آیا ساختمانهایی که ستونهای آنها از تیر آهن و ورق تقویتی ساخته می شوند، می توان مقاوم دربرابرزلزله دانست ؟

مجتبی صادقی اشکوری

طراح و ناظرسازه ساختمانهای بلند و پل

عضو هیئت مدیره و بازرس اصلی انجمن ایرانی مهندسان محاسب و انجمن مهندسان راه و ساختمان

e mail address : m_sadeghi_eshk@yahoo.com

چکیده :

برای ساختمانهای فلزی که ستون های آنها از تیرآهن و ورق تقویتی ساخته می شوند خواه ساختمانهای متشکل ازقاب های خمشی و خواه ساختمانهای متشکل از قابهای ساده و بادبندی ، آنچه در عمل و روشهای طرح و اجرای متعارف شاهدیم در اکثریت قریب به اتفاق مواردبه عنوان ساختمانی مقاوم دربرابرزلزله موارد قابل دفاع نبوده و متقاعدکننده نمی باشد. اما پرسش اینست که : آیا اساسا با ستون ساخته شده ازتیرآهن وورق تقویتی می توان قاب خمشی مقاوم دربرابر زلزله ساخت ؟

قاب مفصلی همراه با بادبند چطور ؟

برای آنکه ساختمانی مقاوم دربرابرزلزله باشد ، لازم است هم اعضای اسکلت ساختمان وهم اتصالات ، پاسخگوی تلاش های ناشی از اعمال بارهای ثقلی وجانبی بویژه زلزله باشد . برای اثبات این ادعا که ساختمانهای طراحی یا اجرا شده بااین نوع ستون ها ، مقاوم دربرابرزلزله نیستند ، ضرورتی بدان نیست که عدم کفایت خوداین ستون ها را زیر سئوال رود زیرا آئین نامه ها منجمله مبحث ۱۰ درصفحه۴۲دراین خصوص ضوابطی دارند که اگر طراحی سازه براساس این ضوابط صورت گیرد ، مشکلی پیش نخواهد آمد . آنچه امابابهاماتی همراه است کفایت اتصال بین ستونها با تیرها یا بادبندهاست .

دراین نوشته ضعفهای اتصال در این نوع مقاطع برای ستونها زیر ذره بین قرار می گیرد و معایب جدی و غیرقابل اغماض آنها شناسانده می شود. بدیهی است چنانچه نتیجه این بررسی پذیرفته شود ، عدم کفایت سازه برای مقاومت دربرابرزلزله تائیدشده است .

اما این بحث دردونوع ساختمان قابل طرح است .

۱- ساختمان فلزی باسازه متشکل ازقاب خمشی

۲ - ساختمان فلزی باسازه متشکل ازقاب مفصلی (ساده) همراه بابادبند

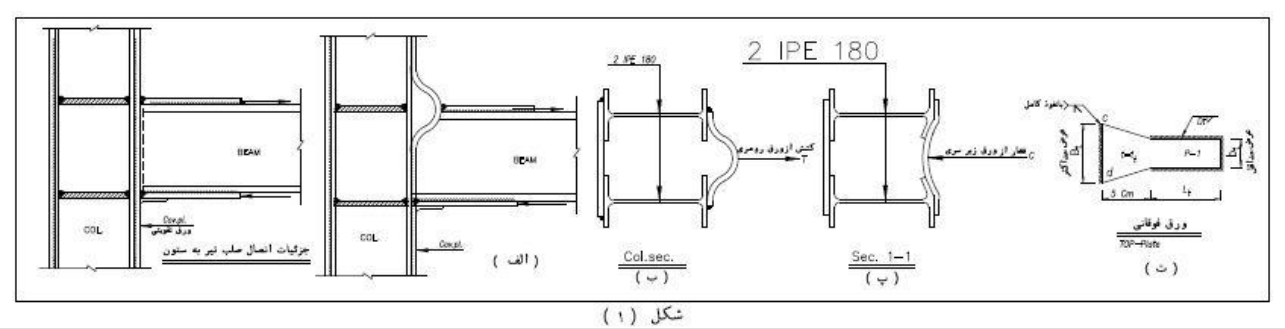
حالت ۱ : ساختمان فلزی باسازه متشکل ازقاب خمشی

۱ - الف) ورق گیردار درسمت بال تیرآهن ستون وورق تقویتی آن بدان متصل می شود .

