بررسی اتصالات و جوشکاری سازه های مقاوم به زلزله در ایران و مقایسه ی آن ها با استانداردهای جهانی

چکیده

بعد از زلزله ی ۱۹۹۶ نورث ریج معلوم شد که عامل ریزش بسیاری از ساختمان ها و سازه های فلزی شکست در اتصالات جوشی سازه بوده است. مطالعات گسترده ای در رابطه با طراحی اتصالات جدید و افزایش کیفیت جوش صورت گرفت و به صورت استانداردهای لازم الاجرا ارائه گردید. در این پژوهش استانداردهای AISC، FEMA و AWS در مورد جوشکاری سازه های فلزی در آمریکا با مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان های فولادی ایران) و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران مقایسه شده است. همچنین نقشه های سازه ای تعدادی از ساختمان های اسکلت فلزی مورد بررسی قرار گرفته است و با عکس برداری از سازه های فولادی در حال ساخت، شیوه ی جوشکاری و نوع اتصالات به کار رفته در آن ها با دیگر استانداردهای جهانی مقایسه شده است. این پژوهش نشان داد جوش ها و اتصالاتی که به عنوان جوش های حساس در سازه های مقاوم به زلزله شناخته می شوند، اصولاً در نقشه های سازه ای مطرح نمی شوند و نوع طراحی جوش های به کار رفته در آن ها نیز کاملاً متفاوت با طراحی سایر استانداردهای جهانی است.

کلمات کلیدی: سازه های مقاوم به زلزله، استانداردهای جوشکاری، طراحی اتصالات،

مقدمه

سازه، بخشی از حجم است که بارهای وارده را، تحمل و به صورت مطمئن، به محیط اطـراف انتقال می دهد، به عبارت دیگر، سازه حافـظ فرم خارجی اجسام در برابر بارهای وارده است. از سوارکردن پروفیل‌ها و تیرهای فلزی مختلف بر روی یکدیگر، سازه‌ها ایجاد می‌شوند. در این میان جوشکاری نقش عمده ای در میان روش های اتصال دهی پروفایل ها و تیرها دارد.

مطالعه های صورت گرفته روی سازه های فروریخته در جریان زلزله ی نورث ریج کالیفرنیا تاثیر طراحی جوش و اتصالات را در مقاومت به زلزله ی یک سازه ی فولادی نمایان ساخت. سیستم SMF [1] (قاب های خمشی ویژه) در طراحی اغلب سازه های نورث ریج به کار رفته بود. این سیستم در سازه هایی با مقاومت بالا در برابر زلزله مورد استفاده قرار می گیرد. با وجود چنین سیستمی بسیاری از اتصالات تیر به ستون جدا شده بودند [۱]، [۲].

بعد از این حادثه انجمن هایی مانند انجمن جوشکاری آمریکا (AWS[2])، موسسه سازه های فولادی آمریکا (AISC[3]) و سازمان فدرال مدیریت بحران آمریکا (FEMA[4]) که موسسه های تدوین استانداردها و کدهای صنعتی نیز می باشند، درصدد برآمدند تا مقررات جدیدی در رابطه با طراحی جوش و اتصالات و کنترل کیفیت جوش اعمال کنند.

در ایران دو استاندارد اصلی در زمینه ی طراحی و اجرای سازه های فولادی مقاوم به زلزله، مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان های فولادی ایران) و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران می باشد. استاندارد «طراحی ساختمان ها در برابر زلزله- آیین کار» نخستین بار در سال ۱۳۶۷ تهیه شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ی ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد ایران منتشر می شود[۳]، [۴] .

در این پژوهش که با همکاری مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران و شرکت آریا آزمون صنعت انجام گرفته، سعی شده است تا جنبه های مختلف بحث جوشکاری سازه در استانداردهای ایران و آمریکا مورد بررسی قرار گیرد و شیوه ی طراحی اتصالات و جوش در سازه های مقاوم به زلزله واکاوی شود.

روش تحقیق

استاندارد های مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان، استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ی ایران، استاندارد AWS D1.8، استاندارد FEMA 350-353-267 و استاندارد AISC در مورد سازه های مقاوم به زلزله. بعد از استخراج نکات مربوط به جوشکاری سازه های مقاوم به زلزله از استانداردهای مذکور نتایج با تعدادی از سازه های در دست احداث در سطح شهر تهران مقایسه شد. این سازه ها عبارت بودند از سازه ی برج ۳۷

---

[1] . Special Moment Frames
[2] . American Welding Society
[3] . American Institute of Steel Construction
[4] . Federal Emergency Management Agency

طبقه ی ایرتویا، سازه ی مسجد کوی دانشگاه تهران، سازه ی دانشکده ی برق دانشکده فنی دانشگاه تهران و سازه ای در خیابان امیر آباد.

