A-PDF WORD TO PDF DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

## فصل دوم

## بارگذاری جرثقیل ها

مقدمه:

جرثقیلها وسایلی هستند که به منظور نقل و انتقال بارهای سنگین مورد استفاده قرار می گیرند در کارخانجات معمولاً یک جرثقیل ثابت بر روی سازه (و یا در مواقعی که بار سنگینی است بر روی ستونی مجزا درنظر گرفته می شود) تا نقل و انتقالات مورد نظر توسط آن صورت گیرد در اینجا ما می خواهیم بدانیم که بار ناشی از جرثقیل که بدست سازه داده می‌شود چگونه و به چه میزان است. در این رابطه این موضوع حائز اهمیت است که جرثقیل بارها را حرکت می دهد و توقف های ناگهانی دارد. لذا حرکت و توقف ناگهانی آن موجب می‌شود که بارها اثرات افزایش یافته ای را در سازه به وجود می آورند. جرثقیلی که در کارخانجات مورد استفاده قرار می گرد تشکیل شده است از یک (جرثقیل کوچک) یا دو عضو باربر اصلی که اصطلاحاً پل های جرثقیل نام دارند و برروی تیرهای زیرسری می نشستند و حرکت جرثقیل را در جهت طولی سالن و (احیاناً فضای باز کارخانه) تامین می کنند. نیروهای زیرسری اشاره شده در واقع ریل هایی هستند که پل های جرثقیلی براحتی برروی آنها لغزیده و حرکت طولی جرثقیل را تامین می نمایند. حرکت بعدی همان حرکت عرضی است که توسط وسیلهٔ متحرک دیگری به نام ارابه، که خود بر روی پل های اشاره شده قرار دارد انجام می شود. در داخل ارابهٔ اشاره شده موتور

بالابرندهٔ بار واقع است که این موتور توسط کابلهای مربوط بار را روی زمین بلند کرده و در جهت قائم حرکت می دهد.

پس ملاحظه می شود که مجموعهٔ سه گانه فوق (موتور+ارابه+پل) قدرت مانور لازم را برای نقل و انتقال بار در جهت طولی، عرضی و قائم در فضای کارخانه را تأمین مـی کننـد. ایـن مجموعـه بـر روی تیرهـای زیـر سـری (ریـل) سـوار می‌شوند. در اینجا هدف تعیین اندازهٔ بارهای وارده از طرف جرثقیل به تیرهای زیر سری می باشد.

بطور کلی در بارگذاری جرثقیل ها سه گروه بار در پیش رو داریم:

۱- وزن ارابه P

۲- وزن کالسکه $(W_T)$

۳- وزن پلهای جرثقیل $(W_B)$

<u>بارهای وارده در طرح و تعیین اسکلت فلزی</u>

محاسبات اسکلت فلزی با تعیین تنشهای بوجود آمده در یک وسیله در خلال کارکردنش آغاز می گردد. این تنها بر اساس بارهای تعریف شده، در زیر محاسبه خواهد شد.

الف) بارهای اصلی وارده به قطعات اسکلت فلزی با فرض اینکه به صورت بـار ساکن در خطرناکترین وضعیت بارگذاری قرار گرفته اند.

ب) بارهای ناشی از حرکات عمودی

ج) بارهای ناشی از حرکات افقی

د) بارهای ناشی از تأثیرات جوی

اینک بارهای مختلف، فاکتورهای مورد نیاز و روش عملی کاربرد محاسبات را به ترتیب بیان می نمائیم.

بارگذاری: وزن بار بالا برده شده بعلاوه وزن لازم دیگر مثل (بلوک قرقره ها، قلابها، کالسکه، چنگک) می باشد.

بار برده: وزن مرده قطعات عمل کننده به عنوان یک عضو از اسکلت که شامل بار گاری نشود.

بارهای اصلی:

- بارهای ناشی از وزن مرده قطعات
- بارهای ناشی از بار کاری

تمام قطعات متحرک فرض می شوند که در خطرناکترین وضعیت قرار گرفته اند. هر قطعه از اسکلت فلزی بر اساس موقعیتش و مقدار کاری که بازای آن ماکزیمم تنش در قطعه مورد نظر به وجود می آید طراحی می شود.

بارهای در ارتباط با حرکات عمودی

- این بارها از برداشتن بار کاری زیاد یا کم بطور ناگهانی از شتاب حرکات بالابری و از بارگذاری ضربه ای عمودی در امتداد مسیر حرکت به وجود می آیند.

روش محاسبه:

تنش های وارده به اسکلت برای سه حالت بارگذاری تعریف شده (حالت کاری بدون وجود بار – حالت کاری با حداقل مقدار وجود بار – حالت بارگذاری استثنایی) تعیین می‌شود به منظور ممانعت از شکست لازم است کنترلی از نظر ضریب اطمینان V نسبت به تنش های بحرانی با در نظر گرفتن سه حالت ممکن زیر انجام گیرد.

الف- تجاوز از حد الاستیک

ب- تجاوز از بار کمانش یا بار چپ شدگی بحرانی

ج- تجاوز از حد تحمل برای خستگی کیفیت‌های فولاد مورد استفاده با یستی مشخصی باشند، خواص فیزیکی ترکیبات شیمیای و کیفیت های جوشکاری باید از طرف سازنده مواد، گارانتی و تأیید شود.

تنش های مجاز برای مواد مورد استفاده به طوریکه در قسمت بعدی خواهد آمد، با مراجعه به تنشهای بحرانی مواد تعیین می گردند. تنشهای بحرانی، تنشهای معادل با حد تنش الاستیک که در عمل به تنشی اطلاق می شود که احتمال بازدهی آن تحت آزمایشات ۹۰٪ است متناسب باشد.

تنش های موجود در قطعات سازه می‌باید بر اساس حالات مختلف بارگذاری ذکر شده در بالا و با بکار بردن حد گسیختگی قراردادی از روش محاسبه تعیین شود. مقاطع فلزی که باید در نظر گرفته شود. برای قسمتهایی که تحت بارهای فشاری هستند. مقاطع ناخالص (بدون کسر سوراخها) و برای تمام قطعات که در معرفی بارهای کشش هستند مقاطع خالصی (با کسر مساحت

سوراخها) خواهد بود. در حالتی که قطعه در معرض خمش است یک مقطع نیمه خالص باید فرض شود که قسمت خالص آن در قطعات تحت کشش و سطح مقطع ناخالص آن بر اثر فشار کار کند بهر حال برای سادگی و راحتی محاسبات یکی از روشهای عملی استفاده از جدول مقطع قسمت خالص با جدول مقطع محاسبه شده جهت قسمت نیمه خالص، با توجه به مرکز ثقل مقطع ناخالص است.

اسکلت فلزی

۱- کالسکه یا ترولی جرثقیل (TROLLEY)

۲- پل جرثقیل (GIRDER)

۳- کله گی جرثقیل (END VARRIAGA)

۴- ریل یا تیرهای جانبی

۵- ستونها یا نگهدارندهٔ ریل ها

کالسکه یا ترولی (TROLLEY)

اسکلت فلزی کالسکه معمولاً از پروفیلهای معمولی موجود و گاهی برای جرثقیلهای سنگین از قوطیهای جوشکاری شده طراحی و ساخته می شود. اسکلت فلزی کالسکه باید به قدر کافی محکم انتخاب شود تا در مقابل بارهای پیچشی و خیزهای جانبی و عمودی مقاومت کند همچنین باید مسئله جایگزینی بالابر و مکانیزم حرکت کالسکه را هنگام طراحی قاب اسکلت در نظر گرفته شود کالسکه هایی که در محوطه باز کار می‌کنند معمولاً با پوشش جهت

حفاظت در برابر برف باران در نظر گرفته می شوند بر روی بعضی از کالسکه‌ها ممکن است دو بالابر که یکی اصلی (main noist) و دیگری برای کارهای فرعی است (Auxiliary Hoist) نصب شود. سیستم محرک کالسکه ممکن است با یک موتور در نظر گرفته شود که توسط یک محور و کوپلینگ که به چرخهای محرک قفل شده اند، قدرت را انتقال می دهد. شکل کلی یک کالسکه بصورت زیر می باشد.

اجزاء شکل فوق به صورت زیر می باشد:

۱- وینچ

۲ و ۳- تیرهای کالسکه

۴- چرخ ترولی

۵- الکتروموتور

یک چرخ ترولی (کالسکه) به وسیلهٔ الکتروموتور می چرخد و این چرخ در واقع به صورت محرک چرخهای دیگر عمل می کند و چرخهای دیگر را به حرکت درمی آورد و با هم روی دوپل جرثقیل حرکت می کند.

محاسبات مربوط به اسکلت فلزی کالسکه (ارابه)

برای محاسبه تیرهای حمال کالسکه لازم است نوع بارگذاری و اندازهٔ آن ابتدا تعیین شود البته واضح است که در نامناسب ترین وضع این بارها باید در نظر گرفته شود برای این منظور فرض می کنیم که بالابر (HOIST) در بالاترین وضعیت قلابش قرار گرفته و بار تقریباً 16t تن را بلند کرده است برای این

حالت کـه خطرنـاکترین وضـعیت بارگـذاری تشـخیص داده مـی شـود اسـکلت کالسکه را طراحی کرده و ابتدا نمای افقی کالسکه را رسـم کـرده و بـرروی آن اندازه های مورد نیاز را مشخص می کنیم.

بار ناشی از شتاب حرکت بالابر+حداکثر بار کاری+وزن کالسکه= بار کل

$$P_K = W_T + W + \frac{W}{g}.a$$

$$a = \frac{V}{t} \qquad a = \frac{4m/\min}{60 \times 1} = \circ.\circ 67\ m/s^2$$

$$P_K = 1230 + 16000 + \frac{16000}{9.81} \times 0.067 = 17340\,kg$$

۱- بار کلی $(P_K)$

۲- وزن کالسکه (ارابه) $(W_T)$

۳- شتاب حرکت ارابه $(a)$

۴- شتاب جاذبه $(g)$

سرعت انتخابی مطابق با چهار گروه از جرثقیل های کاری انتخاب شده است.

با توجه به بالابر انتخابی (BRUN) که دارای قرقرهٔ کمکی و پایه قرقره نیز می باشد ابتدا عکس العملهای ناشی از بار کل را در وضعیت انتهایی قـلاب بـرروی پایه بالابر و پایه قرقرهٔ با داشتن فواصل مورد نیاز از بـالابر (مطـابق کاتـالوگ بالابر)

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow R_1 \times 70.6 - 17340 \times 39.5 = 0$$

$$R_1 = \frac{17340 \times 39.5}{70.6} = 9702Kp$$

$R_2 = 7638Kp$

حال که عکس العمل $R_1$ را به نسبت فاصلهٔ پایه وینچ و پایهٔ قرقره که به صورت بار منفرد در وسط فاصلهٔ دو التصال آنها به اسکلت ارابه وارد می‌شود تقسیم می کنیم. لازم به ذکر است که شیب بکسلها که در انتقال نیرو $R_1$ تأثیر دارند صرف نظر کرده ایم:

$$M_{A'} = \circ \Rightarrow F_2 = \frac{9702 \times 48.5}{70.5} = 6674Kp$$

$$F_1 = 9702 - 6674 = 3028Kp$$

محاسبه ترمینال C

الف) با توجه به دو نیروی $F_1$ و $F_2$ نیروهای اعمالی بر تیر حمال C را به ترتیب زیر بارگذاری می کنیم.

$$F_1^{'} = \frac{F_1}{2} = \frac{3028}{2} = 1514Kp$$

$$F_2^{'} = \frac{F_2}{2} = \frac{6674}{2} = 3337Kp$$

ب- بارگذاری نوع دوم:

این نوع بار در وضعیتی به وجود می آید (به تیر حمال C) که موتور بالابر استارت زده وبار بالا آورده شده را شروع به پائین بردن می کند. در یان حالت کوپل ناشی از روشن شدن موتور بالابر به تکیه گاه آن (پایهٔ بالابر) وادر آمده و چون نیروی ناشی از کوپل وارد با نیروی $F_1$ هم جهت است بنابراین باید آن جمع گردد حال نیروی ناشی از کوپل وارده بر تیر حمال C که در محل نقطه اثر نیروی $F_1$ وارد می شود حساب می کنیم.

$$M_n = \frac{974y(pkw)}{n}$$

$$= \frac{974 \times \circ.85.12}{n = \frac{V}{\pi d} = \frac{4}{\pi \times 0.4}} = 3121 m.kg^f$$

کوپل ناشی از موتور بالابر

نیروی ناشی از این کوپل

$$R_1' = \frac{M_n}{2L'}$$

$$= \frac{3121}{2 \times 0.46} = 3392 Kp$$

نیروی وارد بر تیر حمال C

پس باید دو نیروی $R_1'$ و $F_1'$ را که در یک نقطه از تیر حمال C عمل می کنند با یکدیگر جمع کرده که در نهایت بارگذاری تیر حمال C بصورت زیر می شود.

$$P_1 = R_1' + F_1' \Rightarrow P_1 = 3392 + 1514 = 4906 Kp$$

$$M_B = 0 \qquad 4906 \times 45.5 + 3337 \times 5 - R_A \times 82 = 0$$

$$R_A = 2926 Kp \qquad R_B = 5317 Kp$$

ممان ماکزیمم بار منفرد

$$M_{PMAX} = 2926 \times 36.5$$
$$= 160799 K.Cm$$

ممکان ماکزیمم بار مرده

$$M_{q\max} = \frac{qL^2}{8}$$

حال با محاسبهٔ ممان اینرسی لازم (حداقل) جهت تیر حمال C با توجه به اینکه حدتکثر خیز ناشی از بار منفرد در وسط تیر از $\frac{1}{1000}$ طول تیر تجاوز نکند می‌پردازیم برای سادگی کار فرض می کنیم.