مقدمه :

برای آنکه دریک اتصال گیردار انتقال لنگر درست صورت گیرد وکشش ایجادشده ناشی ازخمش درمحل اتصال تیربه ستون درنیمه راه عبور ، به پارگی حلقه ای اززنجیره اتصال منتهی نگردد . لازم است این اتصال دارای ورق پیوستگی باشد . اجزا مقطع ستون یکپارچه باشند . وباندک کشیدگی دورق تقویتی ستون جوش آن بریده نشود . سطح مقطع ورق گیردارکافی باشد . بعد وطول جوش گوشه این ورق به بال تیرکافی باشد . جوش نفوذکامل لبه ورق گیرداربه ستون دارای مقاومت لازم باشد . ورق تقویتی ستون باورق گیردار تناسب ضخامت داشته باشد . ضخامت جان ستون ارضاءکننده ضابطه چشمه اتصال مندرج درص ۱۳۳ از ویرایش دوم مبحث۱۰برای قاب خمشی مربوطه درترازطبقه باشد . جوش اتصال بال تیربه ورق گیردارضعیف نباشد .و . . . اگرنه این اتصال مصداق واقعی یک اتصال گیردار یا صلب نخواهد بود .

بعنوان مثال : فرض کنیم مقطع ستون ساختمانی 2IPE180+PL باشد. مطابق شکل ۱ ، لبه cd ی ورق گیردارابتدابه ورق تقویتی ستون اتصال می یابد . آنگاه ورق تقویتی فوق باجوش های دوطرف خودبه تیرآهن ستون اتصال می یابد . عیب بزرگ این اتصال که تیررابه ورق تقویتی ستون می دوزد آن است که هرگاه به کشش (ناشی ازخمش) بیفتد ، به راحتی جوش ورق تقویتی ازتیرآهن ، بازمی شود . وورق طبله می کند . وفرصت مقاومت ازاتصال گرفته میشود . یا . . .



شکل (۱)

به منظور توضیح منطقی تر این بحث ، اصطلاحی تحت عنوان " زنجیره اتصال خمشی " تعریف می شود .

زنجیره اتصال خمشی

اتصال خمشی شکل ۲ قراراست ، درمقابل کوپل نیروی نشان داده شده درشکل که ناشی از لنگرمنفی وارده براتصال است مقاومت نماید .درحقیقت این نیروها رامی توان به صورت سرانگشتی ظرفیت کششی بال تیرمتصله به اتصال دانست که به طریق جوش وورق به ستون منتقل می شود . برای این نیروها می توان پیکره آزادوزنجیره شکل ۲ – ب رامبنا ی کار قرارداد .

برای آنکه نیروی کششی (ناشی ازلنگرمنفی اتصال) متناظر بابال فوقانی تیرشکل۲ بتواند به ستون منتقل شود ، بایستی مسیری راطی کند ، مسیری شامل۷ ایستگاه . این مسیررامی توان زنجیره ای مشتمل بر۷حلقه به شرح زیر فرض نمود .

حلقه اول : بال تیر p.1

حلقه دوم : جوش بال به ورق روسری p.2

حلقه سوم : ورق روسری p.3

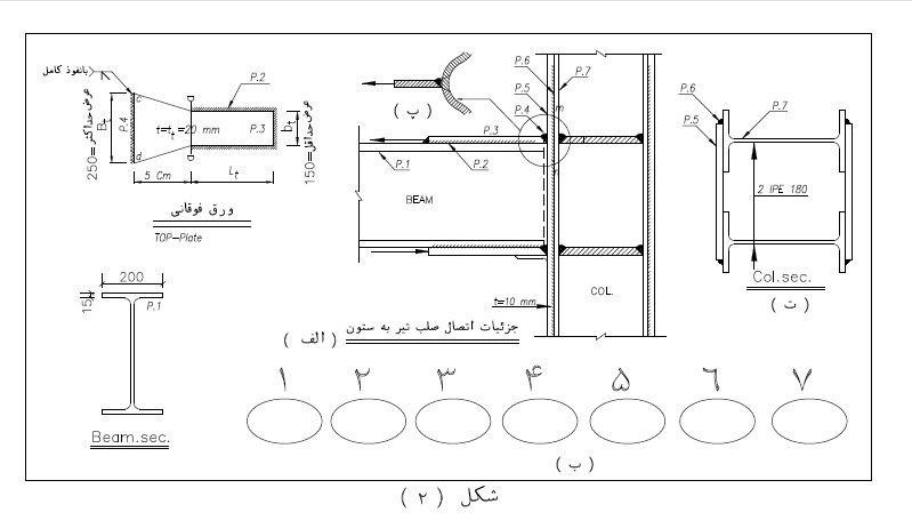
حلقه چهارم : جوش لبه ورق روسری به ستون p.4

حلقه پنجم : ورق تقویتی ستون p.5

حلقه ششم : جوش ورق تقویتی به تیرآهن ستون p.6

حلقه هفتم : تیرآهن ستون p.7

بدیهی است که ظرفیت وقدرت این زنجیره (که عملکردش مشابه طناب است .) توسط ضعیف ترین حلقه آن سنجیده می شود ، یعنی داریم :



شکل (۲)

حلقه اول : ظرفیت کششی بال تیر (p.1) بافرض مقطع فشرده

$R1=0.66Fy.(Af)=0.66x2.4x(20x1.5)=47.5\ t$ (فرض کنیم ابعادبال تیر برابراست با : $bf.tf=20x1.5\ Cm$)

حلقه دوم :مقاومت جوش(p.2) بال تیربه ورق روسری

$R2=0.668Dw.Lw=0.668\ x1x75=50.1\ t$ (فرض کنیم کل طول جوش بال تیربه ورق برابراست با : $Lw=75\ Cm$)

حلقه سوم :مقاومت کششی خود ورق روسری(p.3) (مقطع بحرانی aa درانتهای قسمت جوش شده ورق به بال تیرقراردارد .)