نتایج و بحث

مقایسه ی جوشکاری سازه ها در استانداردهای ۲۸۰۰ زلزله ایران و مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان ایران با استانداردهای AWS، FEMA و AISC در مورد زلزله

استاندارد شناخته شده ی AWS در مورد جوشکاری سازه AWS D1.1 می باشد که در ایران تحت عنوان آیین نامه ی جوشکاری سازه های فولادی ترجمه شده است. در بخش C یعنی بخش بارهای تناوبی به صراحت تاکید شده است که دستورالعمل های استاندارد AWS D1.1 در مورد خستگی کم چرخه که مستلزم کرنش های پلاستیک می باشد، محدودیت دارد. انجمن جوشکاری آمریکا برای جوشکاری سازه های مقاوم به زلزله استاندارد دیگری تحت عنوان AWS D1.8 دارد. این استاندارد در ایران کاملاً ناشناخته است در حالی که مرجع اصلی برای جوشکاری سازه های مقاوم به زلزله می باشد. این استاندارد که در ۹۵ صفحه تهیه شده است دارای ۷ فصل و ۸ ضمیمه می باشد. با توجه به اینکه سازه های مقاوم به زلزله از نوع قاب های خمشی ویژه هستند و باید حین زلزله قسمتی از تیر تسلیم شده و ضربه ی زلزله را مستهلک کند، مقررات سخت گیرانه ای در مورد کنترل کیفیت جوش و به دست آوردن جوشی با چقرمگی بالا که حین زلزله نشکند، در این استاندارد ارائه شده است. از جمله قوانینی در مورد طراحی ورق های پیوستگی، جوش های ناحیه ی k، مستندسازی دقیق و تضمین کیفیت جوش، سوراخ های دسترسی جوشکاری، نواحی ای که باید لقمه و پشت بند جوش برداشته شود، تایید صلاحیت جوشکاران، دماهای بین پاسی، جوش های حساس و ... بیان شده است. همچنین در ضمیمه های این استاندارد مطالبی در مورد آزمایش تاثیر حرارت ورودی بر روی جوش های حساس، آزمایش ضربه بر روی جوش هایی مرکب از چندین فلز پر کننده، آزمایش التراسونیک و معیار پذیرش عیوب، آزمایش ذرات مغناطیسی و معیار پذیرش عیوب و چگونگی اندازه گیری عیوب به وسیله ی آزمایش التراسونیک بیان شده است. تفاوت اصلی استاندارد AWS D1.8 با استاندارد AWS D1.8 در پرداختن بیشتر به کیفیت و چقرمگی جوش و بعضی نکات خاص در طراحی اتصالات تاثیرگذار بر روی مقاومت اتصال به بارهای زلزله، می باشد [۵].

AISC موسسه ی دیگری است که در مورد طراحی و ساخت سازه های مقاوم به زلزله دارای استاندارد است. عنوان این استاندارد مقررات زلزله برای ساختمان های با سازه ی فولادی می باشد. اگرچه این استاندارد بیشتر با دید طراحی اعضای سازه تدوین شده است ولی دارای مطالب بسیاری در مورد طراحی اتصالات، جوشکاری و کنترل کیفیت جوش می باشد. از نکات بارز در این استاندارد پرداختن به بحث مواد مورد استفاده در ساخت سازه، کنترل کیفیت آن ها و معیارهای پذیرش در یک فصل جداگانه است. اهمیت این بحث در تاثیر گذاری مواد مصرفی و فلزات پایه در استحکام و چقرمگی جوش می باشد. در این استاندارد جوش های حساس که در هنگام زلزله تحت کرنش پلاستیک واقع می شوند تعیین شده اند. این جوش ها عبارتند از جوش شیاری با نفوذ کامل اتصال ستون به صفحه ستون، جوش شیاری با نفوذ کامل وصله های ستون و جوش با نفوذ کامل اتصال بال تیر به ستون. برای این

جوش ها مقدار چقرمگی، نوع بازرسی ها و سکونس جوشکاری تعیین شده است. در این استاندارد به محتویات نقشه های طراحی سازه، نقشه های کارگاهی و نقشه های نصب اشاره شده است. این نقشه ها باید حداقل دارای مواردی مانند جاهایی که باید لقمه ی جوش و پشت بند باید برداشته شود، شکل سوراخ دسترسی جوشکاری و NDT های لازم برای نواحی مختلف اتصال باشند [۶].

