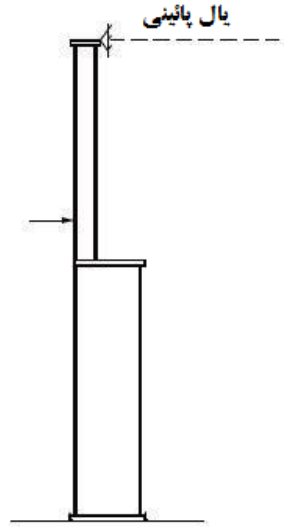
شکل ۲.۲.۲۰ نتایج محاسبه مدل بدون تغییرشکل جانبی

روش طرح اولیه برای بار باد و زلزله معمولاً با فرض نقطه عطف و ابعاد اولیه ستون ، برای کنترل حرکت جانبی تحت بار باد می باشد . یک روش مناسب در جرثقیل های با نشیمن لچکی (Bracket) برای طراحی ستون در بخش بعدی آمده است.

اندازه نشیمن ستون‌های با نشیمن لچکی معمولاً بوسیله باد کنترل می شود . بنابراین طراحی برای باد باید اوّل صورت گرفته و سپس برای بار باد باضافه جرثقیل کنترل می‌شود.

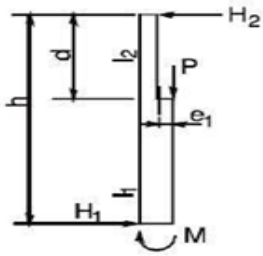
در گزارش فنی شماره ۱۳ نشریه AISE پیشنهاد می کند بار قائم نشیمن محدود به ۵۰ kips گردد .

انواع دیگر ستون های پله دار و یا خرپائی (Laced) (به شکل ۱.۱.۲۰ مراجعه کنید.م) برای جرثقیل ها موضوع متفاوتی هستند . برای بدست آوردن مقدار دقیق ممان ، تاثیر عدم یکنواخت بودن مشخصات ستون باید در محاسبه دیده شود . در محاسبه اولیه ستون پله دار فرض دیگری عملی می باشد . این فرض یک تکیه گاه مفصلی در بالای ستون ، بجای دو تکیه گاه بدون حرکت جانبی می باشد . این تک تکیه گاه مفصلی در محل تلاقی بال تحتانی پل با ستون می باشد . شکل ۲۰ . ۲ . ۳ ساده شده سازه ای است . روابط محاسباتی این اعضا در شکل ۲۰ . ۲ . ۴ آمده است .

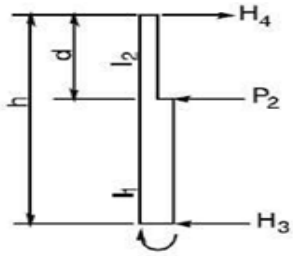


شکل ۳.۲.۲۰ سازه ساده شده

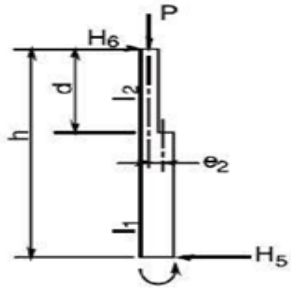
در هر موردی ، رابطه برای نیروی برش در بالا داده شده است . با فرض تکیه گاه تکی ، نامعینی با دانستن این مقدار نیروی برشی از بین می رود . دیاگرام ممان برای یک مفصل تکی ، بدون حرکت جانبی با استفاده از روابط شکل ۲۰ . ۲ . ۵ تخمین زده می شود . با آنکه تغییرات ممان درطول ، با طراحی دقیقی که در شکل ۲۰ . ۱ .۶ آمده همخوانی کامل ندارد ، ولی علامت ممان ها درمقاطع بحرانی کاملاً همخوان است .



$$H_2 = \frac{3Pe_1(h^2 - d^2)}{2I_1(\frac{h^3}{I_1} - \frac{d^3}{I_1} + \frac{d^3}{I_2})}$$

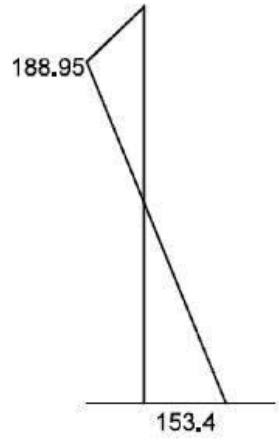


$$H_4 = \frac{P_2(2h^3 - 3dh^2 + d^3)}{2I_1(\frac{h^3}{I_1} - \frac{d^3}{I_1} + \frac{d^3}{I_2})}$$



$$H_6 = \frac{3Pe_2(h^2 - d^2)}{2I_1(\frac{h^3}{I_1} - \frac{d^3}{I_1} + \frac{d^3}{I_2})}$$

شکل ٤.٢.٢٠ روابط برای سازه ساده شده



شکل ٥.٢.٢٠ ممان ستون با استفاده ازروابط شکل ٤.٢.٢٠

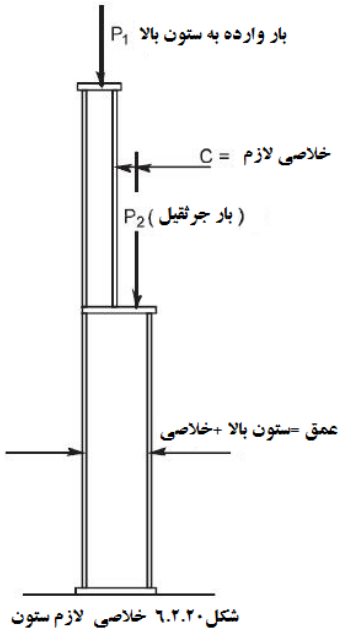
یـک جـنبه از طـراحی اولیـه توضـیح داده نشـد ، کـه در مـورد شـرائط سـتـون پـلـه ای و دوبـل (Double column) ضروری است . طبیعت غیرمنشوری این ستون‌ها ، لازم می سازد تا ممان اینرسی قسمت فوقانی و تحتانی ستون مشخص باشد ، که البته ابتداً مشخص نیست . بنابراین خطوط راهنمایی و یا روش هایی لازم است تا مقادیر مستدلی را برای I_1 و I_2 بدست آورد .

۲۰ . ۲ . ۱ بدست آوردن ممان اینرسی آزمونی برای ستون‌های پله ای :

اندازه قسمت فوقانی ستونهای پله ای ، ممکن است با محاسبه بار محوری وارده به قسمت بالای ستون محاسبه شود . طول مناسبی را برای قسمت نگهداری نشده ستون در جهت ضعیف پیش بینی کرده و اندازه ستون را از جدول AISC انتخاب نمائید . سه شماره بالاتراز ستون انتخابی (بوسیله وزن) را برای در نظر گرفتن ممان خمشی در قسمت بالایی تعیین کنید .

اندازه قسمت تحتانی ستون پله ای ممکن است بوسیله بار قائم جرثقیل که به صورت مرکزی (بدون خروج از مرکز . م) به یک بال وارد می شود .

(و یا ترکیب بال – ناودانی) انتخاب اولیه می تواند بوسیله انتخاب عضوی که در آن $P / A \cong 0.45 F_y$ باشـد. A مساحت یک بال و یا یـک بـال باضافه تـرکیـب ناودانـی می‌باشـد . عـمق قـسـمت پائیـنی بوسـیله ملـزومـات رواداری جـرثقـیل



شکل ۶.۲.۲۰ خلاصی لازم ستون

تعیین می شـود(شکل ۲۰ . ۲ . ۶)

۲.۲.۲۰ بدست آوردن ممان اینرسی برای ستون های دوبل به روش آزمونی:

آن قسمت از ستون که به صورت دوبل می باشد ، بهتر است برای بار محوری طراحی گردد. انتخاب اندازه ستون جرثقیل، براساس بارثقلی وارد به ستون مجزای جرثقیل صورت می گیرد. انتخاب تنش مجاز این بخش معمولاً براساس محور قوی‌تر صورت می گیرد. چراکه در جهت ضعیف به صورت بست چپ و راست و یا نردبانی بوسیله ستون اصلی ساختمان نگهداری جانبی شده است.(این نکته با فرض آنکه محورضعیف ستون دوبل در امتداد محور جان ستون ترکیبی است ، صورت گرفته.م) اندازه واقعی ستون باید تا حدودی جهت محاسبه ممان خمشی، اضافه شود. محاسبه ممان اینرسی مقاطع ترکیبی ستون براساس مشخصات هندسی قطعه کلی و فرمول های استاندارد محاسبه خواهد شد. اگر ممان اینرسی مقطع ترکیبی ستون مورد استفاده باشد، باید بست های ضربدری و یا نردبانی که دو قطعه ستون را به هم وصل کرده اند برای این رفتار مورد محاسبه قرار گیرد.

۳.۲۰ مراحل طراحی نهایی(بااستفاده از ASD):

بعد از بدست آوردن نیروها و ممان های نهایی در ستون جرثقیل، می توان آنرا طراحی نمود. طراحی ستون جرثقیل روشی یکه در ستون خواهد بود، چرا که ستون یک تغییر در نیروی محوری و یک تغییر در ممان متمرکز در محل نشیمن یا پله خواهد داشت.

