بسمه تعالی

اجرای ساختمانهای فولادی

دکتر سید مهدی زهرائی

دانشیار دانشکده عمران دانشگاه تهران

اردیبهشت ۸۸

فهرست

مقدمه ۲

عملکرد لرزه ای ساختمانهای فولادی ۳

اجرای صفحات پای ستونها ۴

تسمه های موازی یا مورب برای ایجاد ستون دلخواه ۷

بر پا کردن ستون ۸

جوشکاری کف ستون ها ۸

وصله های ستون ها ۹

وسایل بالا بری ۱۰

اتصالات جوشی در ساختمانهای فولادی ۱۱

اتصالات پیچی ۱۶

پل ها ۱۶

چگونگی اتصال تیر به ستون ۱۶

معایب و محاسن تیر های لانه زنبوری ۲۰

اتصالات در پاتل های مهار بندی ۲۲

بالکن های نما های طره ای ۲۴

دیوار ها و تیغه های پر کننده ۲۵

روشهای مقاوم سازی ۲۶

بادبند ۲۷

ساخت تیرچه طبقات ۲۷

سقف ۲۷

مزایای اجرای ساختمان فولادی به جای ساختمان بتنی ۲۸

معایب ساختمان فولادی ۲۸

ضعفهای اجرایی ساختمانهای فولادی ۲۸

مراجع: ۳۷

چکیده

با وجود لرزه خیزی بالای بیشتر مناطق پر جمعیت کشور وآسیب پذیری ساختمانهای موجود در برابر زلزله بر اساس تجربیات زلزله های اخیر هنوز توجه کافی به ساخت و ساز صحیح نشده است . اگرچه با توجه به پیشرفتهای دانش بشری از مهندسی زلزله، در حال حاضر احداث بناهای مقاوم در برابر زلزله براحتی امکان پذیر است، لیکن عملاً مسائلی به وجود آمده که رسیدن به ساختمانهای مقاوم تضمین نمی گردد. بیشتر ساختمانهای کوچک مسکونی فاقد هر گونه دفترچه محاسبات سازه ای بوده و با نظارت صحیح مهندسین ساختمانی که دانش فنی لازم را دارند ساخته نمی شوند و احداث آنها توسط پیمانکاران غیر حرفه ای و فاقد صلاحیت لازم انجام می گیرد.

مشکل اصلی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها، عدم استفاده صحیح از دانش فنی و دستور العملهای آیین نامه ای در بارگذاری جانبی زلزله و آئین نامه طراحی ساختمانهای فولادی در مراحل مختلف طراحی و بطور کلی کم توجهی به این ضوابط در مرحله اجرا می باشد. بسیاری از مهندسین کشور نه تنها اطلاعات کاملی در مورد عملکرد، آسیب پذیری و مقاوم سازی لرزه ای سازه ها ندارند بلکه در مواجهه باغالب مسائل اجرایی معمول ساختمان نیز کوتاهی می‌کنند. لذا بایستی سطح آگاهی از اطلاعات فنی این افراد افزایش یافته و نیز مکانیزمی برای اعمال قاطعیت اجرایی و کنترل امر در نظرگرفته شود و البته طوری که حقوق مهندس ناظر حفظ شده و مسئولیتها به درستی تقسیم گردد. ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساخت و ساز در ایران را تشکیل می دهد. لذا در این مقاله، وضعیت ساخت و ساز ساختمانهای فولادی در کشور مختصراً مرور شده و توصیه هائی جهت بهبود اجرا ارائه میگردد.

کلید واژه ها: **ساختمان فولادی, استاندارد ۲۸۰۰, ساخت و ساز, کیفیت اجرا, زلزله, آسیب پذیری لرزه ای.**

مقدمه:

سازه فولادی از مجموعه ای از اعضای باربرساخته شده از نیمرخهای فولادی یا ورق می باشد که به کمک اتصالات به یکدیگر متصل می گردند. با توجه به روشهای تکامل یافته ای که برای تولید نیمرخ های فولادی به کار گرفته می شود این مقاطع غالبا رفتار در حد قابل انتظاری از خود نشان می دهند. مساله بسیار مهم رفتار اتصالاتی است که الف) برای ساخت اعضای مرکب از نیمرخ و ورق برای یکپارچه نمودن اعضا (شامل تیر و ستون و مهاربندها) در محل گره ها مورد استفاده قرار می گیرد . وسایلی که برای ساخت اعضا و اتصال آنها به یکدیگر به کار می رود شامل پیچ و پرچ و جوش است . در این میان استفاده از جوش در ساختمان سازی متعارف در ایران بسیار رایج است.تا زمان وقوع زلزله نورثریج (۱۹۹۴)تصور بر این بود که در صورت رعایت اصول فنی در طرح و اجرای سازه های فولادی جوشی این سازه هادر زلزله عملکرد قابل قبولی از خود نشان می دهند.اما وقوع این زلزله این فرض را زیر سوال برد . در این زلزله مشاهده شد که در بسیاری از اتصالات , در محل درز جوش اتصال , فلز مادر (Base metal) دچار ترک یا بعضا شکست شده است. این مساله باعث شد تا تحقیقات گسترده ای در مورد علت این پدیده صورت گیرد که این تحقیقات تا به امروز ادامه دارد. از طرف دیگر مشاهده و تحقیق درباره وضعیت ساخت و ساز ساختمانهای فولادی نشان می دهد که اتصالات جوشی متداول در ایران از کیفیت مناسبی برخوردار نیستند و با وجود سابقه نسبتا طولانی در استفاده از جوشکاری در صنعت ساختمان هنوز نقایص زیادی در این زمینه مشاهده می شود.

شکل ۱- نمایی از اجرای ستون های یک پروژه ساختمان فولادی میان مرتبه

عملکرد لرزه ای ساختمانهای فولادی

براساس تجربه های حاصل از زلزله های گذشته و مطالعات انجام گرفته سازه هایی در برابر زلزله دارای عملکرد بهتری هستند که بتوانند ضمن حفظ پایداری و انسجام کلی خود انرژی ناشی از زلزله را تا حد امکان جذب و مستهلک نمایند.با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان سازه ها و توجه به این مطلب که سطح بین منحنی نیرو-تغییرمکان و محور تغییرمکان نشان دهنده میزان انرژی جذب شده توسط سازه است.هر چه سازه شکل پذیرتر باشد انرژی بیشتری را هنگام زلزله جذب کرده و رفتار مطلوبتری دارد. فولاد نرمه به علت طبیعت شکل پذیر از این نظر ماده مناسبی می باشد و می تواند میزان زیادی انرژی جذب کند . اما تجربه نشان داده است که در سازه های فولادی در صورت عدم استفاده از اتصالات مناسب عملکرد مناسب لرزه ای آنها مناسب و قابل قبول نخواهد بود و در اثر زلزله دچار شکست سازه ای و یا انهدام خواهد شد.در زلزله منجیل (۱۳۶۹) مشاهده شد که تعدادی از ساختمانهای فولادی دچار تخریب کامل شدند. رفتار این سازه ها در این زلزله ثابت کرد که در بسیاری از موارد سازه های موجود دارای سیستم مقاوم زلزله مناسبی نیستند.استفاده از تیرهای خورجینی(تیرهای سرتاسری در دو طرف ستون با اتصال نبشی) و عدم شناخت سیستم حاصل و مدل صحیح برای این اتصالات باعث شده این سیستم از نظر مهندسی زلزله بسیار آسیب پذیر تلقی گردد .درس حاصل از این زلزله کیفیت پایین ساخت و ساز شهری بودکه در سالهای اخیر تلاشهایی برای اصلاح آن به عمل آمده است. در زلزله نورث ریج آمریکا مشاهده شد که در بسیاری ازساختمانهای فولادی اتصال تیرها و ستونها دچار ترک ویا بعضا شکست شد . بیشتر این ترکها و شکستها در بال ستون اتفاق افتاده است که سبب تمرکز بیشتر در این زمینه شد. اهم خساراتی که در هنگام وقوع زلزله ها ی شدید بر سازه های فولادی وارد می گردد به شرح زیر است :

۱- گسیختگی ترد گونه جوش (به ویژه جوش های گوشه) تحت اثر برش یا کشش
۲- گسیختگی ترد گونه پیچ
۳- کمانش کلی اعضاء
٤- کمانش موضعی اعضاء
٥- گسیختگی موضعی اجزاء و ادوات اتصال
٦- لغزش پیچ ها
۷- تغییر مکان های بالنسبه زیاد در قاب های مهار بندی نشده، منجر به بروز ناپایداری

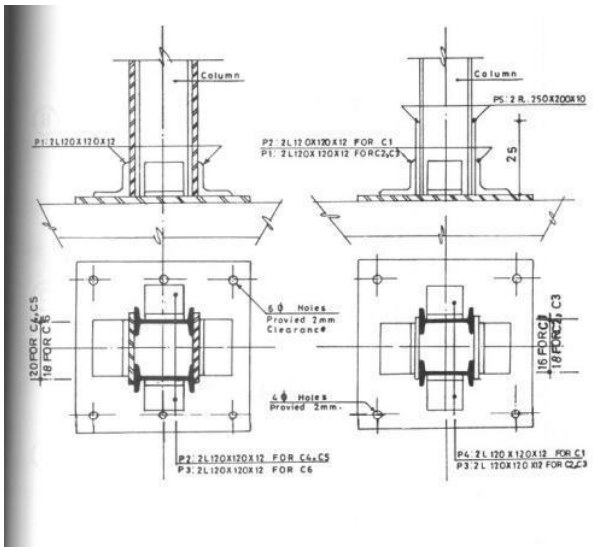
۸- گسیختگی اتصالات مهاربندی ها در اثر طرحی نامناسبهندسه اتصال یا نارساییهای اجرایی
۹- گسیختگی اتصالات بین اعضاء فولادی و سایر اجزاء ساختمان مانند کف ها و تیرچه ها
۱۰-.....

از موارد بالا موارد زیر برداشت می شود:

- ✓ طراحی کلیه اعضاء سازه مقاوم در برابر نیرو های ناشی از زلزله باید به منظور تامین قابلیت پاسخ شکل پذیر صورت گیرد.
- ✓ باید از انواع مختلف گسیختگی ترد گونه، مانند شکست جوش و پیچ در برش و کشش ممانعت به عمل آید.
- ✓ باید از پدیده کمانش در اعضاء ممانعت کرد.
- ✓ در نواحی تغییر هندسه ناگهان هندسه سازه، باید درز های جدایی تعبیه کرد.
- ✓ جزییات اجرایی اجزاء غیر سازه ای باید به نحوی باشد که تغییر مکان های حاصله در اثر وقوع زلزله شدید پذیرا باشند.
- ✓ مکانیسم گیختگی باید میزان حداکثر ممکن نامعینی را شامل گردد.
- ✓ از امکان بروز گسیختگی موضعی و تشکیل لولای پلاستیک در ستون ها مقدم بر تیر ها باید ممانعت به عمل آورد.
- ✓ کلیه بخش های ساختمان باید به نحو مناسب کلاف بندی شوند که ساختمان به صورت مجموعه یکپارچه عمل کند.
- ✓ در انتخاب مصالح، طراحی سازه و جزییات اجرایی و کنترل کیفیت اجرا دقت کافی مبذول گردد.

اجرای صفحات پای ستون ها :

از مراحل اجرای ساختمان فولادی پس از بتن ریزی و آرماتور بندی آن، اجرای صفحات پای ستونها است. صفحات پای ستونها توسط میلگرد های مهاری که روی صفحه پیچ یا زیر آن جوش می شوند نصب می گردد. میلگرد هایی که به وسیله پیچ به صفحه متصل می شوند میل مهار نامیده می شوند. قالب ها در سوراخ ها و صفحه جاسازی شده و واشر فنری و یا واشر تخت ، روی صفحه واقع می شود و بدین ترتیب صفحه به پی بتنی متصل می شود. میل مهارها معمولا با قطر بیش از ۲۰ میلی متر و با دنده درشت، جهت حدیده کردن ساخته می شود و انتهای میل پیچ ها، در پی به صورت قلاب درست می گردد. پس از قرار دادن بر روی پی و تنظیم پیها در داخل سوراخ های صفحه قرار می دهندو به وسیله پیچ مهره و واشر بسته می شود.



شکل ۲- نحوه اجرای BASE PLATE

در برخی دیگر از صفحه فلزی چهار آرماتور ساده یا آجدار تقریبا هم ارتفاع به زیر صفحه جوش می شوند. سر این آرماتور ها را خم کرده تا اتصال خوبی با بتن برقرار کنند. بعد از سخت شدن پی و آب دهی آن یک کارگر شروع به پاکسازی روی صفحه های پای ستونها می کند.

سپس متخصص کارگران جوشکار یک قالب کوچک از پایه ستون تیرورق درست کرد و با نظارت مهندس ناظر جای دقیق ستون را بر روی صفحه پای ستون مشخص می کند .بعد از آن در مکان های معین چند تکه فلز را خال جوش زدیم تا ستون را راحت تر در مکان خودقرار دهیم. می توان برای کاهش زمان اجرای ستون ها می توان در انتهای ستون ها ، حلقه ای ایجاد کرد تا کار اجرا سریع تر شود.

نکته :

پیچ های مهاری داخل پی ها که ستون ها به آن ها بسته می شوند، باید قبل از شروع نصب از نظر فواصل و محور ها در تمام ارتفاع مهاری و تراز ها د رهر مرحله دقیقا کنترل و گزارش مربوطه تهیه گردد تا صحت اجرای پی قبل از نصب ستون ها محرز گردد. در صورت عدم احراز شرط فوق باید قبل از شروع نصب، تمهیدات لازم از نظر اصلاح پی ها و یا در صورت امکان اصلاحات روی قطعات سازه فولادی پیش بینی و اجرا گردد.