شاید بتوان گفت مفصل ترین دستورالعمل ها در رابطه با طراحی اتصالات، جوشکاری و کنترل کیفیت جوش در استاندارد های FEMA آمده است. این سازمان در سه استاندارد اصلی FEMA 350، FEMA 353 و FEMA 267 طراحی، جوشکاری و کنترل کیفیت جوش را در سازه های با قاب خمشی ویژه را به بحث گذاشته است. در FEMA 350 بیشتر مسائل مربوط به طراحی اجزا و محاسبات مربوط به تنش های زلزله آمده است ولی در کنار آن اتصال های مورد استفاده در سازه های مقاوم به زلزله، نوع جوش های مورد استفاده در این سازه ها و شیوه ی بازرسی جوش ها نیز به صورت خلاصه ارائه شده اند. استاندارد FEMA 353 تحت عنوان مقررات پیشنهادی و راهنمای تضمین کیفیت در ساختمان های با قاب های خمشی فولادی مقاوم به زلزله به طور مفصل راجع به مواد اولیه و الزامات مربوطه، مقررات جوشکاری شامل تایید صلاحیت جوشکاران، دماهای بین پاسی و پس گرم، پشت بندهای ذوب نشدنی، نگهداری الکترودها و ...، جزئیات اتصالات جوشی، ساخت سازه، کنترل کیفیت و تضمین کیفیت عملیات ساخت توضیح داده شده است. بخش جزئیات اتصالات جوشی شامل لقمه های جوش، پشت بندها، نیمرخ های ساخته شده از ورق ها، پنجه ی جوش، سوراخ های دسترسی جوشکاری، سکونس جوشکاری و انواع روش های اتصال تیر به ستون می باشد. در بخش روش های اتصال تیر به ستون، اتصالات، نوع جوش ها و شیوه ی بازرسی از آن ها به صورت مفصل و با جزئیات کامل توضیح داده شده است. در بخش تضمین کیفیت این استاندارد، چک لیست هایی برای بازرسی سازه، ارزیابی سازنده، ارزیابی نصب کننده، ارزیابی آژانس تضمین کیفیت، ارزیابی مواد مصرفی و بازرسی جوش آورده شده است. استاندارد FEMA 267 تقریباً خلاصه ای از دو استاندارد قبلی و به اضافه ی مطالبی در مورد مقاوم سازی ساختمان های موجود برای مقاومت در برابر زلزله و بازرسی و تعمیر سازه هایی که در معرض زلزله بوده اند می باشد [۷]، [۸]، [۹].

در مقابل مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ی ایران مراجع اصلی برای ساخت سازه های مقاوم به زلزله در ایران به شمار می روند. مبحث ۱۰ از مقررات ملی ساختمان تقریباً ترجمه ای از استاندارد AISC در مورد ساخت سازه های معمولی است؛ با این تفاوت که بسیاری از نکات کلیدی در رابطه با مواد مورد استفاده و طراحی جوش در آن حذف شده است. از آن جا که افرادی که در تدوین این استانداردها نقش داشته اند بیشتر از منظر مهندسی عمران وسازه به موضوع نگریسته اند، اهمیت مواد مورد استفاده، نوع جوش ها و کنترل کیفی جوش یا به طور کلی نادیده گرفته شده است یا این که توضیحات اندک و مبهمی در مورد آن ها بیان شده است. ولی اکنون می دانیم باید کنترل کیفیت و تضمین کیفیت دقیقی صورت گیرد تا مواد با کیفیت پایین وارد پروسه ی ساخت نشوند. استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ی ایران تنها به شیوه ی محاسبات نیروهای زلزله و طراحی اعضا بر اساس آن پرداخته شده است. ولی مطمئناً اتصالات، جوش ها و کنترل کیفیت یک سازه ی مقاوم به زلزله با یک سازه ی