جمع دو نیروی 4906 و 3337 در وسط تیر وارد آید بنابراین

$$I_{\min} = \frac{PL^3}{48Ef_{mqx}} \qquad E_{steel} = 2.1\times10^6\, kg/cm^2$$

$$P = 4906 + 3337 = 8243Kp$$

$$f_{mqx} = \frac{L}{1000} = \frac{82}{1000} = 0.82Cm$$

$$I_{\min} = \frac{8243\times(82)^3}{48\times12\times10^6} = 550Cm^4$$

با توجه به ملاحظات محل نصب پایه بالابر از جدول پروفیل توخالی مربعی، پروفیل زیر را برای تیر حمال C نرنظر می گیریم.

$$160\times160\times6.3 \quad DIN59140 \quad \begin{cases} I_{xx} = I_{yy} = 1460cm^4 \\ W_{xx} = W_{yy} = 183cm^3 \end{cases}$$

$$q = 29.6kg/m$$

$$m_{q\max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{29.6\times82\times0.82}{8} = 248.8kg.cm$$

با توجه به طبقه بندی گروه اسکلت فلزی مطابق استاندارد صنایع آلمان (DIN) جهت جرثقیل سازی گروه اسکلت فلزی کالسکه را گروه ها اختیار کرده که بدنبال آن ضرایب وارد ناشی از حرکت کالسکه و حرکت بار در محاسبه تنش به ترتیب زیر عبارتست:

ضریب تعادل $\psi = 1.4$

ضریب شوک $\phi = 1.1$

بنابراین ممان ناشی از دوبار زنده و مرده برابر است با:

$$M_{xx} = 1.4 \times 106799 + 1.1 \times 248.8$$
$$= 14972 Kp.C_m$$

و ممان ناشی از بار جانبی برابر است با

$$M_{yy} = \frac{M_{xx}}{14}$$

$$= \frac{149792}{14} = 10699.4 Kp.Cm$$

حال به محاسبه تنش های موجود می پردازیم

الف) تنش خمش

$$\sigma_x = \frac{M_{xx}}{W_{xx}} = \frac{149792}{183} = 818/53 \ Kg.Cm^2$$

$$818.53 \prec 1400 \ \ for \ \ st \ \ 37$$

تنش ناشی از بار عرضی

$$\sigma_y = \frac{M_{yy}}{W_{yy}} = \frac{10699.4}{183} = 58.46 \ Kg.Cm^2$$

ب- تنش برشی: $t_1 = \frac{R_{\max}}{F} = \frac{B}{F} = \frac{5317}{37.7} = 141 Kp/Cm^2$

$$t_2 = \frac{Vu}{It}$$

۱- تنش برشی نرمال ناشی از بار

(V) ممان نیروی برشی مقطع

$(\varphi)$ممان استاتیک مقطع

(I) ممان استاندارد جدول

(t) عرض اتصان چسبی

$$t_2 = \frac{5317 \times 111.7}{1460 \times 1/26} = 322.8 Kp/Cm^2$$

$$\varphi = F'.y$$

۲- تنش برشی ناشی از خمش

$(F')$ سطح مقطع فوقانی پروفیل

$Y =$ فاصلهٔ مرکز سطح تا محور خمش

$$\varphi = 16 \times 0.63\left(8 - \frac{0.63}{2}\right) = 111.7 Cm^3$$

۳- تنش برشی ناشی از پیچش در مقطع پروفیل

چنانچه از نقشه اسکلت فلزی کالسکه و ملاحظات مربوط به نصب بالابر پیداست تنش برشی کل با توجه به بارهای وارد که در بالای به آنها اشاره شده در امتداد محور y-y مقطع پروفیل وارد نیامده به صورت خارج از مرکز عمل می کنند بنابراین علاوه بر نیروهای فوق یک پیچ ناشی از انتقال نیرو (بار) به وسط مقطع (در امتداد محور y-y) به وجود می آید که درنتیجه آن تنش برش حاصل می گردد که برابر است با:

$$Mt_1 = P_1.e_1 = 4906 \times 3.5 = 17171 Cm.Kp$$

$$Mt_2 = P_2.e_2 = 3337 \times 3.5 = 11679.5 Cm.Kp$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Mt'_1}{Mt'_2} = \dfrac{L_2}{L_1} = \dfrac{45.5}{36.5} = 1.24657 \\ Mt_1 = M'_{t1} + M'_{t2} = 1717 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{cases} Mt'_1 = 9528 Cm.Kp \\ Mt'_2 = 7643 Cm.Kp \end{cases}$$

$$\frac{M''t_1}{M''t_2} = \frac{5}{77}$$

$$M''t_1 + M''t_2 = Mt_2$$

$$(1),(2)\begin{cases} m''t_1 = 712.5 \;\; Cm.Kp \\ m''t_2 = 10967 \;\; Cm.Kp \end{cases}$$

و درنتیجه دیاگرام ممان پیچشی ناشی از دو نیروی پیچش فوق عبارت است از مشخصه است که با توجه به دیاگرام کوپل پیچش ماکزیمم برابر است با,

$$M_{t\max} = 18610 \; Cm.Kp$$

دیاگرام کوپل پیچش

همچنین تنش برش ناشی از پیچش در پروفیل تیر حمال (C) عبارت است از

$$t = \frac{M_t}{2At_{\min}}$$

(st۱) سطح مقدار متوسط

(tmin) حداقل ضخامت دیوارۀ قوطی

$$= \frac{18610}{2 \times 1(16 - 0.63)^2 0.63} = 62.5K_p.Cm^4$$

تنش برشی کل:

$$t_{total} = t_{torsion} + t_{bending}$$

$$62.5 + 322.8 = 385.3K_p.Cm^2 \angle 1120 \;\; for \; st37$$

تنش خمش کل

$$\sigma_{total} = \sigma_z + \sigma_y$$

$$= 818.535 + 58.466 - 877Kp/Cm^2 < 1600$$

حال اگر خواسته باشیم تنش معادل را در پروفیل تیر C حساب کنیم و با تـنش مقایسه ای آنرا کنترل نمائیم از رابطه زیر استفاده می کنیم

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_y^2 - \sigma_z \sigma_y + 3(t_{zy})^2}$$

$$= \sqrt{(818.53)^2 + (58.46)^2 - (58.466 \times 818.53) + 3(38.3)^2}$$

$$= 1034.9 Kp / Cm^2 \angle \sigma_x = 1600$$

خیز ماکزیمم در تیر حمال C:

برای محاسبه ماکزیمم خیز فرض می کنیم مجموع دو بار در وسط تیر قرار داشته باشد که این فرض، ضریب اطمینان را بالا می برد.

$$P = P_1 + F_2' = 4906 + 3337 = 8233 Kp$$

$$f_{\max} = \frac{qL^3}{48E.I_{xx}}$$

$$= \frac{8243 \times (82)^3}{48 \times 21 \times 10^6 \times 1460} = 0.03 Cm \angle \frac{82}{1000}$$

چنانچه دیده می شود خیز تیر C در مناسب ترین وضعیت بیار ناچیز است و نتیجه امر این است که تیر انتخابی با توجه به کلیهٔ محاسبات مطلوبست

محاسبه تیر حمال B:

ابتدا نیروهای وارده بر تیر را در بحرانی ترین وضعیت بارگذاری مشخص می کنیم. برای این منظور نمای جانبی تیر حمال B را در محل اتصال به تیرهای حمال C درنظر می گیریم.

الف- بارگذاری در سمت ماکزیمم نیرو برای تیر C

با توجه به بارگذاری فوق عکس العمل های تکیه گاه ها را برای تیر حمال C به دست می آوریم

$$M_{R_1} = 0 \qquad R_2 \times 82 - 1514 \times 36.5 + 3337 \times 77 = 0$$

$$R_2 = 3807.44 Kp \qquad R_1 = 1043.56 Kp$$

مشخص است که بر تیر حمال B در سمت راست بار بیشتری وارد آمده که برابر جمع دو نیروی $R_2$ و $F_2$ می باشد.

$$R = R_2 + F_2$$

$$3807.44 + 3337 = 7144.44Kp$$

ب) بارگذاری در سمت مینیمم نیرو برای تیر حمال C

در اینجا نیز عکس العمل تکیه گاه ها را برای تیر C به دست می آوریم

$$M\ R'_1 = 0$$

$$R'_2 \times 82 - 1192 \times 36.5 - 2627 \times 77 = 0$$

$$R'_1 = 822Kp \qquad R'_2 = 299Kp$$

بنابراین بار وارده بر تیر حمال B در اتصال دوم از جمع دو نیروی $F'_1$ و $F'_2$ حاصل می شود که برابر است با

$$R_k = R'_2 = F'_1$$

$$= 2627 + 2997 = 5624K_p$$

بنابراین دو نیروی وارده بر تیر حمال B کاملاً مشخص هستند از طرفی چون اصل بر این است که بارهای وارده بر چرخها تقریباً یکسان باشند بدین لحاظ فاصلهٔ دو تیر حمال x را که در واقع فاصله دو نیروی وارده بر تیر B نیز می باشد از قوطی اصلی کالسکه (تیر حمال B) طوری انتخاب می کنیم که این معنا برای ما حاصل آید:

$$M_B = 0$$

$$R_A \times 122 - 714444 \times 22.1 - 5624 \times 21.5 = 0$$

$$R_A = 6358Kp \qquad R_B = 6383.44Kp$$

$$M_{p\max} = 6385 \times 29.9 = 190911.5 K_p.Cm$$

با توجه به اینکه حداکثر خیز ناشی از بار منفرد در وسط تیر نباید از $\frac{1}{1000}$ طول تیر تجاوز کند حداقل ممان اینرسی لازم جهت تیر حمال B را به دست می آوریم در اینجا فرض می کنیم مجموع دو نیروی وارد بر تیر حمال B در وسط تیر قرار داشته باشد.

$$f_{\max} = \frac{L}{1000} = \frac{122}{1000} = 0.122Cm$$

$$I = \frac{PL^3}{48Ef_{\max}} = \frac{(5624 + 7144.44) \times (122)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 0.122} = 1885Cm^4$$

با توجه به ملاحظات محل نصب بالابر از جداول پروفیل توخالی مستطیل شکل پروفیل زیر را برای تیر B در نظر می گیریم و تنشهای موجود برروی آن را کنترل می کنیم.

$$260 \times 140 \times 6.3 \begin{cases} I_{xx} = 4260Cm^4 & W_{xx} = 328Cm^3 \\ I_{yy} = 1630Cm^4 & W_{yy} = 233Cm^3 \\ q = 37.5Kg/m & F = 47.8Cm^2 \end{cases}$$

ممان ماکزیمم بار مرده

$$Mq_{\max} = \frac{qL^2}{8}$$

$$= \frac{37.5 \times (122)(1.22)}{8 = 697.7} Kp.Cm$$

بنابراین با توجه به گروه اسکلت، کالسکه ممان ماکزیمم برابر است با:

$$M_{xx\ \max} = \phi M_q + QM_{\bar{p}}$$

$$= 1/1 \times 698 + 104 \times 190911.5 = 268044 Kp.Cm$$

ممان بار عرضی برابر است با:

$$M_{yy} = \frac{M_{xx}}{10} = 26804.4 Kp.Cm$$

$$M_{yy} = \frac{M_{xx}}{10} = \frac{298044}{10} = 29804.4 Kp.Cm$$

محاسبات تنش ها

۱- تنش خمش

الف) تنش خمش ناشی از بار اصلی

$$\sigma_z = \frac{M_{xx}}{W_{xx}} = \frac{268044}{328} = 817.2 Kp/Cm^2 \angle 1400$$

ب) تنش خمش ناشی از بار جانبی

$$\sigma_y = \frac{M_{yy}}{W_{yy}} = \frac{26804.4}{233} = 115 Kp/Cm^2 \angle 1400$$

۲- تنش برشی

الف) تنش برشی نرمال

$$t_1 = \frac{R_{\max}}{F} = \frac{R_A}{F} = \frac{6385}{47.8} = 133.6 Kp/Cm^2$$

ب) تنش برشی ناشی از خمش

$$t_2 = \frac{Vu}{It} = \frac{6385 \times 200.3}{4260 \times 0.63 \times 2} = 238.3 Kp/Cm^2$$

ممان استاتیک

$$u = F'.y$$

$$= 13 \times 0.63 \left(13 - \frac{0.63}{2}\right) + 96.6 = 200.3 Cm^3$$

ج- تنش برشی ناشی از پیچش

$$Mt_1 = p_1 e_1 = 7144.44 \times 2 = 14288.88 Kp.Cm$$

$$Mt_2 = p_2 e_2 = 5624 \times 2 = 1124 Cm.Kp$$

دو کوپل عکس العمل و $Mt_1'$ و $Mt_2'$ با استفاده از مسبت فاصله و کوپلها بدست می آوریم:

$$M'_{t1} = 12769 Kp.Cm$$

$$M'_{t1} = 126.88 Kp.Cm$$

بنابراین تنش برشی حاصل از کوپل پیچش ماکزیمم برابر است با (البته در تکیه گاه)

$$t = \frac{M'_{t1}}{1At_{\min}} = \frac{1276}{2 \times (165.94) \times 0.63}$$

$$= 27.7 K_p / Cm^2$$

$$t_{total} = t_{torsion} + t_{bending} = 27.7 + 238.3$$

$$= 266 Kp / Cm^2 \angle 1120$$

تنش خمش ماکزیمم برابر است با (تنش خمش کل)

$$\sigma_{total} = \sigma_z + \sigma_y$$

$$= 817.2 + 115 = 932.2 Kp / Cm^2 \angle 1600$$

تنش معادل

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_z{}^2 + \sigma_y{}^2 - \sigma_z \sigma_y + 3(t_{zy})^2}$$

$$= \sqrt{(817.2)^2 + (115)^2 - (115 \times 817) + 3(266)^2}$$

$$= 894 kg / Cm^2 \angle \sigma_a = 1600 kg / Cm^2$$

برای محاسبهٔ خیز ماکزیمم در تیر B فرض می کنیم مجموع دو بـار در وسـط تیر قرار داشته باشد که این فرض در اینجا نیز ضریب اطمینان را بالا می برد.

$$P = P_L + R_k = 7144.44 + 5624 = 1268.44Kp$$

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{12768.44 \times (122)^3}{48 \times 2/1 \times 10^6 \times 4260}$$

$$= 0.054Cm = 0.54mm \angle \frac{L}{1000} = 1.22mm$$

محاسبه تیر حمال A

ابتدا باید نیروهای وارد بر تیر حمال را در خطرناکترین وضعیت مشخص کـرد و سپس به طراح آن پرداخت. آنچه بدیهی است این که یکـی از نیروهـای وارده نیروی عکس العمل تیر حمال B در محل اتصال بـه تیـر A (نیـروی 6385KP) می باشد و اما نیروی دیگر را می توان با اسـتفاده از نیروهـای وارده بـر تیـر حمال B در حالتی که کمترین نیروهـا بـه آن وارد مـی شـود و از روی عکـس العمل تکیه گاهی آن در محل اتصال به تیر حمال A به ترتیب که در صفحهٔ بعد آورده شده است بدست آورد.