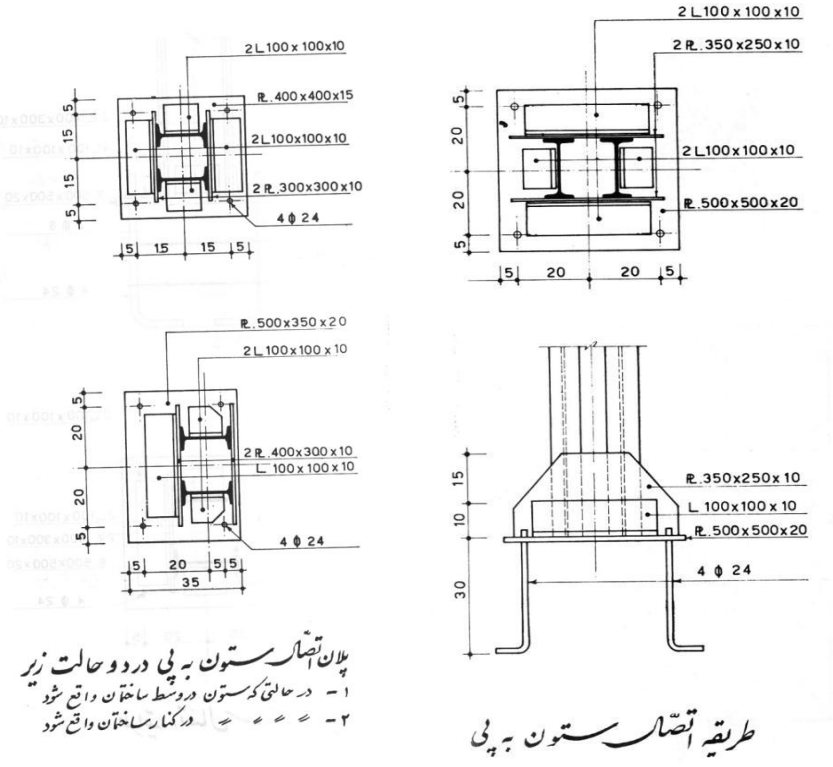
برای صفحات زیر ستون ، از ورقه فولادی استفاده می کنند و معمولا دو قطعه را توسط جوش به همدیگر متصل می کنند. صحفات زیر ستون باید کاملا تراز باشد. برای اتصال ستون به صفحه زیر ستون از پیچ ، مهره یا ورق (لچگی) استفاده می کنند. هر چقدر که وزن وارد بر ستون بیشتر باشد ، اتصال ستون به صفحه زیر ستون و فونداسیون باید محکم تر باشد که به این منظور باید از اتصالات بیشتر و ورق های بزرگتر استفاده کرد. معمولا ستون هایی که در کنار بادبند قرار می گیرند باید اتصال محکم تری به صفحه زیر ستون داشته باشند ، چرا که نیروی بیشتری به آن ها وارد می شود.

ب الف

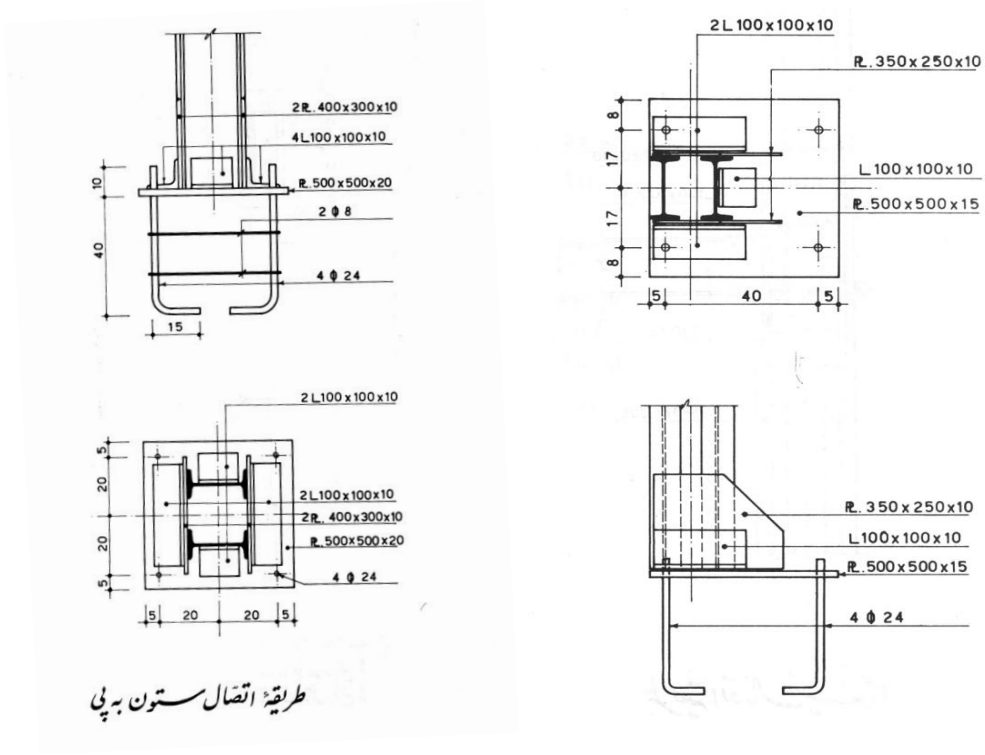
شکل ۳- اتصال ستون به صفحه ستون و پی.

برای اجرای ستون کارگر جوش کار ، یک قالب از از پایه ستون درست کرده و با نظارت مهندس ناظر جای دقیق ستون را بر روی صفحه بیس پلیت مشخص می کند. بعد از آن در مکان های معین چند تکه فلز را خال جوش می کنند تا ستون را راحت تر در مکان خود قرارگیرد. برای این کار می توان از متخصصین نقشه برداری هم استفاده کرد و به این ترتیب محل قرار گیری ستون را به طور کاملا دقیق مشخص کرد. سطح انتهایی ستون را ، یعنی محل نصب ستون باید کاملا مستوی بوده بطوریکه در زمان قرار دادن ستون روی صفحه زیر ستون تمام نقاط آن با صفحه در تماس باشد. تراز کردن کف ستون ها

توسط مهره های قابل تنظیم در زیر آن ها و پر کردن زیر کف ستون با ملات مقاوم بدون وارفتگی و تامین کننده تماس کامل بین کف ستون و ملات انجام می شود.



الف



ب

شکل ۴- الف و ب: طریقه اتصال ستون به صفحه ستون و پی

در این مرحله ستون را توسط جرثقیل بلند کرده و در محل خود قرار می دهند، لازم به در کارهای کوچک می توان ستون را توسط دکل یا تیفور بلند کرد. آنگاه به وسیله دوربین و یا شاقول معمولی بنایی ، ستون را شاقول کرده و پس از اطمینان از نحوه قرار گیری دور تا دور آن را توسط جوش به صفحه زیر ستون متصل می کنند. برای تکمیل کار از چهار نبشی ۱۰ یا ۱۲ و یا بزرگتر با توجه به محاسبات انجام شده به صفحه زیر ستون جوش می دهند.

در موقع جوشکاری پای ستون به صفحه زیر ستون باید توجه نمود چنانچه بعد جوش زیاد باشد مانع چسبیدن نبشی های اتصال به ستون و صفحه زیر ستون خواهد شد. با توجه به اینکه تقریبا کلیه لنگر های وارده به پای ستون ، به وسیله نبشی های اطراف تحمل باید دقت شود که این جوش کاری فقط درز مابین پای ستون و صفحه زیر ستون را پر نماید و از آن خارج نشود.

در بعضی از ستون های که دارای خارج از محوری شدید می باشد به جای نبشی از صفحات مستطیل شکل که طول آن بیشتر از پشت تا پشت است ایتفاده می گردد. به این وسیله نبشی های اتصال را با ابعاد بزرگتر با ورق در سایت ساخته و به وسیله چند صفحه لچکی که بین دو بال نبشی قرار می دهند سیستم قابل اطمینان در برابر لنگر های وارده ایجاد می کنند. عرض و طول این اتصالات نباید از صفحه زیر ستون تجاوز نماید.

تسمه های موازی یا مورب برای ایجاد ستون دلخواه :

برای ایجاد ستون از ستون های دارای بست استفاده شود. ابعاد این تسمه ها توسط محاسبات مشخص می شود ولی اغلب برای ساختمان های معمولی از تسمه های ۱۰×۱۰۰ استفاده می شود. اگر ستون مورد نظر از سه تیر آهن به همراه تسمه

تشکیل شده باشد ابتدا باید سه تیرآهن جوش داده شوند و سپس تسمه ها را جوش دهند چون در غیر این صورت جاتصال سه تیر آهن دشوار و در برخی مواقع غیر مکن خواهد بود.

بر پا کردن ستون

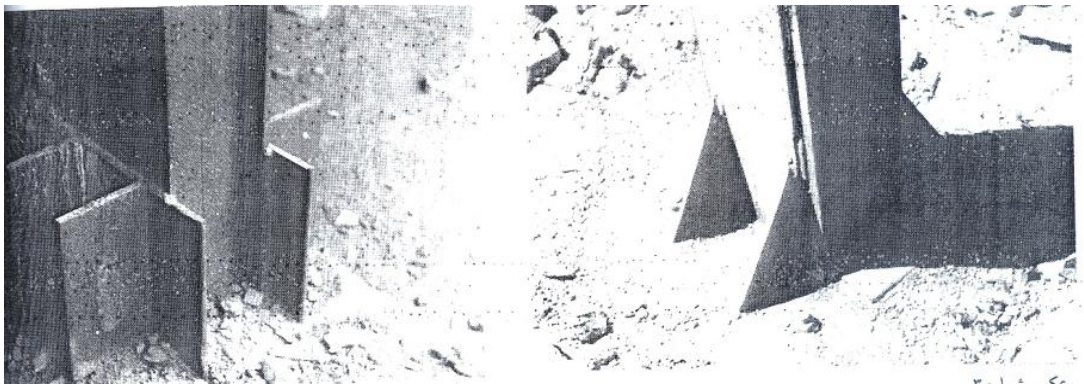
در روش معمول برا ی بر پا کردن سازه سه گروه به استخدام در می آیند. :

- **گروه بالا برنده**
- **گروه جا اندازنده**
- **گروه سفت کننده**

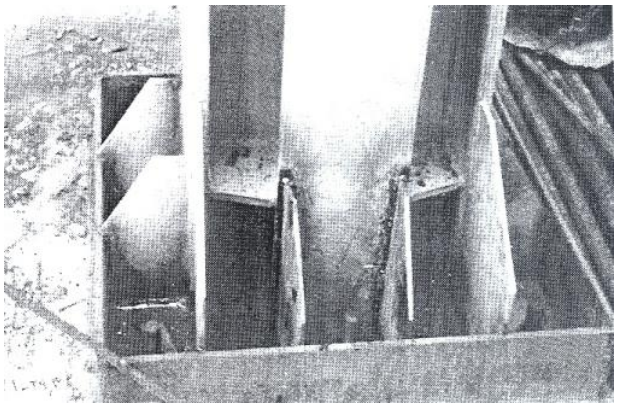
این سه گروه هر یک به ترتیب پیشرفت کار را شروع می کنند. گروه بالا برنده ، عضو فولادی را بلند کرده و به جایگاه خاص آن می رساند و سپس با اتصال های پیچی یا جوش کاری ستون را در جای خور قرار داده تا بعد از آن گروه جااندازننده کار خود را آغاز کنند. معیار های ایمنی خاصی برای اطمیان از هماهنگی سازه ای برقرار شده وجود دارد. برای مثال ، عرشه بر پاداری نباید بیش از هشت طبقه بالاتر از بلند ترین کف کاملا تمام شده باشد. همچنین نباید از ارتفاع بالاتر ، بیش از ۴ طبقه ویا ۱۴/۶ متر نسبت به بالاترین کف طبقه تمام شده (طبقه ای که لزوما تکمیل نیست) پیچکاری یا جوشکاری ناتمام وجود داشته باشد. گروه جااندازنده ، عضو مورد نظر را در راسنار مناسب قرار داده و با جوشکاری کافی آنقدر سازه را محکم میکند تا نصب اتصال های نهایی ، لنگ گیری انجام شده باشد. گروه سفت کننده اتصالات نهایی را را انجام داده به طوری کع مشخصات فنی لازم در سازه ایجاد شود.

جوشکاری اتصال ستونها به کف ستونها :

به طوری که در شکل۵ مشاهده می شود در اغلب موارد ، کف ستون ها قبل از نصب ستون ها ، به انواع موارد مضر و گرد وغبار آلوده گردیده و دچار زنگ زدگی می شود و اغلب بدون آماده سازی و تمیز کاری و زنگ زدایی سطوح ، جوشکاری ادوات اتصال به ستون ، انجام می گیرد. در عکس ۵-الف مشاهده می شود که جوشکاری روی سطوح رنگ کاری شده ستون و سطوح زنگ زده کف ستون و ورق های قائم دورتادور کف ستون انجام گرفته است.