بهترین روش برای ستون های نشیمن دار منشوری، طراحی قسمت بالا و پایین ستون به عنوان دو قطعه مجزا که قسمت فوقانی برای P_1 و ممان مربوطه در

قسمت بالای ستون طراحی شده و قسمت پایین برای $P_1 + P_2$ و ممان قسمت پایین(شکل ۱.۳.۲۰) طراحی می شود. ستون به صورت معمول در قسمت پل جرثقیل حول محور Y ،در ارتفاع تیر جرثقیل نگهداری جانبی شده فرض می شود. در مورد محور X مقدار و F'_{ex}, F_a, Kباید براساس کل طول ستون ومشخصات مقطع ستون خواهد بود. C_mمی تواند 0.85 فرض شود چرا که هر قسمت ستون برای تغییر مکان جانبی آزاد است. یک روش معمول در کتاب

The Disgen of Steel Beam – Columns

که توسط Peter F. Adams, نوشته و منتشر شده توسط:

Canadian Steel Industries Construction Council

آمده است. بهترین مرجع برای طراحی ستون های جرثقیل که در نشریه فنی شماره 13 انجمن AISE تحت نام :

Guide for the Design and Construction of Mill Building

می باشد AISE(2003) در روش زیر آمده که دو رابطه باید کنترل شود.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} \times f_{bx}}{\left[1 - \left(f_a / F'_{ex}\right)\right] F_{bx}} + \frac{C_{my} F_{by}}{\left[1 - \left(f'_a / F'_{ey}\right)\right] F_{by}} \le 1.0$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0$$

این روابط با روابط H 1-1 و H 1 – 2 در آئین‌نامه AISC ASD در مورد اعضاء مواجه با بار محوری و خمشی نزدیک است ، به استثنای آنکه به معرفی f'_a متفاوت با f_a پرداخته. به اضافه آنکه ، بعضی از تعریف اصطلاحات آمده در رابطه ،در مواردی فقط برای مسائل ستون‌های پله ای قابل تطبیق است . تعریف اصطلاحات این روابط به شرح زیر است:

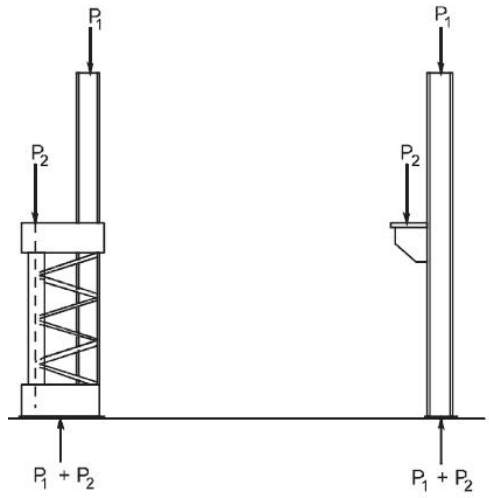
f_a : در قسمت پائین ستون ، $f_a = (P_a + P_2) / A$ که A مساحت آن قسمت می‌باشد.

در قسمت فوقانی ستون : $f_a = P_1 / A$ که A مساحت قسمت بالا (ساختمان) می باشد .

f'_a : در هـنگام کنترل قسمت پائیـن ستون برای خمـش حول محور Y – Y ، محافظه کارانه است که فرض شود ستون نگهدارنده جرثقیل تمامی خمش ناشی از عکس العمل خروج از مرکز پل جرثقیل را تحمل نماید . f_{by} ،بعنوان ضریب تشدید، نتیجه ای از(Deflection)تغییر مکان(به نظر می رسد تغییر مکان جانبی مورد نظر است.م)، فقط بستگی به متوسط تنش محوری f'_a در قسـمت (ستون) جـرثقیل دارد . تنش f'_a با اضافه کردن (یا کاستن) متوسط تنش ناشی از ممان حول محور X محاسبه شده در مرکز ثقل (Centroid) قسمت ستون جرثقیل ، (یا از) متوسط تنش f_a در کل قسمت پائین (ستون) بدست می آید .

F_a : مقـدار تنش مجـاز تحت بـار محوری می باشد . مقدار آن ممکنست از طریق کمانش کلی ستون پله دار حول محور X – X براساس طول معادل KL / r_x بدست آمده و یا از طریق کنترل کمانش حول محور Y – Y ، برای طول بدون نگهداری (جانبی) در هر دو قسمت پائین و یا بالای (ستون) بدست آید . حـداقل دو مقـدار بدست آمـده در قسـمت بالا و پائین ستون باید محاسبه شود . تیرچه های رابط ستون(نگهـدارنده دیوار م .) ، در ساختمان های صنعتی ، معمولاً بعنوان نگهدارنده جانبی پذیرفته نیستند ، چرا که امکان تغییر محل و یا حذف آنها (در زمان‌های بعدی . م) وجود دارد . اگر تکیه گاه در جهت X فـقط در نقـاط A و B , C (شکـل ۲۰ . ۳ . ۲) وجـود داشته باشد ، طول معادل KL برای محاسبه کمانش حول محور Y – Y باید به صورت کاملاً نگهداری نشده در طول AB در کنترل قسمت بالایی بـاشد . در کنـترل قسمت پائینی حول محور Y – Y مقدار طول معادل KL

باید برای 0.8 ازطول BC فرض شود ، بشرط آنکه پای ستون کاملاً گیردار باشد و در صورتیکه اطمینان کاملی از این گیرداری وجود ندارد معادل طول BC گرفته شود .

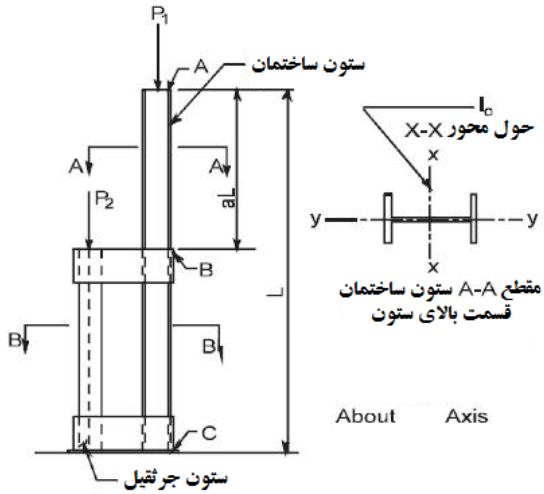


شکل ۱.۳.۲۰ بار ستون

C_{mx} – برای خمش حول محور X – X مقدار آن برابر 0.85 ، در زمانیکه تمامی خمش همزمان با بار بـاد و در حالیکه تغییر مکان جانبی شکل گرفته است ، خواهد بود. زمانیکه یک (انحنا. م) خمش بـرای حـداکثر بار جرثقیل بدون بار باد ، مورد نظر است (AISE مورد ۲ بارگذاری) مقدار C_{mx} را برابر 0.95 در نظر بگیرید .(گزارش شمارهٔ ۱۳ نشریهٔ AISE مورد بارگذاری)

C_{my} – ازآنـجائیکه فرض شـده بخش پائیـن ستون جرثقیل باید تمامی خمش حول محور Y – Y را تحمل نماید ، این ضریب به قسمت پائینی اعمال می شود (فرض می شود که f_{by} در قسمت فوقانی بـرابر صفر است .) . فرض شود که گیرداری در پایه وجود دارد ولی تداخلی با ستون ساختمان (به شکل ۲۰ . ۳ . ۲ مراجعه کنید . م) ندارد ، نیمی از ممان در نقطه B بعنوان نتیجه عکس العمل وارده ا ز پل مجاور به پایه منتقل می شود که در آن $C_{my} = 0.4$

(آئین‌نامه AISC بخش H1). اگر گیرداری پایه نتواند فرض شود ، $C_{my} = 0.6$ (مفصل بودن پایه) و یا در شرائط میانی ، بین 0.4 و 0.6 درون یابی (interpolate) صورت گیرد .



شکل ۲.۳.۲۰ ستون تیپ

f_{bx} – حداکثر تنش ناشی از خمش حول محور X – X ، با فرض جمع کردن تاثیر جرثقیل و ساختمان روی بخش پائینی ستون جرثقیل و ساختمان و بخش فوقانی ستون به تنهایی .

f_{by} – حداکثر تنش ناشی از خمش حول محور Y –Y در بخش پائینی ستون جرثقیل ، معمولاً صفر در قسمت بالائی

F_{bx} – برای فشار در ستون جرثقیل در قسمت پائینی ، F_{bx} ، حداکثر تنش مجاز ناشی از خمش در تارهای انتهایی حول محور X – X ، که اگر لازم باشد به کمتر از $0.6\ F_y$ کاهش یافته است ، چرا که تکیه گاه جانبی ندارد . تنش مجاز کاهش یافته ، ممکن است براساس تنش مجاز محوری بخش ستون جرثقیل برای کمانش حول محور Y – Y همانطوریکه در شکل ۲.۳.۲۰ آمده ، گذاشته شود . (محور Y – Y در این طرح ممکنست مرتبط با

محور X – X از بخش بال پهن تکی در آئین‌نامه AISC باشد .) تنش مجازستون ، بنابراین باید با ضرب درضریب C_m / C_c بدست آید ، همانطوریکه در مقطع B– B در شکل ۲۰ . ۳ . ۲ آمده است ، در هیچ موردی این تنش نباید از $0.6 F_y$ بیشتر گرفته شود .

