

طراحی اتصال گیردار جوشی تیر به ستون در قاب خمشی با شکل پذیری
متوسط به روش حدی (LRFD)

هادی بهمنی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خطوط راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران

بهار ۱۳۹۱



بررسی مراحل طراحی اتصال گیردار جوشی تیرورق به ستون در یک قاب خمشی با شکل پذیری متوسط به روش حدی (LRFD)

معرفی قاب‌های خمشی ویژه و متوسط

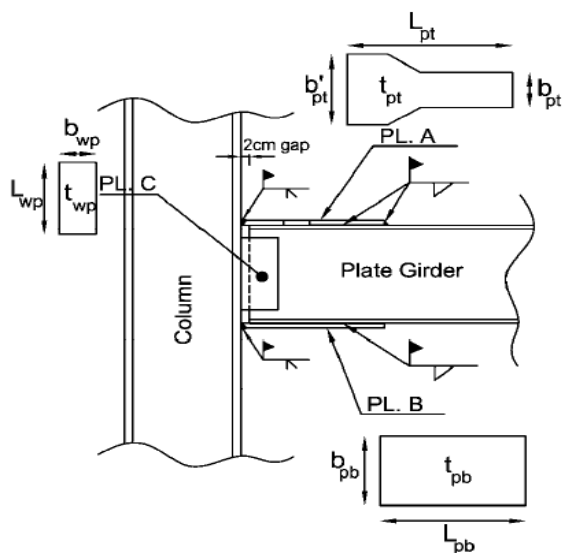
قاب خمشی ویژه، قاب خمشی‌ای است که اجزای تشکیل دهنده آن، چنان طراحی و جزئیات بندی می شوند که در اثر نیروی زلزله، در ناحیه شکل پذیر اعضا، تغییر شکل‌های قابل ملاحظه‌ای ایجاد شود. ناحیه شکل پذیر در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، به طور عمده، مفصل پلاستیک ایجاد شده در دو سر تیر و مولفه شکل پذیر این ناحیه، خمش است. سایر مولفه‌ها در تیر، ستون و اتصالات سازه، باید چنان طراحی شوند که به منظور برقراری رفتار غیر ارتجاعی پایدار مولفه شکل پذیر، تا رسیدن به چرخش ۰.۰۴ رادیان در مفصل، بدون کاهش قابل توجه در مقاومت مقطع، عمدتاً عملکرد ارتجاعی داشته باشند. طراحی قاب‌های خمشی ویژه، باید چنان انجام شود که مفصل پلاستیک خمشی، در داخل تیر و خارج از محدوده اتصال تیر به ستون واقع شود؛ به طوری که فضای کافی برای طراحی جزئیاتی که در آن رفتار ارتجاعی اتصال تیر به ستون فراهم می گردد، به وجود آید. حداقل فاصله محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون، باید نصف ارتفاع تیر در نظر گرفته شود. لیکن لزومی ندارد این فاصل بیش از یک و نیم برابر ارتفاع تیر باشد.

مشخصات قاب‌های خمشی متوسط، مشابه مشخصات قاب‌های خمشی ویژه است، با این تفاوت که از اعضای شکل پذیر این قاب‌ها، انتظار تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی محدود، تا رسیدن به چرخش ۰.۰۲ رادیان در مفصل پلاستیک خمشی می‌رود. همچنین، رعایت حداقل فاصله محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون، الزامی نمی‌باشد. جزئیات اتصال گیردار در یک قاب خمشی متوسط یا گیردار را در شکل (۱) مشاهده می کنید.

اما مراحل طراحی اتصال گیردار جوشی تیر به ستون در قاب خمشی متوسط به شرح زیر است:

گام یک: در اولین گام لازم است که لنگر خمشی متناظر با تشکیل مفصل پلاستیک در تیر محاسبه شود.

$$M_{exp} = R_y Z_p F_y \quad (1)$$



در این رابطه Z_p ، اساس مقطع پلاستیک تیر و F_y تنش تسلیم فولاد تیر است.

R_y نیز به صورت زیر تعریف می شود:

نسبت مقاومت تسلیم مورد انتظار به حداقل مقاومت تسلیم تعیین شده F_y ، که برابر با ۱.۱۵ اختیار می شود.

نکته: در نرم افزار Etabs برای تعیین اساس مقطع پلاستیک پس از تعریف مقطع، در قسمت section properties، مقدار Plastic modulus about 3axis همان اساس مقطع پلاستیک است.

شکل (۱): جزئیات یک اتصال گیردار جوشی

گام دوم: محاسبه برش طراحی در بر ستون:

نکته: اتصال تیر به ستون باید به گونه ای طراحی شوند که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر فراهم نماید. این امر، می تواند از طریق تقویت اتصال در وجه ستون صورت گیرد؛ به طوری که مقاومت خمشی اتصال در ناحیه تقویت شده، بیشتر از $M_{exp} = R_y Z_p F_y$ باشد. در هر صورت، مفصل پلاستیک در محل اتصال تیر به ستون مجاز نمی باشد.

اما با توجه به شکل (۲) برای محاسبه برش در بر ستون داریم:

برای محاسبه برش طراحی در بر ستون ابتدا لازم است که برش کل موجود در محل تشکیل مفصل (به فاصله L_1 از بر ستون) را محاسبه کنیم:

$$V_p = 2 \times M_{exp} / L_h + W_G L_h / 2 \quad (2)$$

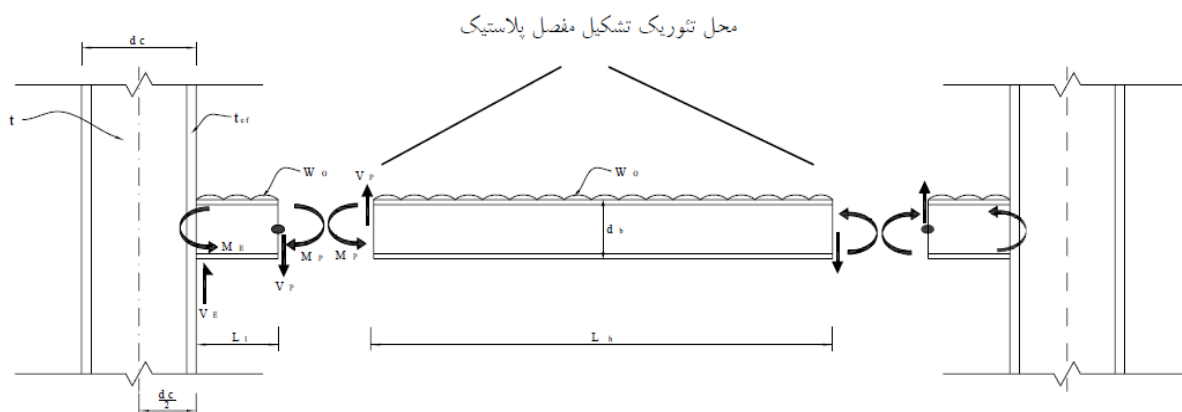
M_{exp} در گام ۱ محاسبه شده است.

L_h : فاصله بین دو مفصل بر حسب متر

W_G : بار ضریبدار واحد طول وارد بر تیر ناشی از مجموع بارهای مرده سقف و زنده سقف وارد بر واحد سطح (ton/m^2) که برابر است با:

$$W_G = (1.25 \text{ Dead} + 1.5 \text{ Live}) \times W \quad (3)$$

W : عرض بارگیر تیر بر حسب متر.



شکل (۲): نمایش محل‌های تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر در یک قاب خمشی متوسط یا ویژه

نکته: مقدار L_1 یعنی فاصله محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون را می‌توان مقداری بین $0.5d_b$ تا d_b در نظر گرفت که مقدار d_b توصیه می‌شود.

اما برش طراحی در بر ستون (V_E) بر حسب تن برابر است با:

$$V_{EU} = V_p + W_G L_1 \quad (4)$$

گام سوم: محاسبه لنگر طراحی در بر ستون

لنگر طراحی در بر ستون در طراحی به روش تنش مجاز برابر است با:

$$M_{Eu} = M_{exp} + V_p L_1 + (W_G L_1^2)/2 \quad (5)$$

یک نکته مهم: M_E و V_E که در گام‌های ۲ و ۳ محاسبه شده‌اند، مقادیر ظرفیتی هستند که مقدار آنها بزرگتر از نیروهایی است که در واقعیت ممکن است در تیر داشته باشیم. بنابراین اگر اتصال بر اساس آنها صورت پذیرد، غیر اقتصادی خواهد بود. برای قاب خمشی متوسط، مبحث دهم قید می‌کند که به جای مقادیر M_E و V_E می‌توان از برش و لنگر ایجاد شده در اتصال تحت اثر ترکیب بار تشدید یافته استفاده نمود. بنابراین اگر نخواهیم نیروها در محل اتصال را به روش توضیح داده شده در بالا محاسبه کنیم و مستقیماً از خروجی نرم افزار Etabs برای طراحی اتصال استفاده کنیم ابتدا باید ترکیب بارهای زیر را (طبق بند ۱۰-۳-۴-۴) در نرم افزار تعریف کنیم:

$$D+1.2L+1.2\Omega_0E \quad (6)$$

$$0.85D+1.2\Omega_0E$$

مقادیر Ω_0 (مقادیر اضافه مقاومت) در پیوست یک برای سیستم‌های مختلف جانبی در سازه نشان داده شده است.