در مرحلهٔ اول نیروهای وارد بر تیـر را بـا رسـم شـکل نشـام مـی دهـیم بعـداً محاسبات لازم انجام می شود.

$$P_{B1} = F'_{C1} + R_{C1} = 1514 + 1044 = 2558Kp$$

$$P_{B2} = F'_{C2} + R_{C2} = 1192 + 822 = 2014Kp$$

$$M_{R1} = 0$$

$$R_2 \times 122 - 2558 \times 92.1 - 2014 \times 21.5 = 0$$

$R_2 = 2286Kp \qquad R_2 = R_1$

حال دو نیروی وارد بر تیر حمال در خطرناکترین وضعیت مشخص هستند با توجه به این دو نیرو به طراحی تیر می پردازیم حداکثر نیرویی که به تکیه گاه های تیر B وارد می شود در مقطع A اثر می گذارد و مقدار آن در تیر $R = 6358(B)$ است.

$M_B = 0$

$R_A \times 155 - 2286 \times 133.6 - 6385 \times 37.5 = 0$

$R_A = 3514Kp \qquad R_B = 5157Kp$

$$M_{q\max} = \frac{qL^2}{8}$$

برای تیر حمال A مسأله اصلی، خیز ماکزیمم آن است که نباید حداقل از $\frac{1}{1000}$ طول تیر تجاوز نماید بدین منظور با استفاده از این داده حداقل ممان اینرسی را به دست می آوریم.

$$f_{\max} = \frac{L}{1000} = \frac{155}{1000} = 0.155Cm$$

$$I_{\min} = \frac{PL^3}{48Ef_{\max}} = \frac{16385 + 2286(155)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 0.155} = 2067Cm^4$$

برای بالا بردن ضریب اطمینان مجموع دو بار را در وسط تیر حمال A قرار دادیم علاوه بر مطلب فوق در اینجا نیز پیچش زیاد بوده و مسأله جاسازی چرخ می باشد بدین لحاظ مقطع زیر را در نظر گرفته و مشخصات متفاوت مصالحی آن را به دست می آوریم.

$$I_{xx} = \frac{1}{12}\left[b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3\right] = \frac{1}{12}[16 \times (33)^2 - 14.4 \times (31/4)^3 = 10765 Cm^4$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12}\left[b_1^3 h_1 - b_2^3 h_2\right] = \frac{1}{12}[16^3 \times 33 - (14.4)^3 \times 31/4 = 3450 Cm^4$$

$$W_{xx} = \frac{I_{xx}}{y} = \frac{10765}{16.5} = 652.4 Cm^4$$

$$W_{yy} = \frac{I_{yy}}{x} = \frac{3450}{8} = 431.3 Cm^4$$

سطح مقطع

$$F = 75.8 Cm^2$$

وزن واحد طول $q = 59.5 Kg/m$

$$M_{q\,\max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{59.5 \times 1.55 \times 155}{8} = 1787 Kp.Cm$$

و ممان خمشی حول محور x-x برابر است با:

$$M_{xx} = \phi M_q + \psi M_p$$

$$= 1.1 \times 1787 + 1.4 \times 193387.5 = 272708.2 Kp.Cm$$

ممان خمشی بار جانبی

$$M_{yy} = \frac{M_{xx}}{14} = \frac{272708.2}{14} = 19479 Kp.Cm$$

حال به محاسبهٔ تنش های وارد بر تیر می پردازیم

الف) تنش خمشی

تنش خمشی ناشی از ممان $M_{xx}$ عبارت است از

$$\sigma_z = \frac{M_{xx}}{W_{xx}}$$

$$= \frac{272708.2}{652.44} = 418 Kp/Cm^2 \angle 1400 \quad for \ \ st \ \ 37$$

و تنش بار جانبی:

$$\sigma_y = \frac{M_{yy}}{W_{yy}} = \frac{19479}{431.3} = 45 Kp/Cm^2$$

ب- تنش برشی

۱- تنش برشی نرمال

$$t_1 = \frac{R_{\max}}{F'}$$

$(F')$ سطح مقطع در تکیه گاه

$$= \frac{5157}{63} = 82 Kp/Cm^2$$

۲- تنش برشی ناشی از خمش

$$t_2 = \frac{V\varphi}{It} = \frac{5157 \times 403.2}{10765 \times 106} = 120.7 Kp/Cm^2$$

$(f'')$ سطح فلانچ فوقانی پروفیل

$$\varphi = f''.y$$

$(y)$ فاصلهٔ مرکز سطح فلانچ از محور y

$$= 16 \times 0.8(16.5 - 0.4) = 403.2 Cm^3$$

۳- تنش برشی ناشی از پیچش

$[(R_{\max})$ حدکثر نیروی وارد بر تیر $A]mt_1$ کوپل پیچش

$$M_{t1} = R_{\max}.\frac{b}{2}$$

$$= 6385 \times 8 = 51080 CmKp$$

$$mt_2 = R_{\min} \times \frac{b}{2} = 2286 \times 8 = 18288 Cm.Kp$$

دو کوپل پیچش فوق بر تیر حمال A در دو فاصلهٔ معین عمل می کنند.

حال با استفاده از روابط موجود بین کوپلها و فواصل اثر آنها دو کوپل عکس العمل $m_{t1}$ و $m_{t2}$ را به دست می آوریم.

$$m't_1 = 28110 Cm.Kp$$

$$m't_2 = 41258 Cm.Kp$$

بنابراین تنش برش حاصل از کوپل پیچش ماکزیمم برابر است با:

(A) سطح مقطع متوسط $t_3 = \frac{M'_{t2}}{2At_{\min}}$

(t) حداقل ماکزیمم

$$= \frac{41258}{2 \times (15.2 \times 32.2) \times 0.8} = 52.7 Kp/Cm^2$$

تنش برش کل عبارت است از:

$$t_{total} = t_{torsion} + t_{bending}$$

$$= 120.7 + 52.7 = 173.4 Kp/Cm^2 \angle 1120$$

تنش خمش ماکزیمم کل از جمع دو تنش $\sigma_y$ و $\sigma_z$ حاصل می شود.

$$\sigma_{total} = \sigma_z + \sigma_y = 418 + 45 = 463 Kp/Cm^2 \angle 1600$$

تنش معادل کل برابر است با

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_y^2 - \sigma_z \sigma_y + 3(t_{yz})^2}$$

$$= \sqrt{(418)^2 + (45)^2 - (418 \times 45) + 3(173.4)^2}$$

$$= 498 Kp/Cm^2 \angle \sigma_a = 1600$$

و خیز ماکزیمم در تیر A با این فرض که دو نیرو به صورت یک بار منفرد در وسط تیر وارد می شود برابر است با:

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$= \frac{6385 + 2286(155)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 10765}$$

$$= 0.03Cm \angle \frac{L}{1000} = 0.155Cm$$

محاسبهٔ پل اصلی جرثقیل (GIRDER)

مقدمه:

بار وارده به پل اصلی از طرف چرخهای کالسکه می باشد و به صورت بارهای متمرکز عمل می کنند همچنین وزن پل به صورت بار گسترده اثر می کند و تکیه گاههای آن با توجه به اینکه برروی ریل تیرهای جانبی قرار دارد بایستی به صورت تکیه گاه ساده در نظر گرفته شود در نتیجه مدل ریاضی بشکل زیر می باشد.

مناسب ترین مقطع برای تحمل بیشترین گشتاور خمش تیرهای I شکل می باشند و برای پل های اینچنین هم از تیرهای I شکل استفاده می شود.

برای بررسی نیروهای وارد بر پل شرایطی به صورت زیر درنظر گرفته شده است.

۱- تیر در بحرانی ترین وضعیت و خیزش قرار گرفته باشد یعنی بارهای وارده در وسط تیر اعمال شوند.

۲- بارهای اعمال شده از طرف چرخهای کالسکه به صورت مساوی بر تیر اثر نماید.

چنانچه قبلاً متذکر شدیم در محاسبات بـه صـورت کلـی از اسـتاندارد صـنایع آلمان (DIN) استفاده می شـود بـرای کارهـای محاسـباتی جـداولی از طـرف صنایع آلمان تهیه گردیده است که کار طراحی را بـه مراتـب سـاده تـر و قابـل اطمینان تر می سازد ما نیز برای کار خود به این جداول نیـاز داریـم کـه دارای انواع تنش های مجاز صنعت جرثقیل سازی برای اسکلت فلزی و اتصالات پـرچ و پیچ می باشد. این داده های مورد استفاده به صـورت مفصـل در جـدولی در صفحهٔ بعد و همچنین قبل از محاسبهٔ پل، دیاگرامهای کلی نیروها و ممان هـا و جدول تقسیم جرثقیل های کاری و جداول ضرائب آورده شده است.

Tafel 6 Zulassinge Spannungenin $Kp/Cm^2$ furkrar-stahlbaut aile and dihreverbin-dungsmittel.

| Ver Wendungs For mim Bauwerk | BeiBeanspruch Unyaut<br><br>Ung-out | | Belvollwandiyen Truyernfachwerken Sundstiltzcnaus | | | | Werk Stoff | Masgeben Gevauev Schnitt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | St37<br>st52 | | | | | |
| | | | Belastunjsfall | | | | | |
| 1. Bauteile Selbst | Zuyu.Biejunyscnub | $\sigma = uL$<br>r=uL<br>=<br>$0.8^{\sigma}$<br>=uL | 1<br>4<br>0<br>0<br>1<br>1<br>2<br>0 | 2<br>1<br>6<br>0<br>0<br>1<br>2<br>8<br>0 | 1<br>2<br>1<br>0<br>0<br>1<br>6<br>8<br>0 | 2<br>2<br>4<br>0<br>0<br>1<br>0<br>2<br>0 | | |
| | Sruck | $\sigma = uL =$ | 1<br>4<br>0<br>0 | 1<br>6<br>0<br>0 | 2<br>1<br>0<br>0 | 2<br>4<br>0<br>0 | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. Nietrer b. In dunyen | Abscheren | $\sigma Lzui = 2\sigma zul$ | 230000 | 320000 | 280004 | 320048 | Niltete aus | St34 St44 St34 St44 | Localquer Schnitt |
| | Lochcibunys druch | $\sigma Lzui = 2\sigma zul$ | 230000 | 320000 | 280004 | 320048 | | | |
| 3. schrauben verbindunyen einyepc B schraub | Abscheren | $razuL = 085zul$ | 120000 | 128000 | 120188 | 123019 | | St38 St32 | Localquer Schnitt |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| en | Lochlelbun ys druch | $\sigma_{LzuL} = 2\sigma_{zul}$ | 280 00 - | 320 00 - | 280 00 420 000 | 320 00 480 00 | | St38 St52 | |
| | zuy | $\sigma = zul$ | 100 00 - | 110 00 - | 103 01 580 | 110 00 170 0 | | St38 St52 | Kernqu er Scnitt |
| 4. dchraub en verbind unyen Rore Scrube | Abscheren | Razu l= | 700 | 800 | 700 | 800 | | Schr a- Uben Aus St36 | Schaftq uer |
| | Lochiebun ys druch | $\sigma$ lzul = | 160 00 | 180 00 | 160 00 | 180 00 | | | Kernqu er Schnitt |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | zuy | $\sigma_z$ lzu l= | 0 0 0 | 7 0 0 | 0 0 0 | 7 0 0 | | | |
| 5. Anker Schrau ben UndAn ker Bolzer | Zuy | $\sigma$=zuL=0 | 8 5 0 | 9 3 0 | 8 3 0 | 0 5 0 | | Ltan deis Baus tani St3 St52 | Kern Quer Schnitt |
| | | | 1 0 0 0 | 1 1 0 0 | 1 0 0 0 | 1 1 0 0 | | | |
| | | | 1 5 0 0 | 1 7 0 0 | 1 5 0 0 | 1 7 0 0 | | | |

توضیحات راجه به شکل (۲۱-۲) در بارهٔ دیاگرامهای نیروی برش و ممان خمشی وارده به پل:

(a) پل جرثقیل و ترولی روی آن

(b) دیاگرام ممان خمشی در اثر بار گسترده (بار ثابت)

(c) دیاگرام ممان oladدر اثر بار متحرک

(d) سطح هاشورخورده مجموع دو دیاگرام ممان خمشی بار گسترده متحرک می باشد و خط پرمحیطی نمایش دهندهٔ دیاگرام ممان خمشی قابل تحمل می باشد که ممکن است در اثر مقاومت حالت های خاصی به وجود آید

(e) دیاگرام نیروهای برشی حاصل از عکس العمل در اثر بار گسترده

(f) دیاگرام نیروی برشی حاصل از بار متحرک در حالت خاص که نیروی عکس در یک تکیه گاه ماکزیمم باشد

(g) مجموع دو دیاگرام e و f می باشد.