F_{by} – ازآنجائیکه این بخش از خمش حول محور ضعیف ترکیب ستون جرثقیل و ستون ساختمان می باشد ، هیچ کاهشی در تنش مجاز برای کمانش جانبی لازم نیست . همچنین ، ازآنجائیکه فرض شده مقاومت خمش به تنهایی بوسیله ستون جرثقیل در بخش پائینی گرفته شود ، از مقدار مجاز تنش برای مقطع فشرده می تواند براساس بخش F_2 آئین‌نامه AISC ASD استفاده کرد.

F'_{ex} – از آنجائیکه این تنش بعنوان پایه ای برای تعیین تشدید تاثیر تغییرمکان (جانبی.م) ستون در صفحه خمش بکار می رود ، باید بر پایه طول معادل کامل ستون پله دار برای خمش حول محور x- x بدست آید ، همانطوریکه در مورد F_a آمده است .

F'_{ey} – اگر فرض شود پایه ستون گیردار است ، $K = 0.8$ برای بخش ستون جرثقیل به تنهایی گرفته می شود . در غیر اینصورت $K = 1$ خواهد بود . این طول در تعیین KL در بخش ستون BC خواهد بود مثال ۲۰ . ۳ . ۱ نشان دهنده روش کار می باشد .

درگزارش فنی شماره۱۳ نشریه AISE مقدار طول موثر براساس سه پارامتر تعریف شده است : نسبت طول مقطع کاهش یافته به کل طول ستون ،B، و نسبت حداکثر ممان اینرسی مقطع ترکیبی ستون به مقطع کاهش یافته .(این ضریب در ضمیمه B آمده.م)

و P_1 / P_2 نسبت نیروی محوری قسمت بالا به نیروی جرثقیل در قسمت پائین ستون می‌باشد.(شکل ۲۰ . ۳ . ۲ را ببینید).

جداول گزارش فنی شماره۱۳ نشریه AISE شرائط انتهای ستون را به استثنای مفصل یا گیردار معین نمی سازد و معمولاً نیز نسبت P_1 / P_2 خارج از جداول ارائه شده قرار می گیرد . در مرجع شماره ۲ و جداول ضمیمه B ، هفت نوع مختلف شرایط انتهای ستون آمده است ، شامل :

a) مفصل – مفصل

b) گیردار – آزاد

c) گیردار – مفصل

d) گیردار – غلطک

e) گیردار – گیردار

f) مفصل – گیردار

g) مفصل – غلطک

به اضافه ، این جداول شامل ستون‌های منشوری و غیر منشوری نیز می شود و همچنین مجازاً تمامی ترکیبات نسبت بار P_1 و P_2 می‌گردد.

مثال : ۲۰ . ۳ . ۱ طراحی ستون جرثقیل با لچکی نشیمن (ASD):

طراحی کنید ستون نشان داده شده در شکل ۲۰ . ۳ . ۳

با استفاده ازملاحظات گزارش فنی شماره ۱۳ نشریهAISE و فولاد A992 :

۱ : بارگذاری :

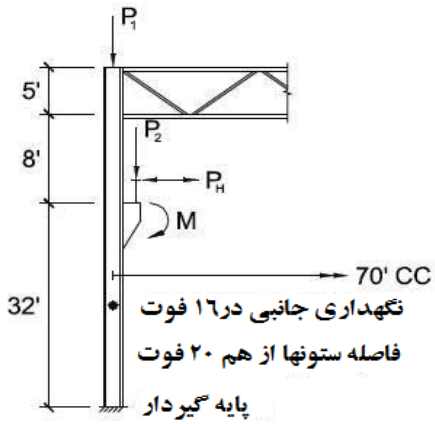
براساس ترکیب بارگذاری گزارش فنی شماره۱۳ نشریه AISE محاسبه ای صورت گرفته است . دیاگرام ممان بحرانی از ترکیب بارگذاری۲و۳ بدست آمده است .

بارگذاری ۲: مجموع بار زنده و بار مرده باضافه جرثقیل (جانبی و قائم .)

بارگذاری ۳ : سه چهارم مجموع بار مرده باضافه بار قائم جرثقیل و بار باد.

شکل (۲۰ . ۳ . ۴)

بارگذاری ۲ بیشترین ممان بحرانی در قسمت پائین ستون و بارگذار ۳ در قسمت بالای ستون را ایجاد کرد .



شکل ۳.۳.۲۰ مثال

۲ . طراحی اولیه :

از آنجائیکه این سازه کاملاً بلند می باشد بنظر می رسد که تغییر مکان جانبی ، کنترل کننده مقطع است بنابراین پیشنهاد می شود طراحی اولیه براساس ملاحظات تغییر مکان جانبی صورت گیرد .

براساس تغییر مکان جانبی مجاز : $\frac{H}{240} = \frac{45 \times 12}{240} = 2.25''$

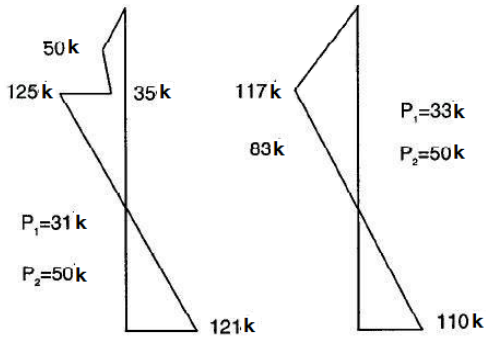
از مقدار "۲ استفاده می نمائیم .

برای یک ستون حالت گیردار – گیرداروبار باد WL=20 psf :

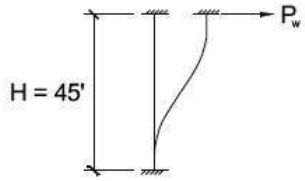
شکل ۲۰ . ۳ . ۵ را ببینید : $\Delta = \frac{P_w H^3}{24EI}$

$P_w = (WL)$ (فاصله دو قاب از هم) (H/ 2)

$P_w = 20 \times 20 \times 45/2 = 9.0\ K$



شکل ۴.۳.۲۰ دیاگرام ممان بحرانی



شکل ۵.۳.۲۰ محاسبه تغییرمکان جانبی

(در این رابطه با ممان گرفتن حول پایه نیروی معادل بار باد را در قسمت فوقانی یافته و جایگزین نموده اند .

$$WL \times L \times H \times \frac{H}{2} = P_w \times H$$

Lفاصله دو قاب از یکدیگر و WL بار باد می باشد . م)

با فرض تقسیم مساوی P_w بین دو ستون قاب :

$$I_x = \frac{(\frac{9.0}{2}) \times 45^3 \times 1728}{24 \times 29000} = 1018 in^4$$

که با استفاده از یک W16 × 77 خواهیم داشت : $I_x = 1110\ in^4$ o. k.

۳ -کنترل تنش:

مشخصات مقطع W 16 × 77 عبارتست از :

$I_x = 1110\ in^4$. $r_x = 7.0$ in. $r_t = 2.77$ in
$r_y = 2.47$ in . $S_x = 134\ in^3$
$A = 22.6\ in^2$. $d/A_f = 2.11$

کنترل قسمت پائین ستون :

برای بارگذاری ۲ داریم $P_1 = 31$ kips , $P_2 = 50$ kips

با استفاده از جداول مربوط به طول موثر در ضمیمه B مقدار K_x را می یابیم .

فرض کنیم پایه ستون گیردار و در قسمت بالا غلطک گیردار می باشد .

$I_1 / I_2 = 1$
$L_2 / L_t = 32 / 42.5 = 0.75$
$P_2 / P_t = 50 / 81 = 0.62$

(P_t مجموع دو بار وارده به ستون $P_1 + P_2 = 31 + 50 = 81$ Kips :م)

توجه کنید که L_T براساس وسط ارتفاع خرپای سقفی بدست آمده

(م . $L_t = 32 + 8 + 5 / 2 = 42.5$ FT)

با درون یابی در جدول داریم : $K_2 = 0.97$

$KL_x = (0.97) (42.5) = 41.2$ ft
$KL_y = (1) (16) = 16.0$ ft

کنترل رابطه AISC :

$f_a = P_t / A = 81 / 22.6 = 3.58$ ksi
$KL_x / r_x = (41.2) (12) / 7 = 70.68$
$KL_y / r_y = (16) (12) / 2.47 = 77.70$
F_a=19.5 ksi, F'_e=29.9 ksi
$f_b = M / S_x = (125) (12) / 134 = 11.2$ksi

(نگهداری شده در محل پل و۱۶ فوت بالای پایه) $C_m = 0.85,\ F_b = 30\ \text{ksi}$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right)F_b} \le 1.0$$

$$\frac{3.58}{19.5} + \frac{(0.85)(11.2)}{\left(1 - \frac{3.58}{29.9}\right)30} = 0.54 \le 1.0$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{3.58}{30} + \frac{11.2}{30} = 0.49 \le 1.0$$

کنترل قسمت بالای ستون:

برای بارگذاری ۳ داریم : $P_1 = 33\ \text{kips}\ ,\ P_2 = 37.5\ \text{kips}$.