الف ب

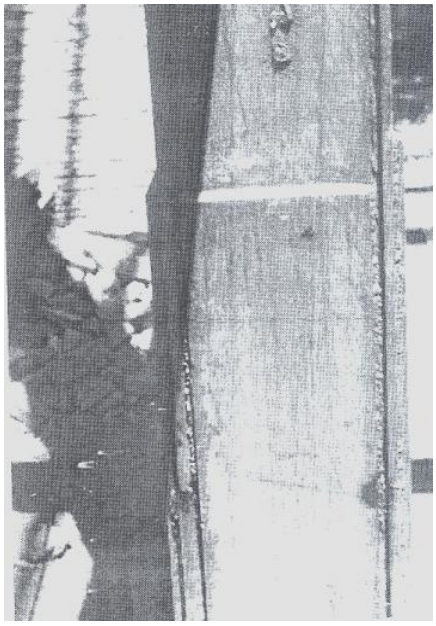


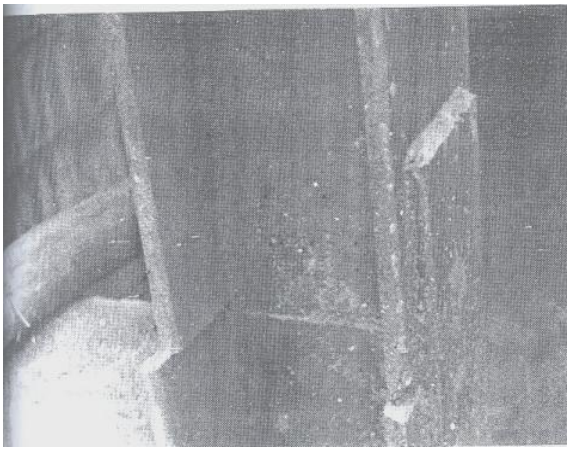
ج

شکل ۵) اتصال ستونها به کف ستونهاو سخت کننده ها

وصله های ستون ها :

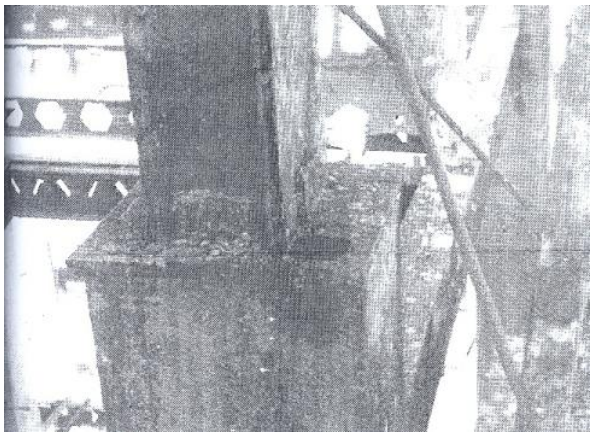
به عنوان قاعده کلی باید سعی کرد محل اجرای وصله های ستون ها در نواحی کم تنش و دور از محل اتصالات اختیار گردد. در موارد عدیده ای، مانند عکس های شماره۶-الف و ۶-ب، شاهد کیفیت نازل جوشهای قائم اتصالات وصله ستون ها بوده ایم. در اتصالات ستون به ستون با مقطع کاهش یافته، به نحو نشان داده شده و در عکس شماره ۶-ج لازمست بار ستون فوقانی از طریق خمش صفحه بینابینی به ستون تحتانی انتقال یابد. در اتصال وصله ستون نشان داده شده در عکس شماره ۶- د ، ورق انتهایی ستون ها به دلیل اعوجاج ناشی از جوشکاری و اعمال ضربه در حین عمل، و همچنین به دلیل عدم پیش بینی میزان رواداری مناسب، بر یکدیگر تکیه ننموده و لذا بخش عمده بار لازم است از طریق پیچها و ورق های اتصال قائم که دارای سطح مقطع به مراتب کمتری از ستون ها هستند انتقال یابد.





ب

الف



ج

د

شکل ۶) وصله ستونها

- **وسایل بالا بری :**

در کار با فولاد و بالا بردن آن تا جایگاه مورد نظر از جرثقیل های متحرک و جرثقیل های برجی استفاده می شود. در کارهای ساختمان فولادی از وسایل بالابر دیگری نظیر دیرک (که ساده ترین آن هاست) استفاده میشود. از ۲ یاچند دیرک به همراه هم میتوان در ساختمان برای بالابردن قطعات بزرگ استفاده کرد. جرثقیل برجی متداول ترین بالا بر در ساختمان های بلند است که می توان به همراه پیشرفت ساختمان، آن را ارتقا داد.

اتصالات جوشی در ساختمانهای فولادی :

تصویر ۷-الف جوش اجرا شده در پروژه موزه ورزش است که همان طور که تصویر دیده می شود روی این جوش تست هم انجام شده که مورد تایید قرار گرفته است.

الف ب

شکل ۷- نمایی از اتصالات ساختمانی .الف : ساختمانی در پارک وی در مرحله اسکلت . ب: پروژه موزه ورزش

۱. طراحی و اجرای سازه فلزی

مشکل اصلی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها ، عدم استفاده صحیح از دانش فنی در مراحل طراحی و اجرا می باشد. دستورالعملهای اتصالات جوشکاری شده و ضوابط طراحی ساختمانهای فولادی، گاهی در طراحی و اجرا سهل انگاری میشود. لذا بایستی سطح معلومات فنی این افراد افزایش یافته و نیز مکانیزمی برای اعمال قاطعیت اجرایی و کنترل امر در نظر گرفته شود و البته طوری که حقوق مهندس ناظر حفظ شده و مسئولیتها به درستی تقسیم گردد.

ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساخت و ساز در ایران را تشکیل میدهند و یکی از مهمترین موضوعات در هر ساختمان فولادی، کنترل جوشکاری آن میباشد . اهمیت این امر در زلزله های اخیر نتمان داده شده است که خسارات اساسی پس از بریدن جوش اتصال عضو سازه ای مدید میآید. تمام ناظرین و بازرسان باید بتوانند نماد های استاندارد جوشکاری را تفسیر کنند. انواع اصلی جوشهای سازه ای عبارتند از :

- **جوش گوشه یا کنجی**
- **جوش شیاری (لب به لب یا جناغی)**
- **جوش پرچی یا مسدود**

جوشها در همه بخشها بایستی منطبق بر اطلاعات نقشه بوده و از لحاظ بعد و طول جوش و کنترل کیفیت لازم بررسی گردد. در استاندارد ۲۸۰۰ ، آزمایشات اولتراسونیک و رادیوگرافی برای کنترل اتصالات جوشی قابهای خمشی ویژه اجباری شده است که البته بسته به تشخیص مهندس ناظر در سایر حالات حتی در ساختمانهای معمولی نیز باید انجام گردد. در این مقاله، ضمن مروری بر عیبهای معمول جوشکاری در اجرای ساختمانهای فولادی، روشهای بازرسی و کنترل کیفیت جوش ارائه میگردد.

در زیر انواع جوش و عیب های حاصله به تفضیل توضیح داده شده است :

۲. عیبها و ناپیوستگی های معمول در جوشکاری

یکی از مهمترین وظایف بازرس یا تیم کنترل کیفی جوش ، ارزیابی حقیقی جوشها به منظور بررسی مناسب بودن آنها در شرایط بهره برداری و در واقع تعیین هر گونه کمبود و نیز نامنظمی در جوش یا قطعه جوشکاری شده که عموما ناپیوستگی نامیده میشود میباشد. در حالیکه یک ناپیوستگی، هر گونه اختلال در ساختار یکنواخت را بیان می کند، یک عیب ناپیوستگی ویژه است که مناسب بودن سازه یا قطعه را زیر سئوال می برد. شکل ناپیوستگی را میتوان به دو گروه کلی خطی و غیر خطی تقسیم نمود. ناپیوستگی های خطی طولی به مراتب بیش از پهنا دارند. زمانیکه در جهت عمود بر تنش اعمالی قرار گیرند، یک ناپیوستگی خطی نسبت به غیر خطی شرایط بحرانی تری را ایجاد می کند، چرا که احتمال اشاعه و در نهایت تخریب آن بیشتر خواهد بود.

۳. ناپیوستگیهای فلز جوش و فلز پایه

۳-۱ . ترکها

بحرانی ترین ناپیوستگی ها، ترکها هستند. شرایط اضافه بار باعث ایجاد ترکها و تمرکز تنش می شود. یک روش گروه بندی ترکها با مشخص کردن آنها به صورت گرم یا سرد است . همچنین ترکها را میتوان توسط جهت آنها نسبت به محور طولی جوش توصیف نمود. ترکهای طولی بعلت تنشهای انقباضی عرضی جوشکاری یا تنشهای سرویس ایجاد می شوند. ترکهای عرضی عموما به علت اثر تنشهای انقباضی طولی جوشکاری روی جوش یا فلز پایه با انعطاف پذیری کم ایجاد می شوند انواع مختلف ترک با توصیف دقیق موقعیتهای اجزا مختلف شامل : ترکهای گلویی، ریشه ، کناره ، چاله جوش ، زیر گرده منطقه متاثر از حرارت و فلز پایه هستند.

ترکهای گلویی که از میان گلویی جوش یا کوتاهترین مسیر در سطح مقطع جوش گسترش می یابد، از نوع ترکهای طولی بوده و اغلب در طبقه بندی ترک گرم قراردارند.

ترکهای طولی و عرضی در جوشهای شیاری و گوشه ترکهای ریشه در فلز پایه یا در خود جوش نیز در زمره ترکهای طولی هستند. ترکهای کناره جوش در فلز پایه ایجاد شده و در کناره جوش توسعه ما یابند. ترکهای چاله جوش درنقطه پایانی ردیفهای منفرد جوش در صورت عدم مهارت جوشکار ایجاد می شوند. دسته بعدی ترکها، ترک زیر جوش به علت حضور هیدرورن است .

این نوع ترک بجای فلز جوش در ناحیه تحت تاثیر حرارت به موازات خط ذوب واقع هستند.

۳-۲. ذوب و نفوذ ناقص

طبق تعریف ، ذوب ناقص یک ناپیوستگی در جوش است که ذوب شدن بین فلز جوش و سطوح ذوب و یا لایه های جوش رخ نداده باشد. بعلت خطی بودن و انتهای نسبتا تیز آن ، ذوب ناقص از ناپیوستگی های بارز در جوش است و در وضعیتهای مختلف در منطقه جوش تشکیل می شود. نفوذ ناقص معرف حالتی است که فلز جوش به طور کامل در سراسر ضخامت ورق گسترده نشده باشد. موقعیت این عیب در مجاورت ریشه جوش است . ذوب و نفوذ ناکافی به علت عدم مهارت جوشکار، شکل نامناسب اتصال یا آلودگی اضافی ایجاد می شود.

۳-۳. سرباره های محبوس شده

مناطقی در سطح مقطع یا در سطح جوش هستند که سرباره محافظ حوضچه جوش به طور مکانیکی درون فلز منجمد شده محبوس میشود. این سرباره منجمد شده بخشی از مقطع جوش را نمایش می دهد که فلز جوش بخوبی ذوب نمی شود. این پدیده خود سبب ایجاد بخشی ضعیف در نمونه خواهد شد. در حقیقت سرباره های محبوس شده اغلب در ارتباط با ذوب ناقص هستند.

۳-۴. تخلخل

این نوع ناپیوستگی در خلال انجماد جوش در اثر حبس گاز ایجاد می شود. بنابراین تخلخل را بسادگی میتوان ، حفره های گاز درون فلز جوش منجمد شده دانست . به علت طبیعت کروی شکل آنها، تخلخل کمترین خطر را در میان دیگر ناپیوستگی ها داراست ولی در زمانیکه جوش باید تحمل فشارهای بالا را داشته باشد حضور تخلخل خطرناک خواهد بود. منابع مختلفی برای حضور رطوبت یا آلودگی وجود دارد که میتوان الکترود فلز پایه ، گاز محافظ یا محیط اطراف را در این میان نام برد، تغییر در تکنیک جوشکاری نیز می تواند سبب ایجاد تخلخل شود.

۳-۵. بریدگی کنار جوش

بریدگی کنار جوش یک ناپیوستگی سطحی است که در فلز پایه مجاور فلز جوش رخ میدهد. در شرایطی عیب را داریم که فلز پایه شسته شده ولی با فلزی پر کننده جبران نمی شود. نتیجه ، ایجاد یک شیار خطی با شکلی نسبتا تیز است که در فلز پایه تشکیل می شود. این عیب بعلت سطحی بودن ماهیت آن برای بارگذاری خستگی خطرناک است . بریدگی کنار جوش عموما به علت تکنیک جوشکاری نامناسب ایجاد می گردد، به ویژه اگر سرعت حرکت جوش زیاد باشد. علاوه بر این اگر گرمای جوشکاری بسیار بالا باشد می تواند سبب ذوب شدن بیش از حد فلز پایه گردد.

۳-۶ . پرشدن ناقص

این مورد مشابه بریدگی کنار جوش ، یک ناپیوستگی سطحی است که به علت کمبود ماده در مقطع عرضی ایجاد میشود. تنها تفاوت در این میان این است که پرشدن ناقص در فلز جوش ولی بریدگی کنار جوش در فلز پایه یافت می شود. به بیان ساده ، پرشدن ناقص ، زمانی رخ می دهد که فلز پر کننده به اندازه کافی برای پرکردن اتصال جوش در دسترس نباشد . مشابه بریدگی کنار جوش ، پرشدن ناقص نیز هم در سطح رویی و هم در ریشه جوش ظاهر می شود. دلیل اولیه پرشدن ناقص ، تکنیک غلط جوشکاری است . مثلا سرعت زیاد جوشکاری اجازه پرشدن اتصال و هم سطح شدن آن با فلز را نمی دهد.

۳-۷. سررفتن

نوع دیگر ناپیوستگی سطحی جوش که از تکنیک نامناسب جوشکاری (سرعت جوشکاری خیلی آرام) ناشی می شود، سررفتن است که در آن ، فلز جوش روی فلز پایه مجاورش سر میرود و درکناره جوش ، شیاری تیز را ایجاد می نماید. به علاوه اگر مقدار سررفتن به اندازه کافی زیاد باشد می تواند ترکی را که از این تمرکز تنش ایجاد می شود را مخفی نماید.

۳-۸. تحدب بیش از حد

این ناپیوستگی مختص جوشهای گوشه است و طبق تعریف تحدب عبارت از حداکثر فاصله از رویه محدب یک جوش گوشه تا خط واصل بین کناره های جوش است . از نقطه نظر استحکام مقدار تحدب در جوش گوشه ضروری است ولی اگر از حدی بیشتر باشد، به عنوان یک عیب تلقی می شود. این مطلب هم از نقطه نظر اقتصادی (مصرف فلز پرکننده بیشتر) و هم از نظر حضور مناطق تیز اطراف جوش به خصوص در بارگذاری خستگی مطرح می شود. دلیل ایجاد تحدب ، آرام بودن سرعت جوشکاری یا تکنیک ناصحیح جوشکاری است .