ترکیب بارهای فوق در واقع مجموعه‌ای از ترکیب بارها با نیروهای زلزله در جهت‌های مختلف (E_{XN} , E_{YP} , E_{YN}), E_{XP}) خواهد بود. پس از تعریف بارها، یک ترکیب بار پوش تعریف می‌کنیم که شامل اثر پوششی تمامی این ترکیب بارها می‌باشد. برای این منظور در قسمت تعریف ترکیب بار نرم افزار Etabs می‌توانید از قسمت **Load Combination type** گزینه **ENV** را انتخاب کرده و در قسمت **Define combination** تمامی ترکیب بارهای تشدید یافته را انتخاب کنید.

پس از انجام آنالیز، مقدار لنگر و برش حداکثر را تحت ترکیب بار پوش در تیر مورد نظر از نرم افزار می‌خوانیم و از آنها به جای M_E و V_E جهت طراحی اتصال استفاده می‌کنیم.

گام چهارم: طراحی ورق زیر سری:

۱. عرض ورق زیرسری (b_{pb}) بر اساس عرض بال تیر (b_{bf}) تعیین می‌شود به طوریکه فضای کافی برای

جوش داشته باشیم:

$$b_{pb} = b_{bf} + 5 \text{ cm} \quad (7)$$

در این صورت در هر طرف ورق 2.5 سانتی متر فضای جوش خواهیم داشت. البته حداقل آیین نامه 3 سانتی متر است. ولی بر اساس توصیه دکتر مسعود حسین زاده اصل، استاد محترم دانشگاه صنعتی شریف، به لحاظ اجرایی بهتر است همان 5 سانتی متر در نظر بگیریم. همچنین توصیه شده است که در هر طرف به اندازه حداقل دو برابر بعد جوش فضا داشته باشیم. بنابراین اگر برای مثال بعد جوش را 18 میلی متر در نظر گرفته‌اید، بهتر است که به جای عدد 5 در رابطه فوق، از عدد 7 سانتی متر استفاده کنید.

۲. ضخامت ورق زیر سری (t_{pb}) بر اساس نیروی کشش ناشی از لنگر M_E که در گام‌های قبل محاسبه شد، بدست می‌آیند:

$$t_{pb} = (M_{Eu} \times 10^5) / (\phi \times d_b \times b_{pb} \times F_y) \quad (8)$$

که در این رابطه d_b عمق تیر (cm) می‌باشد و ϕ نیز ضریب کاهش مقاومت است که برابر 0.9 در نظر می‌گیریم. خاطر نشان می‌گردد که بر اساس رابطه بالا ضخامت ورق زیر سری بر حسب سانتی متر بدست می‌آید.

۳. بعد جوش (گوشه) ورق زیر سری به تیر:

در تعیین بعد جوش باید حداقل و حداکثر مقادیر را بر اساس بند ۱۰-۱-۱۰-۲ کنترل نماییم. برای کاهش طول ورق زیر سری می‌توان مقدار حداکثر را انتخاب کرد که برابر $a = (t_{pb} - 0.2)$ سانتی متر می‌باشد t_{pb} ضخامت ورق است. البته بعد جوش نباید بیشتر از ضخامت بال تیر باشد. (طبق بند ۱۰-۲-۱۰-۲-۲ مبحث ۱۰)

نکته بسیار مهم: در اتصالات لرزه‌ای بعد جوش نباید کمتر از 5 میلیمتر باشد.

۴. تعیین طول ورق زیر سری (L_{pb}):

$$L_{pb} = (M_{Eu} \times 10^5) / (2 \times d_b \times f_w) + 2 \text{ cm} \quad (9)$$

(برابر بعد جوش 668 در روش تنش مجاز) $f_w = 1000 \text{ a}$

در این روابط f_w تنش مقاوم جوش گوشه و a بعد جوش گوشه است. لازم به تذکر است که تنش مقاوم در رابطه بالا با فرض اینکه برای جوشکاری از الکتروود E60 استفاده شده باشد، محاسبه شده است. عدد 2 نیز که در انتها اضافه شده است، بادخور تیر می‌باشد.

گام پنجم: طراحی ورق روسری:

۵. عرض (قسمت باریک تر) ورق روسری (b_{pt}) بر اساس عرض بال تیر (b_{bf}) تعیین می شود به طوریکه فضای کافی برای جوش داشته باشیم:

$$b_{pt} = b_{bf} - 5 \text{ cm} \quad (10)$$

۶. ضخامت ورق زیر سری (t_{pb})

$$t_{pt} = (M_{Eu} \times 10^5) / (d_b \times b_{pt} \times \phi \times F_y) \quad (11)$$

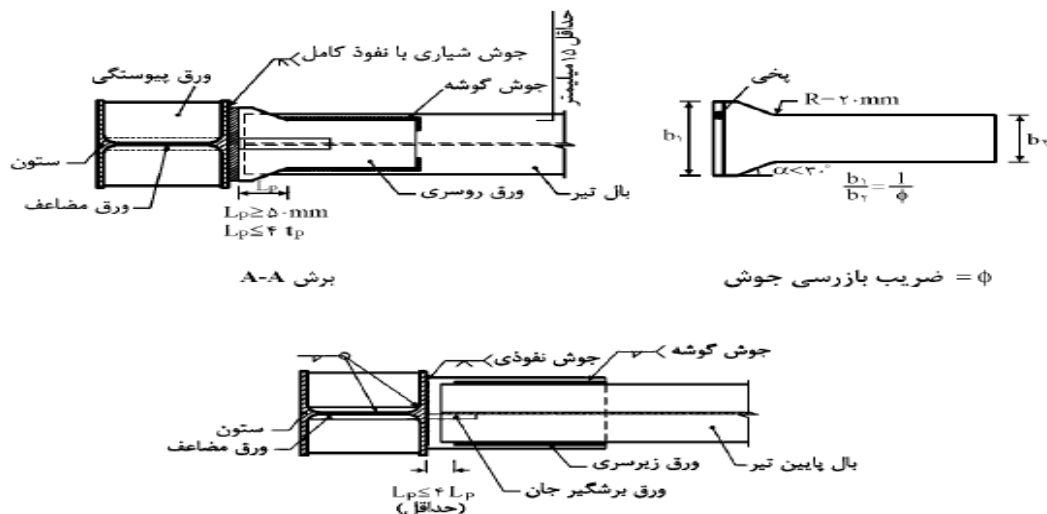
۷. بعد جوش گوشه ورق روسری به تیر:

در تعیین بعد جوش باید حداقل و حداکثر مقادیر را بر اساس بند ۱۰-۱-۱۰-۲ کنترل نماییم. برای کاهش طول ورق روسری عموماً حداکثر بعد جوش گوشه را انتخاب می کنند که برابر با $a = (t_{pt} - 0.2)$ می باشد. از طرفی طبق بند ۱۰-۲-۱۰-۲-۲ مبحث ۱۰، بعد جوش نباید بیشتر از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده باشد بنابراین اگر ضخامت ورق بال تیر ورق کمتر از ضخامت ورق روسری باشد $a = t_{bf}$ برای بعد جوش انتخاب می شود. در اینجا t_{bf} ضخامت بال تیر است.

۸. عرض انتهایی (قسمت عریض تر) ورق روسری (b'_{pt}): برای تعیین عرض انتهایی ورق روسری می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$b'_{pt} = b_{pt} / \beta = b_{pt} / 0.75 \quad (12)$$

β : ضریب بازرسی جوش مطابق بند ۱۰-۲-۱۰-۲-۴ می باشد. در صورتی که جوش نفوذی اتصال بال به ستون توسط آزمایش های غیر مخرب مانند رادیوگرافی و یا التراسونیک آزمایش شود، می توان مقدار β را ۱ در نظر گرفت. در این حالت می توان به جای شکل کله گاوی برای ورق روسری، همانند ورق زیرسری، از شکل مستطیلی استفاده نمود. البته به دلیل کیفیت پایین اجرا و کنترل جوش در ایران توصیه می شود که حتی در صورت انجام تست جوش، از شکل کله گاوی استفاده شود.



شکل (۳): توصیه‌های ابعادی ارائه شده برای ورق روسری و زیر سری بر اساس مبحث دهم

رعایت توصیه‌های ابعادی ارائه شده برای ورق روسری در شکل ۱۰-۳-۷ مبحث دهم، برای ورق روسری توصیه می‌شود.

۹. محاسبه طول جوش ورق روسری به بال تیر:

$$L_w = (M_E \times 10^5) / (d_b \times 2 \times f_w) \quad (13)$$

$$f_w = 1000 \text{ a}$$

تعریف پارامترهای این روابط نیز همانند قبل است.

گام ششم: طراحی ابعاد ورق اتصال جان:

- تعیین ارتفاع، عرض و ضخامت ورق اتصال جان: ارتفاع ورق اتصال مسلما باید کمتر از ارتفاع کل جان باشد. در اتصالات مفصلی، جهت ایجاد امکان دوران بیشتر، ارتفاع ورق جان تقریبا برابر ۰.۷۵ ارتفاع جان تیر در نظر گرفته می‌شود. در اتصال گیردار می‌توان ارتفاع ورق جان را بیشتر در نظر گرفت.