با استفاده از جدول طول موثر ضمیمه B برای بدست آوردن K_x :

$I_1 / I_2 = 1.0\ ,\ L_2 / L_T = 0.75$
$P_2 / P_t = 33 / 70.5 = 0.47$

با درون یابی در جدول داریم: $K_1 = 1.36$:

$KL_x = (1.36)(42.5) = 57.8\ \text{ft}$
$KL_y = 8\ \text{ft}$

کنترل روابط تداخلی AISC :

$f_a = 33/22.6 = 1.46\ \text{ksi}$
$KL_x / r_x = (57.8)(12) / 7 = 99.08$
$KL_y / r_y = (8)(12) / 2.47 = 38.87$
$\therefore\ F_a = 14.9\ \text{ksi}\ ,\ F'_e = 15.3\ \text{ksi}$
$f_b = M / S_x = (117)(12) / 134 = 10.5\ \text{ksi}$
$f_a / F_a = 1.46 / 14.9 = 0.10 < 0.15$

کنترل : $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1.0$

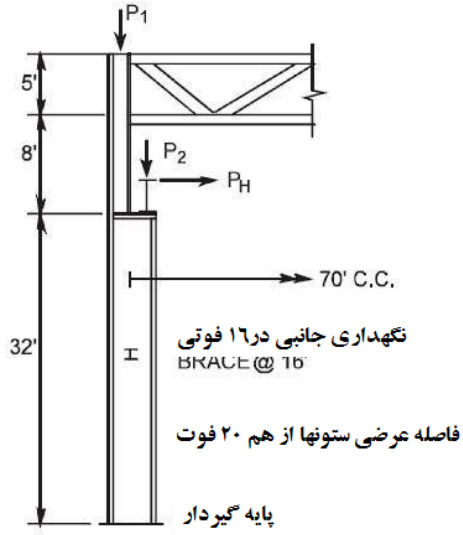
$$\frac{1.46}{14.9} + \frac{10.5}{30} = 0.45 \le 1.0 \quad o.k.$$

از $W16 \times 77$ استفاده می کنیم.

تغییر مکان (جانبی.م)کنترل شده است .

مثال ۲۰ . ۳ . ۲ طراحی ستون پله دار:

طراحی ستون مطابق شکل ۲۰. ۳ . ۶ بااستفاده از روشASD



شکل ٦.٣.٢٠ مثال

با استفاده از مقررات گزارش فنی شماره ۱۳ نشریه AISE و فولادA992

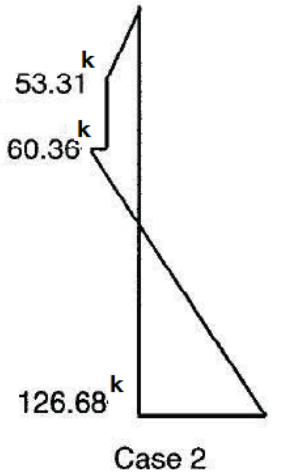
۱- بارگذاری

یک قاب براساس ترکیب بارگذاری AISE مورد محاسبه قرار گرفت . دیاگرام ممان بحرانی از بارگذاری ۲ بدست آمد. شکل ۲۰ . ۳ . ۷ را ببینید .

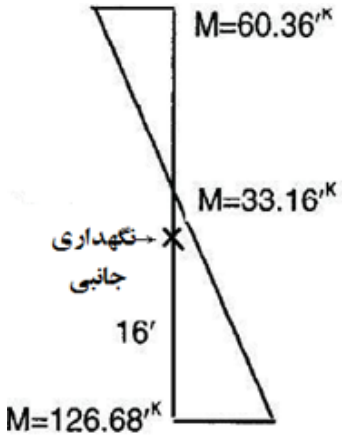
بارگذاری ۲ = بار زنده + بار مرده + بار جرثقیل (قائم و جانبی)

۲- طراحی اولیه :

با استفاده از مراحل طراحی اولیه مقاومتی بحث شده در این راهنما صورت می گیرد . برای قسمت بالائی ستون $P = 31$ Kips



شکل ۷.۳.۲۰ دیاگرام ممان بحرانی



شکل ۸.۳.۲۰ دیاگرام ممان بحرانی

جداول ستون براساس آئین‌نامه AISC ، از یک W12 × 35 استفاده می نمائیم . برای قسمت پائینی ستون بار ستون برابر 50 kips می باشد .

برای تعیین مساحت بال : $0.45\ F_y = 16.2\ KSI$

$A_{flang} = 50/16.2 = 3.09\ in^2$

نیاز به یک مقطع W24 برای خلاصی حرکت جرثقیل می باشد.

تیر مورد لزوم برای جرثقیل $A_{flang} = 4.15\ in^2$, W 24 × 62 مورد بررسی قرار می گیرد .

بعنوان یک تخمین برای ممان اینرسی ستون پله دار ، با احتساب متوسط وزن در ممان اینرسی برای قسمت بالا و پائین ستون داریم :

$$\frac{(32)(1550)+(10.5)(285)}{42.5} = 1237\,in^4$$

(عدد 32 ft ارتفاع قسمت پائین ستون و 1 550 in ممان اینرسی یک تیر W 24 × 62 می باشد و عدد 10.5 طول قسمت فوقانی ستون و 285 in^4 ممان اینرسی یک تیر W12 × 35 است و عدد 42.5 ft در مخرج طول کل ستون تا وسط خرپای سقفی است. م.)

ازآنجائیکه متوسط ممان اینرسی کل ستون بدست آمده بالاتر از عدد $984\ in^4$ در مثال قبلی می‌باشد، ستون از نظر تغییر مکان جانبی L/240 را برآورده می نماید . بعد از کنترل نهایی تنش، تغییر مکان جانبی بوسیله کامپیوتر می تواند صورت گیرد.

۳- کنترل تنش:

مشخصات مقطع: W12 × 35 به شرح زیر است:

$A = 10.3\ in^2$ $I_x = 285\ in^4$

$S_x = 45.6\ in^3$ $r_x = 5.25\ in$

$r_y = 1.54\ in$ $r_t = 1.74\ in$

ومقطع W24 × 62:

$A = 18.2\ in^2$ $I_x = 1550\ in^4$

$S_x = 131\ in^3$ $r_x = 9.23\ in$

$r_y = 1.38\ in$ $r_T = 1.71\ in$

$d / A_f = 5.71$

با استفاده از جدول طول موثر در ضمیمه B مقدار K_x را می یابیم . فرض کنیم که ستون دارای پایه گیردار در بالای ستون غلطک گیردار داریم :

$I_1 / I_2 = 285 / 1550 = 0.18$

$I_2 / L_t = 32 / 42.5 = 0.75$

$P_2 / P_t = 50 / 81 = 0.62$

بوسیله درون یابی در جدول خواهیم داشت :

$K_1 = 0.89$, $K_2 = 1.29$

کنترل قسمت تحتانی ستون:

$KL_x / r_x = (1.29) (42.5) (12) / 9.23 = 71.3$

$KL_y / r_y = (1) (16) (12) / 1.38 = 139$

$\therefore\ F_a = 7.73ksi \qquad F'_e = 29.4ksi$,

$f_a = P_T / A = 81/18.2 = 4.45ksi$

$f_{bx} = M / S_x = (126.68) (12) / 131 = 11.6ksi$

تعیین F_b :

از دیاگرام ممان در قسمت پائینی ستون (شکل ۲۰ . ۳ . ۸)

دیاگرام ممان بحرانی:

$C_b= 1.75 + 1.05 (M_1 / M_2) + 0.3 (M_1 / M_2)^2 \leq 2.3$

$M_1/M_2= -33.2/126.68= - 0.26$

$C_b= 1.75 + 1.05 (- 0.26) + 0.3 (- 0.26)^2 = 1.5$

$L / r_t = (16) (12) /1.71=112$

براساس رابطه F1- 8 و F1- 7 آئینامه AISC داریم :

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{(L/r_t)^2} \leq 0.60F_y$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 \times 1.5}{(112)^2} = 20.3 \leq 0.60F_y$$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 C_b}{ld/A_f} \leq 0.60F_y$$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 \times 1.5}{16 \times 12 \times 5.71} = 16.42 \leq 0.60F_y$$

$$\therefore F_b = 20.3ksi$$

کنترل روابط تداخلی گزارش فنی شماره ۱۳ نشریه AISE :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{mx} f_{by}}{\left(1 - \frac{f'_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$\frac{4.45}{7.73} + \frac{(0.95)(11.6)}{(1 - 4.45/29.38)(20.3)} = 1.21 \quad N.G. \text{ خوب نیست .}$$

با تکرار محاسبات فوق برای W24 × 68 خواهیم دید که جوابگو می باشد .