$R3=Ft.(Ap)=0.6x2.4x17x2=49.t$ (فرض کنیم ابعادورق روسری برابراست با : $bt.t=17x2\ Cm$)

حلقه چهارم :مقاومت جوش(p.4) لبه ور ق روسری به ستون (یا بهتربگوئیم به ورق تقویتی ستون)

$R4=1.1\ x25x2=55.t$ فرض کنیم عرض حداکثر ورق روسری برابراست با : $(Bt=25\ Cm)$ ، همچنین مقاومت جوش برابر۱۱۰۰Kg/Cm2 است .

حلقه پنجم : مقاومت برشی ورق تقویتی ستون (p.5)مطابق شکل۲- پ

$R5=2x25x1.5\ x0.4Fy=72.0\ t$

حلقه ششم : مقاومت جوش(p.6) ورق تقویتی ستون به تیرآهن ستون

($Lw=m=9.5\ Cm$ طبق شکل۲- الف)

$R6=2x0.668x0.7x9.5=8.9\ t$

در شکل۲–الف خط جوشnmوقرینه اش برای پاسخگویی نسبت به کشش F_tورق گیردار بسیج می شوند.

یادآوری : جوش اتصال (حلقه ۶) طرفین ورق تقویتی (حلقه ۵) به تیرآهن ستون (حلقه ۷) قرارنیست درطولی معادل ارتفاع یک طبقه از ستون برای کشش منتقله بسیج شود . وتنهاطول محدودی ازآن باعث انتقال نیرو از ورق تقویتی ستون به تیرآهن ستون میشود . این طول را شایدبه تقریب بتوان برابر $tp+5tc$ *درنظرگرفت .که درآن* tp *ضخامت ورق روسری و* tc *ضخا مت ورق تقویتی ستون می باشد . دراین مثال* $tp=2Cm,tc=1.5Cm$ *می باشد . و لذاداریم :*

$$m = 2+5x1.5=9.5\ Cm$$

همان گونه که دیده می شود دراین مثال خاص ، حلقه ها دارای ظرفیت یکسان نیستند و یکی ازحلقه ها (حلقه ۶) دارای ظرفیت اندکی به نسبت سایرحلقه هاست . ویکی ازحلقه ها (حلقه ۵) دارای ظرفیت زیادی به نسبت سایرحلقه هاست. بهمین دلیل این طرح مناسب نیست .

در یک طرح مناسب (فنی واقتصادی) ظرفیت تمام حلقه ها باید یکسان باشد .

(یادآورمی شود این نوع نگاه به مکانیزم باربری ستون باواقعیت رفتارآن انطباق کامل ندارد اما میتواند شمای مناسبی جهت نشان دادن نحوه انتقال تنش ازتیربه ستون باشد .)

دراین مثال دیده می شود که برای افزایش ظرفیت باربری حلقه ششم باید فکری کرد. که دراین موردبایستی به روش هائی مشابه ردیف ۲ ازقسمت '' سایرنکات'' عمل شود . درغیراین صورت ، اتفاقاتی مشابه شکل ۱- ب امکان وقوع دارند .

۱- ب) ورق گیردار درسمت جان ستون آن بدان متصل می شود .

این شکل ازاتصال که درآن ورق ضخیم روسری (باضخامت متعارف ۱۰-۲۵ میلی متر) مطابق شکل۷به جان نازک تیرآهن ستون(باضخا مت متعارف۵-۶ میلی متر) اتصال می یابد ، به هیچ وجه نمی تواند به مثابه یک اتصال گیردارموردقبول باشد .

ولذاجهت ایجادتناسب درضخامت ورق ها ی متصله ، به روشهای مندرج دربند۲و۳ قسمت "سایرنکات" عمل می شود .

حالت ۲ : ساختمان فلزی باسازه متشکل ازقاب مفصلی (ساده) همراه بابادبند

دراین نوع ساختمانها نیزمشابه مشکلات فوق درمحل اتصال قاب به بادبندها قابل مشاهده است .

بادبندبه یکی از دوشکل زیربه ستون اتصال می یابد .