شکل (۲۱-۲) دیاگرامهای نیرو و ممان در حالت کلی (نیروی برشی و ممان خمشی وارد بر آن)

نیروهای وارد بر جرثقیل به دو دسته زیر تقسیم یم شوند.

۱- نیروی اصلی که عبارتند از: بار گسترده، وزن پل، بار مجاز کاری و اثرات حرارتی

۲- نیروهای فرعی که عبارتند از: فشار باد، نیروی ترمز، نیروی جانبی افقی و عمل بار عرضی جرثقیل ها مطابق جدول زیر به چهار گروه کاری تقسیم بندی می شوند.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| گروه جرثقیل | مقدار متوسط کار دائمی | مقدار متوسط بارگذاری | ضربه |
| I | کم | کوچک | معمولی |
| II | زیاد<br>کم<br>کم | کوچک<br>بزرگ<br>کوچک | معمولی<br>معمولی<br>قوی |
| III | زیاد<br>زیاد<br>کم | بزرگ<br>کوچک<br>بزرگ | معمولی<br>قوی<br>قوی |
| IV | زیاد | بزرگ | قوی |

مقدار دو ضریب $\phi$ و $\psi$ (که توضیحات لازم اورده شده) که به خاطر حرکت جرثقیل و بار باید در نیروهای وارده به جرثقیل ضرب شوند بر اساس گروه جرثقیل در دو جدول زیر داده می شوند:

| ضربه حرکت روی ریل | ضریب شوک |
|---|---|

| $\phi$ | عدم وجود | وجود |
|---|---|---|
| | سرعت حرکت m/sec | |
| 3 | 2 | 1 |
| 1.1 | 1.5 | 1 |
| 1.2 | 1.5 | 1 |

| ضریب تعادل $\psi$ | گروه جرثقیل |
|---|---|
| 1.2 | I’ |
| 1.4 | II |
| 1.6 | III |
| 1.9 | IV |

البته ضریب تعادل $\psi$ را تا سال 1973 از جدول صفحهٔ قبل استخراج می کرده اند اما در سال 1974 جدول زیر برای آن ارائه شد و ما در محاسبات از همـین جدول استفاده می کنیم.

همچنین جدول زیر را برای سه ضریب E (مدال الاستیسیته) G (مدول برشـی) و at (ضریب خطی حرارتی) برای دو جنس مختلف داده می شود.

| جنس | مدول الاستیته $E,kg/cm^2$ | مدول برشی $G, kg/cm^2$ | $M/m.grd\ d_t$ |
|---|---|---|---|
| فولاد | 2100000 | 810000 | 0.000012 |
| چدن خاکستری | 100000 | 380000 | 0.000010 |

**انتخاب جنس**

برای السکلت فلزی جرثقیل و مسیر حرکت آن از فولاد st37 و یا st52 طبق دینی DIN17100 استفاده می شود.

برای محاسبهٔ پل اصلی جرثقیل نیروهای زیر را تعریف می کنیم.

۱- بار وزن پل و متعلقات اضافی که به آن متصل است $(G_g)$

۲- بار متحرک که شامل بار کاری ( ) وزن کالسکه $(G_O)$ و نیروی شتاب ناشی از حرکت بار (R) که کل آن را با $(G_P)$ نشان می دهیم.

۳- نیروی جانبی افقی $K_L$

آنچه بدیهی است این است که $G_g$ و $G_P$ و هم چنین $K_L$ برروی پل ممان خمشی ایجاد می کنند که با نوشتن معادلات آنها می توان ماکزیمم ممان را به دست آورد.

ممان خمشی

الف) ممان خمشی بار مرده ($G_g$)

با توجه به شکل داریم

$$M_{yx} = Ay.x - \frac{y.x^2}{2} = \frac{yx}{2}(s - x)$$

با مشتق گیری از معادلهٔ فوق متوجه می شویم که بازای $x = \frac{s}{2}$ ممان خمشی بار مرده ماکزیمم است.

پس:

$$M_{y\max} = \frac{y.s}{4}(s - \frac{s}{2})$$

$$= \frac{y.s^2}{8}[M_{pm}]$$

ب) تعیین نیروی شتاب ناشی از حرکت بار قلاب (K)

اگر شتاب حرکت قلاب بالابر b و سرعت آن v باشد زما شتاب راه اندازی ta خواهد بود که برابر است با,

$$t_a = \frac{V}{b}(\sec) \qquad \text{یا} \qquad b = \frac{V}{t_a}\ m/s^2$$

پس نیروی شتاب عبارت است از:

$$R = mb$$

$$= \frac{\varphi}{g} = b \qquad g = 9.81 m/s^2$$

بنابراین بار متحرک کل برار باست با: $G_p = \varphi + G_0 + \frac{\varphi}{g}.b$

بار $G_p$ توسط چرخهای کالسکه برروی پل وارد شده که برای تعیین ماکزیمم ممان خمشی باید این بار در خطرناکترین وضعیت قرار گیرد.

ج- ممان خمشی بار زنده

۱- فشار چرخها (با توجه به شکل زیر) نامساویند $P_1 > P_2$

اگر $R = P_1 + P_2$ باشد با توجه به شکل فواصل $b_1$ و $b_2$ برابرند با

$$b_1 = \frac{P_2 . b}{R}$$

و نیروی برشی در تکیه گاه $(A_P)$ برابر است با

$$A_P = \frac{R(d - x - b_1)}{s}$$

دهانهٔ جرثقیل است یا به عبارت دیگر طول پل (که برای این طراحی 15.5 متر است) S و ممان خمشی ناشی از نیروی چرخها

$$M_{px} = A_{px} . x = \frac{R(s - x - b_1)}{s} x$$

$$M_{px} = \frac{R(sx - x^2 - b_1 x)}{s}$$

معادلهٔ سهمی

با مشتق گیری از معادلهٔ ممان خمشی فوق می توان ماکزیمم آن را به دست آورد.

$$\frac{dmp}{dx} = \frac{R(s - 2x - b_1)}{s} = 0$$

$$s - 2x - b_1 = 0$$

$$x = \frac{s - b_1}{2}$$

بنابراین مقدار ماکزیمم ممان خمشی بار زنده در این حالت بارگذاری، با جاگذاری فوق در معادلهٔ ممان به دست می آید:

$$MPL = \frac{R}{S}(S - \frac{S-b_1}{2} - b_1).(\frac{s-b_1}{2})$$

$$= \frac{R}{S}(\frac{s-b_1}{2})(\frac{s-b_1}{2})$$

$$M_{PL} = \frac{R}{4S}(s-b_1)^2 = \frac{p_1+p_2}{4S}.(s-b_1)^2$$

$$p_1 + p_2 = \frac{GP}{2} = \frac{\varphi + G_0 + R}{2}$$

و به همین ترتیب ممان ماکزیمم ناشی از بار چرخ سمت راست برابر است با:

$$M_{pr} = \frac{p_1+p_2}{4S}.(s-b_2)^2$$

که دیاگرام ممان آن در شکل (۲۳-۲) رسم شده و آنچه بدیهی است اینکه $m_{PL} > M_{pr}$ و در محاسبات باید $m_{p1}$ را مبنا قرار داد.

۲- فشار چرخها مساویند : $p_1 = p_2 = p$

در این حالتن که بار زنده $G_p$ بر چهار چرخ کالسکه که به طور یکسان تقسیم می شود ممان خمشی ماکزیمم را می توان با جاگذاری مقادیر زیر تعیین کرد.

$$R = 2P$$

$$b_1 = b_2 = \frac{b}{2}$$

$$M_p = \frac{p}{4s}(s - \frac{b}{2})^2$$

$$M_p = \frac{p}{s}(s - \frac{b}{2})^2$$

و در آن $P = \frac{GP}{4} = \frac{\varphi + G_0 + R}{4}$ می باشد.

در این زمان باید ضرائب $\phi$ و $\psi$ را در ممان های خمشی وارد کرده و سپس تنش موجود را با تنش مجاز فلز مصرفی در پل مقایسه کنیم.

$$W_{zerf} = \frac{\phi Mg + \psi Mp}{\sigma ZuL}$$

حداقل مدول مقطع پل

که در آن $\sigma zal$ تنش مجاز خمش می باشد از طرفی می توان نوشت

$$\sigma = \frac{\phi M_g + M_p \psi}{W_2}$$

و $W_2$ مدول مقطع پل جرثقیل است

برای فولاد st37 تنش مجاز بار $\sigma zul = 1400 kp/cm^2$ می باشد.

د- ممان خمشی بار جانبی

در اثر ترمز کردن جرثقیل در طول سالن نیروی ترمز به اسکلت فلزی ازجمله پل جرثقیل وارد می شود که ما آنرا با $K_L$ نشان داده و به طریق زیر محاسبه می کنیم.

نیروی اصطکاک = نیروی ترمزی = نیروی اینرسی

$$m.b = \mu.N$$

$$\frac{G_g + G_\circ + G}{g} \times b = \mu \frac{G_g + G_0 + \varphi}{2}$$

$$b = \mu \frac{y}{2}$$

b=شتاب کند شونده

$\mu$=ضریب اصطکاک

با فرض ضریب اصطکاک مساوی 0.10 می توان شتاب b را به دست آورد.

$$\mu = 0.15 = \frac{1}{7}$$

$$b = \frac{y}{14}$$

$$k = m.b$$

$$= \frac{u + G_0}{y} - b = \frac{u + G_0}{14}$$

چنانکه قبلاً در مورد بار $G_g$ و $G_p$ مشاهده شد ماکزیمم ممان خمش در خطرناکترین وضعیت که بار به فاصله ۱/۲B از وسط دهانه جرثقیل می باشد بدست می آید. در اینجا نیز ممان خمش ناشی از باد جانبی $K_L$ بهمان ترتیب عمل می کند.

$$M_y = \frac{u + G_0}{4 \times 15} - \frac{(s - \frac{b}{2})}{2s}$$

$$= \frac{u + G_\circ}{125}(s - \frac{b}{2})^2$$

و m وقتی صادق است که بار چرخهای کالسکه یکسان باشد در غیر این صورت از رابطه زیر استفاده می کنیم.

$$M_y = \frac{\phi M_{yx} + \psi M_{px}}{14}$$

و تنش بار جانبی برابر است با

$$\sigma_y = \frac{m_y}{w_y}$$

و جمع کل تنش خمش در حالت دوم (HZ) بارگذاری برابر است با:

$$\sigma_{total} = \sigma_x + \sigma_y$$

$$= \frac{\phi M_{yx} + \psi M_{px}}{w_c} + \frac{M_y}{W_y} < \sigma_{zuL}$$

که $zul$ تنش مجاز خمشی در حالت HZ برابر $\sigma zul = 1600 Kp/Cm^2$ می باشد.

۳- نیروی برشی

در شکل (۲۲-۱) معادله نیروی برشی در فاصلهٔ X از تکیهع گاه سمت چپ برابر است با

$$s_g = g.(\frac{s}{2} - x)$$

و ماکزیمم نیروی برشی بار مرده عبارت است از

$$s_y = \pm \frac{g.s}{2} \qquad tons$$

در شکل (۲۴-۲) معادلهٔ نیروی برشی بار زنده در فلاصلهٔ x از تکیه گاه سمت چپ برابر است با

$$S_p = \frac{2P}{S}\left[\left(-\frac{b}{2} + S\right) - x\right]$$

و ماکزیمم نیروی برشی در فاصله x=0 به دست می آید که برابر است که:

$$S_p = \frac{2p}{s}(s - \frac{b}{2})$$

و مـاکزیمم نیـروی برشـی در x=0 هنگامیکـه دو بـار نامسـاوی $p_1$ و $p_2$ بـر چرخهای کالسکه وارد شده عبارت است از:

$$SP_1 - P_2(P_1 + P_2) - \frac{P_2 b}{S}$$

۱- تنش برشی ناشی از خمش در اثر تیروهای برشی $S_g$ و $S_p$ برابر با

$$t_t = \frac{(\psi sp + \phi sy)u_\circ}{I_{zz}.b}$$

$u_\circ$ – ممان استاتیک سطح

$I_{ZZ}$ – ممان اینرسی حول محور Zها

b– پهنای پروفیل مقطع در محل مورد نظر

۲- تنش برشـی نرمـال ناشـی از بـار زنـده (مـاکزیمم) (Boxconstruction girder)

تجزیه نیروهای وارده بر پل جبعه ای

$a_1$ – مقطع برای تنش نرمال و تنش برشی ناشی از خمش ($M_2$ مرکز برشی)

$a_2$ – مقطع برای تنش برشی ناشی از پیچش ($N_2$ مرکز پل)

همانطور که قبلاً ذکر شد از مقطع $a_1$ تنش های خمش و تنش بر ناشی از خمش به دست می آید و از مقطـع $b_2$ تـنش بـرش ناشـی از پـیچش را مـی تـوان بـه صورت زیر حساب کرد.

P– بار زنده وارد بر یک ریل

$$t_t = \frac{M_t}{20 A_{\min} t_m}$$

b- پهنای پل (مرکز به مرکز دو جان قوطی پل)

$$= \frac{p_b / 2}{20 A_{\min} t_m}$$

$A_{min}$- سطح مقطع متوسط (سطح هاشورخورده)

$$= \frac{p_b}{40 A_{\min} t_m}$$

در پایان متذکر می شویم که مجموع تنش های برشی نباید از تنش مجاز برشی تجاوز کند.

$$t_{total} = t_t + t_n + t_b \angle t_{zuL}$$

که $T_{zuL}$ تنش مجاز بوده و مقدار آن برای فولاد st37 برابر

$$t_{zul} = 1120 KP / Cm^2$$

۳- کمانش – چپ شدگی (بیرون زدگی)

۴- در مورد کمانش و چپ شدگی (Crippling –Buckling) این 4114 دستوراتی را ذکر کرده است که تماماً در مورد پلهای مشبک (LATTIC CIRDERS) و یا پل تیرآهن می باشد لذا چون در این طراحی پل جرثقیل از نوع (BOKGIRDER) می باشد آوردن و دستورات ذکر دشه در این 4114 چندان ضروری نبوده و شاید هم لازم نباشد بدین خاطره و به علت عدم دستیابی به قوانین کنترل کمانش و چپ شدگی در بارهٔ پلهای جعبه ای ما از این مقوله صرفنظر می کنیم.