کنترل قسمت بالائی ستون : P= 31 Kips , M = 53.31 Kip–ft

تغییر در مقدار I_1 / I_2 (تغییر بعلت W 24 × 68) تغییر کوچکی در طول موثر قسمت فوقانی ستون دارد. تکرار در جدول طول موثر $K_1 = 0.85$ را می‌رساند.

$KL_x / r_x = (0.85) (42.5) (12) / 9.55 = 45.4$
$KL_y / r_y = (1) (8) (12) / 1.54 = 62$

بنا براین:

$F_a = 22.4$ KSI , $F'_e = 72.5$ Ksi
$f_a = P / A = 31 / 10.3 = 3.01$ Ksi
$f_b = M / S_x = (53.31) (12) / 45.6 = 14.0$ Ksi
$F_b = 30$ Ksi ($L_w < 8$ Ft)

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right) F_b} \le 1.0$$

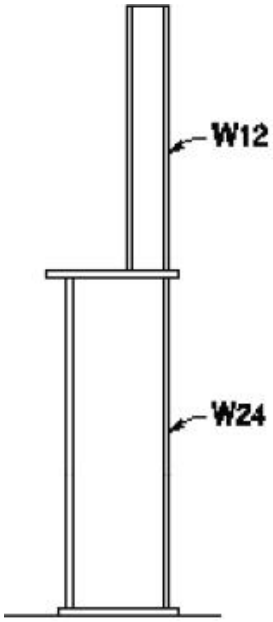
$$\frac{3.01}{22.4} + \frac{0.95(14.0)}{(1 - \frac{3.01}{72.5})30} = 0.60 \le 1.0$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{3.01}{30} + \frac{14.03}{30} = 0.57 \le 1$$

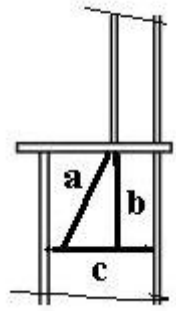
از یک W 12 × 35 با یک W24 × 68 استفاده می نمائیم .

۲۰ . ٤ نکات اقتصادی:

اگـر چه ممکن نیـست که با قاطعیـت روشی اقتصادیِ عملی برای تعیین نوع ستون به طور مثال با لچکی نشیمن ، پله دار ، با ستون جدا را بعلت شرائط مختلف کارگاه ها ارائه نمود ، ولی می توان بعضی مطالب را تشخیص داد:



شکل ۱.٤.۲۰ ستون ساده



سخت کننده های ورق بالای ستون پیشنهادی مترجم

۱- یـک ستون پله دار اقتصادی تر است اگر ساده باشد . در حقیقت در خیلی از مشاغل این نوع ستون در مقایسه با ستون لچکی نشیمن دار اقتصادی تر است ، حتی در بارهای سبک . ساده بودن به معنی آنستکه ستون (پله دار) بدون ناودانی تقویتی و یا اتصالات جوشی اضافی می باشد (شکل ۲۰ .۴. ۱).

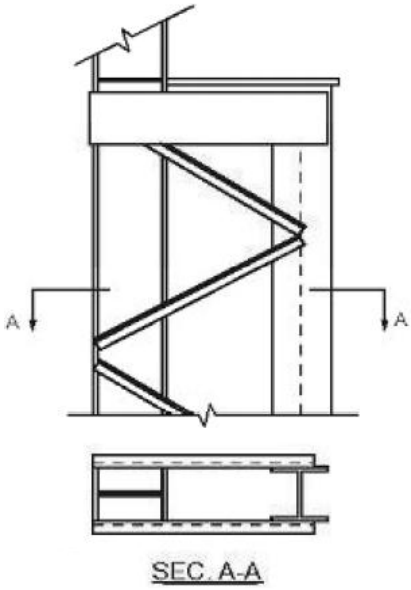
برای مثال ورق بالای ستون ممکن است به حد کافی ضخیم گرفته شود تا لزوم استفاده از سخت کننده های زیر بال داخلی ستون بالائی را حذف نماید.(برای عدم استفاده از ورق ضخیم می‌توان از جزئیات پیشنهادی فوق بهره گرفت.م)

۲- ستون جدا برای جرثقیل های سنگین اقتصادی تر است . سازندگان ترجیح می دهند که ستون جرثقیل بوسیله پروفیل های W به ستون اصلی متصل شود . چرا که بعنوان یک دیافراگم عمل می نماید . بجای آنکه با چپ و راست های نبشی بهم دوخته شوند . (شکل ۲۰ . ۴ . ۲)

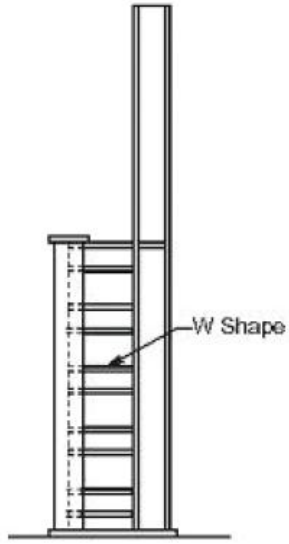
سیستم چپ و راست در مقایسه با سیستم دیافراگم وقتی اقتصادی است که تعداد قطعات مختلف مورد نیاز نباشد . برای مثال ، وقتی که عرض بال ستون ساختمان برابر عمق ستون جرثقیل باشد ، که در این صورت ستون به صورت اقتصادی با اتصال نبشی متصل می گردد . (شکل ۲۰ . ۴ . ۳)

۳- ستون با لچکی نشیمن دار معمولاً وقتی اقتصادی ترین است که حداکثر بار ستون 25 Kips باشد . وقتی عکس العمل های جرثقیل بین 25 Kips تا 50 Kips می باشد بهتر است هر دو مورد ستون با لچکی نشیمن و یا ستون پله دار استفاده شود .

۴- اگر مساحت یک بال ستون پله دار ضربدر $0.5\ F_y$ کمتر از بار جرثقیل روی ستون است ، یک ستون مجزا قطعاً بهتر خواهد بود.



شکل ۳.٤.۲۰ ستون با اتصال نبشی



شکل ۲.٤.۲۰ اتصالات با استفاده از پروفیل W

۲۱ . جرثقیل های بیرونی: .

جرثقیل های بیرونی معمولاً در بسیاری از کارخانجات جهت جابجائی ضایعات ، قطعات و سایر موارد بکار می روند . چند جنبه مهم که مختص این جرثقیل است ، عبارتند از:

۱- در محیط خارج جرثقیل با شرائط مختلف جوی روبروست و نیازمند توجه بیشتری در مورد رنگ و تعمیرات ، ضخامت قطعات و زدودن رطوبت از مکان‌هایی است که احتمال جمع شدگی آب در آن می رود .

۲- جهت راهروها و ریل ها و محدودیت های مشابه ، جرثقیل های بیرونی معمولاً نیازمند دهانه های بلند تر از جرثقیل های داخل سالن می باشند . این جرثقیل ها فاقد ستون ساختمانی هستند ، که بتواند باربری جانبی آنها را تامین نماید . بنابراین ، دهانه نگهداری نشده و بلند معمولاً برای نصب وجود دارد . خرپاهای بادبندی افقی ستون‌های خرپایی عریض یا سایر قطعات بادبندی معمولاً برای رسیدن به پایداری ضروری است .

۳- دهانه های بلند ممکنست استفاده از خرپا را ، بجای تیر ورق و یا مقاطع نورد شده ، لازم بداند . این استفاده مزایای معینی شامل سختی زیادتر را دارد . ازسوی دیگر عدم مزیت در زیاد شدن عمق باضافه اتصالاتی است که به شدت با مسائل خستگی مواجه هستند . تنش های ثانویه باید در محاسبات خستگی خرپاهای مورد استفاده در پل های جرثقیل بکار گرفته شود .

۴- تیر خاص دیگری که برای پل های جرثقیل می تواند بکار رود ، تیر – خرپا می باشد . این تیر ادغام شده (Hybrid) شامل زوجی از یک تیر (بال فوقانی) و یک خرپا است . این مجموعه دارای سختی عالی و اگر

موقتاً قطعات خرپا صدمه ببیند ، جرثقیل را نگه خواهد داشت . باز هم مشکل این سیستم عمق زیاد آنست .

۵- البته راه حل دیگر برای مسئله دهانه بلند ممکنست در استفاده از مقاطع قوطی و یا شبه قوطی باشد مرجع عالی در این مورد بوسیله Schlenker 1972 تهیه شده است . این مقاطع دارای مقاومت پیچشی و جانبی عالی هستند . باضافه آنکه ، مسئله مرتبط با خروج از مرکز ریل نیز برطرف می شود .

۶- ترد شکنی در جرثقیل هایی که در درجه حرارت پائین کار می کنند باید مورد توجه باشد .