معمولی تفاوت های بسیاری دارد. عدم پیشنهاد طراحی اتصالات و جوش های مقاوم به زلزله همچنان که در بخش بعدی اشاره خواهد شد باعث اعمال سلیقه های شخصی در این زمینه شده است؛ به طوری که در ساختمان های مختلف که کاربرد مقاوم به زلزله دارند طراحی اتصالات با همدیگر متفاوت و در بسیاری موارد اشتباه است. همچنین از آن جا که برنامه‌ای برای کنترل کیفیت اتصالات و جوش‌ها پیشنهاد نشده است، طبق یک قاعده‌ی کلی تنها جوش‌های شیاری با نفوذ کامل توسط روش التراسونیک مورد بازرسی قرار می گیرند. در حالی که در استانداردهای مورد اشاره در بالا برای کلیه‌ی جوش‌ها روش‌های مناسب بازرسی و معیارهای پذیرش بیان شده است.

بررسی اتصالات در چند سازه ی مقاوم به زلزله در تهران و مقایسه ی آن ها با استانداردها

همان طور که در قسمت قبلی اشاره شد، در سازه های مقاوم به زلزله چند نوع جوش جزء جوش های حساس به شمار می آیند که عبارتند از جوش های اتصال ستون به صفحه ستون، وصله ی ستون ها و اتصال بال تیر به ستون. در استانداردهای جهانی برای اتصال ستون به صفحه ستون جوش نفوذی کامل با چقرمگی بالا با توجه به حداقل دمای محیط تعیین شده است. اما از آن جا که در استانداردهای ایرانی این مطلب بیان نشده است در اکثر سازه ها از جوش گوشه برای این اتصال استفاده می شود. نمونه هایی از این جوش ها را می توان در ساختمان ۳۷ طبقه ی برج ایرتویا، مسجد کوی دانشگاه تهران دید (شکل (۱)). از جمله دیگر جوش های حساس جوش زیرسری به ستون می باشد که باید نوع جوش شیاری با نفوذ کامل باشد. در ساختمان برج ایرتویا از جوش گوشه برای برقراری این اتصال استفاده شده است و الکترود پیشنهادی برای آن الکترود E 6013 که یک الکترود روتیلی و با چقرمگی پایین است، می باشد (شکل (۲)). از جمله نواحی ای از تیر که نباید جوش داده شود ناحیه ی k است. ناحیه ی k ناحیه ای نزدیک تقاطع بال با جان تیر است که چقرمگی اش نسبتاً پایین است و جوشکاری آن می تواند موجب ایجاد ترک در تیر شود که هنگام زلزله رشد کرده و می تواند به ستون آسیب های جدی وارد کند. با توجه به اینکه در استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران مطلبی در مورد ساخت سازه وجود ندارد تقریباً در همه ی سازه های مورد بررسی این ناحیه جوشکاری شده بود (شکل(۳)). از جمله نواحی ای که به اتصال آن خوب توجه نمی شود اتصال تک ورق برشی به ستون و اتصال جان تیر به ستون می باشد. مطابق استاندارد جان تیر باید به وسیله ی جوش شیاری با نفوذ نسبی به ستون اتصال داده شود و علاوه بر آن باید جان تیر به وسیله ی یک تک ورق و جوش های گوش های مربوطه به ستون متصل گردد. در کلیه ی سازه های مورد بررسی در این پژوهش و ازجمله سازه ی دانشکده برق دانشکده فنی دانشگاه تهران تنها از یک ورقی که آن هم جوش هایش ناقص بود برای اتصال استفاده شده بود (شکل (۴)). همچنین برای جوش های این قسمت از اتصال تیر به ستون هیچ نوع آزمایش غیر مخربی در نظر گرفته نشده بود، در حالی که باید آزمایش های التراسونیک و ذرات مغناطیسی روی آن انجام شود.

نتیجه گیری

با توجه به مقایسه ی استانداردهای معتبر خارجی در مورد مقاوم سازی سازه ها در مقابل زلزله با استانداردهای ایرانی می توان نتیجه گرفت که عملاً بحث طراحی اتصالات، جوش و کنترل کیفیت جوش در استاندارد ۲۸۰۰

زلزله کنار گذاشته شده و در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان به صورت خیلی ابتدایی به آن پرداخته شده است. از طرفی با توجه به این که مرجع جوشکاری ساختمان در ایران آیین نامه جوشکاری سازه های فولادی می باشد که ترجمه ای از AWS D1.1 می باشد و حوزه ی کاربرد این استاندارد خستگی های کم چرخه که در آن کرنش پلاستیک روی می دهد، نیست؛ می توان گفت مرجعی الزام آور برای طراحی جوش و اتصالات برای مقاومت در برابر زلزله وجود ندارد.