۴- ایمنی ایستادگی (stabllity)

مساله ایمنی ایستادگی (ایمنی از واژگ.ن) هم برای اجزایی کـه حرکـت دورانـی دارند و هم برای کلیهٔ جراثقال ها در حالتی که بتوانند حـول یـک مجـپ بشـوند قابل اهمیت است لذا استاندارد صنایع آلمان (DIN) رابطهٔ زیر را که جرثقیل با حداکثر بار و بدون فشار باد کار می کند.

جمع گشتاور اجزایی که ایستاده اند

ضریب ایمنی (ضریب اطمینان) S=_____>1.3

جمع گشتاور اجزائیکه حول یک محور چپ می شوند

۵- تغییر شکل پل (تعیین خیز ماکزیمم)

خیز و تغییر شکل زیاد پلهای اصلی سبب نوسانات برروی طول پل و تـأثیرات نامطلوب هنگام کار جرثقیل می شود به منظور اینکه خیز را حد مجاز نگهداریم باید پل به قدر کافی دارای ارتفاع بلند و ممان اینرسی مناسب باشد همانطوریکه در تئوری ذکر گردید.

هرچند هم اکنون قانون مخشص و قابل ذکری برای تعیـین جحـد مجـاز تغییـر شکل های پـل جرثقیـل (در محـدوده الاسـتیک دادهـن نشـده اسـت بـا اینحـال استاندارد صنایع آلمان (DIN20) محدودیت زیر را مشخص کرده است)

برای جراثقال برقی

$$f_{zul} = \frac{1}{750}.S$$

برای جراثقال دستی

$$f_{zul} = \frac{1}{500}.S$$

معادلهٔ منحنی تغییر شکل کلی تیر از رابطهٔ زیر به دست می آید

$$y = \frac{4x}{s}(1 - \frac{x}{s}).f_t$$

باتوجه به شکل مشخص است که خیز ناشی ازبارمرده(وزن پل) برابر است با:

$$F_y = \frac{Gy}{EI_{zz}}.\frac{5S^3}{384}Cm \qquad G_g = g.s$$

و خیز ناشی از بار زنده $(f_p)$ در صورتیکه باروی چرخا مساوی باشند برابر است با:

$$F_p = -\frac{P}{48E.I_{zz}} = (s-b).\left[S^2 + (S+b)^2\right]cm$$

که در آن $P = \frac{u + G_0 + k}{4}$ می باشد.

هنگامیکه بار چرخهای کالسکه برابر نباشد از معادلهٔ تغییر شکل پل که در زیر می آید مشتق گرفته و مساوی صفر قرار داده تا فاصله ای که در آنجا $F_p$ حداکثر معلوم گردد.

$$E.I_{zz}.f_p = \frac{R}{S}\left[\frac{S-b_1}{6}x^3 - \frac{x^4}{12}\right] + C_1 x$$

$$C_1 - \frac{R}{S^2}\left[\frac{s-b_1}{6}.(s-b)^3 - (\frac{s-b}{12})^4\right]$$

$$R = P_1 + P_2$$

(R) جمع دو بار $P_1$ و $P_2$

(b) فاصلهٔ متناظر بار $P_1$ از برآیند R

(s) دهانهٔ جرثقیل می باشد

و معادله ای که فاصله ای از طول پل را که در آن محل خیز ماکزیمم است به دست می دهد بصورت زیر است

$$4x^3 - \sigma(s - b_1)x^2 + \frac{(sb)^3}{s}(s + b_2 - b_1) = 0$$

و خیز کل پل عبارت است از

$$f_t = f_y + f_p \le f_{zal}$$

تذکر: علامت منفی در رابطهٔ خیز به این معنی است که تغییر شکل در جهت منفی محور y-y ایجاد می گردد. حال به محاسبهٔ پل اصلی جرثقیل مورد طراحی پرداخته که لازم است قبل از شروع اطلاعات زیر را برای طرح مقطع بیان کنیم

۱- ظرفیت مجاز جرثقیل: ۱۶ تن

۲- دهانه جرثقیل: ۱۵۰۵ متر

۳- ارتفاع قلاب: ۶ متر

۴- نوع بالابر: برونی EE11-8/16-6/4P4/1f

با استفاده از کاتالوگ سازنده موجود در جدول

۵- محل کار جرثقیل: محوطهٔ انبار کارگاه قالبسازی

۶- گروه مکانیزم FEM-1AM

۷- گروه اسکلت فلزی (FEM-5)DIN-II

۸- سرعت بالابر: ۰/۵ و ۴ متر بر دقیقه

۹- سرعت کالسکه: ۵ و ۲۰ متر بر دقیقه

۱۰- سرعت پل: ۱۰ و ۴ متر بر دقیقه

۱۱- نوع جرثقیل: دو پل، تمام برقی، بدون راهرو کابین

۱۲- کنترل: توسط کلید آویز (PushButton) متحرک در طول پل از کف کارگاه

۱۳- برق مصرفی: ۳۸۰ ولت ۵۰ هرتز

در اینجا نیز چون مبنای اولیه محدودیت خیز پل می باشد با فرض اینکه خیز پل در اثر بار زنده و بار مرده از $\frac{1}{1000}$ دهانهٔ جرثقیل تجاوز نکند ممان اینرسی لازم برای مقطع پل را به دست می آوریم چنانکه در محاسبات مربوط مالسکه نشاهده شد بار چرخهای روی پل یکسان نبوده بنابراین از معادلهٔ تغییر شکل پل جهت تعیین حداقل ممان اینرسی لازم برای مقطع پل به ترتیب زیر استفاده می کنیم.

$$f_t = f_y + f_p \le \frac{s}{1000}$$

$$f_t = \frac{s}{1000} = 1.55Cm$$

فرض می کنیم که خیز ناشی از بار زنده $\frac{4}{5}$ خیز کل باشند بنابراین

$$f_p = 0.8 f_t = 1.24Cm$$

معادلهٔ تغییر شکل پل وقتی بار چرخهای کالسکه یکسان نیست

$$EI\ F_p = \frac{R}{s}\left[\frac{s-b_1}{G}x^3 - \frac{x^4}{12}\right] + C_1 x$$

$$C_1 = \frac{R}{s^2}\left[\frac{s-b_1}{G}(s-b)^3 - \frac{(s-b)^4}{12}\right]$$

برای تعیین نقطه ای از طول پل که خیز در آمجا ماکزیمم است از معادله زیر استفاده می کنیم.

$$4x^3 - \sigma(s-b_1)x^2 + \frac{(s-b)^3}{s}(s+b_z-b_1) = 0$$

$$R = P_1 + P_2 = 5342 + 3699 = 9041gf$$

دهانه جرثقیل

$$S = 1550Cm$$

فاصلهٔ چرخهای کالسکه

$$b = 155Cm$$

$$b_1 = \frac{P_2 b}{R} = \frac{3699 \times 155}{9041} = 63.416Cm$$

$$b_2 = \frac{P_1 b}{R} = \frac{5342 \times 155}{9041} = 91.58Cm$$

$$s - b = 1550 - 155 = 1395Cm$$

$$s - b = 1550 - 63.416 = 1486.48Cm$$

$$C_1 = -134351027$$

حال به تعیین نقطه ای از پل که خیز ماکزیمم در آنجا اتفاق می افتد می پردازیم.

$$4x^3 - 6(s-b_1)x^2 + \frac{(s-b)^3}{s}(s+b_z-b_1) = \circ$$

$$4x^3 - 8919.5x^2 + 2764038969 = 0$$

$$x^3 - 2229.87x + 691009742.2 = 0$$

$$x = \sigma 4.38Cm$$

حال مقدار فوق را در معادله تغییر شکل پل قرار داده تا از آنجا حداقل ممان اینرسی لازم به دست آید:

$$EI_{\min} f_p = \frac{9041}{1550}\left[\frac{1486.58}{\sigma}.(\sigma 64.38)^3 - \frac{(1664.38)^4}{12}\right]$$

$$-(1343531027)(\sigma 64.370)^2 - 5.633508\times 10^{11}$$

حداقل ممان اینرسی لازم

$$I_{\min} = \frac{5.63508\times 10^{11}}{2.1\times 10^6 \times 1.24} = 216401 Cm^4$$

$$f_p = -1.24 Cm$$

$$E_{steel} = 2.1\times 10^6 kg/Cm^2$$

چنانکه معلوم است اولاً از پل بصورت پروفیل تیرآهن نمی توانیم استفاده کنیم بخاطر ایمکه تیرآهن که چنین ممان اینرسی داشته باشد حداقل ارتفاعش کمتر از یک متر نبود که این مناسب دهانهٔ جرثقیل مورد طراحی نمی باشد لذا از مقطع پل جعبه ای (Box Birder) می توان استفاده کرد و مقطع زیر را انتخاب می کنیم.

DIN17100-

RST37-2

$$e_z = \frac{\sum A_Z}{EA} = \frac{-560}{216} = -2.57 Cm$$

$$e_y = \frac{\sum A_y}{EA} = \frac{688}{218} = 316 Cm$$

$$I_{zz} = \sum I_{zi} + \sum Ay^2 - \sum A(ey)^2$$

$$= 59762.13 + 177206.5 - 218(316)^2 = 234792 > I_{\min} Cm^4$$

| شماره | مقطع قطعه | A | Y | Ay | $Ay^2$ | Izi | Z | AZ | $AZ^2$ | Iyi | Y’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cm.Cm | $Cm^2$ | Cm | $Cm^3$ | $Cm^4$ | $Cm^4$ | Cm | $Cm^3$ | $Cm^4$ | $Cm^4$ | Kg/3 |
| 1 | 4×4 | 16 | 43 | 688 | 29584 | 21.3 | -17.5 | -280 | 4900 | 21.3 | |
| 2 | 45×1 | 45 | 40.5 | 1822.5 | 7381125 | 3.75 | 0 | 0 | 0 | 7593.75 | |
| 3 | 45×1 | 45 | -40.5 | -1822.5 | -7361125 | 3.75 | 0 | 0 | 0 | 7593.75 | |
| 4 | 80×08 | 64 | 0 | 0 | 0 | 34133.33 | -17.5 | -1120 | 19600 | 3.41 | |
| 5 | 80×0.6 | 48 | 0 | 0 | 0 | 25600 | +17.5 | 840 | 14700 | 1.44 | |
| 6 | Σ | 218 | | 688 | 177206.5 | 59762.13 | | -560 | 39200 | 1523.63 | 17213 |

$$Z_{\max} = \frac{45}{2} + 2.57 = 25.07Cm$$

$$I_{yy} = 15213.65 + 39200 - 218(02057)^2 = 52973Cm^4$$

$$W_y = \frac{I_{yy}}{Z_{\max}} = \frac{52974}{25.07} = 213Cm^3$$

$$W_{zu} = \frac{I_{zz}}{y_u} = \frac{234792}{44.16} = 5316.8Cm^3$$

$$yu = 40 + 1 + 316 = 44.16Cm$$

$$W_{z0} = \frac{\sum_{zz}}{y_0}$$

$$y = (40 + 1 + 4) - (3:16) = 41.84Cm$$

$$W_{z0} = \frac{234792}{4184} = 5611.7Cm^3$$

چون بار چرخهای کالسکه مساوی نیستند و $P_1 > P_2$ می باشد پس

$$M_{px} = \frac{P_1 + P_2}{45} = (s - b_x)^2$$

$$= \frac{9041}{4 \times 1550}\left[1550 - (163.416)^3\right] = 3222580Kp.Cm$$

و ممان بار گسترده وزن:

$$M_g = \frac{y.s^2}{8} = \frac{187 \times 155 \times 1550}{8} 561584.375Kp.Cm$$

وزن پل

$$y = y' + y'' = 187kg$$

$$M_{yy} = \frac{\phi Mg + \psi M_{px}}{14}$$

با توجه به گروههای تعریف شده در ابتدای محاسبات و با استفاده از جدول

$$groupII\begin{cases}\phi = 1.1\\ \psi = 1.6\end{cases}$$

پس ممان بار جانبی

$$M_{yy} = \frac{\phi Mg + \psi M_{px}}{14} = \frac{1.1\times 56158.375 + 1.6\times 3222 \quad 580}{14}$$

$$= 4124.19 Kp.Cm$$

حال تنش ها را محاسبه می کنیم

الف) تنش خمشی بار اصلی

$$\sigma_{xx} = \frac{\phi M_g + \psi M_{px}}{W_{zu}}$$

$$= \frac{5773870.812}{5316.8} = 1086 P/Cm^2 \angle 1400\, forst37$$

$$\sigma_{x0} = \frac{\phi M_g + \psi M_{px}}{W_{z0}}$$

$$= \frac{5773870.812}{5611.7} = 1029 P/Cm^2 \angle 1400\, forst37$$

$$\sigma_{x0} = \frac{\phi M_g \psi M_{px}}{WZ_{\circ}}$$

$$= \frac{5773870.812}{5611.7} = 1029 P/Cm^2 \angle 1400\, forst37$$

ب) تنش خمشی بار جانبی

$$\sigma = \frac{M_{yy}}{W_{yy}} = \frac{412419}{2113} = 195.2 Kp/Cm^2$$

ج – جمع کل تنش در حالت $HZ$ بارگذاری برابر است با

$$\sigma_{total} = \sigma_{xa} + \sigma_y$$

$$= 1086 + 195.2 = 1281.2 Kp/Cm^2 \angle 1600\, forst37$$

د- کل تنش فشاری موجود در پل برابر است با

$$\sigma_{total} = \sigma_{x0} + \sigma_a$$

$$= 1029 + \frac{0.1 \times 9041}{218} = 1033 Kp/Cm^2$$

هـ – تنش برشی نرمال

$$T_N = \frac{\psi R}{2AW_{eb}}$$

$$= \frac{16 \times 9041}{2 \times 80 \times 0.6} = 150.7 Kp/Cm^2$$

تنش برشی ناشی از خمش

$$S_{y\max} = \frac{y.s}{2} = \frac{187 \times 1550}{2 \times 100} = 1449.25 Kp$$

$$S_{p\max} = 90 + 1 - 3669 \times \frac{155}{1550} = 8677.1 Kp$$

$$t_b = \frac{(\phi S_y + \psi S_p)u}{\sum_{zz} .b}$$

$$u_{\circ} = 4 \times 4 \times 43 + 65 \times 1 \times 40.5 + 80 \times \frac{0.8}{2} \times 20480 \times \frac{0.6}{2} \times 20$$

$$= 3225 Cm^3$$

$$b = 08 + 0.6 = 1.4 \qquad I_{zz} = 2343792 Cm^4$$

$$t_b = \frac{(1.1 \times 1449.25 + 1.6 \times 8674.1) \times 3225.5}{234792 \times 1.4} = 15183 Kp/Cm^2$$