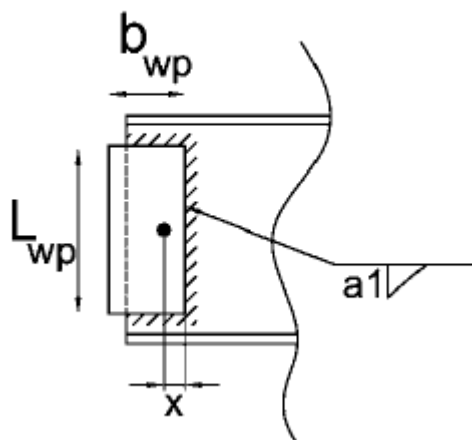
ضخامت ورق‌های اتصال جان بر اساس برش نهایی تیر V_{EU} تعیین می‌شود. با توجه به بند ۱۰-۲-۱۰-۴-۳ مبحث ۱۰، مقاومت برشی طراحی ورق اتصال باید پاسخگوی برش نهایی V_{EU} باشد:

$$V_{Eu} \leq (\phi R_n = 1 \times L_{wp} t_{wp} \times (0.6 \times 2400)) \quad (14)$$

که در این رابطه L_{wp} ارتفاع ورق اتصال و t_{wp} ضخامت ورق اتصال می‌باشد. در صورتی که برای اتصال جان از ورق دابل استفاده شود، مقدار t_{wp} برابر مجموع ضخامت دو ورق خواهد بود. از رابطه فوق ضخامت لازم برای ورق اتصال جان بدست می‌آید. اگر ضخامت لازم بیش از اندازه بزرگ باشد، می‌توان از نبشی نشیمن همراه با سخت کننده در زیر آن استفاده کرد. عرض ورق اتصال (b_{wp}) بر حسب ابعاد تیرورق، معمولاً 8cm، 10cm و یا 12cm در نظر گرفته می‌شود.

• تعیین بعد جوش اتصال ورق به جان تیر :

جوش اتصال ورق به جان تیر ورق به صورت دورتادور در نظر گرفته می‌شود. در این جوش ترکیب برش و پیچش خواهیم داشت. طبق جدول ۱-۱۸-۵ کتاب سالمون (فصل جوش)، مقادیر مرکز سطح جوش، ممان قطبی جوش، برش و پیچش در اتصال ورق‌ها به جان تیر برابر است با:



$$x = b_{wp}^2 / (2b_{wp} + L_{wp})$$

$$I = (8b_{wp}^3 + 6b_{wp}L_{wp}^2 + L_{wp}^3) / 12 - b_{wp}^4 / (2b_{wp} + L_{wp})$$

$$V = V_{Eu} \quad (15)$$

$$T = V_{Eu} \times (b_{wp} - x)$$

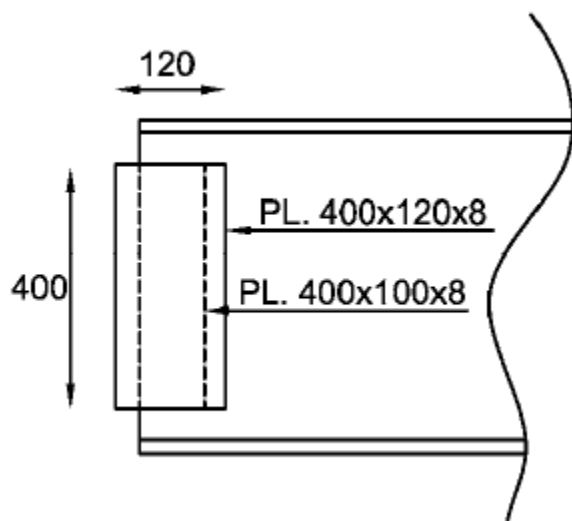
شکل (۴): جوش ورق اتصال به جان تیر

تعیین بعد جوش ورق به جان تیر :

$$\sqrt{(V / (2b_{wp} + L_{wp}) + T(b_{wp} - x) / I_p)^2 + (T(0.5 L_{wp}) / I_p)^2} \leq 1000 a_1 \quad (16)$$

عدد 1000 در رابطه فوق تنش مقاوم جوش است (که در روش تنش مجاز برابر ۶۶۸ می باشد) و با فرض استفاده از الکتروود E60 و بازرسی چشمی و جوش در محل بدست آمده است . a_1 بعد جوش ورق به جان از رابطه فوق بدست می آید. رابطه بالا با فرض استفاده از فقط یک ورق اتصال جان بدست آمده است . در صورتی که از ورق دابل استفاده شود ، مقدار بدست آمده را نصف می کنیم .

نکته بسیار مهم (بر اساس توصیه دکتر مسعود حسین زاده اصل) : در مواقعی که بعد جوش نسبت به جان تیر نسبتاً بزرگ باشد ، در صورت استفاده از ورق های دابل و اجرای جوش در دو سوی جان ممکن است جان تیر آسیب ببیند . بنابراین بهتر است که عرض b_{wp} برای ورق های دابل به صورت متفاوت طرح شوند تا جوش های دو طرف جان روی هم نیفتند . مانند شکل زیر :



شکل (۵) : استفاده از ورق های اتصال جان تیر به ستون با عرض های متفاوت

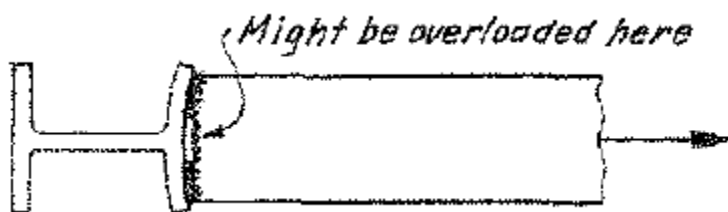
۱. تعیین بعد جوش اتصال ورق جان به بال ستون :

ورق اتصال ورق به جان تیر به صورت دورتا دور در نظر گرفته می شود. در این جوش ترکیب برش و خمش خواهیم داشت که مقدار خمش آن برابر $M = V_E \times (b_{wp} - x)$ و ممان اینرسی جوش برابر $I_x = L_{wp}^2 / 12$ خواهد بود . بعد جوش اتصال ورق جان به ستون ، a_2 ، از رابطه زیر بدست می آید :

$$\sqrt{(V/L_{wp})^2 + (M(0.5 L_{wp})/I_x)^2} \leq 1000 a_2 \quad (17)$$

در صورتی که از ورق دابل استفاده می کنیم مقدار بدست آمده برای بعد جوش را نصف می کنیم .

گام هفتم : کنترل خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی (بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۲ مبحث ۱۰)



شکل (۶) : نمایش خمش موضعی بال ستون و آسیب به جوش های نفوذی ورق به بال ستون

علت کنترل : اگر ضخامت بال ستون کم باشد ، صلبیت خمشی آن کاهش یافته و در اثر خمش موضعی بال ستون ، جوش نفوذی ورق های روسری و زیر سری به ستون آسیب می بیند .

طبق بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۲ برای جلوگیری از خمش موضعی بال ستون ، برای اتصالاتی که مقطع ستون آنها H می - باشد ، ضخامت بال ستون باید بزرگتر از مقدار زیر باشد :

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.9 \times 6.25 t_{cf}^2 F_y \} \quad (18)$$

ضریب 0.9 در رابطه فوق ضریب کاهش مقاومت است .

نکته : رابطه فوق مربوط به مواردی می شود که ستون در بالا و پایین ادامه دارد . اگر اتصال مورد نظر مربوط به یک تیر در تراز بام می باشد که در آن ستون در بالا قطع می شود ، مقدار R_n در رابطه فوق باید نصف شود . در این رابطه آیین نامه می گوید در صورتی که نیروی کششی در فاصله ای کمتر از $10t_{cf}$ از انتهای عضو اثر نماید ، مقدار R_n باید 50 درصد کاهش یابد .

نکته : در مواردی که مقطع ستون به صورت باکس باشد ، مبحث دهم رابطه ای ارائه نکرده است ، در این موارد به پیوست دو مراجعه کنید .

نکته مهم : در صورتی که عرض بال ورق های روسری و یا زیرسری در محل اتصال به ستون کمتر از 0.15 عرض بال ستون باشد نیازی به کنترل کمانش موضعی بال ستون نیست .

اما اگر رابطه فوق ارضا نشد (یعنی اگر ضخامت بال ستون کمتر از مقدار داده شده بود) چه باید کرد ؟

پاسخ : یا باید ضخامت بال ستون را افزایش داد و یا از ورق های پیوستگی استفاده نمود .

ورق پیوستگی مانع از خمش موضعی بال می شود و در صورت استفاده از آن ، دیگر نیازی به کنترل ضخامت بال ستون نیست . ورق های پیوستگی باید بتوانند در برابر اضافه باری که بال ستون به تنهایی نتوانسته تحمل کند ، مقاومت کنند بنابراین نیرو در ورق پیوستگی برابر خواهد بود با :

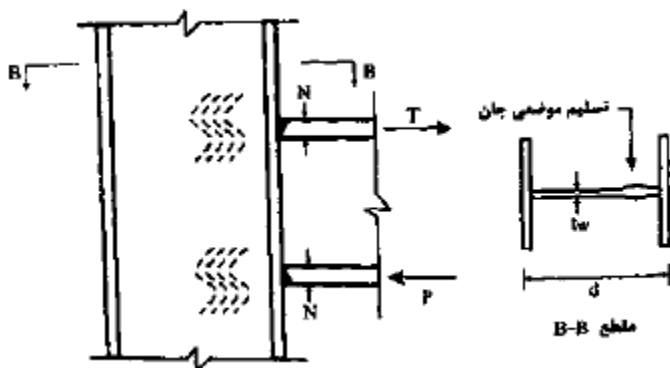
$$F_{con} = (M_{EU} \times 10^5 / d_b) - (0.9 \times 6.25 \times t_{cf}^2 F_y) \quad (19)$$

بدین ترتیب مساحت مقطع مورد نیاز برای ورق های پیوستگی بدست می آید :

$$A_{con} = F_{con} / 0.9 F_y \quad (20)$$

توجه شود که ورق های پیوستگی تحت کشش خواهند بود و تنش طراحی مقاوم آن برابر $0.9 F_y$ در نظر گرفته می شود .