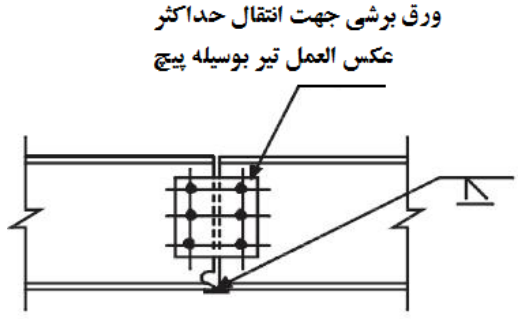
۲۲ . جرثقیل های آویزی:

جرثقیل های آویزی در بسیاری ازکارخانجات مورد استفاده قرار گرفته و برای شرائطی خاص نیز کاملاً اقتصادی می باشند . یکی از مزایای روشن عملی برای این نوع جرثقیل ، انتقال ارابه (Trolly) جرثقیل از یک راهرو به راهرو دیگر است .ملاحـظات مناسب در طـراحی برای مقابله با بارهای جانبی و ضربه برای این نوع جرثقیل باید در نظر گرفته شود . اصول ارائه شده در این راهنما (برای مثال: انتقال بار)، در حالت عمومی ، قابل استفاده برای این نوع جـرثقیل ها می باشد . از آنجـائیکه این جرثقیل ها معمولاً بوسیله قطعات سقفی نگهداری می شوند ، بـارها مستقیماً به داخـل ستون‌ها انتقال نمی یابند ، بنابراین طراحی ستون ، درگیر در مسائل توزیع ممان عبور از روی ستون نمی باشد . توجه کافی باید معطوف به نحوه آویزان شدن این جرثقیل ها گردد . مسائل خستگی در اتصالات در گذشته وجود داشته و ملاحظات مناسب باید

برای اتصالات آویز جهت تضمین های کافی در طول عمر جرثقیل صورت گیرد .

سیستم آویز باید قابل تنظیم عمودی جهت تنظیم مناسب ارتفاع تیر محل عبور باشد . بعد از آنکه تیر محـــل عبور به صـــورت قائم تنظیم شد ، یک بادبند جهت جلوگیری از حرکت جانبی ، در هر محل اتصال آویز باید نصب شود . این بادبند جلوی حرکت عمود بر پل محل عبور جرثقیل را خواهد گرفت. بیشترین سیستم های آویزی تجربه خستگی (حتی.م) در تنش های نسبتا پائین را خواهند داشت اگر جلوی حرکت جانبی آنها گرفته نشده باشد. به اضافه بادبندهای یاد شده ، باید بادبندهای طولی به موازات پل عـــبور جرثقیل جهت جـــلوگیری از حرکت جـــانبی در جهت طول ریل نصب شود . این نوع بادبند در فواصل تقریبی 100 ft باید نصب گردد .

اتصالات تیر محل عبور، به بسیاری از طرق می تواند ساخته شود . اتصالات باید بطریقی باشند که چرخ جرثقیل از روی آن عبور نرمی داشته باشد . یک اتصال تیپ در شکل ۲۲ . ۱ آمده است .



شکل ۱.۲۲ اتصال تیر جرثقیل آویزی

بسیاری از تولید کنندگان ، ترجیح می دهند که تیر جرثقیل را تهیه نمایند . مهندس طراح باید دقیقاً هماهنگ با تهیه کننده جرثقیل محل آویز ها و نیروی عکس العمل را ارائه نماید . بسیاری از اوقات طـراحی سازه بایـد قبل از انتـخاب سیستم جرثـقیل صورت گیـرد . در این حالت محل آویز و عکس العمل ها باید بوسیله طراح تخمین زده شود . عکس العمل آویز می تواند از کاتالوگ کارخانه سـازنده استخراج شـود . آویز ها باید در هر ۱۵ تا ۲۰ فوت ، در صورت امکان ، ایجاد گردد . مقدار مجاز افتادگی تیر جرثقیل ، ناشی از بار چرخ ها ، محدود به دهانه تقسیم بر ۴۵۰ می گردد .

به اضافه کنترل های مختلف AISC که باید برای طراحی تیرهای جرثقیل های آویزی صورت گیرد، کنترل ترکیب تنش موضعی بال تحتانی، جهت تعیین تاثیر بار مماس باچرخ روی بال تحتانی، باید صورت گیرد.تاثیر بار متمرکز چرخ در طولانی مدت می تواند مانند عملیات نورد سرد روی فولاد باعث ترک خوردگی وکنده شدن بخشی از بال تحتانی شود.

در مشخصاتCMAA

(Specifications for Top Running &Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running Trolley Hoist ,(CMAA 2000)

طراحی پیشنهادی برای تعین تنش تماسی نگاشته شده است.

۲۳ . تعمیرات و نگهداری :

همانطوریکه در این مجموعه قبلاً گفته شد ، ساختمان های جرثقیل دار ، به نگهداری بیشتری نیازمند هستند. تنظیم ریل جرثقیل نکته ای است بحرانی. اگر نگهداری و تعمیرات مناسب نباشد، سائیدگی روی ریل ها و جرثقیل و

پتانسیل خرابی ناشی از خستگی را نتیجه می دهد . همچنین ریل جرثقیل باید مورد بازدید برای غیر هم سطحی قرار گیرد ، تا مسئله خستگی به حداقل برسد. اگـر ترک ناشـی از خستگی بوجود آمده و باید تعمیر شود ، ممکن است در اثر عدم انتخاب روش مناسب ، مشکلات اضافه ای بوجود آید . یک جوشکاری ساده در یک ورق دوبل شده ، لچکی‌ها و یا سایر تقویت‌ها ممکن است باعث شکاف یا زخمی (Notch) شود که مسئله ای بس جدی تر از مسئله اوّل اسـت . مهندسین بایـد با احـساس کاملی از آنچـه در مـسیر مراحل تعمیر می خواهند صورت دهند، جزئیات مراحل تعمیر ترک خستگی را ارائه نمایند. بدین معنی که بعنوان تعمیر، یک مشکل بدتر خستگی را بجای نگذاریم . مراجعه به ضمیمه K آئینامه AISC در این مورد ضروری است.

۲٤ . خلاصه و روش طراحی

بسیاری از اصول مرتبط با طراحی و محاسبه سازه بهمراه جرثقیل در این راهنما آورده شد . در جهت بهینه کردن زمان طراحی ، سر خط هایی در زیر آمده که برای طراحان آورده می شود .

۱- تهیه بهترین جا نمایی.

۲- طراحی پل جرثقیل و تعیین نیروها وارده از جرثقیل به ستون و قاب.

۳- تهیه یک طراحی اولیه برای ستون جرثقیل.

۴- طراحی خرپاهای سقفی یا تیرهای سقفی برای بار مرده و زنده.

۵- تعیین تمامی ترکیبات بارگذاری ، برای آنچه کل قاب باید برای آن طراحی شود.

۶- محاسبه قاب مورد نظر برای بار مرده ، زنده و باد و زلزله . این محاسبه باید بدون در نظر گرفتن مشارکت باربری قاب های مجاور صورت گیرد. همینطورسختی جانبی قاب را تعیین نمائید.

۷- قاب را محاسبه نمائید (با تعیین میزان شرکت بارها) برای بارگذاری جرثقیل.

۸- ترکیب ممان ها و نیروها برای دو محاسبه انجام شده که متعاقباً برای طراحی بکار می رود.

۹- طراحی نهائی ستون ، خرپاها ، بادبندها و جزئیات لازم.

REFERENCES:

ACI Committee 302, *"Guide for Concrete Floor and Slab Construction,* (ACI 302.1 R-96), 1997, Farmington Hills, MI.

ACI Committee 360, *"Design of Slabs on Grade," (ACI 360 R-92) (re-approved 1997),* 1992, Farmington Hills, MI.

ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02),* 2002, Farmington Hills, MI.

ACI Committee 349, *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01) and Commentary (ACI 439R-OI),* 2001, Farmington Hills, MI.

Adams, Peter E, 1974, *The Design of Steel Beam-Column,* Canadian Steel Industries Construction Council, Willowdale, Ontario.

American Concrete Institute, 200 I, *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01),* ACI, Farmington Hills, MI.

American Concrete Institute, 2002, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete, (ACI 318-02),* ACI, Farmington Hills, MI.

American Institute of Steel Construction, 1989, *Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design, Plastic Design with Commentary,* AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, *Column Base Plates,* 1990, AISC Steel Design Guide Series No.1, AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, 1992, *Engineeringfor Steel Construction,* AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, *Erection Bracing ofLow-Rise Structural Steel Buildings,* 1997, AISC Steel Design Guide Series 1, AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, 1999, *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings and Commentary,* Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, 2000, *Code of Standard Practicefor Steel Buildings and Bridges,* AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, 200 I, *Manual of Steel Construction-Load and Resistance Factor Design,* Third Edition, AISC, Chicago, IL.

American Institute of Steel Construction, 2002, *Detailing for Steel Construction,* AISC, Chicago, IL.

American Iron and Steel Institute, 2001, *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members,* AISI, Washington, D.C.

American Society of Civil Engineers, 2003, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures,* ASCE 7-02, ASCE Reston, VA.

American Society of Civil Engineers, 2002, *Design Loads' on Structures During Construction,* SEIIASCE 37-02, ASCE, Reston, VA.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1989, *Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-rise Residential Buildings,* ASHRAE, Atlanta, GA.