۲ – الف) اتصال بادبند ازسمت بال تیرآهن ستون وورق های تقویتی آن به ستون

دراین حال ، دراثرکشش عضوبادبندی ، ورق تقویتی ستون مطابق شکل ۱۲-الف دچارکشیدگی وخمش می شود ودراثرفشارعضوبادبندی ، ورق تقویتی ستون دچارپدیده فشردگی وخمش مطابق شکل۱۲- ب می شود این موضوع ایجاب می کند که درداخل مقطع ستون ، تعبیه سخت کننده (ورق پیوستگی)مطابق شکل ۴ ضرورت یابد، تابتواند برکشش وارده غلبه نماید . کاری که دراجراهیچگاه شاهدش نیستیم. (جوش ورق بادبندبه ستون تنها آنچنان که قدیم عمل می شد ، درمعرض برش نیست . وتحت تاثیر خمش وکشش وفشار نیزمی باشد . (برای ملاحظه نحوه محاسبه کشش وفشاروارده برورق تقویتی ستون به صفحه ۴۲۴ کتاب طراحی ساختمانهای فولادی چاپ اول آقایان ثنائی ورضائیان، همچنین به صفحه ۶۷۹ کتاب طراحی سازه های فولادی جلدچهارم چاپ اول تالیف آقایان ازهری ومیرقادری مراجعه شود .)

۲- ب) اتصال بادبند ازسمت جان به ستون

که دراین صورت جان تیرآهن ستون عموماًدارای آنچنان ضخامتی نیست که ورق اتصال بادبند باابعادمعقولی بتواند باآن اتصال مناسب وقابل دفاعی بسازد. (شکل۱۲)

مثالی می زنیم .

اگرمقطع ستون ساختمانی 2IPE180+PL باشد. وورق ۱۵mm گوشه بادبند بخواهدبه جانmm ۵/۳تیرآهن ستون جوش شود دراین صورت هیچ تضمینی وجودنداردکه بادبندبتواند اتصال درستی باستون برقرارنماید . زیرابه دلیل کم بودن ضخامت ورق جان ستون نمی توان ظرفیت کششی منتقله ازبادبند به ورق گوشه راباجوشی مناسب و قابل قبول به ستون منتقل نمود . زیرابرای اتصال ورق گوشه بادبند (Gusset pl.) که ۱۵mmضخامت دارد نیازبه بعدجوش حداقل ۶mm طبق جدول ۱۰-۱-۱۰-۱ ازویرایش دوم مبحث۱۰ صفحه۱۰۶است ، ازطرفی حداکثربعدجوش روی ورق ۵/۳mm طبق همان ضوابط برابر ۵/۳mm است .امااین حداقل باآن حداکثرنمی خواند .ولذا جوش با بعد۶mm رانمی توان روی ورق ۵/۳mm جان تیرآهنIPE180 ستون انجام داد . زیرادراین صورت بعدجوش ازضخامت ورق بیشتر خواهدشد .همچنین اگراستفاده ازبعدجوشmm ۵ مجازبود ، نیازبه طول جوش زیادی می بود . واین موضوع باعث میشد که طول ورق گوشه بادبند زیادشود تاامکان تامین طول جوش فراهم گردد .

لذا بایستی به روش های مندرج درردیف ۱و۲و۳ از قسمت "سایرنکات " ، سعی دررفع عیب آن شود .

سایرنکات :

۱– همان طور که در بحث زنجیره اتصال دیده می شود ظرفیت حلقه ۶ درمقایسه باسایر حلقه ها کم است .

برای آنکه ظرفیت این حلقه زیاد شود لازم است ، مطابق بندهای زیر عمل شود .

الف- روی ورق های تقویتی ستون سوراخ یاشکاف هائی پیش بینی شود تا در اثر کشیده شدن ورق تقویتی ستون، تنها خطوط جوش گوشه درطرفین ورق تقویتی به تیرآهن ستون واکنش نشان ندهند ، بلکه جوشهای انگشتانه یا کام وزبانه پیش بینی شده در سوراخها یا شکاف ها نیز برای نگهداشتن ورق بسیج شوند.(شکل۳)

ب- در داخل ستون مطابق شکل ۴ ورق پیوستگی P.2جهت پیشگیری از کشیده شدن ورق تقویتی ستون P.1 پیش بینی شود.

پ - ورق های تقویتی ستون ها ازداخل مطابق شکل ۵جوش شوند .

برای ورق های تقویتی سراسری باجوش دادن نقاط b,dازشکل ۵ دیگردسترسی به نقاط a,b برای جوشکاری وجودندارد . اما برای حالتیکه ستون باتیرآهن وتسمه ساخته می شود ، جوشکاری نقاط a,b هم البته بازحمت امکان پذیر است .

برخی معتقدند، اگر ورق تقویتی درسمت همسایه مطابق شکل ۵ جوش نشود ، ایرادی ندارد که شاید دیددرستی نباشد .