گام هشتم : کنترل تسلیم موضعی جان ستون در مقابل بال فشاری و یا کششی



شکل (۷) : تسلیم موضعی جان ستون در مقابل بال فشاری و یا کششی

برای ستون های H شکل داریم :

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 1 \times (2.5 \text{ or } 5k + t_p) t_{cw} F_y \} \quad (21)$$

در کنترل رابطه بالا اگر ستون در بالاترین قسمت خود به تیر متصل شود ، از عدد 2.5 و در غیر این صورت از عدد 5 استفاده شود و t_p ضخامت ورق متصل شونده (روسری یا زیر سری) به ستون می باشد . k در رابطه بالا و بقیه

روابطی که در زیر می آید برابر با فاصله از سطح بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال در مقاطع نورد شده و فاصله از سطح خارج بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق .

حال اگر رابطه فوق ارضا نشد (یعنی اگر ضخامت جان ستون کمتر از مقدار داده شده بود) چه باید کرد ؟

پاسخ : یا باید ضخامت جان ستون را افزایش داد و یا از ورق های پیوستگی استفاده نمود .

مساحت لازم ورق های پیوستگی ، بسته به اینکه تحت فشار باشند یا کشش ، به ترتیب زیر تعیین می شود :

اگر ورق های پیوستگی تحت کشش باشند :

ورق های پیوستگی باید بتوانند در برابر اضافه باری که جان ستون به تنهایی نتوانسته تحمل کند ، مقاومت کنند بنابراین نیرو در ورق پیوستگی برابر خواهد بود :

$$F_{con} = (M_{EU} \times 10^5 / d_b) - 1 \times (2.5 \text{ or } 5 k + t_p) t_{cw} F_y \quad (22)$$

بدین ترتیب مساحت مقطع مورد نیاز برای ورق های پیوستگی بدست می آید :

$$A_{con} = F_{con} / 0.9 F_y \quad (23)$$

اگر ورق های پیوستگی تحت فشار باشند طبق ضوابط بند (۱۰-۲-۱۰-۹-۹-۹ مبحث ۱۰) :

ورق های پیوستگی همراه با جان ستون به صورت یک ستون فرضی با بار محوری برابر با $M_{EU} \times 10^5 / d_b$ عمل می کند . ارتفاع موثر این ستون فرضی برابر با $0.75h$ در نظر گرفته می شود که h فاصله خالص جان ستون می باشد . سطح مقطع فرضی عبارت است از سطح مقطع ورق های پیوستگی به اضافه نواری از جان ستون که پهنای آن در اتصال میانی برابر $0.25t_{cw}$ و در اتصال بام برابر $12t_{cw}$ در نظر گرفته می شود .

• طراحی ورق های پیوستگی تحت فشار بر اساس بند ۱۰-۲-۴-۲ مبحث دهم مقررات ملی

مقاومت طرح اعضای فشاری مساوی P_n می باشد که در آن ϕ_c ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰.۹ و

P_n مقاومت اسمی فشاری می باشد که برای اعضای فشاری با اجزای فشرده و غیر فشرده (غیر لاغر) ، باید

برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالات حدی کمانش خمشی ، کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی منظور شود .

از آنجا که بر اساس مبحث دهم مقررات ملی مقاومت فشاری اسمی بر اساس کمانش خمشی بر طرح فشاری ورق‌های پیوستگی حاکم است ، لذا مقاومت فشاری طرح را بر اساس کمانش خمشی برای ورق-های پیوستگی بر اساس بند ۱۰-۲-۴-۲-۱ بدست می‌آوریم .

مقاومت اسمی اعضای فشاری ، P_n ، با مقاطع فشرده و غیر فشرده غیر لاغر ، بر اساس کمانش خمشی با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود :

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (24)$$

که در این رابطه :

$$A_g = \text{سطح مقطع کل}$$

$$F_{cr} = \text{تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی که از روابط زیر بدست می‌آید .}$$

(الف) اگر :

$$\lambda \leq 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad \text{or} \quad (F_e \geq 0.44 F_y) \quad (25)$$

در این صورت :

$$F_{cr} = [0.658^{F_y/F_e}] F_y$$

(ب) اگر :

$$\lambda > 4.71 \sqrt{E/F_y} \quad \text{or} \quad (F_e < 0.44 F_y) \quad (26)$$

در این صورت :

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

در روابط فوق :

$$\lambda = KL/r_{\min} = \text{ضریب لاغری حداقل}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته}$$

$$K = \text{ضریب طول موثر}$$

$$L = \text{طول مهارنشده عضو}$$

$$r = \text{شعاع ژیراسیون حاکم (حداقل)}$$

F_e = تنش کماتش بحرانی اولر در حالت الاستیک که مقدار آن عبارت است از :

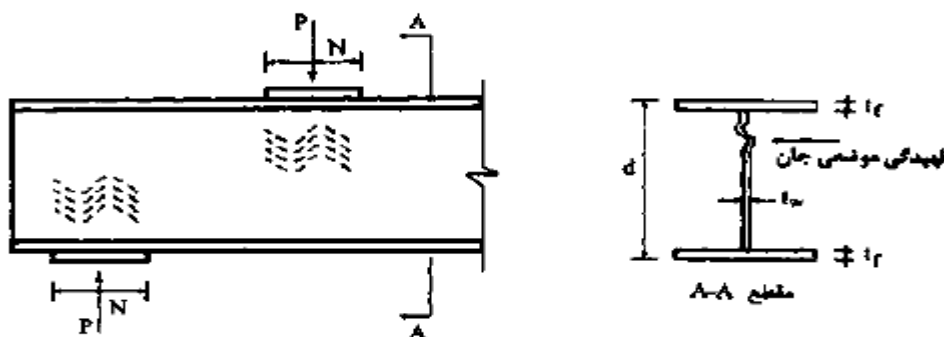
$$F_e = \pi^2 E / \lambda^2 \quad (27)$$

بنابراین رابطه کنترلی ورق‌های پیوستگی تحت فشار به صورت زیر است :

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq 0.9 \times F_{cr} \times A_g \quad (28)$$

در این رابطه A_g برابر است با: سطح مقطع ورق‌های پیوستگی به اضافه نواری از جان ستون که پهنای آن در اتصال میانی برابر $0.25t_{cw}$ و در اتصال بام برابر $12t_{cw}$ در نظر گرفته می‌شود.

گام نهم - کنترل لهدگی (چروکیدگی) در جان ستون در مقابل بال فشاری (بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۴ مبحث ۱۰)



شکل (۸): لهدگی در جان ستون در مقابل بال فشاری

برای جلوگیری از چروکیدگی جان ضخامت جان ستون باید

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.75 \times 0.8 \times t_{cw}^2 [1 + (3t_p / d_c) (t_{cw} / t_{cf})^{1.5}] \sqrt{E F_y t_{cf} / t_{cw}} \} \quad (29)$$

برای اتصالات مربوط به طبقه بام که در آنها ستون ادامه ندارد ، بار متمرکز ناشی از ورق روسری از $d_c/2$ از انتهای ستون وارد می‌شود و بنابراین برای تیرهای طبقه بام ، به جای رابطه بالا رابطه زیر باید کنترل شود :

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_{cw}^2 [1 + (3t_p / d_c) (t_{cw} / t_{cf})^{1.5}] \sqrt{E F_y t_{cf} / t_{cw}} \} \quad (30)$$

در روابط فوق : d_c ارتفاع مقطع ستون ،

t_{cw} : ضخامت جان ستون

t_{cf} : ضخامت بال ستون

t_p : ضخامت ورق متصل شونده (روسری یا زیر سری)

در صورتی که ستون باکس داشته باشیم در دو رابطه بالا باید به جای t_{cw} از $2t_{cw}$ استفاده نماییم .

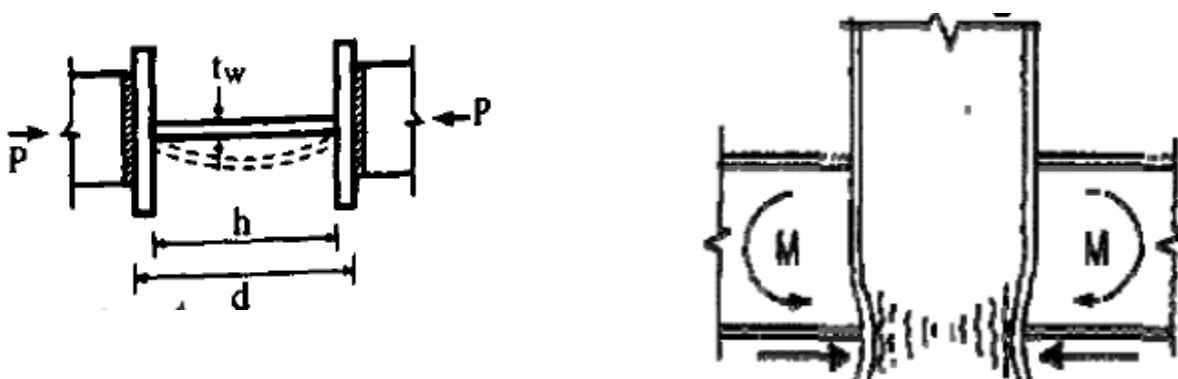
اگر روابط فوق ارضا نشود چه باید کرد ؟

در این صورت باید ضخامت جان ستون را افزایش داد و یا از ورق های پیوستگی استفاده کرد .