American Welding Society, 1998, *Structural Welding Code Sheet Steel,* AWS D1.3-98, Fourth Edition, AWS, Miami, FL.

American Welding Society, 2002, *Structural Welding Code-Steel,* AWS D1.1: 2002, AWS, Miami, FL.

Association of Iron and Steel Engineers, 2003, Technical Report No. 13, *Guidefor the Design and Construction of Mill Buildings,* AISE, Pittsburgh, PA.

Chen, S., and Tong, G., 1994, *Design for Stability: Correct Use of Braces,* Steel Structures, J. Singapore Struct. Steel Soc., Vol. 5, No. I, Dec., pp.15-23.

Crane Manufacturers of America, 2000, *Specifications for Top Running & Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running Trolley Hoist,* CMAA 74, CMAA, Charlotte, NC.

Crane Manufacturers of America, 2002, *Specifications for Electric Overhead Traveling Cranes,* CMAA 70, CMAA, Charlotte, NC.

Departments of the Army, Navy and the Air Force, 1992, *Seismic Design for Buildings, TM 5-80-10,* Washington, DC.

Factory Mutual Research Corporation, 2000, *Approval Guide, 2000-Equipment, Materials, Service for Conservation of Property,* Factory Mutual, Norwood, MA.

Factory Mutual Research Corporation, various dates, *Loss Prevention Data for Roofing Contractors,* FM, Norwood, MA.

Federal Construction Council, 1974, Technical Report No. 65, *1974, Expansion Joints in Buildings,* National Research Council, Washington, D.C. (out of print)

Fisher, James M. and West, Michael A., 2003, AISC Design Guide 3, Second Edition, *Serviceability Design Considerationsfor Steel Buildings,* AISC, Chicago, IL.

Fisher, James M., 1981, "Structural Details in Industrial Buildings," *Engineering Journal,* Vol. 18, No.3, AISC, Chicago, IL.

Fisher, James M., 1983, "The Importance of Tension Chord Bracing," *Engineering Journal,* Vol. 20, No.3, AISC, Chicago, IL.

Fisher, James M. and Van de Pas, Julius P., 2002, "New Fatigue Provisions for the Design of Crane Runway Girders," *Engineering Journal,* Vol. 29, No.2, AISC, Chicago, IL.

Galambos, Theodore, v., 1960, *Influence of Partial Base Fixity on Frame Stability,* ASCE Structural Division Journal, Vol. 86, No. ST5, New York.

Gaylord, Gaylord and Stallmeyer, 1992, *Design of Steel Structures,* Third Edition, McGraw-Hili, New York, NY.

International Code Council, 2003, *International Building Code,* ICC, Country Club Hills, IL

Lutz, L.A., and Fisher, J.M., 1985, "A Unified Approach for Stability Bracing Requirements," *Engineering Journal,* Vol. 22, No.4, AISC, Chicago, IL.

Metal Building Manufacturers Association, 2002, *Low Rise Building Systems Manual,* MBMA, Cleveland, OH.

Mueller, John E., 1965, "Lessons from Crane Runways," *Engineering Journal,* Vol. 2, No. I, AISC, Chicago, IL, 1965.

Nair, R. Shankar, 1988a, "Secondary Stresses in Trusses," *Engineering Journal,* Vol. 25, No.4, AISC, Chicago, IL.

Nair, R. Shankar, 1988b, "Simple Solutions to Stability Problems in the Design Office," *Proceedings of the* 1988 *AISC, National Steel Construction Conference Proceedings,* AISC, Chicago, IL.

Occupational Safety and Health Administration, 200 I, *Safety and Health Standardsfor the Construction Industry,* 29 *CFR* 1926 *Part R Safety Standardsfor Steel Erection,* OSHA, Washington, DC.

Reemsynder, 1978, "Fatigue Cracking in Welded Crane and Steel Engineer, AISE, Pittsburg, PA. Runway Girders: Causes and Repair Procedures," *Iron and Steel Engineer,* AISE, Pittsburg, PA.

Ricker, David T., 1982, "Tips for Avoiding Crane Runway Problems," *Engineering Journal,* Vol. 19, No.4, AISC, Chicago, IL.

Ringo, Boyd C. and Anderson, Robert B., 1996, *Designing Floor Slabs on Grade,* The Aberdeen Group, Addison, IL.

Robertson, G.w., and Kurt, C.E., I 986,"Behavior of Nested Z-shaped Purlins," *Eighth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures,* University of Missouri-Rolla, Rolla, MO.

Rolfes, 1A. and Fisher, J.M., 2001, "Fatigue of Crane Runway Girder Connections to Column Cap Plates," *Proceedings of the 2001 Iron and Steel Exposition,* AISE Annual Convention, AISE, Cleveland, OH.

Salmon, Charles G. and Johnson, John E., 1997, *Steel Structures Design and Behavior,* Third Edition, Harper and Row, New York, NY.

Schlenker, Norman, 1972, "The Case for the Semi-Box Girder," *Engineering Journal,* Vol. 9, No.1, AISC, Chicago,

Steel Deck Institute, 1987, *Diaphragm Design Manual,* SOl, Canton, OH.

Steel Deck Institute, 2000, *Specification and Commentary for Steel Roof Deck,* SOl, Canton, OH.

Steel Deck Institute, 200 I, *Design Manual for Composite Decks" Form Decks' and Roof Decks,* SDI, Canton, OH.

Steel Joist Institute, 1971, "Structural Design of Steel Joist Roofs to Resist Ponding Loads," *Technical Digest #3,* SJI, Myrtle Beach, SC, 1971.

Steel Joist Institute, 2002, *Standard Specifications, Load Tables & Weight Tables for Steel Joists and Joist Girders,* SJI, Myrtle Beach, SC.

The National Roofing Contractors Association, 2001, *N.R.C.A. Roofing and Waterproofing Manual,* NRCA, Chicago, IL.

Wald, F., and Jaspart, J.P., 1998, *Stiffness Design of Column*

ضمیمه B
محا سبهٔ طول های موثر ستونهای پله ای

(KRISHNAM. AGRAWAL AND ANDREW P.STAFIEJ)

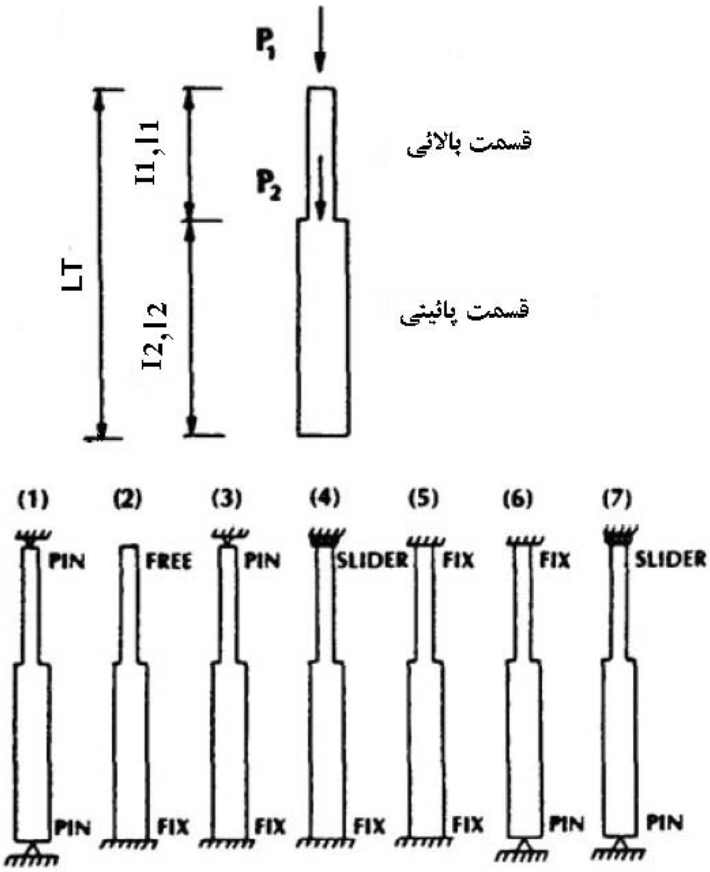
جرثقیل‌های متحرک به صورت معمول دائماً بارهای سنگینی را در ساختمان-های صنعتی جابه‌جا می‌کنند. برای تکمیل این حرکت، (معمولاً.م) چرثقیل‌های دارای یک دروازه‌اند. (Bridge)، که روی ریل‌های کناری حرکت کرده که در طول ساختمان روی ستون‌های اصلی ساختمان قرار گرفته‌اند.

طراحان معمولاً از ستون‌های پله‌دار(Step Columns) استفاده می‌نمایند. که در قسمت پائین مقطع عریض‌تر و منظوراز آن هدف دوگانه‌ای را دنبال می-کند: (a) نگهداری ریل جرثقیل و (b) تامین نیازهای مقاومتی برای بارهای اضافی وارده از جرثقیل. طراحی ستون‌های پله‌ای وقت‌گیر و مشکل است. طول موثر که باید برای هر بخش آن مورد محاسبه قرار گیردبه نکات زیر مربوط می‌شود: میزان گیرداری در دو طرف آن، نسبت طول دو بخش $I1/I2$ نسبت ممان اینرسی دو بخش و $I1/I2$ نسبت بار محوری وارده (P_1/P_2)در قسمت فوقانی ستون و در سطح پله.