ت– عرض لبه cd ازورق اتصال گیردار مطابق شکل ۶ آنگونه اختیارشود که فقط به ورق تقویتی ستون جوش نشود بلکه به تیرآهن ستون نیز اتصال جوشی داشته باشد . تابخشی ازکشش منتقله ازورق گیردار بدون واسطه به تیرآهن ستون منتقل گردد .وازتمرکز تنش روی ورق گیردارپیشگیری شود .

۲- جهت جبران کمبود ضخامت ورق جان تیرآهن ستون ، گاه دیده می شود ازورق تقویتی جان مطابق شکل ۸–الف استفاده می شود تا بجای اتصال ورق گوشه بادبند به جان نازک ، به ورق تقویتی جان ستون جوش شود . امااین ورق دراثرکشش بادبندی می تواند به شکل۸– بکشیدگی شود .

برای پیشگیری ازوقوع چنین پدیده ای به چند نکته بایستی دقت شود . اولا پهنای ورق بیشتر اختیارشود تاجوش ورق تقویتی بجای ورق نازک جان به خط اتصال بال وجان که دارای ضخامت بیشتری به دلیل گرده است ، انجام شود . جهت اتصال مناسب تر لبه های ورق درمحل گرده ها ، نیزمی تواند کونیک شود .ثانیا باایجادتعدادی سوراخ یا شکاف مطابق شکل ۳-الف در ورق تقویتی جان وجوش انگشتانه ، یکپارچگی جان وورق تقویتی مربوطه را بیشترنمود . بهتراست ضخامت ورق تقویتی باضخامت ورق گوشه بادبند تناسب داشته باشد زیرااگر ضخامت فوق کم اختیارشود بعدجوش ورق گوشه بادبندمتناسبا کم درخواهدآمد واین باعث افزایش طول جوش متصله و در نتیجه افزایش طول ورق گوشه بادبند خواهدشد .

۳– دراتصال گیردارتیر به جان ستون ، جهت پرهیز از جوش ورق گیرداری به جان نازک تیرآهن ستون به روش مندرج در شکل۹ نیز عمل میشود . دراین روش :

الف) ضخامت ورقP.2 بایستی مساوی یا بیش ازضخامت ورق روسری P.1 باشد .اماچون بال تیرآهن که ورق P.2 به آن جوش می شود عموما ضخامت چندانی ندارد ، لذا بُعدجوش اتصال ورق P.2 به بال کم خواهد شد . و طبیعتا طول ورق P.2جهت تامین طول جوش باید زیاد باشد تابتواند کشش معادل ظرفیت ورق P.1 رابه تیرآهن ستون منتقل نماید .

ب - وجود ورق واسط P.2 باعث می شود خروج از مرکزیت محل اثر باربه ستون بیشترگردد . که امرمطلوبی نیست .

پ - کیفیت خودورق وجوش آن بر سرنوشت اتصال تاثیرگذاراست . این موضوع آسیب پذیری وحساس بودن این طرح ازاتصال رانشان می دهد .

ت - ورق P.2 میتواند مطابق شکل ۱۰ نیز انتخاب شود .

ث–درپشت ورق P.2مطابق شکل ۱۱نیازبه ورق P.3 دارد . (رجوع شود به صفحات ۲۵۲و۲۵۶ کتاب اتصالات درسازه های فولادی تالیف آقایان طاحونی ، زندی) ، جوشکاری ورقP.3 وکیفیت جوش آن هم خود معضلی است .

ج - اضافه شدن ورقهای P.2,P.3و احتمالا ورق های پیوستگیP.4,P.5 مطابق شکل ۱۱درهراتصال ، باتوجه به اینکه درهرگره اتصال تیربه ستون میانی ۲عدد ازاتصال تیربه جان ستون وجوددارد . درکل ساختمان ، هم به غیراقتصادی شدن طرح منجر می شود وهم باعث صعوبت اجرا میگردد .

۴ – چنانچه یک ساختمان فلزی باستون های متشکل ازتیرآهن وورق تقویتی ساخته شود بنحوی که هیچیک ازایرادات یادشده رانداشته

باشد ، اسکلت این ساختمان آنچنان غیراقتصادی یااجرای آن آنقدرسخت خواهدشد که هرعقل سلیمی ترجیح میدهد ازستون ساخته شده باورق ازمقاطع H یا قوطی استفاده شود . زیرا دیگرمزیتی برای استفاده ازتیرآهن وورق درساخت ستون دیده نمی شود .