ورق پیوستگی مانع از لهیدگی جان ستون می شود و در صورت استفاده از آن ، نیازی به کنترل روابط فوق نیست .

ورق های پیوستگی همراه با جان ستون به صورت یک ستون فرضی با بار محوری برابر با $(M_{EU} \times 10^5 / d_b)$ عمل می کند . ارتفاع موثر این ستون فرضی برابر با $0.75h$ در نظر گرفته می شود که h فاصله خالص جان ستون است . سطح مقطع ستون فرضی عبارت است از سطح مقطع ورق های پیوستگی به اضافه نواری از جان ستون که پهنای میانی برابر $25t_{cw}$ و در اتصال بام برابر $12t_{cw}$ در نظر گرفته می شود . طراحی ورق های پیوستگی تحت فشار قبلا توضیح داده شده است .

گام دهم : کنترل کمانش فشاری در جان ستون در مقابل بال فشاری (بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۶ مبحث ۱۰)



شکل (۹) : کمانش فشاری در جان ستون در مقابل بال فشاری

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \varphi R_n = 0.9 \times (24 t_{cw}^2 \sqrt{EF_y}) / h \} \quad (31)$$

در صورتی که ستون باکس باشد در رابطه فوق باید به جای t_{cw} از $2t_{cw}$ استفاده می شود .

اگر رابطه فوق ارضا نشد می بایست از ورق های پیوستگی استفاده کرد یا اینکه ضخامت جان ستون را افزایش داد . ورق پیوستگی مانع از کماتش فشاری جان ستون می شود و در صورت استفاده از آن ، دیگر نیازی به کنترل رابطه فوق نیست .

ورق های پیوستگی همراه با جان ستون به صورت یک ستون فرضی با بار محوری برابر با $(M_{EU} \times 10^5 / d_b)$ عمل می کنند .

مباحث اضافی در مورد طراحی ورق های پیوستگی :

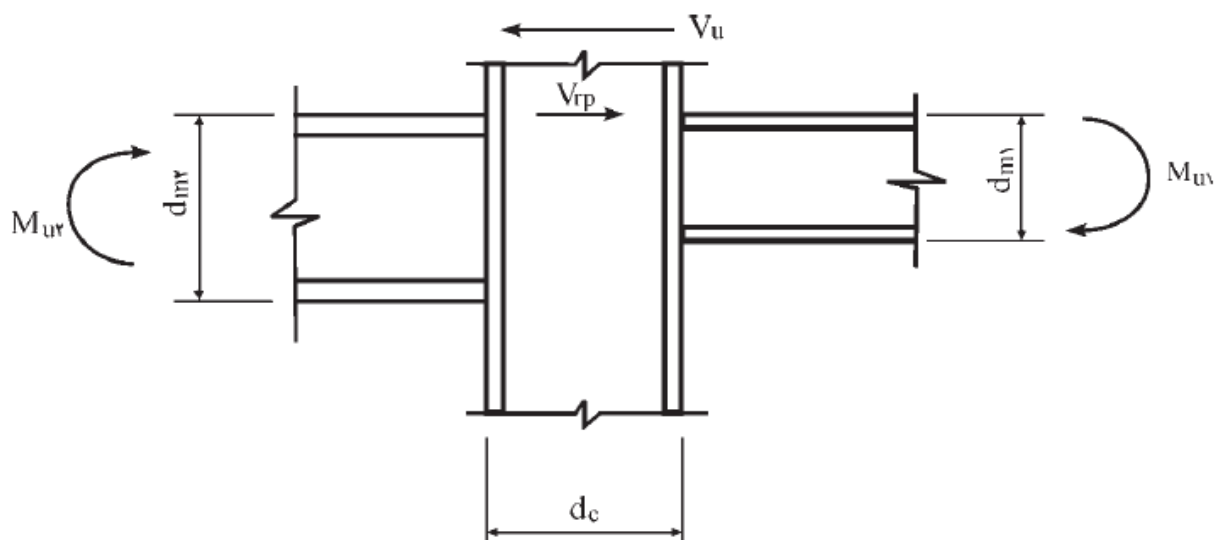
مساحت لازم برای ورق های پیوستگی بر اساس حداکثر مقدار بدست آمده از محاسبات قبلی بدست می آید . از طرفی طبق بند ۱۰-۳-۸-۱-۳-۵ مبحث دهم ، یک سری ضوابط اضافی برای ورق های پیوستگی در قاب های با شکل پذیری ویژه و همچنین در قاب های با شکل پذیری متوسط در نظر گرفته شده است :

- قرار دادن این ورق ها در ستون های قاب های با شکل پذیری متوسط و زیاد الزامی است حتی اگر در هیچکدام از کنترل های ذکر شده در بندهای قبلی به ورق پیوستگی نیاز نباشد .
- این ورق ها باید در مقابل ورق های روسری و زیرسری و به صورت متقارن نسبت به محور ستون قرار داده شوند .
- طول ورق ها باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشد .
- ضخامت ورق های پیوستگی نباید از ضخامت ورق روسری و زیرسری بال دو طرف ستون کمتر باشد .
- پهنای ورق پیوستگی در ستون های باکس ، برابر با فاصله خالص دو جان ستون بوده و در ستون های H شکل از مجموع پهنای ورق های روسری یا زیرسری در دو طرف جان ستون کمتر نباشد .

- جهت جلوگیری از کماتش موضعی ، نسبت عرض به ضخامت در ورق‌های پیوستگی ستون‌های پیوستگی ستون‌های H شکل نباید بیشتر از $0.55\sqrt{E/F_y}$ و در ورق‌های پیوستگی مربوط به ستون‌های باکس نباید بیش‌تر از $1.4\sqrt{E/F_y}$ باشد .
- مطابق توصیه‌ای که در شکل ۱۰-۳-۷ پ در مبحث ۱۰ آمده است ، چون اتصال ورق‌های پیوستگی در ستون‌های باکس باید از نوع شیاری با نفوذ کامل باشد .

گام یازدهم: کنترل برش در چشمه اتصال (بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران)

این بخش مربوط است به حالتی که یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال ستون اثر کند .



شکل (۱۰): نمایش نیروهای موثر برای محاسبه مقاومت برشی مورد نیاز برای کنترل چشمه اتصال

الف: مقاومت طرح ، بر اساس حالت حدی تسلیم برشی مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن :

$$\phi = \text{ضریب تقلیل مقاومت مساوی } 0.9$$

R_n = مقاومت اسمی به شرح زیر :

۱- در حالتی که تاثیر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشود :

- اگر $P_r \leq 0.4 P_c$ باشد :

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w \quad (32)$$

- اگر $P_r > 0.4 P_c$ باشد :

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w (1.4 - P_r/P_c) \quad (33)$$

۲- در حالتی که تاثیر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور شود .

- اگر $P_r \leq 0.75 P_c$ باشد :

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w (1 + (3b_{cf} t_{cf}^2)/(d_b d_c t_w)) \quad (34)$$

- اگر $P_r > 0.75 P_c$ باشد :

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w [1 + (3b_{cf} t_{cf}^2)/(d_b d_c t_w)](1.9 - 1.2 P_r/P_c) \quad (35)$$

در روابط فوق :

b_{cf} = عرض بال ستون

t_{cf} = ضخامت بال ستون

d_c = ارتفاع مقطع ستون

d_b = ارتفاع مقطع تیر

t_w = ضخامت جان ستون

F_y = تنش تسلیم فولاد

(A) : نیروی محوری تسلیم مقطع ستون $P_c = P_y = A F_y$ ، سطح مقطع ستون

ب: بر طبق مبحث دهم مقررات ملی در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت کننده قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محدوده چشمه اتصال ضروری است.