د) تنش برشی ناشی از پیچش

$$t_t = \frac{m_t}{2A_{\min} T_m}$$

$$= \frac{R.b}{2 \times 2A_{\min} t_m}$$

$$= \frac{(P_1 + P_2) \times b}{4 A_{\min} t_m} \qquad b = 35Cm$$

سطح مقطع متوسط

$$A_{\min} = 81 \times 35 = 2835Cm^2$$

میانگین ورق های جان

$$t_m = \frac{0.6 + 0.8}{2} - 0.7Cm$$

$$t_t = \frac{9041 \times 35}{4 \times 2835 \times 0.7} = 399Kp/Cm^2$$

و تنش کل برشی در مقطع پل جرثقیل عبارت است از

$$t_{total} = t_N + t_t + t_b$$

$$= 150.7 + 151.83 + 39.9$$

$$= 342.43Kp/Cm^2 \angle 1120\, forst37$$

تنش معادل را که باید جهت کنترل نهایی تنش ها تعیین کرد می توان از رابطهٔ زیر به دست آورد.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3txy^2} \qquad \leq \sigma_a$$

$$\sigma_t = \sqrt{(1086)^2 + (195.2)^2 - (1086)(195.2) + 3(342.43)^2}$$

$$= 1165Kp/Cm^2 \angle \sigma_a = \sigma_{zu1} = 1600$$

کنترل قطعات از نظر خستگی

گروه اسکلت فلزی FEM-5

$$\begin{cases} \sigma_{x\max} = +10.86 kg/Cm^2 \\ \sigma_{x\min} = \dfrac{\phi My}{wu} = 1.16 kg/mm^2 \\ k = \dfrac{\sigma_{x\min}}{\sigma_{x\max}} = 0.1 \end{cases}$$

$k$ =ضریب خستگی

$$\begin{cases} \sigma_{y\max} = +1.95 \\ \sigma_{y\min} = 0 \\ k = 0 \end{cases} \qquad t_{\max} = \pm 3.42 kg/mm^2 \rightarrow k = -1$$

با استفاده از حالت استاندارد $FEM$

الف) کشش طولی – حالت:

$k = 0$ , $k = 1$ (مرجع 0.31)

– با استفاده از منحنی داریم:

$C - Al, 45(VIII)$

تنش خستگی مجاز

$\sigma_{(zu)} = 16 kg/mm^2 > 10.86$

ب– کشش جانبی – حالت

$K = 0$(مرجع 414)$k4$

با استفاده از منحنی های 45(VIII) و $C - AL$ و $K = -1$ داریم

تنش مجاز خستگی

$\sigma_{czul} = \sigma kg/mm^2 > 1.95$

ج– برش با استفاده از منحنی $C - 45(Ix)$ و $K = 1$ داریم

$$\sigma_{czuL} = 7.5kg/mm^2 > 3.42$$

محاسبهٔ حداکثر خیز در پل جرثقیل

خیز ناشی از بار زنده چنانکه قبلاً معادلهٔ آن را نوشتیم عبارت از:

$$EI_{zz}f_p = \frac{5.6508\times10^{11}}{2.1\times10^6 234792} = 1.143Cm$$

و خیز ناشی از بار مرده برابر است با:

$$f_y = \frac{5yss^3}{384EI_{zz}}$$

$$= \frac{5\times187\times15.5(1550)^2}{384\times2.1\times10^6\times234792} = -0.285Cm$$

علامت منفی خیز نشان می دهد در جهت منفی محور y-y به وجود آمده است صرف نظر کرده ایم و خیز کل برابر است با

$$f_t = f_g + f_p$$

$$= 1.143 + 0.285 = 1.428Cm\angle\frac{s}{1000} = 1.55Cm$$

با توجه به اینکه $1.55 > 1.428$ می باشد سپس نتیجه می گیریم که دارای اطمینان است.

محاسبات کله گی دو سر پل (ENECAKRIAGE)

برای محاسبات کله گی مانند قبل باید نیروهای وارد بر آن را در خطرناکترین وضعیت معلوم کنید برای این منظور باید کالسکه را در انتهای پل قرار دهیم تا بار ماکزیمم روی کله گی مشخص شود.

$G_k$ – وزن کل پلهای جرثقیل

$a$ – حداقل فاصلهٔ بار $G_p$ از یک چرخ کله گی

$R_{\max}$ – حداکثر نیروی وارد بر کله گی

$R_{\min}$ – حداقل نیروی وارد بر کله گی

حال کافی است که کله گی را برای حالی که دوباره $R_{\max}$ بر آن (در محل اتصال پل به کله گی) وارد می آید طرح کنیم

با توجه به صفحهٔ قبل داریم:

$G_e$ – وزن کله گی

$F_1$ و $F_2$ – بار ماکزیمم (فشار چرخ) روی چرخها نی باشد.

حال به تعیین مقطع مورد نیاز برای کله گی پل به صورت زیر می پردازیم

$$G_p = u.G_\circ + k = 17340 + 740 = 18080Kp$$

$$G_k = 187 \times 15.17 \times 2 = 5674Kp$$

G– وزن واحد طول (187)

S دهانه پل

$$\alpha = 1010mm = 1/01m$$

$$L = 3200 = 320Cm$$

طول کله گی (L)

با داشتن داده های فوق نیروها را تعیین می کنیم.

$$R_{\max} = \frac{(18080 \times 14.49 + 5674 \times 7.75}{2 \times 15.5} = 9869.5Kp$$

$$R_{\min} = \frac{(18080 + 5674) - 1939}{2} = 2007.5Kp$$

با فرض اینکه دوباره ماکزیمم در محل اتصال پل به کلـه گـی بـه آن وارد مـی شود و یا اینکه خیز ماکزیمم در وسط کله گی نباید از $\frac{1}{1000}$ تجـاوز نمایـد بـه طرح مقطع کله گی می پردازیم.

$$I_{\min} = \frac{PL3}{48Ef_{\max}}$$

$$= \frac{19739 \times (320)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 0.32} = 20052Cm^4$$

$$m_2 = 0$$

$$f_1 \times 320 - 9869.5 \times 247.5 - 9869.5 \times 72.5 = 0$$

$$F_1 = F_2 = 9869.5Kp$$

$$M_{px} = F_1 \times 72.5 = 715538.75Kp.Cm$$

$$mg_x = \frac{y.L^2}{8}$$

با توجه به خیز ماکزیمم فوق و ملاحظات جاسازی جرثقیل مقطع زیر را که از طریق جوشکاری چهار پلیت به دست می آیند انتخاب می کنیم.

$$I_{zz} = \frac{20 \times 43^3}{12} - \frac{18.4 \times 41.4^3}{12} = 23709Cm^4$$

$$I_{yy} = \frac{43 \times 20^3}{12} - \frac{41/4 \times 18.4^2}{12} = 7175Cm^4$$

$$W_{zz} = \frac{23709}{21.5} = 1102.7Cm^3$$

$$W_{yy} = \frac{7175}{10} = 717.5Cm^3$$

جنس فلز مصرفی برای کله گی (RST37-2) می باشد

سطح مقطع

$A = 98.24Cm^2$

وزن واحد طول

$y = 77kg/m$

لازم به ذکر است که ممان اینرسی محاسبه شده در قسمت قبل $(I_{yy}, I_{xx})$ فقط برای مقطع قوطی بوده ولی باید در نظر داشت که در محل اعمال نیروها ورقهای انتهای پل و کله گی ( ) HEAVYGUSET اطمینان بیشتر از دخالت دادن ممان اینرسی آنها در $I_{xx}$ و $I_{yy}$ خودداری می کنیم.

$$M_{yx} = \frac{y.L^2}{8} = \frac{77 \times 3.2 \times 320}{8} = 9856Kp.Cm$$

ممان بار جانبی برابر است با:

$$M_y = \frac{\phi M_{yx} + \psi M P_x}{10}$$

با توجه به گروه انتخابی برای اسکلت جرثقیل داریم

$$\begin{cases} \phi = 1.1 \\ \psi = 1.6 \end{cases}$$

$$M_y = \frac{1.1 \times 9856 + 16 \times 715538.75}{10} = 115570Kp.Cm$$

تنش خمشی:

الف) تنش خمشی ناشی از بار اصلی

$$\sigma_x = \frac{\phi M_{yx} + \psi M_{px}}{W_z} = \frac{1155703.2}{1102.7} = 1048Kp/Cm^2 \angle 1400$$

تنش خمش بار جانبی

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} \Rightarrow = \frac{115570}{717.5} = 161 Kp/Cm^2$$

تنش خمش کل

$$\sigma_{total} = \sigma_x + \sigma_y = 1209 \angle 100 Kp/Cm^2$$

تنش برشی

الف) تنش برشی نرمال

$$t_N = \frac{\psi R_{\max}}{2_x A_{web}} = \frac{1.6 \times 9869.5}{2 \times 0.8 \times 414} = 238.4 Kp/Cm^2$$

تنش برشی خمشی

$$t_t = \frac{Vu.}{I_{zz} b}$$

$Sg$ وزن کل کله گی

$$V = uR_{\max} + \phi s_y = 1.6 \times 9896.5 + 11 \times \frac{77 \times 3.2}{2}$$

$$= 15926/72 kp$$

$$u_\circ = 20 \times 0.8 \times 21.1 + 2 \times 20.7 \times 0.8 \times 10.35 = 680.39 Cm^2$$

ممان استاتیک سطح

$$b = 0.8 + 0.8 = 1.6 Cm$$

$$t_b = \frac{15926.72 \times 680.39}{23709 \times 1.6} = 285.66 Kp/Cm^2$$

ج- تنش برشی ناشی از پیچش

e- فاصله

$$M_t = R_{\max} xe - 9869.5 \times 2 = 19739 Kp.Cm$$

$$t_t = \frac{M_t}{2A_{\min}t_m}$$

$$= \frac{19739}{2\times 19.2\times 42.4\times 0.8} = 15.22Kp/Cm^2$$

د) تنش برش کل عبارت است از:

$$t_{total} = t_n + t_b + t_t$$

$$= 238.44 + 285.66 + 15.22 = 539.28Kp/Cm^2$$

$$= \angle 1120\, forst37$$

تنش معادل در کله گی جرثقیل به صورت زیر حساب می شود.

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma x\sigma_y + 3t_x y^2}$$

$$= \sqrt{(1048)^2 + (161)^2 - (1.48)(167) + 3(539.28)^2}$$

$$= 1352\sigma_t < \sigma_a = \sigma_{zul} = 1600Kg/Cm^2$$

کنترل تنش های قطعات از نظر خستگی

$$\begin{cases} \sigma_{x\max} = +10.48kg/mm^2 \\ \sigma_{x\min} = \dfrac{\phi My}{W_2} = 0.10kg/mm^2 \end{cases}$$

(K) ضریب خستگی

$$k = \circ.\circ 1 \approx \circ$$

با استاندارد (FEM)

$$\begin{cases} \sigma_{y\max} = +161kg/mm^2 \\ \sigma_{y\min} = \circ \;\; t_{xy\ \max} = \pm 6kg/mm^2 \rightarrow k = -1 \end{cases}$$

الف) کشش یا فشار طولی: حالت $k_\circ$ (و جمع 0.31) و $k = \circ$ با استفاده از منحنی های $45(VIII)$ و $C - AL$ داریم

تنش خستگی مجاز

$$\sigma_{czuL} = 16kg/mm^2 > 10.48$$

ب) فشار یا کشش جانبی – حالت

$$k = 0, (4.41 \text{ مربع}) k_A$$

با استفاده از منحنی $45(VIII)$ و $C - AL$ داریم

تنش خستگی مجاز

$$\sigma_{czul} = 6kg/mm^2 > 1.61$$

ج) برش

استفاده از منحنی های $45(I_x)$ و $A_1$

تنش مجاز خستگی

$$\sigma_{czuL} = 7.5kg/mm^2 > 5.4$$

و خیز ماکزیمم در وسط کله گی با فرض اینکه دو بار $R_{\max}$ در وسط دهانهٔ چرخهای کله گی وارد آید محاسبه می کنیم

قبلاً یادآور شدیم حداکثر تنش نباید بیشتر $\frac{L}{1000}$ باشد ولی می تواند مساوی آن باشد.

$$f_p = \frac{PL^3}{4SEI_{zz}}$$

$$= \frac{19739 \times (320)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 23709} = 0.27Cm \angle 0.32Cm$$

از خیز وزن گسترده کله گی بعلت کوچکی صرفه نظر می شود.