عدم وجود یک مرجع مشخص برای طراحی در برابر زلزله باعث شده است که طراحی اتصالات به صورت سلیقه ای صورت گیرد و کنترل کیفیت بایسته ای روی جوش های این نوع سازه ها انجام نشود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از همکاری های مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران و شرکت آریا آزمون صنعت به خاط همکاری های راه گشایشان کمال تشکر را داشته باشند.

مراجع

[1]. Duane K. Miller “Lessons learned from the Northridge earthquake” Engineering Structures, 1998, Vol. 20, Nos 4-6, pp. 249-260.

[2]. C.G. Matos & R.H. Dodds Jr. “Probabilistic modeling of weld fracture in steel frame connections part I: quasi-static loading” Engineering Structures, 2001, 23, 1011-1030.

[۳]. مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث دهم، "مقررات طرح و اجرای ساختمان های فولادی"، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ۱۳۸۷

[۴]. استاندارد ملی ایران ۲۸۰۰، تجدید نظر سوم، "طراحی ساختمان ها در برابر زلزله- آیین کار"، موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، کرج، ۱۳۸۴

[5]. AWS D1.8/D1.8M 1st Edition, “Structural Welding Code Seismic Supplement”, 2005, American Welding Society, Miami.

[6]. AISC standards, “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”, 2005, American Institute of Steel Construction, Chicago.

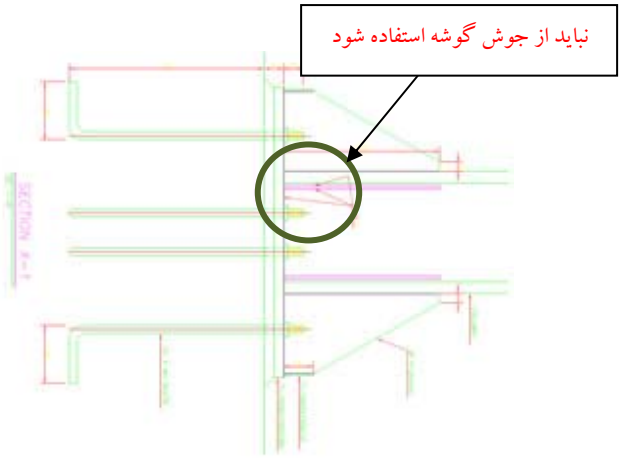
[7]. FEMA 350, “Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings”, 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington.

[8]. FEMA 353, “Recommended Specifications and Quality Assurance Guidelines for Steel Moment-Frame Construction for Seismic Applications”, 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington.

[9]. FEMA 267, “INTERIM GUIDELINES: Evaluation, Repair, Modification and Design of Steel Moment Frames”, 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington.

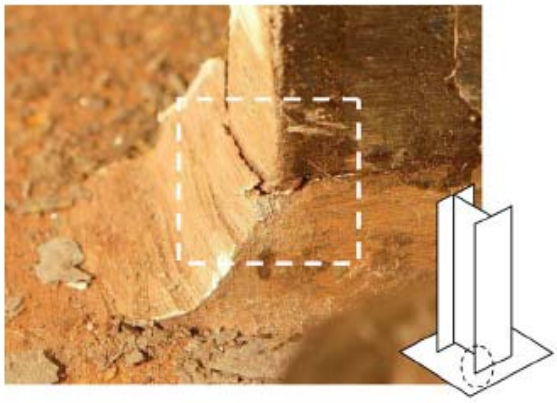
[10]. A.T. Myers, A.M. Kanvinde, G.G. Deierlein, B.V. Fell, “Effect of weld details on the ductility of steel column baseplate connections”, Journal of Constructional Steel Research, 2009, 65, 1366-1373.

[11]. Ronald O. Hamburger, “Earthquakes and Seismic Design”, 2009, American Institute of Steel Construction, Chicago.