موارد مختلف گیرداری انتهایی در محاسبات وارد می‌شود(شکل ۱). اندرسون وودوارد روابطی را برای پنج تیپ گیرداری انتهایی معرفی می‌نمایند که در محاسبه طول موثر بکار می‌رود. این پنج تیپ عبارتند از: (۱) مفصل- مفصل (۲) گیردار- آزاد (۳) گیردار – مفصل (۴) گیردار- لغزنده و (۵) گیردار- گیردار. دو مورد دیگر که مورد بررسی قرار نگرفته عبارتند از : (۶) مفصل – گیردار و (۷) مفصل – لغزنده (شکل ۱) .قاب ساختمان‌های معمولی به صورت

مفصل در پائین و یک خرپای سقفی عمیق در بالا می باشد که شرائط گیرداری و یا لغزندگی را تامین می کند.

رابطه اصلی در مرجع (۱) برای تیپ (۵) زمانیکه $P_2 = 0$ باشد رابطه $[FUNCTION\ FC5(\chi),(A-15)]$ بنظر می‌رسد که اشتباه باشد. این گزارش تکنیکی به تصحیح این رابطه برای تیپ (۵) و ادامه کاربرد این رابطه اصلی برای اضافه نموده حالت (۶) و (۷) می‌باشد. روش استخراج این رابطه در این مقاله حذف شده چرا که در مرجع (۱) آمده است.



شکل ۱. شرائط حدی تکیه گاهی

معادله اصلی:

پارامترهای بکار رفته در این رابطه به شرح زیر است:

$$IR = I_1 / I_2;\ LR = l_1 / l_2;\ PR = P_1 / P_2$$

$$Z = Y_1 / l_1;\ BZ = Y_2 / l_2$$

$$\beta = B = (l_2 / l_1) \times \sqrt{(I_1 / I_2)[1 + (P_2 / P_1)]}$$

$$Y_1^2 = P_1 / EI_1;\ Y_2^2 = (P_1 + P_2) / EI_2$$

یافتن پائین ترین ریشه معادله اصلی $Z = ZRT$ اجازه یافتن بار کمانش را می دهد:

$$P_{1cr} = \left(\frac{ZRT}{l_1}\right)^2 \times EI_1$$

$$(P_1 + P_2)_{cr} = \left(\frac{ZRT \times \beta}{l_2}\right)^2 \times EI_2$$

برابر گذاشتن این بار بحرانی با فرمول کمانش اولر $P_{cr} = \pi^2 EI / L^2$ بدست می دهد:

$$l_{1(eff)} = \pi l_1 / ZRT$$

$$l_{2(eff)} = \pi l_2 / (\beta Z)$$

این طول موثر در رابطه ترکیبی $AISC$ برای طراحی تیر ستون ها به کار رفته است.تعریف متغیرها عبارتست از:

ممان اینرسی قسمت بالائی وپائینی به ترتیب: $\mathbf{I_1, I_2}$

بار محوری وارده در قسمت بالا ودر سطح پله به ترتیب: $\mathbf{P_1, P_2}$

بار کل محوری در ستون = $\mathbf{P_T}$

طول قسمت بالائی و پائینی ستون به ترتیب: $\mathbf{l_1, l_2}$

طول کل ستون = $\mathbf{L_T}$

طول موثر قسمت بالائی و پائینی ستون بکار رفته در رابطه اولر به ترتیب: $\mathbf{l_{1(eff)}}$,$\mathbf{l_{2(eff)}}$

ضریب طول موثر برای قسمت بالائی و پائینی به ترتیب با تعریف زیر: $\mathbf{K_1}$,$\mathbf{K_2}$

$$K_1 = l_{1(eff)} / (l_1 + l_2)$$

$$K_2 = l_{2(eff)} / (l_1 + l_2)$$

مورد ۵ – گیردار –گیردار رابطه اصلاحی جایگزین رابطه *(A-15)* در مرجع **۱:**

c. $P_2 = 0$

$$[COS(Z) - COS(BZ)]\{Z[(1 + LR) / LR] \times SIN(Z) + COS(Z) - COS(BZ)\} + [LR \times SIN(Z) - Z(1 + LR)COS(Z) + SIN(BZ) / B][SIN(Z) / LR + B \times sin(BZ)] = 0 \qquad (A\text{-}8)$$

مورد ۶ – مفصل – گیردار:

a. General ($P_1 > 0$; $P_2 > 0$):

$$SIN(BZ)\{2 / PR - Z \times SIN(Z) \times [(1 + LR) / LR + 1 / PR] - COS(Z) \times [PR / (1 + PR) + 2 / PR]\} + COS(BZ)\{-B \times LR \times SIN(Z) + BZ \times COS(Z)[1 + LR - 1 / (1 + PR]\} = 0 \qquad (A\text{-}16)$$

b. $P_1 = 0$:

$$SIN(BZ) \times \{(BZ \times LR)^2 - 6IR / (BZ \times LR)^2 - 6[1 + (1 / LR)]\} + 2BZ \times COS(BZ) \times \{[3IR / (BZ \times LR)^2] - LR\} = 0 \qquad (A\text{-}17)$$

c. $P_2 = 0$:

$$B \times LR \times COS(BZ) \times [SIN(Z) - Z \times COS(Z) \times (1 + LR) / LR] + SIN(BZ) \times [COS(Z) + Z \times SIN(Z) \times (1 + LR) / LR] = 0 \qquad (A\text{-}18)$$

مورد ۷ – مفصل – لغزنده :

Case 7—Pinned-Slider:

a. General ($P_1 > 0$; $P_2 > 0$):

$$[1 / (1 + PR)] \times Z \times SIN(Z) \times SIN(BZ) - LR \times BZ \times COS(Z) \times COS(BZ) = 0 \quad \text{(A-19)}$$

b. $P_1 = 0$:

$$LR \times BZ \times SIN(BZ) - IR \times COS(BZ) = 0 \quad \text{(A-20)}$$

c. $P_2 = 0$:

$$Z \times SIN(Z) \times SIN(BZ) - BZ \times LR \times COS(Z) \times COS(BZ) = 0 \quad \text{(A-21)}$$

مرجع ۴ خلاصه ای از برنامهٔ کامپیوتری مشابه برنامهٔ آمده در مرجع ۱ را ارائه می دهد. این برنامه برای محاسبهٔ ریشهٔ معادلات مشخصه تهیه شده است. روالی که برای پیدا کردن کوچکترین ریشه از آن استفاده می شود، برای رسیدن سریعتر به نتیجه اصلاح گردیده است. مقادیر وابسته، با قرار دادن نقاط در فواصل منظم تا به هنگام مشاهدهٔ تغییر علامت محاسبه شده اند. در این هنگام، به جای اینکه مقدار تصاعدی Z را نصف کنیم، مقداری جدید برای Z با درون یابی از دو مقدار Z که کوچکترین عددهای وابسته با علامتهای مختلف را باعث شدند را محاسبه می کنیم. این عمل با حفظ دو عدد برای Z تکرار می گردد تا کوچکترین عدد وابسته را برای درون یابی بعدی بدست دهد. مرحلهٔ آخر چندین بار تکرار می گردد و بسیار سریعتر ریشهٔ مشخصه را نتیجه می دهد.

خروجی این برنامه (جدول ۱) نسبتهای لاغری برای هفت نوع انتهای گیر دار(شکل ۱) را برای دسته ای گسترده ازنسبتهای اینرسی بخشsegment ، نسبتهای طولی بخشها، و نسبتهای بارهای محوری بالا و سطح پله را لیست کرده است.

هر مقدار حد وسط را به راحتی از درون یابی از اعداد ارائه شده می توان بدست آورد. توجه شود که نسبت بار محوری $P_2/P_T = P_2/(P_1/P_2)$ از صفر تا یک متغیر است. مقدار صفر به $P_2 = 0$ و $P_1 > 0$ اشاره دارد. و مقدار ۱ به $P_1 = 0$ و $P_2 > 0$ اشاره دارد. تمامی مقادیر دیگر نسبتها به P_1 و P_2 بزرگتر از صفر اشاره دارند.

مراجع:

1. Anderson, J. P. and J. H. Woodward, "Calculation of Effective Lengths and Effective Slenderness Ratios of Stepped Columns," AISC *Engineering Journal,* Oct. 1972, pp. 157-166.
2. Dalai, S. T., "Some Non-Conventional Cases of Column Design," AISC *Engineering Journal,* Jan. 1969, pp. 28-39.
3. Huang, H. C., "Determination of Slenderness Ratios for Design of Heavy Mill Building Stepped Columns," *Iron and Steel Engineering,* Nov. 1968, pp. 123-134.
4. Agrawal, K. M., *STEPCOL—Computer Program to Calculate Slenderness Ratio of Stepped Columns,* H. A. Simons (International) Ltd. Engineering Computing Department, Vancouver, B.C., Canada. March 1980.