۳-۹. لکه قوس و پاشش

لکه های قوس در نتیجه شروع قوس عمداً یا تصادفی روی سطح فلز پایه دور از اتصال به وجود میآیند. در اثر این رخداد، منطقه ای متمرکز شده از سطح فلز پایه ذوب شده و سریعاً سرد و شکننده می شود. پاشش همان ذرات فلزی پراکنده ناشی از

جریان بالای جوشکاری هستند که در تشکیل جوش نقشی ندارند. از نقطه نظر بحرانی بودن ، پاشش ممکن است زیاد مهم تلقی نشود، ولی در هر حال مقادیر زیاد پاشش میتوانند گرمای موضعی زیادی را به سطح فلز مشابه با اثر لکه قوس ایجاد کنند و حتی سبب تشکیل ناحیه تحت تاثیر حرارت شوند.

۳-۱۰. اعوجاج

خمیدگی یا اعوجاج از مشکلات مهم جوشکاری است که باید برطرف گردد. این مسئله در اثر انقباض که به هنگام کرم و سرد شدن پس از عملیات جوشکاری در فلز پایه و جوش بوجود میآید، شکل می گیرد. برای کنترل اعوجاج باید شرایط لازم برای جوشکاری شامل کنترل قبل، حین و بعد از جوشکاری تامین گردد.

۳-۱۱ . تورق و پارگی سراسری

این ناپیوستگی ویژه مربوط به فلز پایه است . تورق در اثر حضور آلودگی و ناخالصی غیر فلزی موجود درزمان تولید فولاد ایجاد می شود. این ناخالصی ها به طور طبیعی اکسیدی هستند که در زمانیکه فولاد هنوز مذاب است تشکیل شده و در خلال عملیات بعدی نورد کشیده شده و موجب تورق می شوند. نوع دیگر ناپیوستگی مربوط به پارگی سراسری است و زمانی رخ می دهد که در جهت تمام ضخامت در اثر جوشکاری تنشهای انقباضی بزرگی ایجاد شده باشد. پارگی عموما موازی سطح نورد شده زیر فلز پایه و معمولاً موازی مرز ذوب جوش رخ می دهد. پارگی سراسری یک ناپیوستگی است که مستقیما به طرز قرار گیری اتصال مرتبط می شود.

۱۲.۳. جابجا شدن و ناپیوستگی های ابعادی

در اثر سوارکردن و مونتاژ غلط اجزای مورد جوش در کنار یکدیگر، جابجایی بصورت هم محور نبودن دو سطح قطعه کار در جوشهای لب به لب است که در مواردی با برشکاری رفع می شود، اما در بیشتر مواقع باید جوش را بریده و مجددا عملیات جوشکاری بادقت تکرار شود. ناپیوستگی های ابعادی، نقائص شکل یا ابعاد هستند و هم درجوش و هم در سازه جوش شده بروز می کنند.

۴. آزمایشهای جوش

۴-۱. ارزیابی جوشکار

آزمونی که صلاحیت جوشکار را برای اجرای ضوابط آیین نامه ای تایید می کند، آزمایش تشخیص صلاحیت یا ارزیابی جوشکار و یا آزمون کیفیت اجرا خوانده می شود. این ارزیابی مشخص می کند که ایا جوشکار دانش و مهارت لازم را در بکارگیری و اعمال دستورالعمل جوشکاری مدود در رابطه با رده بندی کاری خود دارد یاخیر. ارزیابی جوشکار ممکن است با تجهیزات جوشکاری دستی و یا با تجهیزات جوشکاری تمام اتوماتیک انجام شود.

روشهای آزمایشی که کیفیت یک جوش را تعیین می کند، در سه طبقه بندی بسیار وسیع قرار می گیرد.

۱-آزمایش های غیر مخرب

۲- آزمایشهای مخرب

۳- بازرسی عینی

۴-۲. آزمایشهای غیر مخرب

هدف از این آزمایشها، بازرسی و تشخیص عیوب مختلف جوش (سطحی وعمیق) و تایید آن می باشد، بدون اینکه قطعه جوش داده شده غیر قابل استفاده شود. اگر آزمایش نشان دهد که محلی از جوش معیوب است می توان از طرفین محل مذکور به اندازه لازم برداشته و با جوش مجدد اتصال کاملی را به دست آورد .

۴-۲-۱. آزمون ذرات مغناطیسی

آزمون ذرات مغناطیسی یکی از آسانترین آزمایشهای غیر مخرب جوشکاری است . این روش جوش را برای معایبی از قبیل ترکهای سطحی، ذوب ناقص ، تخلخل ، بریدگی کنار جوش ، نفوذ ناقص ریشه جوش و اختلاط سرباره کنترل می کند. این آزمایش محل ترکهای داخلی و سطحی بسیار ریز را برای رویت با حشم غیر مسلح آشکار میکند. قطعه مورد آزمایش با استفاده از جریان الکتریکی، یا قراردادن آن در داخل یک سیم پیچ مغناطیسی می گردد. سطح مغناطیسی شده قطعه با لایه نازکی از یک گرد مغناطیسی نظیر اکسید آهن قرمز پوشده می شود و این لایه گرد در صورت وجود یک عیب سطحی یا داخلی در داخل حفره یا ترک مربوطه فرو می رود.

۴-۲-۲. بازرسی با مواد نافذ

بازرسی با مواد نافذ یکی از شیوه های غیر مخرب برای محل یابی معایب سطحی می باشد. سطح مورد بازرسی باید ابتدا از لکه های روغن ، گریس و مواد ناخالص و خارجی تمیز شود. سپس ماده رنگی مورد نظر بر روی سطح پاشیده شده و در داخل ترکها و سایر ناهمواریهای نفوذ می کند. رنگ اضافی از روی سطح پاک شده و سپس یک ماده فوق العاده فرار حاوی ذرات ریز سفید رنگ بر روی سطح پاشیده می شود. تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفید رنگ بر روی ماده قرمز نفوذ کرده در ترک می گردد و بر اثر عمل موییینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید کاملا قرمز می شود.

۴-۲-۳. آزمون فراصوتی

آزمون فراصوتی قادر به تشخیص معایب داخلی بدون نیاز به تخریب قطعه جوش شده می باشد. موج های فراصوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می شوند و با هرگونه تغییر درتراکم داخلی قطعه منعکس می شوند. امواج منعکس شده (پژواک ها) به صورت برجستگی هایی نسبت به خط مبنا، بر روی صفحه نمایش دستگاه ظاهر می شوند. هنگامی که عیب یا ترک داخلی توسط واحد جست و جو پیدا شود تولید ضربان سومی می کند که بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می شود . بنابراین مشخص می شود که این عیب بین سطوح بالاو بایین مصالح (در داخل جسم مصالح) می باشد.

۴-۲-۴. آزمایش پرتونگاری

پرتونگاری یکی از روشهای آزمایش غیر مخرب است که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز جوش را نشان میدهد. پرتو رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور این ضخامت لکه ای بر روی صفحه فیلم ایجاد می کند. میزان جذب پرتوهای رادیویی توسط مواد مختلف متفاوت است . نفوذ گل ، حفره کازی، ترکها، بریدگی های کناره جوش و قسمتهای نفوذ ناقص جوش تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند. بنابراین در حوالی این قسمتها پرتو بیشتری به سطح فیلم می رسد و عیوب فلز جوش ، به صورت لکه های تاریکی بر روی فیلم ثبت می شوند.

۴-۳. آزمایشهای مخرب

این آزمایشهای مکانیکی نمونه جوش شده جهت تعیین مقاومت و سایر خواص مکانیکی، نسبتا ارزان قیمت بسیار کاربردی هستند. به همین جهت در سطح وسیعی برای ارزیابی و تایید دستوالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکار به کار می روند.

اتصالات پیچی :

این نوع اتصال روش اتصال است که توسط آچار انجام شده و کلیه پیچ ها تحت نیروس برشی و کششی قرار می گیرند. البته این نوع اتصال در ایران ، در گذشته رایج نبوده است اما امروزه دیده میشود که استفاده از آن به طور چشمگیری افزایش یافته است.

- **نکات :**

۱- باید تا حد امکان از کاربرد پیچ های هم اندازه با رده های مقاومتی مختلف در یک سازه پرهیز نمود.

۲- طول پیچ باید به اندازه ای باشد که پس از محکم کردن آن، حداقل یک دندانه کامل پیچ از هر طرف مهره بیرون باشد.

۳- اگر اعضای متصل شونده دارای پوشش حفاظتی باشند، لازم است از واشر زیر پیچ یا مهره چرخنده استفاده شود.

۴- تمامی سطوح باید از هرگونه مواد خارجی یا آلودگی و پوسته به جز پوسته های محکم طبیعی فولاد، پاک باشند.

۵- محکم کردن پیچ های شل شده ناشی از محکم شدن پیچ های مجاور تا حد بست اولیه بلامانع است. اگر یک مهره یا پیچ پس از محکم شدن کامل، باید به دلائلی شل شود، لازم است که مجموعه پیچ ومهره کلا تعویض شود.

پل ها :

پل ها اعضای سازه ای هستند که بار سقف را به ستون ها منتقل می کنند. پل ها در سازه های بتنی به صورت بتنی در جا ریخته می شوند (مانند ستون های بتنی) ولی در سازه های فلزی به صورت تیر آهن یا اعضای فلزی دیگر می باشند. اگر تیر آهن برای تحمل بار سقف به اندازه کافی مقاوم نباشد آن را به صورت لانه زنبوری برش می زنند و دوباره آن را به یکدیگر جوش می دهند با این عمل ارتفاع تیر آهن بیشتر می شودو به دنبال آن مقاومت آن افزایش می یابد. همچنین برای افزایش مقاومت تیر آهن پل به آن در نقاطی که نیروی بیشتری وارد می شود ورق جوش می دهند. اتصال پل به ستون از اهمیت زیادی برخوردار است لذا در محل اتصال از اعضایی مانند گونیا (نبشی) استفاده می شود در واقع پل ها توسط گونیا نیروی خود را به ستون منتقل می کنند. در همه موارد اتصال سازه ای، امروزه معمولا از اتصال جوش بهره گرفته می شود لذا به کار گرفتن افراد ماهر در برپا کردن سازه فلزی مانند اسکلت ساز ، جوش کار حرفه ای از اهمیت بالایی برخوردار است.این اعضای سازه ای به وضوح در شکل ۵ مشخص هستند.

چگونگی اتصال تیر به ستون :

به دو صورت ممکن است که تیر به ستون متصل شود :

۱- **تیر از کنار ستون عبور کند.**

۲- **تیر از وسط ستون عبور کند**

۳- **تیر به جای ستون خم شود**

- **تیر از کنار ستون عبور کند :**

ساده ترین شکل اتصال پل به ستون آن است که پل در جهت بال تیر آهن ستون امتداد پیدا می کند. در این حالت معمولا از پل های سرتاسری استفاده می نمایند ، این پل ها به وسیله یک عدد ورقه بست که در محل عبور پل به ستون جوش می شود ، همچنین یک عدد نبشی ۱۰ یا ۱۲ که روی ورق بست جوش می گردد به ستون متصل می شود ، (نبشی توسط محاسبه

مشخص می شود) بعضی از مهندسین محاسب برای آنکه تکیه گاهی تقریبا گیردار به وجود بیاورند یک عدد نبشی نیز روی تیر قرار می دهند ، برای ایجاد تکیه گاهی که کاملا گیردار باشد باید از صفحه های ممان گیر استفاده شود. صفحه های ممان گیر صفحه ای است به شکل ذوزنقه یا مستطیل که روی تیر قرار گرفته و آن را به ستون متصل می نمایند . ولی بعضی از قراردادن این نبشی اخیر صرف نظر نموده و تکیه گاه را ساده در نظر می گیرند. در ایران اغلب مهندسین محاسب به همین طریق عمل می نمایند یعنی پل را از کنار ستون عبور داده و در این حالت پل را از کنار ستون عبور داده و در این حالت پل را ممتد محاسبه می کنند. مخصوصا در ستون های میانی اسکلت ، از دو طرف ستون پلهای ممتد را عبور داده و به اصطلاح از گره خورجینی استفاده می نمایند. به عقیده اغلب کارشناسان زلزله ، این نوع از اتصال در مقابل زلزله مقاومت خوبی از خود نشان نمیدهند. چنانچه بار پل در محل اتصال به ستون زیاد و امکان خم نمودن نبشی تکیه گاه وجود داشته باشد ، بهتر است از یک عدد صفحه مثلثی شکل بین دو بال نبشی جوش داده تا از خم شدن آن جلوگیری شود. به این صفحه ، لچنی گویند.

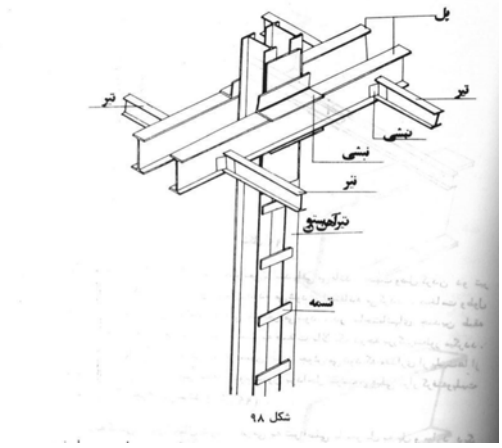
- **تیر از وسط عبور نماید :**

در این حالت باید دقت شود تا در موقع ساختن ستون فاصله لب به لب دو عدد تیر آهن حداقل نیم سانتی متر از بال تیری که می خواهد از داخل آن عبور کند بیشتر باشد تا امکان عبور پل فراهم شود. بدیهی است که چنانچه برای ستون ها از تیر آهن H استفاده شود ، اجرای این روش ممکن نیست. اصولا امکان عبور تیر های سراسری در این نوع اتصال قدری مشکل می باشد زیرا اگر دو طرف ساختمان احداثی باز نباشد به سختی می توان یک عدد تیر سراسری را از بین ستون ها عبور داد. بدین لحاظ در این نوع مواقع تیر را به قطعات کوچک بریده و در جای خود قرار داده و بعد دوباره آن را جوش می دهند. این عمل چنانچه اتصالات به خوبی انجام شود اشکال نداشته و این تیر مانند تیر سراسری یکپارچه عمل خواهد کرد. بهتر است محل برش در ۱/۵ متری دهانه بین دو ستون واقع شود.