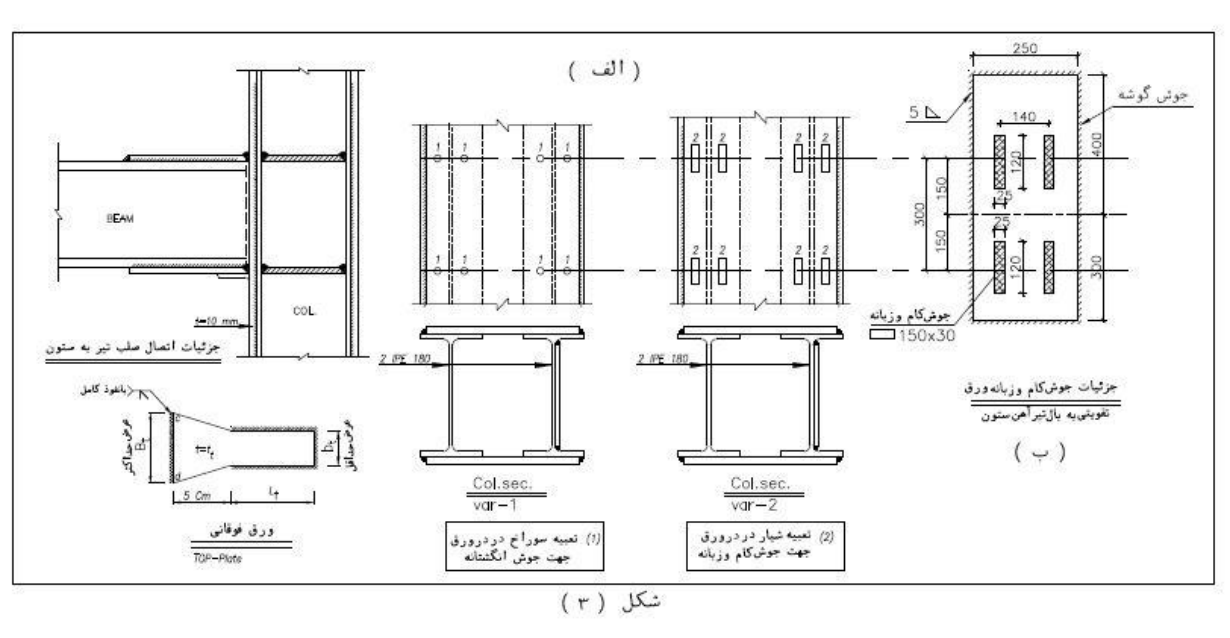
۵ – بعضی پیمانکاران ا سکلت ، استفاده ازتیرآهن وورق جهت ساخت ستون رابیشتر می پسندند وادعا می کنند که این نوع ستون ها ارزان تر ودارای سهولت اجرائی بیشترند وحتی باکیفیت ترند .واینگونه استدلال می کنند که تیرآهن به صاف وشاغولی درآمدن ستون و ورق تقویتی آن کمک می کند ، درحالیکه اگرستون صرفا با ورق ساخته شود ، دچار اعوجاج وپیچیدگی می شود ، و ورقهای تقویتی آن تاب برمی دارند . اما بایستی گفت این مقایسه منطقی نیست زیرا مقایسه ای است بین یک ستون غیراستاندارد که ملاحظات فنی یادشده دراین نوشتاررارعایت نکرده است بایک ستون ساخته شده باتیرورق که درطرح وساخت استانداردهای فنی وآئین نامه ای رعایت شده است .

درخاتمه نیازمندیادآوری است که درساختن یک ستون بدون ایراد باورق (وبدون استفاده ازتیرآهن) وجودپدیده هائی چون اعوجاج وپیچیدگی یاتاب برداشتن ورق که ناشی ازکم تجربگی یانداشتن لوازم وتجهیزات کافی می باشد به هیچ وجه امرپذیرفته ای نیست .

اما سئوال آخر :

باتوضیحات ارائه شده والزامات مطروحه بنظرشما چنددرصدازساختمانهای ساخته شده باستونهای متشکل ازتیرآهن وورق تقویتی ، مقاوم دربرابرزلزله هستند ؟ ممکن است جواب این باشد ، یک درهزار . تصدیق می شود که این عددقابل رندشدن به صفراست .

واینگونه است که به سختی می توان پاسخ به پرسش مطرح شده درعنوان مقاله را مثبت ارزیابی کرد .



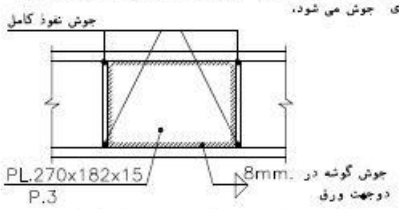
شکل (۳)

طریقه ساخت ستونها

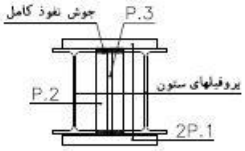
۱ - ابتدا ورق سراسری PL.250x15mm (یا ورق تکیه گاهی PL.700x200x10mm) توسط P.2 موازی یکدیگر قرار میگیرند.
P.2 توسط جوش نفوذ کامل به دو ورق سرتاسری متصل است.