با توجه به اینکه $0.32 > 0.27$ می باشد پس نتیجه می گیریم که سازنده قابل اطمینان است. تعیین تیر حمال مسیر حرکت جرثقیل در طول سالن (CRANE-RUNWAYGIRDER بدیهی است جرثقیل سقفی باید در طول سالن برروی ریل حرکت کند هرگاه سالن از نوع بتنی پیش ساخته نباشد لازم است جرثقیل روی تیر که در زمانهٔ بین ستونهای سالن و در ارتفاع معینی از سالن قرار می گیرد حرکت کند که ما ان را تیر حمال مسیر جرثقیل می نامیم برای طراحی تیر حمال مسیر طولی باید نوع بارگذاری و مقدار آن و فواصل تکیه گاههای آن (فواصل ستونها) معلوم باشد لازم به توضیح است که ما به محاسبهٔ خیلی دقیق و جزیی تیر حمال مسیر که باید به صورت تیر سراسری درنظر گرفته شده و بار متحرک برروی آن وارد آید و در واقع وقتی این بار متحرک برروی یک دهانه از طول سالن حرکت می کند تأثیر بر دهانه های دیگر تیر حمال دارد و دیاگرام ممان خمشی آن دارای نوساناتی در طول تیر حمال بوده و در زیر بار ممکن است ماکزیمم نباشد نپرداخته فرض می کنیم که بار متحرک چرخهای کله گی فقط توسط تیر حمال در یک دهانه تحمل گردید که با این فرض ضریب اطمینان پروفیل طراحی برای مسیر را بالا می بریم.

در صنهت جرثقیل سازی معمولاً برای تیر حمال مسیر از پروفیل تیرآهن IPS استفاده می شود مع الوصف پروفیل های تیرآهن و قوطی را نیز می توان بکار برد از محسنات مربوط به کله گی بارهای ماکزیمم و می نیمم روی چرخ کله گی برای جرثقیل 16 تنی مورد نظر مشخص شده است.

$$R'_{\max} = 10202kp$$

$$R'_{\min} = 2340kp$$

$$R = \frac{2R'_{\max} + R'_{\min}}{3} = 7581.5kp$$

مطابق استاندارد صنایع آلمان (DIN) داریم

نیروی جانبی

$$R_H = 0.1R$$

نیروی طولی

$$R_r = \frac{R}{7}$$

با داشتن نیروها چون دوبار R متحرک است بنابراین ممان خمشی و خیز ماکزیمم تیر ممان از رابطه ای که در تئوری پل اصلی جرثقیل ذکر گردید به دست می آید اما در اینجا خیز ماکزیمم ناشی از بار زنده نباید از $\frac{1}{1000}$ طول تیر حمال در یک دهانه سالن (بین دو ستون) تجاوز کند با استفاده از این مطلب ممان اینرسی لازم را به دست می آوریم.

$$I_{\min} = -\frac{p}{48EF_{\max}}(s-b)\left[s'^2 + (s^2 + b^r\right]Cm^4$$

p) بار روی چرخ کله گی

b) فاصله دو چرخ کله گی بار بار مساوی p می باشند.

s') دهانه تیر حمال مسیر

$$f_{\max} = -\frac{s}{1000} = -\frac{600}{1000} = 0.6cm$$

$$P = R = 7581.5kp$$

$$I_{\min} = \frac{7581.5}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 0.6}(600 - 320) \times (600^2 + 320)^2$$

$$= 42344Cm^4$$

حال با توجه به $I_{\min}$ و با مراجعه به جداول تیرآهن بال پهن IPB تیرآهن زیر را انتخاب کرده و با قرار دادن ریل چهار سر $50 \times 30$ مشخصات آن را بدست می آوریم.

$$DIN1025 - IPB360 + \quad 50 \times 30$$

$$I'_{xx} = 43190 + 5715 = 48905Cm^4$$

$$I_{xx} = 48905 - 196(1/4623)^2 = 48468Cm^4$$

$$I_{yy} = 10140 + 31.25 = 10171.25Cm^4$$

$$w_{x\circ} = 2123Cm^3$$

$$w_{yy} = 678Cm^3$$

$$w_{xx} = 2939Cm^3$$

$$f = 196Cm^2$$

$$y = 153.8kg/m$$

حال به محاسبهٔ ممان خمشی ماکزیمم بار زنده و بار مرده می پردازیم:

$$M_p = \frac{p}{2s'}(s' - \frac{b}{2})^2$$

$$M_p = \frac{7581.5}{2 \times 600} \times (600 - 160)^2 = 1223188.7kp.cm$$

$$M_y = \frac{ys^2}{8} = \frac{153.8 \times 6 \times 600}{8} = 69219Kp.cm$$

و ممان بار جانبی برابر است با

$$M_y = \frac{\phi M_y + \psi M_p}{10}$$

$$= \frac{1.1 \times 69210 \times 1.4 \times 1223188.7}{10} = 1788540 Kp.Cm$$

تنش خمش تیر حمال

الف) تنش خمش در حالت اول (H)

$$\sigma_{z\circ} = \frac{\phi M_y + \psi M_p}{w_{x\circ}}$$

$$= \frac{1788540}{2153} = 830.7 Kp/Cm^2$$

$$\sigma_{zu} = \frac{\phi M_y + \psi M_p}{W_{xu}} = \frac{1788540}{2939} = 608.5 Kp/Cm^2 \angle 1400$$

تنش حمش بار جانبی

ب) تنش خمش بار جانبی

$$\sigma_y = \frac{m_y}{w_y}$$

$$= \frac{178854}{768} = 263.3 Kp/Cm^2$$

تنش خمش کل برای حالت دوم (HZ) برابر است با

$$\sigma_{total} = \sigma_{z\circ} + \sigma_y$$

$$= 830.7 + 263.8 = 1094.5 Kp/Cm^2 \angle 1600$$

هـ) تنش فشاری ماشی از نیروی طول RV

$$\sigma_c = \frac{R_V}{R_{fl\,\mathrm{arg}\,e}}$$

$$= \frac{7581.5}{7 \times 30 \times 2.25} = 16 Kp/Cm^2$$

و) تنش فشاری کل عبارت است از:

$$\sigma_{total} = \sigma_{z\circ} + \sigma_c$$

$$= 830.7 + 16 = 846.7 Kp/Cm^2 \angle 1400$$

تنش برشی

الف) تنش برشی نرمال

$$t_N = \frac{\psi R}{F}$$

$$= \frac{1.4 \times 7581.5}{196} = 54 Kp/Cm^2$$

ب) تنش برشی ناشی از خمش

$$t_b = \frac{Vu_\circ}{Ib}$$

$$V = A_{p\max} = \frac{1.4 \times 7581.5 \times 2(600-160)}{600} = 15567 Kp$$

$$u_\circ = 30 \times 2.25 \times 16.875 + 15 \times 19.5 + (15.75)^2 \times \frac{1.25}{2} = 15866 Cm^2$$

$$t_b = \frac{15567 \times 1586.6}{48468 \times 1.25} = 407.7 Kp/Cm^2$$

ج) تنش برشی کل عبارت است از:

$$t_{total} = t_N + t_b$$

$$= 54 \times 407.7 = 461.7 \angle 1120 Kp/Cm^2 \; for \; st37$$

کنترل چپ شدگی

مطابق دین 4114 داریم (DIN)

$$V_k = \frac{\sigma_k \times W_{xx}}{M_{\max}} \geq 1.71$$

VR) از فرمول صفحهٔ قبل ضریب چپ شدگی (CRIPPING)

$\sigma_k$ تنش چپ شدگی

برای تیرآهن انتخاب شد مقدار $\sigma_k$ برابر است با:

$$\sigma_k = 2389 Kp/Cm^2$$

$$W_{x\circ} = 2153 Cm^3$$

$$M_{\max} = \phi M_g + \psi M_p = 1788540 Kp.Cm$$

بنابراین ضریب چپ شدگی تیر حمال برابر است با:

$$V_k = \frac{\sigma_k \times w_x}{M_{\max}}$$

$$= \frac{2389 \times 2135}{1788540} = 2.87 > 1.71$$

پس تیر حمال مسیر حرکت در مقابل چپ شدگی مقاوم است.

کنترل کمانش

الف) بر اساس استاندارد دین4114 جهت کمانش از رابطهٔ زیر استفاده می کنیم.

$$V_B = \frac{\sigma v k}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3y^2}} > V_{B\ zul}$$

$$\sigma = \sigma_{z\circ} = 830.7 Kp/Cm^2$$

$$t = \frac{7581.5}{268 \times 1.25} = 232 Kp/Cm^2$$

ب) از روی جدول داریم

تنش مقیسه ای چپ شدگی ایده آل

$$\sigma_{vki} = 112390 Kp/Cm^2$$

$$\sigma_{vki} > 3750 \rightarrow V_{B\ zul} = 1.22$$

$$\sigma_{vli} \rightarrow \sigma_{vk} = 2400 Kp/Cm^2$$

$$V_B = \frac{2400}{922.8} = 2.6 > 1.22$$

بنابراین تیر حمال در مقابل کمانش هم پایدار است

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_{z\circ}^2 + \sigma_y^2 - \sigma_{z\circ}\sigma_y + 3t_{zy}^2}$$

$$= \sqrt{(830)^2 + (263.3)^2 - (830)(263.3) + 3(461.7)^2}$$

$$= 1086 < \sigma_a = \sigma_{zul} = 1600 Kg/Cm^2$$

خیز ماکزیمم در تیر حمال مسیر جرثقیل

$$f_p = \frac{p}{48EI_{xx}}(s-b)\left[s'^2 + (s^2 + b^2)\right]$$

$$= \frac{7581.5}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 4868} \times (600 - 320) \times (600^2 + 320^2)$$

$$= 0.524 Cm$$

$$f_y = \frac{5 \times y \times s' \times s^{3'}}{384 EI_{xy}} = \frac{5 \times 153.8 \times 6 \times 6000^3}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 48468} = 0.025 Cm$$

$$f_t = f_p + f_y = 0.55 Cm \angle \frac{s}{1000} = 0.6 Cm$$

با توجه به اینکه $0.55 < 0.6$ است پس نتیجه می گیریم که قابل اطمینان است

طراحی ستونهای اصلی

بریا طراحی ستونهای اصلی از آئین نامه AISC که در ایران متداول است بهره می گیریم

تعیین مقطع ستون

الف) تعییم بارهای وارده بر ستون در بحرانی ترین وضعیت (تا به حداکثر ضریب اطمینان برسیم) برای این منظور فرض می شود که کالسکه ارابه) در منتهی الیه پل قرار گرفته

مفروضات و مشخصات فنی عبارتند از

دهانهٔ تیر حمال مسیر یا فواصل ستونها $s' = \sigma m$

ارتفاع ستونها $h = \sigma m$

دهانه جرثقیل $s = -15.5m$

وزن کالسکه $G_{\circ} = 2080kgf$

وزن حداکثر بار $u = 16000kgf$

وزن پل و کله گی $G = 7004kgf$

و با ممان گیری نسبت به نقطه ای می توان $R_{\max}$ را به دست آورد یعنی

$$R_{\max} = \frac{(u + G_{\circ})(s - 1.01) + G \times \frac{s}{2}}{2 \times s}$$

$$= \frac{(2080 + 16000)(15.5 - 1.01) + 7004 \times 7.75}{2 \times 15.5} = 10202kgf$$

در نتیجه ماکزیمم بار محوری وارد بر ستون عبارت است از

gc) وزن تیر حمال

$$P' = 2R_{\max} + y_c$$

$$= 2 \times 10202 + (6 \times 142) = 21256kgf$$

با استفاده از آئین نامه AISC در مورد طراحی ستونهای داخل سالن و برای جرثقیل سقفی متحرک بارهای اصلی وارد بر ستون به صورت زیر محاسبه می شود.

P) بار اصلی محوری وارد بر ستون

$$p = p' \times ud$$

$U_d$) ضریب دینامیکی

$$= 21256 \times 1.25 = 2657kgf$$

$P_H$) نیروی افقی ناشی از ترمز یا شتاب گیری کالسکه

$$P_H = 0.2(P + G_\circ)$$

$$= 0.2(16000 + 2080) = 1616kgf$$

Pe) نیروی افقی ناشی از ترمز یا شتاب گیری پل و کله گی

$$P_e = 0.1(P^*)$$

*P) بار اصلی محوری وارد بر ستون

$$= 0.1(26570 = 2657kgf$$

ب- انتخاب مقطع ستون: با توجه به بارهای وارده ستونها را از دو تیرآهن ناودانی شکل انتخاب می نمایم ابتدا دو تیرآهن ناودانی UNP را نیمرخ 300mm را مطابق شکل زیر مورد بررسی قرار می دهیم.

مشخصات ستون ساده عبارتست از

$$h = 30Cm$$

$$I_a = 8030Cm^4$$

$$I_y = 495Cm^4$$

$$A = 58.8Cm^4$$

بنابراین مشخصات ستون مرکب به صورت زیر محاسبه می شود

$$I_x = 2 \times 8030 = 16060Cm^4$$

$$I_y = 2(I_y + Ad^2) = 2(495 + 58.8 \times 15^2) = 27450 Cm^4$$

$$\gamma_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{16060}{2 \times 58.8}} = 11.69 Cm$$

$$\gamma_y = \sqrt{\frac{\sum y}{A}} = \sqrt{\frac{27450}{2 \times 58.8}} = 15.28 Cm$$

در طرح ستون مذکور فرض می‌شود که ساونها از سمت فندانسیون گیردار و از سمت بالا آزاد باشند بنابراین بر اساس آئین‌نامه AISC مقدار ضریب طول موثر در صفحه خمش (K) را برای محاسبه عمل ضرب لاغری برابر1.2 را در نظر می‌گیریم.

$$\lambda x = \frac{KL}{\gamma x} = \frac{1.2 \times 600}{11.69} = 61.59$$

$$\lambda y = \frac{KL}{\gamma y} = \frac{1.2 \times 600}{15.28} = 47.12$$

در طرح ستون که تحت بار محوری و لنگر خمشی قرار دارد روش محاسبه پیشنهادی بر اساس آئین‌نامه جدید AISC به صورت زیر می‌باشد(I)

$$\frac{f_a}{F_a} \le 0.15 \Rightarrow \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1$$

$$\frac{f_a}{F_a} > 0.15 \Rightarrow \frac{f_a}{F_a} + \frac{G_x f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e}\right) F_b} \le 1$$

(II)

$(f_a)$تنش محوری موجود محاسبه شده می‌باشد.