فرض بر این است که در فاصله ۱/۵ متری ، نیروهای وارده به تیر حداقل می باشد و در این حالت چنانچه بخواهیم از نبشی فوقانی نیز استفاده نماییم باید ورق بست دو تکه باشد.

- **تیر به جای ستون خم شود :**

در این حالت امکان ایجاد تیر های سراسری نیست. اگر بخواهیم تیر های سراسری اجرا کنیم ، ناچاریم در جان ستون تیر ایجاد کنیم که این سبب ضعف ستون می شود ، بدین لحاظ بهتر است تیر را در این حالت قطعه قطعه سوار کنیم. البته باید توجه داشت چنانچه در نقشه های محاسباتی پل های سراسری داده شده باشد باید مطابق آن تیر ها اجرا شود.



شکل۸- اتصال تیر وستون

نکاتی در باره ساخت تیر ها :

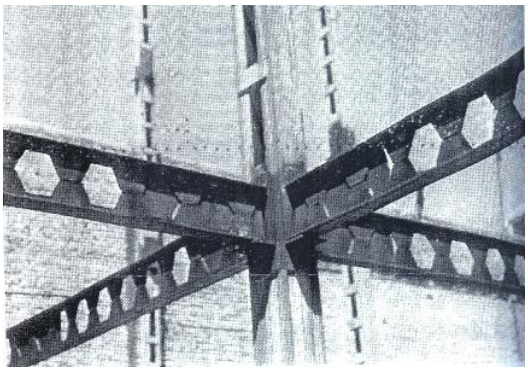
گاهی ممکن است تیر ها را با دو یا یک عدد تسمه که به بال تیر جوش می شود تقویت نماییم (مطابق نقشه های محاسباتی). این تسمه ها معمولا در تیر های ساده در وسط تیر و در تیر های ممتد در نزدیکی تکیه گاه جوش می شوند. چنانچه برای تقویت تیر از یک عدد تسمه استفاده نماییم ، بهتر است که تسمه از بالا جوش شود. در صورت سفید کاری ، این نوع جوش مزاحمت ایجاد کرده و مجبور هستیم ضخامت گچ و خاک را در سطح سقف به اندازه ضخامت تسمه تقویتی افزایش دهیم.

شکل ۹- نمایی از اتصال تیر به ستون (پروژه بانک پاسارگارد مشهد)

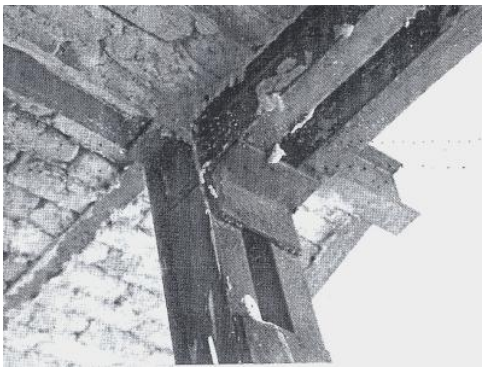
اگر پهنای تسمه تقویتی از بال تیر آهن کمتر باشد اشکالی ایجاد نکرده ، زیرا به راحتی می توان تسمه را روی تیر قرار داده و جوشکاری نماییم ولی اگر پهنای تسمه از بال بیشتر باشد ، بهتر است تیر آهن را از نصب نصب در محل بر گردانیده و محل تسمه را دقیقا معلوم کرده و آن را از بالا جوش بدهیم.باید دقت شود که طول جوش مطابق نقشه و به اندازه کافی باشد چنانچه طول جوش در نقشه قید نشده باشد طول آن در هر طرف نصف طول تسمه می باشد (در دو طرف مساوی طول تسمه).

در بحث حاضر مراد از اتصالات ، اتصالات متداول سازه های فولادی بدون استفاده از مواد مستهلک کننده انرژی در درزهای اتصال بوده است.عکس۱۰-الف یک نمونه از اتصالات تیر های لانه زنبوری به ستون دوبل تسمه دار را با استفاده از نبشی های فوقانی و تحتانی فاقد لچکی نشان می دهد. در بسیاری از موارد مثل نمونه نشان داده شده ، تنها نبشی های فوقانی به تیر ها جوش شده و تیر ها به نبشی های تحتانی یا نشیمن یا اصولا جوش نمی دهند و یا جوش آن ها ناقص است. طبعا میزان گیر داری این نوع از اتصالات با اتصال صلب تفاوت فاحش خواهد داشت و در صورت عدم جوش کاری به نبشی تحتانی به عملکرد اتصال مفصلی نزدیک تر خواهد گشت. به خصوص تحت اثر اعمال لنگر های سیکلیک ناشی از زلزله رفتار اینگونه از اتصالات نامطلوب خواهد بود.

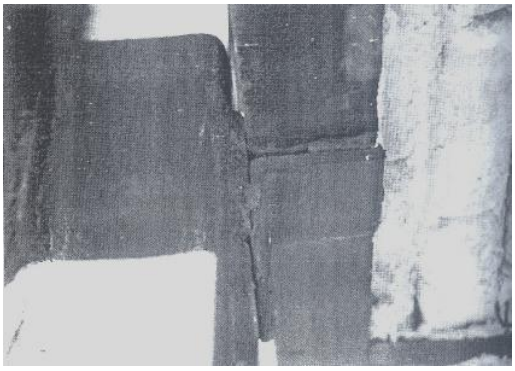
عکس ۱۰-ب نمونه دیگری از همین نوع اتصال را نشان می دهد. عکس ۱۰-ج نمونه بارزی از نقص جوشکاری اتصال نشیمن تحتانی تیر خورجینی به تیر و ستون می باشد که حتی برای جذب برش قائم محتمل در حین بهره برداری نیز دارای نقص اساسی است.در عکس شماره ۱۰-د که نمایشگر اتصالی است که در آن به منظور افزایش گیرداری از صفحه فوقانی و دو ورق لچکی فوقانی برای اتصال تیر به ستون استفاده شده است.



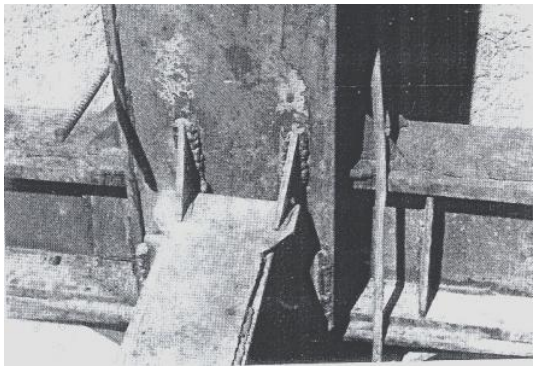
الف



ب



ج



د

شکل۱۰) اتصالات تیر به ستون

در این زمینه باید به موارد زیر توجه داشت :

الف – ورق و بال فوقانی تیر تنها از طریق جوش صفحات لچکی به ستون متصل شده اند که ظرفیت باربریشان به مراتب کمتر از بال تیر می باشد. در عین حال در انتهای جوش تمرکز تنش وجود خواهد داشت.

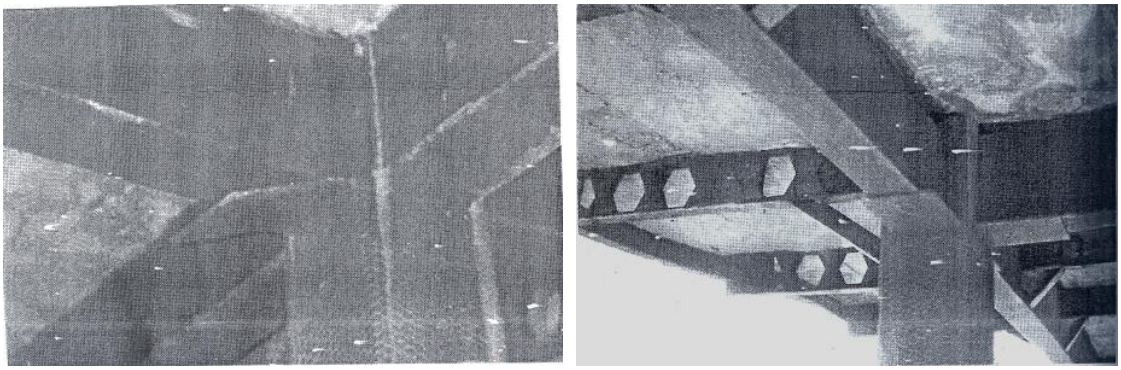
ب – اتصال از طریق صفحات لچکی در دو موضع قائم باعث خم شدن قابل ملاحظه صفحه ستون ساخته شده و در نتیجه موجب عملکرد انعطاف پذیر اتصال خواهد گردید.

ج – ایجاد گوشه نیز در ورق فوقانی تیر باعث بروز تمرکز تنش گردیده و شروع گسیختگی از این موضع محتمل خواهد بود.

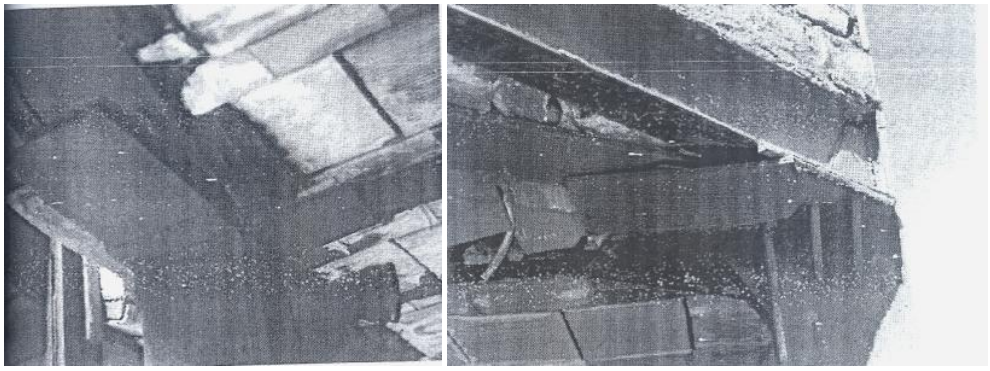
د – کیفیت برش و جوشکاری نازل بوده و جوشکاری روی فلز زنگ زده بدون تمیز کاری و زنگ زدایی انجام گرفته است.

عکس شماره ۱۱-الف نمونه ای از اتصالات تیر به ستون را از طریق صفحات فوقانی و تحتانی ، نشان می دهد. به طوزیکه در عکس مشاهده می شود ، اغلب جوش بالای سر اجرا نشده و گاه جوش در امتداد طولی بال تیر به ورق انجام نمی گردد. با توجه به اینکه ورق های تحتانی اغلب در مرحله ساخت ستون روی زمین به ستون نصب می گرددند احتمال ضربه خوردن آن ها در حین انجام کار زیاد است.عکس شماره ۱۱-ب نمونه ای از چنین وضعیتی را نشان می دهد. به طوریکه ملاحظه می گردد، بدون اقدام به اصلاح اتصال، سقف طبقه اجرا گردیده است. عکس های ۱۱-ج و ۱۱-د نمونه ای از کارهایی را نشان می

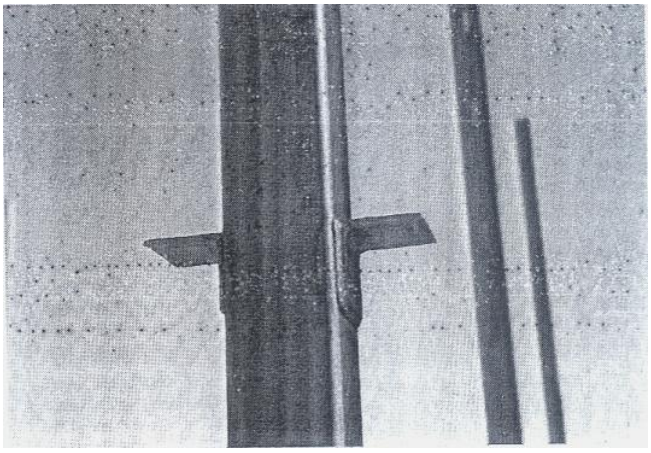
دهد که به دلیل عدم پیش بینی و ارائه جزئیات کامل اجرایی اتصالات، بلا تکلیفی در هنگام اجرا منجر به اقدام خود سرانه عوامل اجرایی غیر متخصص گردیده است. نبشی های نشیمن نصب شده بر ستون قوطی شکل از نوع پروفیل سرد شکل داده شده ، با جداره نسبتا نازک مطابق با عکس شماره ۱۱-ه حاکی از گستردگی ناحیه حرارت زده جوش در این پروفیل هاست.



الف ب



ج د



ه

شکل۱۱) نمونه ای از اتصالات تیر به ستون از طریق صفحات فوقانی و تحتانی یا نبشی نشیمن

معایب و محاسن تیر های لانه زنبوری:

معایب تیرهای لانه زنبوری:

اگر چه بحث های بسیاری پیرامون تیرهای لانه زنبوری ، اخیرا مطرح شده است و به عقیده گروهی از طراحان به علت مسائل اجرائی آن ، خصوصا جان تیر و اتصال آن توسط جوش(زیرا همانگونه که می دانیم، اتصالات نقش کلیدی و تعیین کننده ای را در انتقال بار از یک عضو به عضو یا اعضای دیگر دارند و در صورت اجرای نا مطلوب آن، به میزان زیادی از باربری یا مقاومت المان سازه ای کاسته خواهد شد در نتیجه مساله نظارت موثر بر اجرای عملیات جوشکاری ، اهمیت بسزائی در کیفیت کلی سازه خواهد داشت.) همچنین ضعفی که در ناحیه جان تیر در اثر کاهش مساحت آن وجود دارد از نقاط ضعف این تیرهاست .