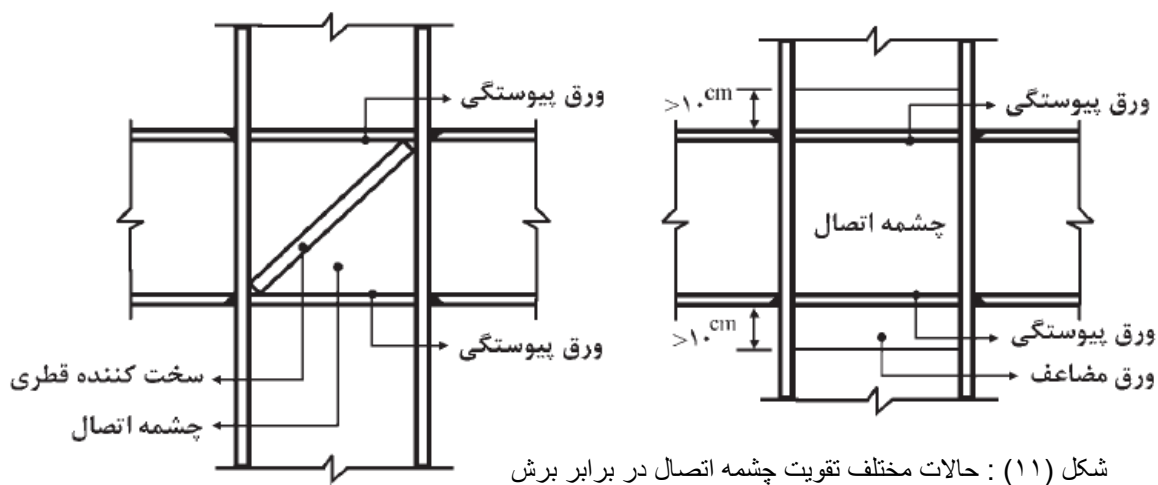
اما مقاومت برشی مورد نیاز (V_{rp}) در چشمه اتصال را با توجه به شکل بالا می توان با رابطه زیر بدست آورد:

$$V_{rp} = M_{u1} / d_{m1} + M_{u2} / d_{m2} - V_u \quad (36)$$

M_{u1} و M_{u2} = به ترتیب لنگرهای خمشی ضربیدار انتهایی تیرهای سکت چپ و راست حاصل از بارگذاری جانبی و قائم

V_u = برش انتهایی ستون فوقانی

d_{m1} و d_{m2} = به ترتیب ارتفاع تیرهای سمت راست و چپ



ج: مقررات تکمیلی برای ورق های تقویتی جان (ورق مضاعف) در مقابل نیروهای متمرکز (بند ۱۰-۲-۱۰-۹-۱۰)

۱- ضخامت ورق مضاعف و ابعاد آن باید جبران کمبود مقاومت موجود را بنماید.

۲- جوش ورق مضاعف به جان باید برای انتقال نیروی سهم ورق کافی باشد.

کنترل پایداری ورق‌های چشمه اتصال

ضخامت هر یک از ورق‌های واقع در چشمه اتصال، شامل جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های تقویت چشمه اتصال، باید رابطه زیر را برآورده نمایند:

$$t_z \geq (d_z + w_z)/90 \quad (37)$$

که در این رابطه t_z ضخامت جان (یا هر یک از جان‌های) ستون یا هریک از ورق‌های تقویت چشمه اتصال d_z ، عمق چشمه اتصال که فاصله خالص بین ورق‌های پیوستگی است، و w_z نیز عرض چشمه اتصال است که همان فاصله خالص بین بال‌های ستون است.

نکته: در صورتی که ورق‌های تقویت چشمه اتصال، با جوش انگشانه کافی به جان ستون متصل شده باشند، مجموع ضخامت جان و ورق‌های تقویت چشمه اتصال به عنوان t_z منظور می‌گردد.

د: روش طراحی ورق‌های مضاعف

۱- محاسبه ضخامت ورق‌های تقویتی مضاعف چشمه اتصال

در محاسبه ضخامت ورق‌های مضاعف فرض شده است که از دو ورق با فاصله از جان در محل چشمه اتصال استفاده شده باشد. اگر مقاومت برشی مورد نیاز (V_{rp}) بر اساس رابطه (35) در چشمه اتصال بیش از مقاومت برشی چشمه اتصال (روابط 31 تا 34) باشد، طراحی ورق مضاعف نیاز می‌شود. ضخامت ورق‌های تقویتی مضاعف از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\phi R_n + \phi' \times 0.6 \times W_z \times 2 \times t_{st} = V_{rp} \quad (38)$$

ϕ = ضریب کاهش ظرفیت برای مقاومت برشی چشمه اتصال ستون برابر با: 0.9

ϕ' = ضریب کاهش ظرفیت برای مقاومت برشی ورق مضاعف برابر با: 1

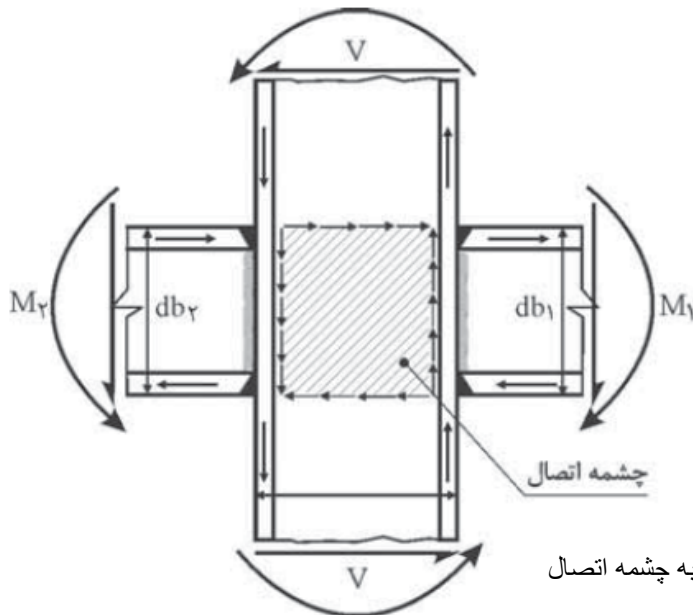
W_z = عرض ورق‌های مضاعف تقویتی جان

t_{st} = ضخامت ورق‌های مضاعف تقویتی جان

۲- طراحی جوش ورق‌های تقویتی چشمه اتصال

ابتدا باید سهم برش چشمه اتصال را محاسبه کنیم،

$$V_s = V_{rp} - 0.9 \times R_n \quad (39)$$



شکل (۱۲): نیروهای برشی وارد به چشمه اتصال

۲-۱- طراحی جوش لبه‌های فوقانی و پایینی ورق چشمه اتصال به جان ستون

با توجه به وجود یک خط جوش برای هر ورق مضاعف داریم:

$$2 \times W_z \times 1000 \times a_3 \geq V_s \quad (40)$$

عدد ۱۰۰۰ در رابطه بالا بیانگر مقاومت جوش در حالت حدی است (عدد ۶۶۸ در حالت تنش مجاز)

در این رابطه a_3 بعد جوش لبه‌های فوقانی و تحتانی ورق مضاعف به جان ستون است.

۲-۲- طراحی جوش لبه‌های قائم ورق‌های مضاعف به جان ستون

با توجه به وجود یک خط جوش برای هر ورق مضاعف در لبه قائم در هر طرف جان داریم:

$$2 \times d_z \times 1000 \times a_4 \geq V_s \quad (41)$$

در این رابطه نیز a_4 بعد جوش لبه‌های قائم ورق‌های مضاعف به جان ستون است. W_z و d_z در روابط فوق نیز به ترتیب عرض و عمق چشمه اتصال است.

پیوست یک: مقادیر ضرایب اضافه مقاومت برای بارگذاری زلزله تشدید یافته استخراج شده از مبحث دهم مقررات ملی

جدول ۱۰-۳-۲ ضریب اضافه مقاومت

Ω_o	سیستم باربر جانبی
۲/۸	قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد
۲/۸	قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط
۲/۸	قاب خمشی با شکل‌پذیری کم
۲	قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد
۲	قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری کم
۲	قاب ساده + مهاربند واگرا و اتصال صلب در دو انتهای تیر رابط
۲	قاب ساده + مهاربند واگرا بدون اتصال صلب در دو انتهای تیر رابط
۲/۴	قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد
۲/۴	قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد + مهاربند واگرا با شکل‌پذیری زیاد
۲/۴	قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد
۲/۴	قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط + مهاربند واگرا با شکل‌پذیری زیاد

پیوست دو: همانطور که در بخش کنترل خمشی موضعی اشاره کردیم، مبحث دهم مقررات ملی برای هنگامی که مقطع ستون به صورت باکس باشد، رابطه‌ای ارائه نکرده است، در این مورد از رابطه ۳-۴-۲ که در

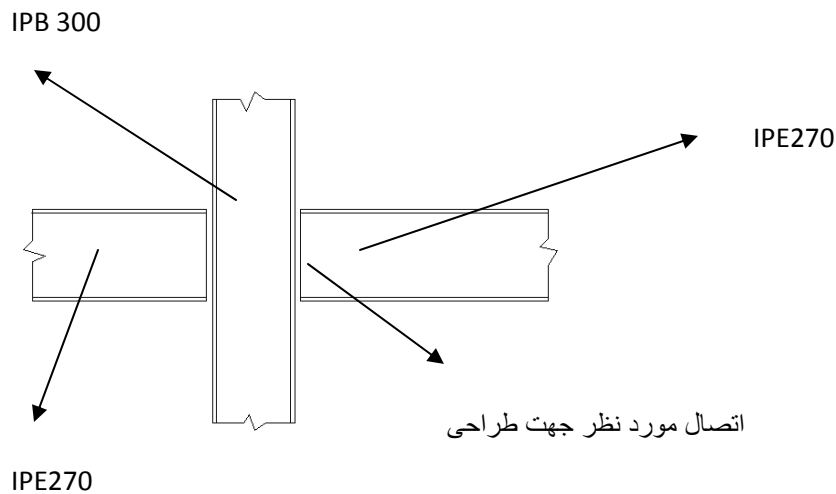
Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications

آمده است استفاده کرد. دستورالعمل فوق حاوی ضوابط طراحی لرزه‌ای اتصالات آمریکا برای قاب‌های با شکل - پذیري متوسط و زياد مي‌باشد .

$$M_{EU} \times 10^5 / d_b \leq \phi R_n = 0.9 \times 6.25 t_{cf}^2 F_y \{ 1 - b_p / b_{cf}^2 (b_{cf} - b_p / 4) \}$$

که در این رابطه b_p عرض ورق روسری و یا زیر سری در محل اتصال به ستون و b_{cf} عرض بال ستون باکس می - باشد . بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

مثال : فرض می کنیم که اتصال زیر بخشی از یک قاب خمشی متوسط باشد . حال این اتصال را به روش LRFD طراحی می کنیم .