$(f_a)$ تنش محوری کمانش وقتی که نیروی محوری به تنهایی اثر نماید

($f_b$) تنش فشاری موجودذ محاسبه شده حاصل از لنگر خمش

$f_b$ تنش مجاز حاصل از لنگر خمش

$$f_{ba} = \frac{M_x XC}{I_x} = \frac{(2057 \times 600)15}{16060} = 1489 kg/Cm^2$$

$$f_{by} = \frac{M_y XC}{I_y} = \frac{(3616 \times 600)17.7}{27450} = 1399 Kg/Cm^2$$

$$f_a = \frac{p}{A} = \frac{26570}{2 \times 58.8} = 225.9 Kg/Cm^2$$

برای تعیین تنش محوری مجاز در کمانش وقتی که نیروی محوری به تنهایی اثر نماید روابط لازم با توجه به آئین نامه جدید AISC به صورت زیر می باشد.

$$f_a = \frac{\left[ I - \frac{KL/r^2}{2C^2 c} \right] f_y}{fs}$$

$$C_C = \sqrt{\frac{2\Pi^2 E}{fy}}$$

$$F.S = \frac{s}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_C} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8C_C^3}$$

برای فولاد st37 که فولاد تولیدی ایران می باشد تنش حد گسیختگی $(F_y)$برابر $2400 Ky/Cm^2$ و مدول یانگ $(E)$ برابر $2.1 \times 10^6$ می باشد.

$$C_C = \sqrt{\frac{2\Pi^2 \times 2/1 \times 10^6}{2400}}$$

$$= 131.4$$

ضریب اطمینان (F.S) برای تعیین تنش مجاز فشاری کمانش در جهت $(f_{ax})X$

عبارت از:

$$F.S' = \frac{5}{3} + \frac{3(6159)}{8\times 131.4} - \frac{(61.59)^3}{8\times(131.4)^3} = 1.8295$$

$$F_{ax} = \frac{\left[1 - \frac{(16.59)^2}{2(131.4)^2}\right]2400}{1.829} = 1167.7 Kg/Cm^2$$

به همین ترتیب تنش مجازی فاشری کمانش در جهت $(F_{ay})y$ عبارت است از

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3(47.12)}{8\times 131.4} - \frac{(47.12)^3}{8\times(131.4)^3} = 1.795$$

$$F_{ay} = \frac{\left[1 - \frac{(47.12)^2}{2(131.4)^2}\right]2400}{1.795} = 1250.8 Kg/Cm^2$$

$$\frac{f_a}{f_{ax}} = \frac{225.9}{1167.7} = 0.193 > 0.15$$

$$\frac{f_a}{f_{ay}} = \frac{225.9}{1250.8} = 0.18 > 0.15$$

بنابراین باید از فرمول II استفاده کرد که در این فرمول $f_e^{'}$ از رابطه زیر به دست می آید.

$$F'_e = \frac{10475000}{(K\frac{L}{r})^2} = \frac{10475000}{(61.59)^2} = 2761$$

$$F'_{ey} = \frac{10475000}{(47.12)^2} = 4718$$

کنترل مقطع در جهت X

براساس آئین نامه AISC برای ستون مورد نظر $C_m = 0.85$ درنظر گرفته می شود.

$$\frac{225.9}{1167.7} + \frac{G.85 \times 14.19}{(1 - \frac{225.9}{2761})1400} = 1.17 > 1$$

بنابراین در جهت X مسبت به بارهای وادره ضعیف می باشد

کنترل مقطع در جهت Y

$$\frac{225.9}{1250.8} + \frac{0.85 \times 1399}{(1 - \frac{225.9}{4718})1400} = 1.07 > 1$$

مقطع در جهت Y نسبت به بارهای وارده نیز مناسب نیست پس با مقع دذیگری را درنظر بگیریم. برای بهبود مطلب فوق مقطعی را به صورت زیر عرضه می نمائیم.

$$h = 32Cm$$

$$I_x = 10870Cm^4$$

$$I_y = 597Cm^4$$

$$A = 75.8Cm^2$$

بنابراین مشخصات ستون مرکب به صورت زیر محاسبه می شود.

$$I_x = 2 \times 10870 = 21470Cm^4$$

$$I_y = 2(597 + 75.8 \times 15^2) = 35304Cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{21740}{2 \times 75.8}} = 11.975Cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3504}{2 \times 75.8}} = 15.26Cm$$

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x} = \frac{1.2 \times 600}{11.975} = 60.12$$

$$\lambda_y = \frac{KL}{r_y} = \frac{1.2 \times 600}{15.24} = 47.18$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{26570}{2 \times 75.8} = 175 Kg / Cm^2$$

$$f_{bx} = \frac{m_x.c}{I_x} = \frac{(2657 \times 600)}{21740} = 1173 Kg / Cm^2$$

$$f_{by} = \frac{m_y.c}{I_y} = \frac{(3616 \times 600) \times 17.06}{35304} = 1082 Kg / Cm^2$$

کنترل در جهت x

$$f'_{ex} = \frac{10475000}{(60.12)^2} = 1898$$

$$f.s = 1828$$

$$f_a = 1176$$

$$\frac{175}{1176} + \frac{0.85 \times 1173}{\left[1 - \frac{175}{2898}\right] 1400} = 0.906 < 1$$

مقطع انتخابی در جهت x مسبت به بارهای وارده (با توجه به اینکه $0.96 < 1$ است) مناسب می باشد.

کنترل در جهت Y

$$f'_{ey} = \frac{10475000}{(47.18)^2} = 4706$$

$$f'.s = 1.795$$

$$f_a = 1250 Kg / Cm^2$$

$$\frac{175}{1250}+\frac{0.85\times 12082}{\left[1-\frac{175}{4706}\right]1400}=0.822\angle 1$$

مقطع انتخابی در جهت Y نسبت به بارهای وارده نیز مناسب می باشد. بنابراین از دو تیر ناودانی با ارتفاع 32cm استفاده می کنیم.

لازم به توضیح است که در طراحی ستونها فرض بر این بوده که ممانهای ناش یاز ترمز یا شتاب گیر کالسکه و پل بطور مجزا اثر نماید چه در کارهای صنعتی و چه در کارهای ساختمانی برای ااتصال دادن تیرآهن های I و ناودانی از قید استفاده می شود که این قید نیز برای خود محاسباتی دارند که در ادامه آنها را مورد بررسی قرار م دهیم نیروی وارد به آنها و خمش هیا وارد را به طور دقیق حساب می کنیم تا سازه ای کاملاً قابل اطمینان داشته باشیم.

طرح قیدهیا ستون

شکل زیر یک ستون با قیدهای افقی نشان م دهد.

اگر جزء کوچک ۲ را مورد مطالعه قرار دهیم برای برقراری شرط تعادل رابطه زیر باید صدق کند.

نیروی T در تمسۀ تولید لنگر خمش و در جوشهای اتصال آن تولید برش مستقیم و برش ناشی از پیچش می نماید لنگر تولید شده برابر است با

$$M=Tx\frac{b}{2}$$

$$W \geq \frac{M}{\sigma_{zul}}$$

W) مقطع تسمه

میزان تنش مجازی برای st37 برابر 1600کیلوگرم بر سانتی متر درنظر می گیرد. بر اساس آئین نامه AISC میزان نیروی برشی در ستون که فقط تحت بار محوری قرار دارد 0.02 بار محوری می باشد هرگاه ستون علاوه بر بار محوری تحت تأثیر نیروی برشی ناشی از بار غیر محوری قرار گیرد باید آن را به نیروی برشی بخاطر بار محوری جمع کرد یعنی

V) نیروی برشی در جهت محور X

$$V = 0.02P + V_i$$

ضخامت (t) و پهنای قید (b) از روابط تقریبی زیر بدست می آیند.

$$t \geq \frac{1}{35}b$$

$$h \geq 0.42b$$

b) فاصلهٔ مراکز ثقل ستونهای تک پایه که برابر 30cm است.

با مراجعه به شکل دیده می شود که بین برش حاصل بر قید و برش بر مقطع ستون رابطهٔ زیر برقرار است.

$$T = V \times \frac{a}{b}$$

$$M = \frac{T}{2} \times \frac{b}{2}$$

لنگر خمش حاصل بر هر قید

با توجه به فرمولهای فوق الذکر محاسبات را به صورت زیر انجام می دهیم

الف) تعیین ابعاد و فاصله قیدها

$$V = 0.02p + V_i$$

$$-0.02 \times 26570 + 3616 = 4174 kyf$$

ضخامت قید انتخابی

$$t \geq \frac{1}{35}.b$$

$$\geq \frac{1}{35} \times 30 \geq 0.857 Cm \approx 10 mm$$

ارتفاع قید

$$h \geq 0.42 \geq 0.42 \times 30 = 12.6 Cm$$

فاصله قیدها از یکدیگر در طول ستون 55 سانتی متر (a)

$$T = \frac{a}{b} V$$

$$= \frac{55}{30} \times 4147 = 7603 kyf$$

$$M = \frac{T}{2}.\frac{b}{2} = \frac{1}{4} \times 7603 \times 30 = 57021 kyf.Cm$$

$$W = \frac{1}{\sigma} bh^2 = \frac{1}{\sigma} \times 1 \times h^2 = \frac{h^2}{\sigma}$$

$$\sigma_{xub} = \frac{m}{w}$$

$$w \geq \frac{m}{\sigma_{zuL}} = \frac{57024}{1600} = 35.54 Cm^3$$

$$\frac{h^2}{\sigma} \geq 35.64 \Rightarrow h \geq 14.6 C.m \approx 150 mm$$

پهنای قید انتخابی

ب- کنترل کمانش ستون تک پایه

براساس آئین نامه AISC لاغری ستون تک پایه باید از دو رابطهٔ زیر پیروی نکند.

$$\lambda \angle 40 \qquad \lambda_1 \angle 2.3\lambda_y$$

$\lambda y$ ضریب لاغری ستون تک پایه در جهت X

$$\lambda_1 = \frac{kxa}{r}$$

لاغری ستون تک پایه

که r شعاع زیراسیون ستون تک پایه نسبت به محور کمانش Y-Y، K ضریب لاغری مؤثر می باشد. بر اساس آئین نامه مذکور K=1 فرض می شود.

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{597}{75.8}} = 2.81$$

$$\lambda_1 = \frac{ka}{r} = \frac{1 \times 55}{2.81} = 19.57$$

ج- کنترل قید از نظر نیروی فشاری

مطابق آئین نامه AISC باید وصله را در برابر نیروی فشاری به منظور جلوگیری از کمانش کنترل کرد. در این حالت نیز K=1 فرض می شود.

$$\lambda = \frac{k.b}{r}$$

$$= \frac{k.b}{\sqrt{I/A}} = \frac{1 \times 30}{\sqrt{\frac{15 \times 13}{12 \times 15}}} = 104$$

با داشتن مقدار $\lambda$ ئ بال استفاده از رابطۀ $f_a$ مربوط را به دست می آوریم.

تنش فشاری مجاز از کمانش

$$f_a = 840 Kg / Cm^2$$

طرح صفحۀ پای ستون:

$$p = 26570 kyf$$

$$M = 2657 \times 600 = 159200 kyf.Cm$$

$$M = 1616 \times 600 = 2169600 kyf.Cm$$

بر ااس آئین نامه AISC تنش مجاز صفحۀ پای ستون 0.75 تنش حد تسلیم می باشد.

$$\sigma = 1800 Kg / Cm^2 = 0.75 \sigma_y$$

تنش فشاری مجاز بتن از رابطۀ زیر به دست می آید

$$f_c = 0.25 f_c'$$

که $f_c'$تنش حد گسیختگی بتن می باشد که با توجه به نوعت بتنی مصرفی مشخص می گردد و ما آن را حد متوسط ایمنی $200 kgf / Cm^2$ درنظر گرفته ایم

$$f_c' = 200 Kg / Cm^2$$

$$f_c = 50 Kyf / Cm^2$$

برای تعیین ابعاد صفحۀ پای ستون باید توجه کرد که تنش فشاری در صفحه از حد تنش فشاری مجاز بتن بیشتر نشود بنابراین.

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{6M}{BD^2}$$

$$50 = \frac{26570}{60 \times D} + \frac{6 \times 21690}{60 \times D^2}$$

$$60D^2 - 442.8D - 2169600 = 0$$

$$D = 63.93 \approx 65Cm$$

براساس آئین نامه AISC هرگاه خروج از مرکز C بیشتر از $\frac{D}{6}$ باشد برای تعیین ضخامت صفحهٔ به صورت زیر عمل می شود.

$$e = \frac{M}{P}$$

$$= \frac{2169600}{26570} = 81.65 > \frac{D}{6}$$

تعیین ضخامت لازم در جهت X:

$$t = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_{zul}}(\frac{D-h}{B})}$$

$$= \sqrt{\frac{26570}{2\times 1800}(\frac{60-32}{65})} = 1.78Cm$$

با مقایسه دو ضخامت حاصل ضخامت صفحهٔ پای ستون را برابر 2Cm درنظر می گیریم.