(PL.900x250x15) P.1 یاورق تکیه گاهی

۲- سپس P.3(PL.270x182x15) ما بین دو ورق سراسری ودو ورق P.2 قرارداده می شودو چهار طرف این ورق توسط جوش‌گوشه 8mm. به دو ورق P.2 و دو ورق سراسری جوش می شود.

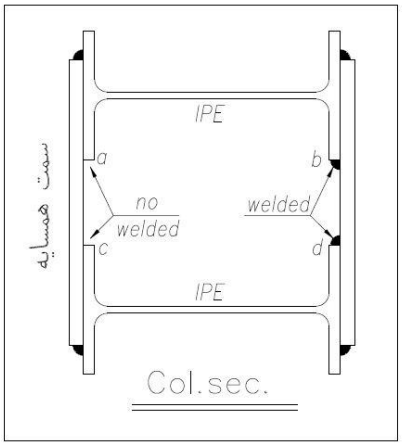


۳ - در انتها از دوطرف پروفیلهای ستون (2IPE180) در جای خود قرار میگیرد.
و توسط جوش گوشه 8mm. به ورقهای سراسری یا ورقهای تکیه گاهی جوش می شوند.

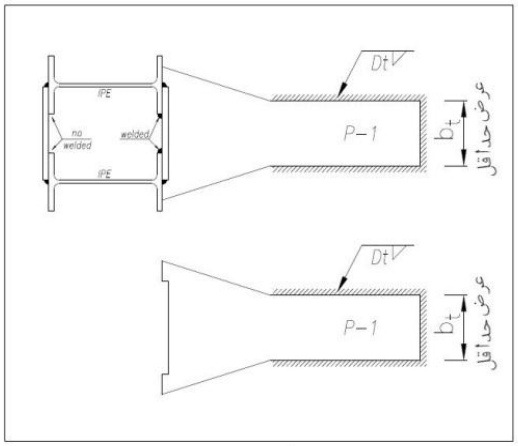


ورقهای تقویتی ستون که روی بال ستون یا جان اجرا می گردند بایستی 60 Cm بالاتر از BOTT OF BEAM قطع شوند.

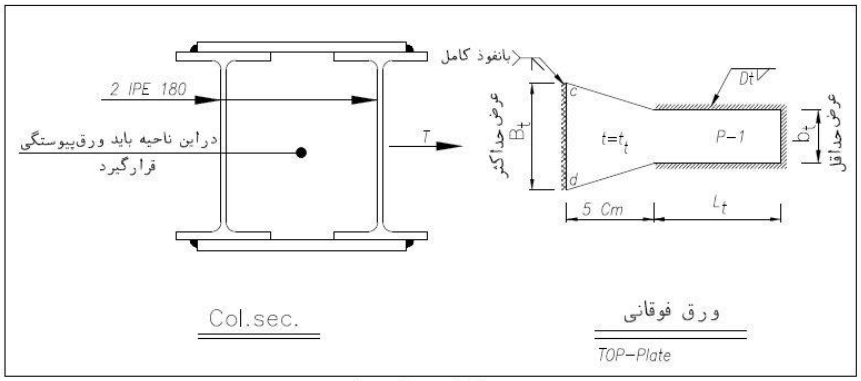
شکل (۴)



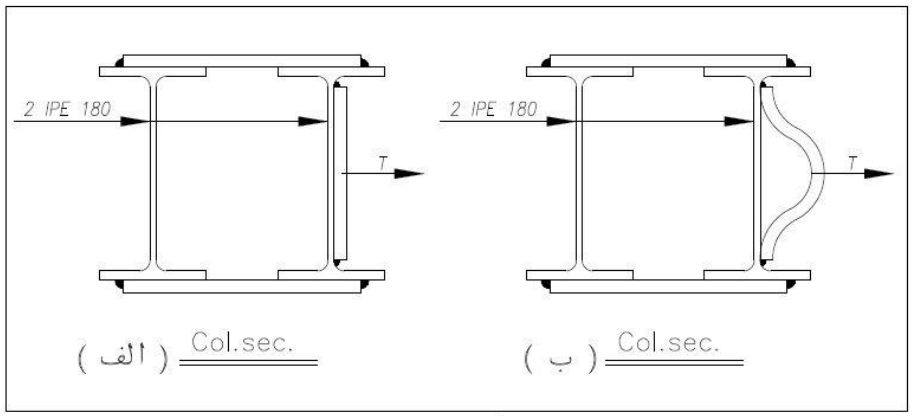
شکل (۵)