مساله لهیدگی جان (web crippling) نیز در قسمت اتصال مقطع برش شده وجود دارد، که بسیار حائز اهمیت می باشد . در نواحی که خصوصا بار متمرکز وجود دارد و یا نزدیکی تکیه گاه ها که برش عامل موثری است ، کنترل لهیدگی جان نباید مورد توجه بیشتری قرار گیرد ، زیرا در این نواحی مقاطع حالت بحرانی تری نسبت به سایر قسمت ها دارند. البته قسمت اعظم این کاستی ها را می توان با استفاده صحیح و بهینه ورق های تقویتی برطرف نمود و بعضا در مواردی که باز هم علی رقم همه تدابیر اتخاذ شده، اساس مقطع لازم بدست نیامده باشد، از تیرهای لانه زنبوری دوبل می توان استفاده نمود . در نگاهی محتاطانه ، استفاده از تیر های لانه زنبوری از ضریب اطمینان یا ایمنی (safety factor) کمتری نسبت به سایر مقاطع برخورد دارند . اما استفاده گسترده از این نوع تیرها به سبب مزایائی که آنها را به اختصار بر شمردیم ، هنوز هم در مقیاس وسیعی از کارهای ساختمانی متداول است.

تیرهای لانه زنبوری و محاسن استفاده از آنها:

بیشترین مزیت تیرهای لانه زنبوری که در حقیقت مقطعی غیر فشرده است، در مقایسه با سایر مقاطع استاندارد(فشرده) ایجاد ممان اینرسی نسبتا خوب آن حول محور قوی تیر (X)می باشد که به سبب ایجاد فاصله بالها از محور خنثی و افزایش ارتفاع تیر می باشد، بنابر این مقاومت خمشی تیر که مهمترین نقش آن نیز می باشد افزایش یافته ،همچنین سختی آن نیز بیشتر می گردد. .از آنجائیکه جان اینگونه تیرها در قسمتها ئی توخالی است ، در نتیجه باعث خواهد شد که وزن سازه به میزان قابل توجهی کم گردد .در اثر کاهش وزن سازه ، مولفه های نیروی زلزله که ارتباط مستقیم با وزن سازه (weight) دارند نیز کم می گردند و در نتیجه ساختمان ایمن تر خواهد بود و عملکرد مناسبتری را توام با انعطاف پذیری بیشتر در بر خواهد داشت.

حتی این کاهش وزن در تیرها، باعث کاهش وزن مرده ساختمان(dead load) خواهد گردید ، که در نتیجه آن بار کمتری به عناصر اصلی سازه، خصوصا ستون ها وارد خواهد گردید.

از سوی دیگر بهینه ترین وضعیت در طراحی سازه ها، اقتصادی بودن آن می باشد که در تیرهای لانه زنبوری به دلیل آنکه مقطع هر تیر به صورت زاویه دار (زیگ زاگ) توسط دستگاه برش بریده می شود ،و سپس با جابجایی دو قسمت آن نسبت به هم تیر به صورت لانه زنبوری در خواهدآمد، صرفه جوئی نسبی در مصرف فولاد صورت خواهد گرفت.

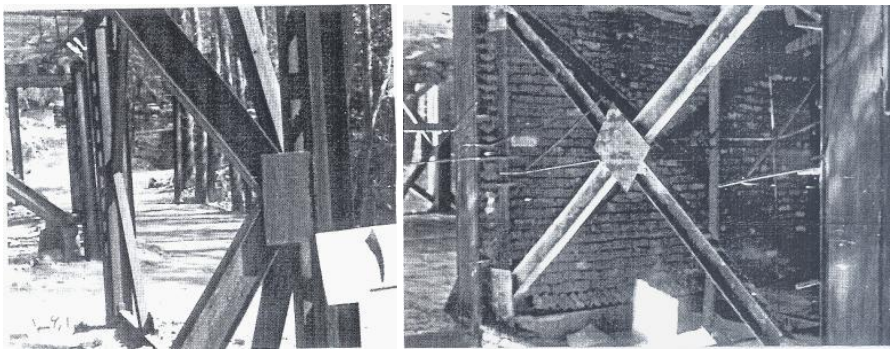
از لحاظ تاسیسات ساختمان نیز اینگونه تیرها مورد استقبال قرار می گیرند ، زیرا که می توان از فضاهای خالی در جان تیر برای عبور لوله های تاسیسات و یا کابل های برق استفاده نمود. و این موضوع شاید یکی از نقاط قوت منحصر به فرد اینگونه تیرهاست . ملاحظه می شود که تیرهای لانه زنبوری با توجه به مطالب ذکر شده به میزان چشمگیری از ارتفاع سقف می کاهند که خصوصا در مواقعی که طر ح های معماری محدودیت زیادی را در ساختمان به صورت اعم و در ناحیه سقف به صورت اخص به طراحان سازه تحمیل می کنند ، و به هیچ عنوان افزایش ضخامت سقف ممکن و میسر نباشد ، تیرهای لانه زنبوری بهتر از سایر مقاطع نورد شده نقش انتقال بار را به سایر عناصر بازی خواهند کرد . حتی در مواردی که تیر با ارتفاع متغییر مورد نیاز است ، مانند بعضی از سازه های صنعتی و یا تیرهای مورد استفاده در تیر ریزی بام ، با تغییر برش تیر ،تیر

مورد نظر را بسیار ساده و ارزان می توان آماده نمود، که این کار تنها با برش مورب زیگ زاگها در جان تیر ممکن خواهدشد . مزایای فوق الذکر باعث ترغیب طراحان در استفاده از تیرهای لانه زنبوری میشود و به عنوان گزینه مطلوبی مورد استفاده همه جانبه قرار می گیرد.

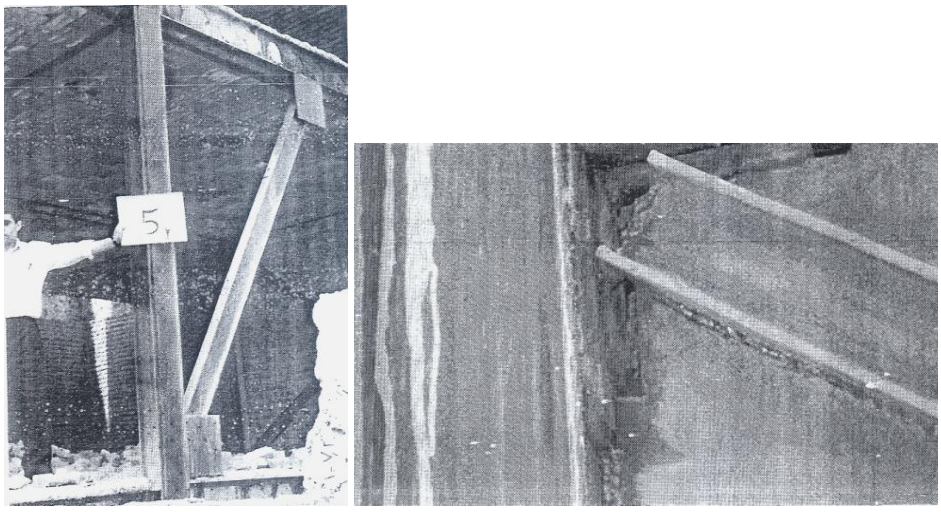
با وجود داشتن محاسن ، مهندسان با تجربه و پیمانکاران آینده نگر سعی می کند که هیچگاه از تیرهای لانه زنبوری استفاده نکنند .

اتصالات در اعضای مهار بندی :

عکس های شماره ۱۲-الف تا ۱۲-د نمونه هایی از اتصال اعضاء مهاری ساخته شده از پروفیل I به تیر و ستون و به یکدیگر را از طریق صفحاتی که تنها در یک سمت اعضاء مهاری ساخته شده اند، نمایش می دهند. به علت الصاق صفحات اتصال تنها در یک سمت اعضاء ، انتقال بار در اتصالات با برون محوری قابل ملاحظه صورت خواهد گرفت که منجر به افزایش تمرکز تنش خواهد گردید و به این ترتیب جوش ها و ادوات اتصال برون محور، تحت اثرات بارهای تغییر دهنده و بروز پدیده خستگی کم تواتر، رفتار مطلوبی از خود نشان نخواهند داد و اصولا عملکرد چنین اتصالی تحت اثر تکان های زلزله به طور جدی مورد تردید است و به احتمال قوی تحت اثرات ناشی از زلزله متوسط، گسیختگی به وقوع خواهد پیوست.



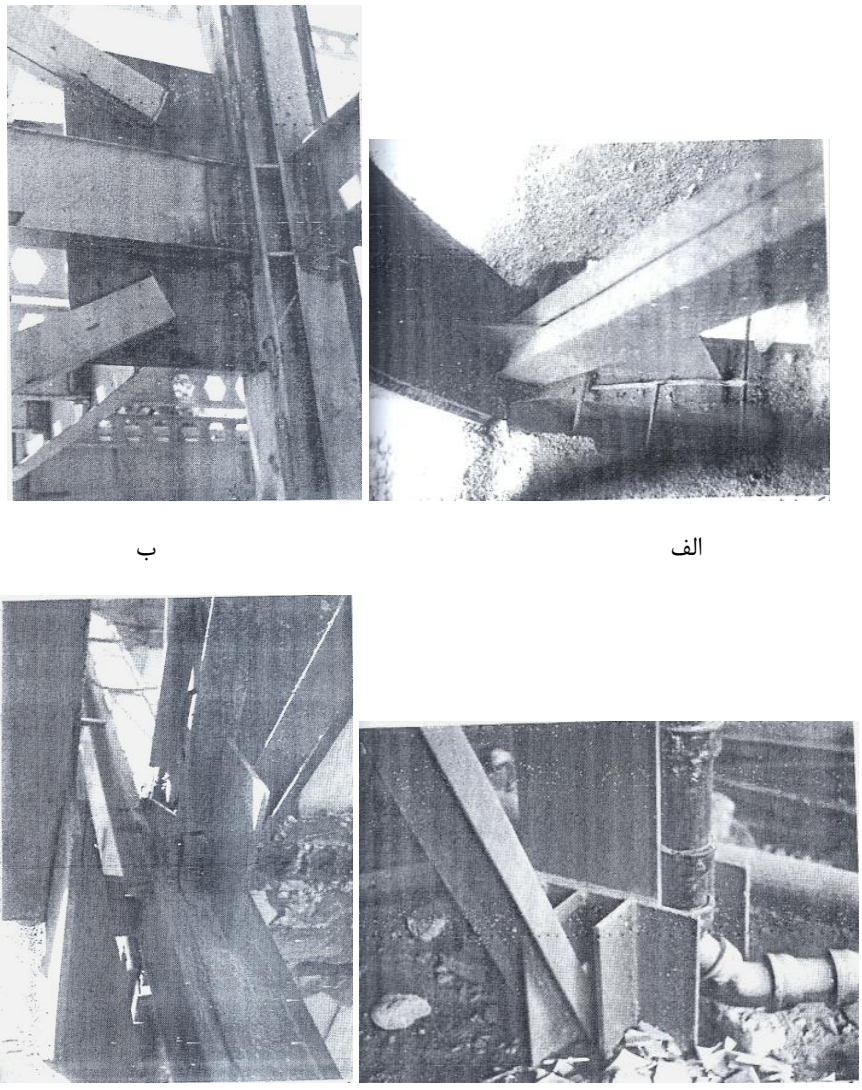
الف ب



ج د

شکل۱۲) **اتصالات در اعضای مهار بندی**

با توجه به تاکیدات انجام گرفته در مورد نارسایی اعضاء مهاری لاغر استفاده از مهار بندی های قوطی شکل گسترش یافته است که در مقام خود امری امیدوار کننده است. ولی باید توجه داشت که در صورتی مقاومت مکفی تامین خواهد گردید که اتصالات مربوطه نیز به درستی طرح و اجرا گردیده باشد. عکس های شماره ۱۳-الف و ۱۳-ب نشان دهنده نحوه اتصال این نوع از اعضاء مهاری از طریق ورق میانگذر می باشد. اینگونه از اتصال همراه با تمرکز تنش بسیار زیاد بوده و احتمال زیاد آغاز گسیختگی از ناحیه شروع جوش وجود خواهد داشت. همچنین انتقال بار از طریق ان چاک داده شده عضو مهاریI شکل نشان داده شده است. در عکس ۱۳-ج، با تمرکز تنش زیاد و عدم امکان انتقال بار در حین وقوع تکان های زلزله همراه خواهد بود. عکس شماره ۱۳-د نمایشگر کیفیت نازل اتصال برون محوری عضو مهاری در محل برخورد تیر به ستون می باشد که متاسفانه پدیده نادری نیست.