دهانه تیر (سمت راست) : 4.3 متر

ضریب رفتار : 6

بار مرده وارد بر واحد سطح : 0.6 تن بر متر مربع

بار زنده وارد بر واحد سطح : 0.2 تن بر متر مربع

فولاد مصرفی : نرمه ساختمانی با تنش جاری شدن 2400 کیلو گرم بر متر مربع

الکتروود : E60

کنترل : کارگاهی

مشخصات	d(mm)	b(mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	A(cm ²)	W _x (cm ²)	I(cm ⁴)	Z(cm ³)
IPE270	270	135	6.6	10.2	45.9	429	5790	484
IPB300	300	300	11	19	149	1680	25170	1868

مشخصات نیمرخ‌های مصرفی

ترکیب بار	شرایط	ردیف
$\frac{1}{4}D$ $\frac{1}{25}D + \frac{1}{5}L$	ترکیب بار مبنا ^۱ (مرده + بهره‌برداری)	۱
$D + \frac{1}{2}L + \frac{1}{2}(E \text{ یا } W)$ $\frac{0}{85}D + \frac{1}{2}(E \text{ یا } W)$	ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و زلزله یا باد	۲
$\frac{1}{25}(D + F) + \frac{1}{5}(L + H)$ $\frac{0}{85}D + \frac{1}{25}F + \frac{1}{5}H$	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و فشار خاک یا آب	۳
$D + \frac{1}{20}L + T$ $\frac{1}{25}D + \frac{1}{25}T$	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، جمع‌شدگی، و نشست تکیه‌گاه‌ها	۴

ترکیبات بارگذاری در ساختمان‌های متعارف در حالت حدی نهایی بر طبق مبحث دهم از مقررات ملی

گام یک: محاسبه لنگر خمشی متناظر با تشکیل لنگر خمشی پلاستیک (رابطه یک)

$$M_{exp} = R_y Z_p F_y \quad (1)$$

$$M_{exp} = 1.15 \times 484 \times 2400 = 13.36 \text{ ton.m}$$

گام دوم: محاسبه برش طراحی در بر ستون با روابط (۲) و (۳)

$$V_p = 2 \times M_{exp} / L_h + W_G L_h / 2$$

در اینجا فرض می شود که فاصله محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون برابر d_b باشد. عرض بار گیر تیر نیز برابر با $w=3 \text{ m}$ می باشد.

$$W_G = (1.25 DL + 1.5 LL) \times W = (1.25 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2) \times 3 = 3.15 \text{ ton/m}$$

$$L_h = L - 2 \times L_1 = 4.3 - 2 \times 0.27 = 3.76 \text{ m}$$

$$V_p = (2 \times 13.36) / 3.76 + (3.15 \times 3.76) / 2 = 13 \text{ ton}$$

$$V_{EU} = V_p + W_G L_1 = 13 + 3.15 \times 0.27 = 13.85 \text{ ton}$$

بنابراین برش طراحی در بر ستون برابر با 13.85 ton است.

گام سوم: محاسبه لنگر طراحی در بر ستون (رابطه ۵)

$$M_{Eu} = M_{exp} + V_p L_1 + (W_G L_1^2) / 2 = 13.36 + 13 \times 0.27 + (3.15 \times 0.27^2) / 2 = 17 \text{ ton.m}$$

گام چهارم: طراحی ورق زیر سری (روابط ۷ تا ۹)

$$b_{pb} = b_{bf} + 5 \text{ cm} = 13.5 + 5 = 18.5 \text{ cm}$$

عرض ورق زیر سری را 20 cm در نظر می گیریم. و از رابطه زیر ضخامت ورق را محاسبه می کنیم:

$$t_{pb} = (M_{Eu} \times 10^5) / (\phi \times d_b \times b_{pb} \times F_y)$$

$$t_{pb} = 17 \times 10^5 / (0.9 \times 27 \times 20 \times 2400) = 1.46 \text{ cm}$$

ضخامت ورق تحتانی را $t_{pb} = 1.5 \text{ cm}$ در نظر می گیریم.

برای طراحی جوش گوشه ورق زیرسری برای تعیین طول ورق ابتدا بعد جوش گوشه را $a=t_{pb}-0.2 \text{ cm}$ در نظر می گیریم:

$$a_{\max} = 15 - 2 = 13 \text{ mm}$$

چون این بعد جوش بزرگتر از ضخامت بال تیر است، بعد جوش گوشه را 10mm در نظر گرفته می شود. اما با توجه به رابطه زیر طول ورق زیر سری را بدست می آوریم:

$$L_{pb} = (M_{Eu} \times 10^5) / (2 \times d_b \times f_w) + 2 \text{ cm}$$

$$f_w = 1000 \text{ a}$$

$$L_{pb} = (17 \times 10^5) / (2 \times 27 \times 1000 \times 1) + 2 = 33.48 \text{ cm}$$

بنابراین طول ورق زیر سری را $L_{pb}=35 \text{ cm}$ در نظر می گیریم. Use PL350×200×15 mm.

گام پنجم: طراحی ورق روسری (روابط ۱۰ تا ۱۳)

تعیین عرض ورق روسری در قسمت باریکتر

$$b_{pt} = b_{bf} - 5 \text{ cm} = 13.5 - 5 = 8.5 \text{ cm}$$

عرض ورق روسری در قسمت باریکتر را $b_{pt}=8.5 \text{ cm}$ در نظر می گیریم.

برای تعیین ضخامت ورق روسری داریم:

$$t_{pt} = (M_{Eu} \times 10^5) / (d_b \times b_{pt} \times \phi \times F_y)$$

$$t_{pt} = (17 \times 10^5) / (27 \times 8.5 \times 0.9 \times 2400) = 3.42 \text{ cm}$$

ضخامت ورق روسری را 3.5cm در نظر می گیریم.

بعد جوش گوشه ورق روسری به بال فوقانی تیر را همان $a=10 \text{ mm}$ در نظر می گیریم که محدودیت های حداقل و حداکثر بعد جوش را ارضا می کند. حال با توجه به رابطه زیر طول ورق روسری در قسمت باریکتر را محاسبه می کنیم،

$$L_w = (M_E \times 10^5) / (d_b \times 2 \times f_w)$$

$$f_w = 1000 \text{ a}$$

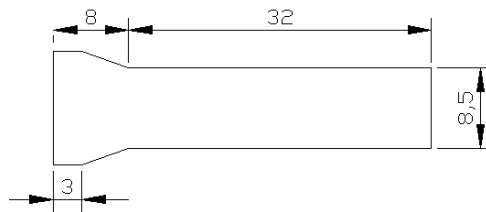
$$L_w = (17 \times 10^5) / (27 \times 2 \times 1000 \times 1) = 31.48 \text{ cm}$$

بنابراین طول ورق در قسمت باریک را 32cm در نظر می گیریم . اما برای محاسبه عرض ورق روسری در قسمت عریض تر ،

$$b'_{pt} = b_{pt} / \beta = b_{pt} / 0.75$$

$$b'_{pt} = 8.5 / 0.75 = 11.33 \text{ cm}$$

عرض ورق در قسمت عریض تر را برابر با 12cm در نظر گرفته می شود .



جزئیات ورق فوقانی (ابعاد بر حسب سانتی متر)

باید توجه داشت که این ورق فقط در طول لبه های ۳۲ سانتی متری به بال تیر جوش می شود .

گام ششم : طراحی ابعاد ورق اتصال جان

ارتفاع ورق اتصال جان را 75 درصد ارتفاع جان تیر (جوشکاری راحت) در نظر می گیریم و با استفاده از رابطه زیر ضخامت آن را تعیین می کنیم :

$$V_{Eu} \leq (\phi R_n = 1 \times L_{wp} t_{wp} \times (0.6 \times 2400))$$

$$L_{wp} = 0.75 \times (27 - 2 \times 1.02) = 18.72 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad L_{wp} = 18 \text{ cm}$$

بنابراین با لحاظ ارتفاع ورق برابر با 18cm داریم :

$$13.85 \times 10^3 \leq 1 \times 18 \times t_{wp} \times 0.6 \times 2400 \quad \Rightarrow \quad t_{wp} \geq 0.53 \text{ cm}$$

بنابراین از یک ورق به ارتفاع 18cm و ضخامت 1cm در یک طرف جان تیر به عنوان ورق اتصال جان تیر به بال ستون استفاده می کنیم . با فرض عرض ورق برابر با همان 12cm و با استفاده از رابطه زیر بعد جوش لازم را محاسبه می کنیم . ، ، ،

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2b_{wp} + L_{wp}} + \frac{T(b_{wp} - x)}{I_p} \right)^2 + \left(\frac{T(0.5 L_{wp})}{I_p} \right)^2} \leq 1000 a_1$$

ابتدا با توجه به روابط 15، I_p و x را برای جوش محاسبه می کنیم :

$$b_{wp} = 12 - 2 = 10 \text{ cm}$$

$$L_{wp} = 18 \text{ cm}$$

$$x = b_{wp}^2 / (2b_{wp} + L_{wp}) = 100 / (2 \times 10 + 18) = 2.63 \text{ cm}$$

$$I_p = (8b_{wp}^3 + 6b_{wp}L_{wp}^2 + L_{wp}^3) / 12 - b_{wp}^4 / (2b_{wp} + L_{wp}) = 2772.67 - 263.157 = 2509.5 \text{ cm}^4$$

$$V = V_{EU} = 13.85 \text{ ton}$$

$$T = V(b_{wp} - x) = 13.85(10 - 2.63) = 102.07 \text{ ton.cm}$$

$$a \geq 0.758 \text{ cm}$$

بنابراین مشاهده می شود که با فرض استفاده از یک ورق بعد جوش لازم بیشتر از حد مجاز که برابر ضخامت جان تیر می باشد ، است ، بنابراین از دو ورق به ضخامت 10mm و بعد جوش 6mm برای اتصال جان تیر به بال ستون استفاده می کنیم .