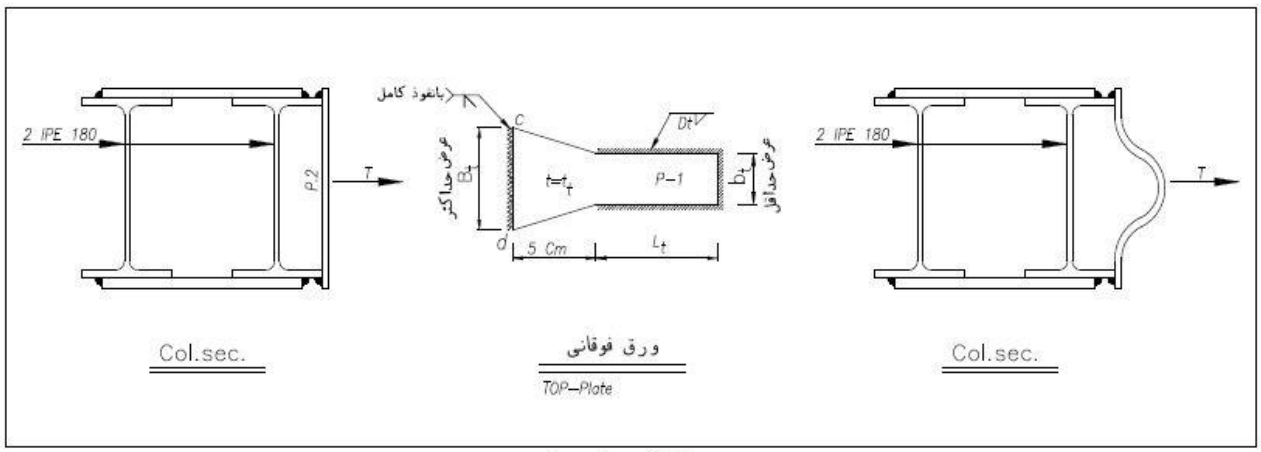
شکل (٦)



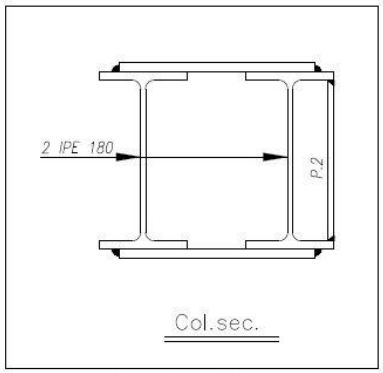
شکل (۷)



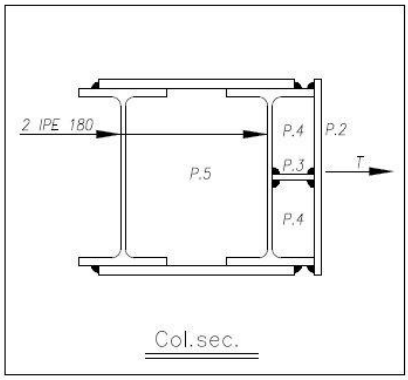
شکل (۸)



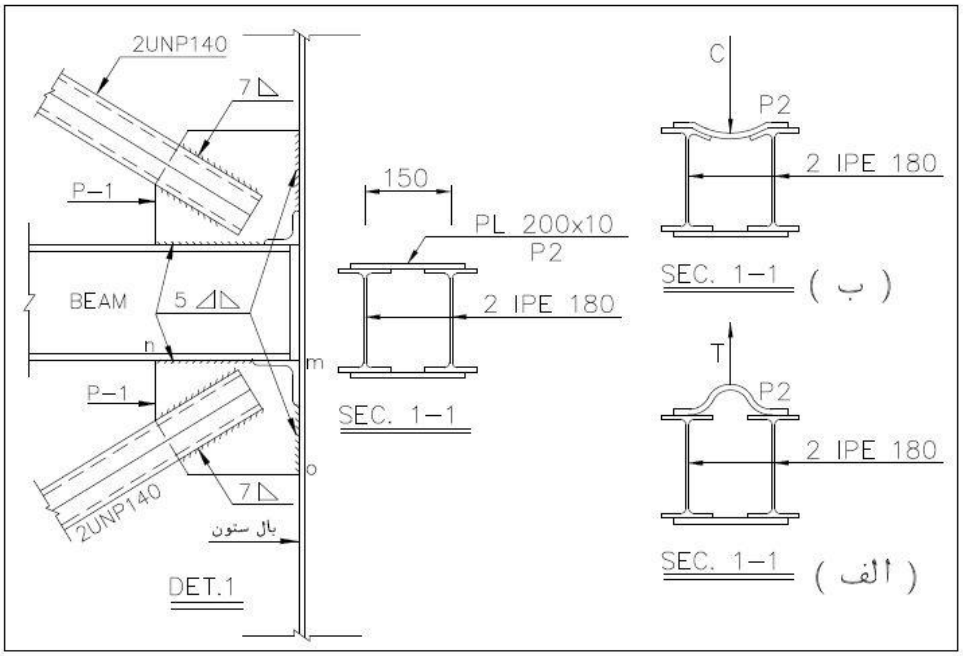
شکل (۹)



شکل (۱۰)



شکل (۱۱)



شکل (۱۲)