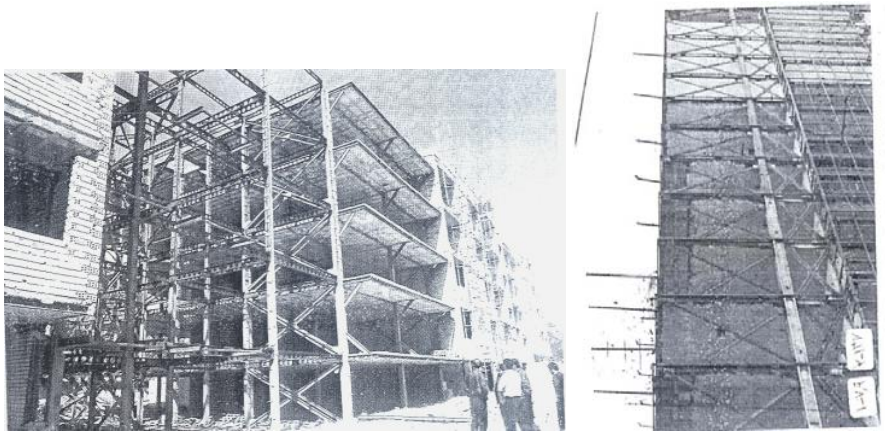
الف ب

ج د

شکل۱۳) نحوه اتصال این نوع از اعضاء مهاری از طریق ورق میانگذر

بالکن های نما های طره ای :

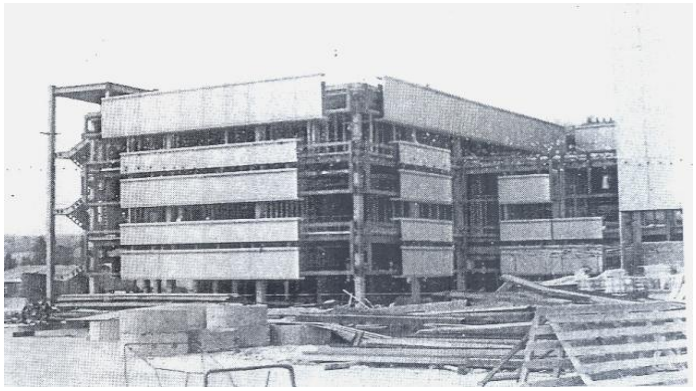
در تجارب زلزله های گذشته مشاهده شده است که درنوسانات بخش های طره ای تحت اثر زلزله ای شدید منجر به گسیختگی این بخش ها گردیده است. در عکس شماره ۱۴-الف مشاهده می گردد که بخش طره ای با طول قابل ملاحظه با اتکا بر اعضای لاغر ایجاد گردیده است.این اعضای مایل لاغر به صورت ضربدری به کاربرده شده اند، با این نیت که در صورت نوسان قائم طره، اعضا از طریق کشش در مقابل تحریکات مربوطه مقاومت نمایند. این نوع عملکرد نیز به دلیل احتمال گسیختگی ترد گونه ناشی از اعمال ضربه کششی وارده بر عضو کمانش کرده، در هنگام نوسان طره، شکل پذیر نخواهد بود.در عکس ۱۴-ب روش بسیار متداول انتقال بار طره ها به وسیله عضو مایل به ستون مشاهده می گردد.با توجه به احتمال زوال مقاومت اعضای فشاری تحت اثر چرخه های بارگذاری دوره ای در حدود بار های کمانشی اعضاء فشاری، وجود مولفه افقی نیرو های ناشی از دستک مورب در وسط ارتفاع ستون، در تسریع کمانش الاستو پلاستیک تاثیر به سزایی خواهد داشت.



الف ب

شکل۱۴) بخش طره ای با طول قابل ملاحظه با اتکا بر اعضای لاغر

نمای پیش ساخته نسبتا سنگین نشان داده شده در عکس ۱۵ که قاب های آهنی نسبتا سنگین را به منظور تحمل آن به صورت طره ای لازم داشته و هزینه نسبتا زیادی را ایجاب نموده است، نه تنها به دلیل طره ای بودن و جرم قابل ملاحظه، از دیدگاه زلزله به خصوص برای سازه های با درجه اهمیت بالا مناسب به نظر نمی رسد، بلکه نحوه اتصال قاب های فولادی نگهدارنده نما به ستون های قاب اصلی سازه، می تواند به صورت مذکور در فوق منجر به اعمال بار جانبی به ستون و ایجاد اثر ناپایدار کننده در نزدیکی حالت تعادل خنثی گردد.



شکل۱۵) نمای پیش ساخته نسبتا سنگین

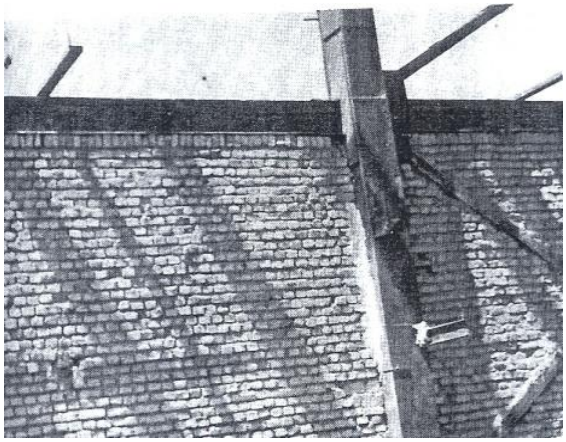
دیوار ها و تیغه های پر کننده :

به طوری که در عکس شماره ۱۶ ملاحظه می شود، وجود دیوار ها در طبقات غیر از طبقه موسوم به Plate که دارای اعضاء مهاری لاغر می باشد، به نحوی که اجرا گردیده است، موجب اندر کنش رفتار سازه با دیوار ها و تیغه ها ی پر کننده و اختلاف سختی طبقه Plate با سایر طبقات می گردد. با توجه به اینکه تیغه ها به عنوان اعضاء باربر در مدل تحلیل ملحوظ نگردیده و به این منظور نیز طراحی نشده اند ، شکست ترد گونه این دیوار ها محتمل خواهد بود. همچنین اغلب مشاهده می گردد که توزیع دیوار ها و تیغخ های پر کننده در پلان ساختمان نا متقارن بوده و این امر منجر به بروز عدم تقارن، عمدتا در سختی سازه در گیر با دیواره ها و بروز مدهای پیچشی ارتعاش خواهد گردید.

شکل۱۶) دیوار ها و تیغه های پر کننده

دیوار های اطراف پنجره ها به نحو نشان داده شده در عکس های شماره ۱۷-الف و ۱۷-ب ، مستعد فروریزی تحت اثر تکان های زلزله نه چندان شدید ، خواهد بود. دیوار چینی تا نیمه ارتفاع برخی از ستون ها به نحو نشان داده شده در عکس ۱۷-ب، منجر به تغییر سختی ستون مجاور و تغییر نحوه توزیع برش طبقه خواهد گردید. در عکس ۱۷-ج ، کیفیت نازل آجر چینی با درز های قائم خالی و به صورت خشکه چینی شده و در عین حال چسبیده به تیر وستون ها مشاهده می گردد که مستعد عملکرد توام با قاب سازه ای در شروع نوسانات و متعاقبا شکست و فرو پاشی و اعمال خسارت جانی و اعمال شک به سازه اصلی می باشد.

الف ب

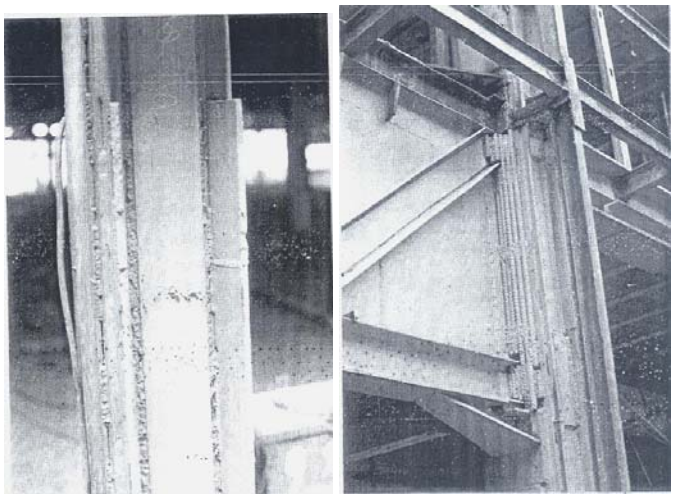


ج

شکل۱۷) دیوار های اطراف پنجره ها که مستعد فروریزی تحت اثر تکان های زلزله خواهد بود و دیوار چینی تا نیمه ارتفاع برخی از ستون ها

روشهای مقاوم سازی :

در مقاوم سازی، سازه هایی که در ارزیابی ایمنی آسیب پذیر تشخیص داده می شود، باید دقت نمود که نهایتا عملیات مقاوم سازی به علت ایجاد مواضع تمرکز تنش منجر به تضعیف و بروز ترک های جدید نگردد.عکس شماره ۱۸-الف جزئیات مقاوم سازی ستون و اتصال خرپا به ستون را به کمک میلگردهای آجدار به شیوه غیر متداول نشان می دهد. در بسیاری از موارد نیز مشاهده می گردد که وقتی بال ستون و بال تیر فاصله می افتد ، با استفاده از میلگرد فضای خالی را پر می کنند. در این حالت معمولا کنترلی در مورد شکل پذیری و جوش پذیری میلگرد های مصرف شده به عمل نمی آید. همچنین عکس شماره ۱۸-ب نحوه تقویت ستون را نشان می دهد که علاوه بر ایجاد تمرکز تنش، کیفیت نا مناسب جوشکاری ، فرورفتگی و بر آمدگی و تخلخل زیاد، مواضع تمرکز تنش جدیدی را ایجاد کرده است.



الف ب

شکل۱۸) نحوه تقویت ستون و جزئیات مقاوم سازی ستون و اتصال خرپا به ستون

بادبند :

در بررسی های مناطق زلزله زده انجام گرفته است مشخص شده که ساختمان های فلزی بادبندی شده مقاومت بهتری در برابر زلزله از خود نشان می دهند. متداول ترین نوع بادبند ، پروفیل های فولادی هستند که به صورت ضربدر بین دو ستون قرار می گیرند مانند نبشی ، ناودانی و .....

برای اینکه سطح جوش در بادبند ها به اندازه کافی باشد در محل اتصال بادبند به گره ها و یا محل برخورد دو پروفیل بادبند به یکدیگر صفحه هایی را جوش میدهند که طول و عرض و ضخامت این صفحات از در مراحل محاسباتی به دست می آید. اگر دهانه ای از ساختمان بادبند قرار گیرد بهتر است که قسمت ها ی پایین این دهانه نیز بادبند قرار گیرد. بادبند باعث می شود که نیروی وارده از طریق باد یا زلزله که به بالای ستون وارد می شو د به سرعت به پایین ستون منتقل شود. اتصال بادبند به ستون و فونداسیون از اهمیت زیادی برخوردار است لذا در محل اتصال بادبند به اعضای ساختمان از قطعات لچکی و ورق مربع یا مستطیل شکل (به عنوان تقویتی) استفاده می شود.

شکل ۱۹- نمایی از اتصال بادبند

ساخت تیرچه طبقات :

برای ساختن تیرچه ، تیرچه ساز لوازم خود را که شامل دو بشکه ۲۲۰ لیتری و لوازم جوشکاری ودستگاه خم کننده میلگرداست به کارگاه منتقل کرده و طبق محاسبه ی مهندس محاسب در فواصل معین میلگرد هایی یک اندازه را جوش می دهد که روی سر آنها به صورت قلاب می باشد. بعد یک شاخه اصلی میلگرد را روی آن قرار داده و در سمت دیگر یک کارگر میلگردها را به اندازه معین برش داده و در دستگاه خم کن میلگرد قرار می دهد، سپس میلگردهای شبیه ۸ را بر روی گیره قلابی میلگرد هایی که روی تیر نصب هستند میگذارند وشروع به جوش دادن آنها می کنند.

سپس قالب های سفال کف تیرچه را به کارگاه آورده و تیرچه ساز پس از آماده کردن بتن، ساخت را شروع می کند. نکته حائز اهمیت در ساخت تیرچه ها استفاده از قالب های سفالی می باشد که ضمن اینکه بعد از ساخت تیرچه جزئی از آن می شود انقباضات و انبساط های آن با بتن مشابه می باشد و این هماهنگی سبب تقویت سقف می شود.

سقف :

کارگران اقدام به کارگذاشتن تیرچه ها می کنند. ابتدا تیرچه هـا را خوابانده و سپس به وسیله ی بلوک هایی کـه باید در سقف بـه کـار رود فـاصـله ی بین آنها را انـدازه می گیرند، بطوریکه در دو سر تیرچه هـا یک ردیف بلوک

قرار داده و پس از اندازه کردن آنها را به وسیله ی مفتول در جای خود محکم می نمایند. سپس کار گذاشتن سنجاقی ها شروع می شود. بعد از این کار اقدام به فرش نمودن سقف می کنند. نکته ی قابل ذکر در فرش نمودن سقف این بود که سوراخ های بلوک هایی را که می باید در مقابل تیرهای اصلی قرار گیرند به وسیله ی گچ می پوشانیدند. این کار برای جلو گیری از هدر رفتن بتن در هنگام بتن ریزی سقف اجرا شد . به این ترتیب در هنگام بتن ریزی بتن ریخته شده ازطریق سوراخ ها وارد بلوک ها نشده و هم از سنگین شدن سقف و هم از ضایع شدن بتن جلوگیری نمودیم . نکته ی دیگر اینکه در فواصل معین شده طبق نقشه به اجرای کلاف عرضی پرداخته می شوند. این فاصله را ازپایین به وسیله ی تخته می پوشانند سپس میل گردهای آن را کارمی گذارند.

بعد از آنکه سقف را کاملا به وسیله ی بلوک فرش نمودند به کار گذاشتن میل گردهای ممان منفی و حرارتی پرداختند . اغلب میل گردهای حرارتی از نوع میل گردهای ساده بوده و به صورت کلاف به کارگاه آورده می شود. کارگران آنها را به همان صورت به بالای سقف برده و در آنجا آنها را باز کرده و به وسیله نیروی کشش آنها را راست می نمایند. اصولا به علت کم بودن قطر آنها این کار به آسانی میسر است. بعد از آنکه میل گردهای حرارتی را خوابانیدند اقدام به کارگذاری جک ها می کنند. جک های چوبی را که به وسیله گروه نجاری به اندازه ی مورد نظر ــ ارتفاع سقف ــ ساخته شده بود به فاصله ی حدوداً هر هشتاد سانتیمتر در زیر سقف قرار داده می شود. مهندس ناظر پس از بازدید از کارگاه اجازه بتن ریزی سقف را صادر می کند. این عملیات طبق نظر مهندس ناظر باید در یک روز انجام پذیرد. می دانیم که این کار برای جلو گیری از ایجاد درز سرد می باشد .

مزایای اجرای ساختمان فولادی به جای ساختمان بتنی :

۱- اجرای این نوع از ساختمان ها بسیار سریع تر از سایر ساختمان ها بوده است و زمان خواب سرمایه کمتر می شود.

۲- ستون ها و قطعات باربر ساختمان فولادی جای کمتری را اشغال کرده و سطح مفید داخل نسبت به ساختمان بتنی که شامل دیوار ها و ستون های قطور هست، افزایش می یابد.