تعیین بعد جوش ورق اتصال به بال ستون، (این فرمول با فرض استفاده از یک ورق استخراج شده است)

$$M = V_{EU} \times (b_{wp} - x) = 13.85 \times 10^3 \times (10 - 2.63) = 102000 \text{ kg.cm}$$

$$I_x = L_{wp}^2 / 12 = 18^3 / 12 = 486 \text{ cm}^2$$

$$\sqrt{(V/L_{wp})^2 + (M(0.5 L_{wp})/I_x)^2} \leq 1000 a_2$$

$$a \geq 2.04 \text{ cm} \quad (\text{با فرض استفاده از یک ورق})$$

بنابراین اگر از دو ورق استفاده شود، بعد جوش لازم برای هر ورق 10.1mm می شود که با پذیرش اندکی ضعف از بعد جوش 10mm برای اتصال ورق ها به بال ستون استفاده می شود، که معیارهای حداقل و حداکثر بعد جوش ارضا می شود. use 2PL 180×120×10 mm.

گام هفتم :: کنترل خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی (روابط ۱۸ تا ۲۰)

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.9 \times 6.25 t_{cf}^2 F_y \}$$

$$17 \times 10^5 / 27 \leq 0.9 \times 6.25 \times t_{cf}^2 \times 2400 \implies t_{cf} \geq 2.15 \text{ cm}$$

مشاهده می شود که ضخامت لازم برای بال ستون برای کنترل خمش جانبی بال ستون بیشتر از ضخامت بال ستون است، بنابراین برای تقویت بال ستون به ورق پیوستگی نیاز است.

طراحی ورق های پیوستگی :

محاسبه نیروی لازم برای طراحی ورق های پیوستگی:

$$F_{con} = (M_{EU} \times 10^5 / d_b) - (0.9 \times 6.25 \times t_{cf}^2 F_y)$$

$$F_{con} = (17 \times 10^5 / 27) - (0.9 \times 6.25 \times 1.9^2 \times 2400) = 14227.96 \text{ kg}$$

محاسبه سطح مقطع لازم برای ورق‌های تقویتی :

$$A_{con} = F_{con} / 0.9 F_y \Rightarrow A_{con} = 6.61 \text{ cm}^2$$

بنابراین اگر از دو ورق پیوستگی در هر طرف جان ستون و با ابعاد $262 \times 60 \times 35 \text{ mm}$ استفاده می کنیم . ضخامت نسبتا بالای ورق پیوستگی برای ارضای الزام بندی از مبحث دهم که اجازه استفاده از ورق پیوستگی با ضخامت کمتر از ضخامت ورق‌های روسری و بالاسری نمی دهد ، است .

کنترل کمانش موضعی ورق پیوستگی :

$$60/35 = 1.76 \leq 0.55 \sqrt{2.1 \times 10^6 / 2400} = 16.26 \quad \text{ok}$$

گام هشتم : کنترل تسلیم موضعی جان ستون در مقابل بال فشاری و یا کششی (روابط ۲۱ تا ۲۳)

کنترل تسلیم موضعی جان ستون در مقابل بال کششی ،

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \left\{ \phi R_n = 1 \times (2.5 \text{ or } 5k + t_p) t_{cw} F_y \right\}$$

$$17 \times 10^5 / 27 \leq 1 \times (5 \times 4.6 + 3.5) \times t_{cw} \times 2400 \Rightarrow t_{cw} \geq 0.99 \text{ cm}$$

$$k = 4.6 \text{ cm}$$

با توجه به ضخامت 11 mm جان ستون ، تسلیم موضعی در جان ستون رخ نمی دهد .

کنترل تسلیم موضعی جان ستون در مقابل بال فشاری ،

$$17 \times 10^5 / 27 \leq 1 \times (5 \times 4.6 + 1.5) \times t_{cw} \times 2400 \Rightarrow t_{cw} = 1.07 \text{ cm}$$

بنابراین در این حالت نیز به علت بیشتر بودن ضخامت جان ستون از ضخامت محاسبه شده ، نیازی به طراحی ورق پیوستگی نداریم .

گام نهم : کنترل لهیدگی (چروکیدگی) در جان ستون در مقابل بال فشاری

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.75 \times 0.8 \times t_{cw}^2 [1 + (3t_p / d_c) (t_{cw} / t_{cf})^{1.5}] \sqrt{EF_y t_{cf} / t_{cw}} \}$$

$$17 \times 10^5 / 17 \leq 0.75 \times 0.8 \times 1.1^2 [1 + (3 \times 1.5 / 30) (1.1 / 1.9)^{1.5}] \sqrt{2400 \times 2.1 \times 10^6 \times 1.9 / 1.1}$$

$$62963 \leq 72213.91 \quad \checkmark$$

ملاحظه می شود که این رابطه نیز کنترل می شود و لهیدگی در جان ستون در مقابل بال زیرسری بال فشاری تیر رخ نمی دهد .

گام دهم : کنترل کمانش فشاری در جان ستون در مقابل بال فشاری (روابط

$$(M_{EU} \times 10^5 / d_b) \leq \{ \phi R_n = 0.9 \times (24 t_{cw}^2 \sqrt{EF_y}) / h \}$$

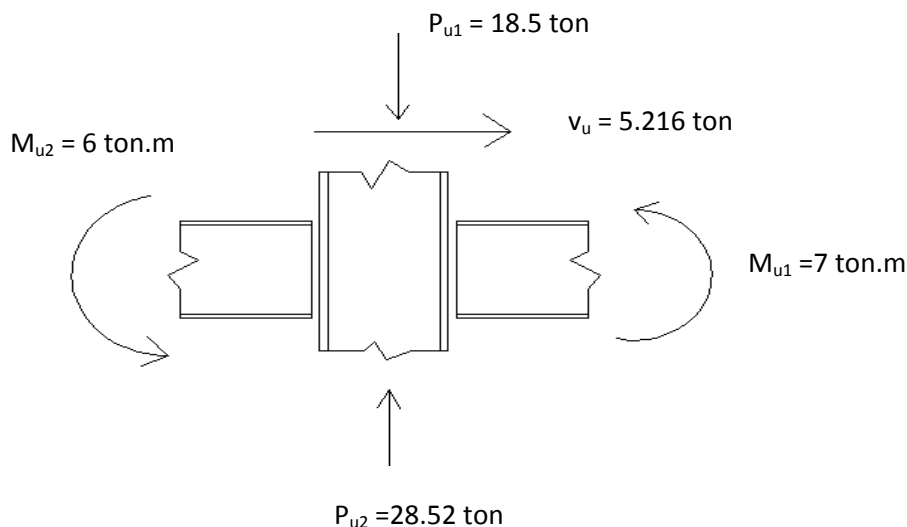
$$17 \times 10^5 / 27 \leq 0.9 \times (24 \times t_{cw}^2 \sqrt{2.1 \times 10^6 \times 2400} / 26.2)$$

$$t_{cw} \geq 1.037 \text{ cm}$$

بنابراین ضخامت جان ستون بیشتر از ضخامت محاسبه شده برای کنترل لهیدگی جان ستون می باشد و لهیدگی در جان ستون رخ نمی دهد .

گام یازدهم : کنترل برش در چشمه اتصال

در این مرحله برای کنترل چشمه اتصال نیاز به تحلیل سازه است که قبلا انجام شده است و ترکیب بارهای مختلف آزمایش و بحرانی ترین آنها بدست آورده شده اند که در زیر نشان داده شده اند ،



ابتدا باید مقاومت برشی چشمه اتصال را محاسبه کنیم ، با فرض اینکه اثر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشده باشد ، داریم :

$$P_r = 28.52 \text{ ton}$$

$$P_c = A F_y = 149 \times 2400 = 357.6 \text{ ton}$$

از آنجا که $P_r < 0.4 \times 357.6 = 143 \text{ ton}$ است ، بر طبق مبحث دهم مقررات ملی داریم :

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w = 0.6 \times 2400 \times 30 \times 1.1 = 47520 \text{ kg}$$

با توجه به نیروهای نشان داده شده در بالا مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال را محاسبه می کنیم :

$$V_{rp} = M_{u1} / d_{b1} + M_{u2} / d_{b2} - V_u = 7 \times 10^5 / 27 + 6 \times 10^5 / 27 - 5216 = 42932 \text{ ton}$$

از آنجا که :

$$\phi R_n \geq V_{rp}$$

$$0.9 \times 47520 = 42760 \geq 42932$$

بنابراین نیازی به طراحی ورق مضاعف برای تقویت چشمه اتصال وجود ندارد .

هر چند ممکن است ضخامت محاسبه شده برای ورق روسری (3.5 cm) معقول نباشد، هدف از این مثال فقط نشان دادن مراحل طراحی اتصال گیردار جوشی در یک قاب با شکل پذیری متوسط به روش حدی بود .

پایان

hadibahmani72@yahoo.com