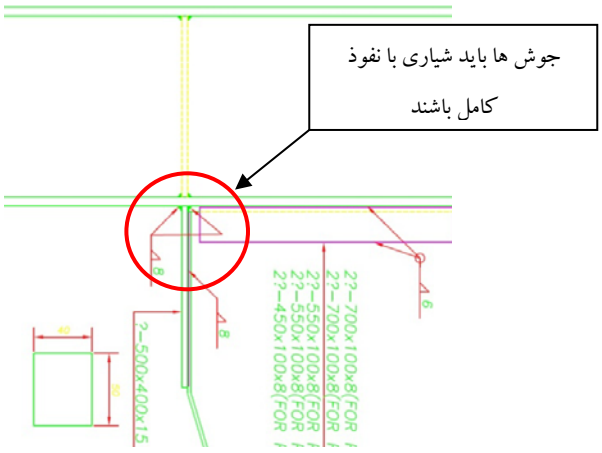
الف

ب



ج [۱۰]

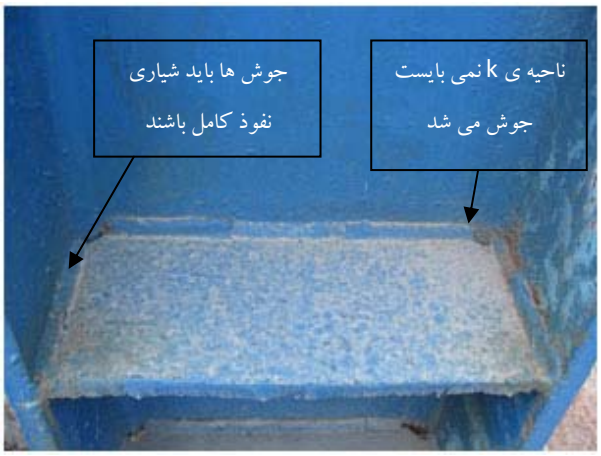
شکل ۱. عدم استفاده از جوش های شیاری با نفوذ کامل در اتصال ستون به صفحه ستون و سفت کننده ها (الف) نقشه ی سازه ی برج ایرتویا (ب) سازه ی مسجد کوی دانشگاه تهران (ج) عدم مقاومت جوش های گوشه در برابر بارهای زلزله



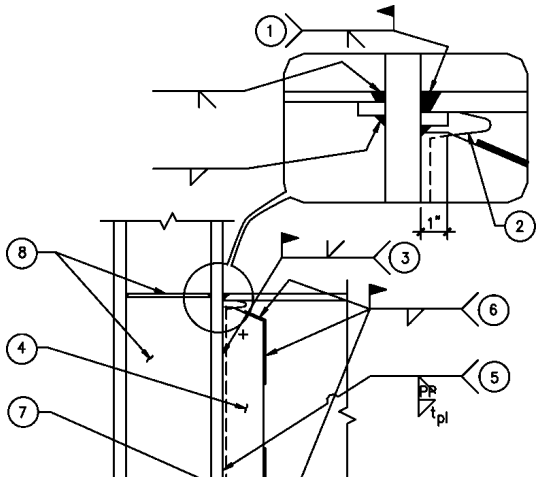
الف

ب [۱۱]

شکل ۲. عدم استفاده از جوش های شیاری با نفوذ کامل در اتصال زیر سری به ستون (الف) نقشه ی سازه ی برج ایرتویا (ب) ترک شروع شده از جوش زیر سری و نفوذ آن به داخل ستون

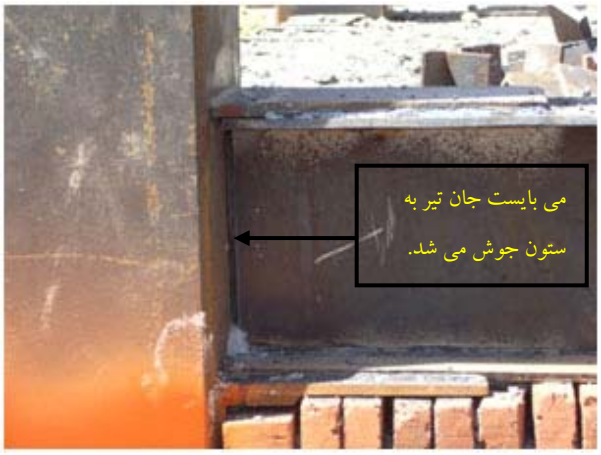


الف



ب

شکل ۳. (الف) شیوه ی نادرست جوشکاری ورق پیوستگی به ستون در مسجد کوی (ب) شیوه ی درست جوش های اعمالی در اتصال تیر به ستون و ورق پیوستگی به ستون مطابق استانداردهای FEMA و AISC



الف

ب

شکل ۴. (الف) عدم اتصال جان تیر به ستون به وسیله ی جوش شیاری با نفوذ نسبی (ب) کامل نبودن جوش های تک ورق برشی