۳- از مهم ترین امتیازات ساختمان فولادی ، امکان تقویت ساختمان بعد از اتمام کار و بلاخره نزدیک بودن فرضیات با عمل در ساختمان فولادی است. زیرا بعضی از فرضیاتی که در ساختمان بتنی می کنیم به سختی با عمل مطابقت پیدا کرده از جمله می توان به اجرای بتن با مقاومت مطلوب اشاده کرد.

- **معایب ساختمان فولادی:**

از معایب ساختمان فولادی می توان به ضعف آن ها در برابر آتش سوزی اشاره کرد که در اثر آتش سوزی به سرعت فولاد گداخته شده و تحت بار های وارده کمانش کرده و لنگر های پیش بینی نشده افزایش یافته و منجر به خرابی ساختمان می شود.

از طرفی ساختمان های فلزی در مقابل عوامل جوی و خوردگی بسیار ضعیف بوده و به همین علت ، در صورت عدم رعایت استاندارد های لازم در حین اجرا و استفاده فولاد نظیر قیر اندود کردن یا ضدزنگ زدن ، عمر کوتاهی خواهند داشت.

ضعفها و اشکالات اجرای ساختمانهای فولادی

باوجود لرزه خیزی بالای اغلب نقاط پر جمعیت کشور وآسیب پذیری ساختمانهای موجود در برابر زلزله بر اساس تجربیات زلزله های اخیر هنوز توجه کافی به ساخت وساز صحیح نشده است . از نظر علم مهندسی زلزله، در حال حاضر احداث بناهای مقاوم در برابر زلزله براحتی امکان پذیر است, لیکن عملاً به دلیل یکسری مشکلات اجرائی رسیدن به ساختمانهای مقاوم تضمین نمی گردد[۱و۲].

مشکل اصلی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها حتی نمونه های جدید الاحداث در ایران، عدم استفاده صحیح از دانش فنی در مراحل طراحی و اجرا می باشد. با وجود گذشت حدود ۳ سال از لزوم بکارگیری ویرایش دوم آئین نامه زلزله کشور[۳] برای تعیین بارگذاری جانبی زلزله, در طراحی سازه ای برخی ساختمانهای معمولی هنوز از ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می شود. ضوابط آئین نامه طراحی ساختمانهای فولادی[۴] که برخی از آنها در مناطق زلزله خیز در پیوست ۲ استاندارد ۲۸۰۰ اشاره شده, در طراحی و اجرا سهل انگاری می شود. بسیاری از مهندسین کشور نه تنها اطلاعات کاملی در مورد آسیب پذیری و مقاوم سازی لرزه ای ندارند بلکه در مواجهه با غالب مسائل طراحی و اجرایی معمول ساختمان نیز کوتاهی می کنند[۵]. لذا بایستی سطح آگاهی دراطلاعات فنی این افراد افزایش یافته و نیز مکانیزمی برای اعمال قاطعیت اجرایی و کنترل امر در نظرگرفته شود و البته طوری که حق مهندس ناظر حفظ شده و مسئولیتها به درستی تقسیم گردد[۶]. در این مقاله، وضعیت ساخت و ساز ساختمانهای فولادی در کشور از نقطه نظر ضوابط آئین نامه زلزله کشور (استاندارد ۲۸۰۰) مختصراً مرور شده و توصیه هائی جهت بهبود اجرا ارائه میگردد.

معایب و ضعفهای ساختمانهای فولادی موجود

ضعفهای عمده طراحی و اجرای ساختمانهای فولادی در انتخاب زمین, پی ها، صفحات ستونها, درز انقطاع، ستونها ، تیرها، اتصال تیرها به ستونها، اتصال تیر به تیر اصلی, سیستم باربر جانبی، اعضای مهاربندی، اتصالات بادبندها، سیستم دیافراگم کف، دیوارها و تیغه های داخلی و راه پله دیده می شوند.

انتخاب زمین

بطور کلی در عمل برای انتخاب محل احداث یک ساختمان, مطالعات لرزه ای انجام نمی‌شود و چه بسیار ساختمانهای بلندی که طی سالهای اخیر در مجاورت گسلها ساخته شده‌اند. مطابق پیوست سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] , حرکات زمین در نزدیکی منشا زلزله (مجاورت گسلهای فعال) قابل توجه بوده و خسارات لرزه ای شدیدتری به بار می‌آورد, لیکن با دور شدن از آن, حرکات مزبور ضعیفتر می‌شوند. لذا در حالت کلی بایستی از احداث ساختمان در مجاورت گسلهای فعال اجتناب نمود. در زمینهائی که ممکن است بر اثر زلزله دچار ناپایداری های ژئوتکنیکی (مثل روانگرائی, تشست زیاد, زمین لغزش) گردند, توصیه می‌شود امکان ساخت و شرایط لازم برای احداث بنا بکمک مطالعات ژئوتکنیکی بررسی گردد.

پی ها و شناژها

در ساختمانهای فولادی معمولاً از پی های مستطیلی منفرد یا باسکولی استفاده می گردد که با شناژهای حداقلی به هم متصل می شوند. ابعاد این پی ها گاهی اوقات حتی برای بارهای ثقلی کفایت نمی کند و تنش حداکثر وارده به خاک بیشتر از مقدار مقاومت مجاز خاک می باشد . در عمل به جز برای ساختمانهای بزرگ هیچگونه آزمایشی جهت تعیین مقاومت خاک و نوع آن (با توجه به درجه بندی استاندارد ۲۸۰۰) انجام نمی شود و غالباً ابعاد پی ها بر اساس مقاومت خاک فرضی ۲ kg/cm^2 و نوع خاک ۲ برای محاسبه بارگذاری جانبی زلزله انتخاب می‌شود. این عدد معمولاً به صورت محافظه کارانه انتخاب می شود ولی برای ساختمانهایی که روی خاکهای سست ساخته می شوند دور از اطمینان خواهد بود.

ابعاد پی ها در حالت وجود بارهای جانبی معمولاً افزایش می یابد که در اجرای خیلی از ساختمانها اعمال نمی شود. مشکل دیگری که در اجرای پی و شناژ ساختمانها زیاد پیش می آید، شناژهای است که با مقطعی بزرگتر و آرماتورهای بیشتر مثل

یک تیر عمیق برای پی های کناری ساختمان نقش پی باسکولی را ایفا می کنند. ستونهای موجود بر این پی ها با توجه به مجاورت زمین همسایه ، لنگر خمش قابل توجهی به پی اعمل می کنند که به کمک پی نواری یا باسکولی تحمل می گردد.

اتصال ستونها به پی ها

مسائل متعددی در اجرای اتصال ستونها به پی ها پیش می آید. غالباً ابعاد و ضخامت صفحات زیر سری کافی نیست وگاهی تعداد پیچهای مهاری و قطر آنها نیز کم است. بعضی اوقات بدنبال سهل انگاری در استقرار صفحه ستونها و یا جابجایی احتمالی صفحه در حین بتن ریزی پی، صفحه ستون در محل صحیح خود قرار نمی گیرد و یکی از مشکلات عمده اجرای ساختمانهای فولادی را به وجود می آورد .

برای ساختمانهای ۴ طبقه یا بیشتر معمولاً ضخامت صفحه باید از ۲/۵ سانتیمتر بیشتر باشد و یا اینکه از سخت کننده ها روی صفحه ستون برای افزایش مقاومت خمشی آن استفاده نمود[۴]. درعمل این ورقهای تقویتی بدرستی بکار نمی روند و اغلب گیرداری ناخواسته ای را به صفحه ستون تحمیل می نماید (شکل ۲۰).

شکل (۲۰): اتصال نامناسب ستون به صفحه ستون در یک ساختمان فولادی که بطور ناخواسته قدری گیرداری بوجود آمده.

نحوه اتصال ستون به صفحه ستون نیز بایستی مورد توجه بیشتری قرار گیرد. برای ساختمانهای فولادی در امتداد بدون بادبندی یک اتصال گیردار انتظار می رود، در صورتیکه در اجرا ممکن است چنین اتصالی تامین نشود. مخالف چنین وضعیتی برای امتداد بادبندی شده (اتصالات ساده تیرها به ستونها) مورد انتظار می باشد .

درز انقطاع

طبق استاندارد ۲۸۰۰, برای حذف یا کاهش خسارت ناشی از ضربه ساختمانهای مجاور به هم, باید ساختمانهای با ارتفاع بیش از ۱۲ متر (یا بیش از ۴ طبقه) با درز انقطاع از ساختمانهای مجاور جدا شوند و این درز حداقل ۰/۰۱ برابر ارتفاع ساختمان کوتاهتر باشد. این فاصله در محل لازمه بایستی با مصالح کم مقاومت که در حین زلزله براحتی خرد می‌شوند پر گردد[۳]. اگرچه در سالهای اخیر رعایت درز انقطاع اجباری شده و اجرای آن کنترل می‌گردد, ولی خیلی اوقات بخشی از آن با آجر یا ملات پر می‌شود.

ستونها

غالباً به دلیل سهولت اجرایی برای ستونها بعنوان عضو اصلی هر ساختمان, از دو پروفیل به هم چسبیده که تا حدی غیر اقتصادی است و یا با فاصله و به کمک ورقهای بست افقی استفاده می شود که گاهی فواصل و ابعاد ورقهای بست بدرستی اجرا نمی شود. برای ساختمانهای بزرگ بلندتر از ۵ طبقه، ستونها معمولاً از ورق ساخته می شوند. در بیشتر موارد طول جوش مطابق با محاسبات و دستورالعملهای آیین نامه ای صورت نمیگیرد. مثلا طول جوش نشده از ورق، ۲۰ سانتیمتر یا بیشتر دیده می شود که بویژه برای ستونها بسیار بحرانی خواهد بود.

هرگونه خمیدگی و تابیدگی پروفیل های فولادی مورد استفاده در ستونهای مرکب بایستی جلوگیری شود[۴]. برای ساختمانهای ۵ طبقه یا بیشتر نیاز به اتصال ستونها بر روی یکدیگر پیش می آید که وصله این ستونها در خیلی موارد درمحل مقطع بحرانی (نزدیکی تراز طبقه) اتفاق می افتد. گاهی اوقات و اضافه بر آن ، ابعاد و جوش این ورقهای وصله نیز کافی نمی باشد. اشکال غیر مناسب از ترکیب سه پروفیل و یا ناموزون بودن ابعاد ورق های تقویتی در مقایسه با ضخامت بال خود پروفیل هاو نیز استفاده از ورق در لبه بالهای مقطع (به موازات جان) در اجرای بعضی ساختمانهای فولادی دیده می شود.

تیرها

در اکثر موارد از تیرهای لانه زنبوری در ساختمانهای فولادی استفاده می شود (شکل۲). این تیرها در مقابل برش ضعیف هستند و در محل اعمال بارهای متمرکز مثل دو انتهای تیر بایستی جان را با ورق تقویتی پر نمود. لیکن با توجه به ایجاد نیروی برشی در تمام طول تیرها در سیستم قاب خمشی، کاربرد تیرهای لانه زنبوری برای ساختمانهای فلزی در مناطق زلزله خیز در راستای بدون بادبندی مناسب نمی باشد (شکل۲). خیلی از تیرها در سیستم قاب صلب از مقاطع زوج با ورقهای تقویتی بالها در دو انتها تشکیل می شود. منتها این ورقها با جوش منقطع و معمولاً با بعد جوش گوشه ضعیف به بالهای تیر وصل می شوند. از آنجا که نیروهای کششی بزرگی در بال ها ناشی از خمش تیر در دو انتهای تیر توسط این ورقها بایستی به ستون منتقل گردند در طول و بعد جوش این ناحیه دقت خاصی نیاز است و غالباً ورقهای تقویتی بالها باید به صورت ممتد به بالها جوش شوند[۴و۳].

مشکل متداول دیگر در تیرهای ساختمانهای فولادی طول نامناسب آنهاست. رواداری مجاز در انتهای تیر و در محل اتصال به ستون معمولاً حداکثر ۱ سانتیمتر می باشد[۴]. لیکن در خیلی از ساختمانها به علت ضعف کیفیت اجرایی ، این فاصله حتی به ۵ سانتیمتر می رسد که خروج از مرکزیت زیاد و در نتیجه لنگر خمشی بزرگی را به نبشی نشیمن زیر تیر اعمال می نماید. مهندسین ناظر بایستی مراقب باشند که این فاصله ها درحد مجاز باقی بمانند و در صورت لزوم در خواست تغییر تیر و یا حداقل از نشیمن تقویت شده (در صورتیکه رواداری چندان از مقدار مجاز تجاوز نکرده باشد) استفاده بنمایند.

اتصال تیر به ستون و تیر به تیر

شاید مشکل ترین قسمت از وظایف مهندس ناظر در کنترل کیفیت اجرایی یک ساختمان فولادی، اطمینان از درستی اتصال تیر به ستون باشد به ویژه در امتدادی که سیستم مهاربندی وجود ندارد و صرفاً قاب خمشی قرار است درمقابل بارهای جانبی زلزله مقاومت نماید. درچنین حالتی ، اگر ستونهای قوطی ساخته شده از ورق استفاده می شود بایستی به نصب ورقهای پیوستگی در داخل ستون قوطی و در تراز ورقهای زیر و روی تیر توجه خاصی گردد. غالباً اجرای این ورقها فراموش می شود

و یا در تراز صحیح خود صورت نمیگیرد . مطلب مهم دیگر جوش صحیح آن به داخل ۴ وجه ستون می باشد و متاسفانه درعمل سه طرف جوش می شود ولی وجه چهارم به ورقهای پیوستگی متصل نمی شود.

شکل (۲۱): در قاب خمشی (راستای بدون بادبندی) از تیرهای لانه زنبوری استفاده شده است که کاربرد آن با توجه به ایجاد نیروی برشی در تمام طول تیرها در این سیستم, منطقی نیست. ضمنا ورق تحتانی نیز درست اجرا نشده است.

درخیلی از ساختمانهای فولادی ، برای ستونهای واقع در قابهای خمشی از مقطع زوج متشکل از دو نیمرخ IPE و ورقهای تقویتی روی بالها استفاده می گردد. همانطور که در تصاویر ۲۱و ۲۲ دیده می شود دراین حالت به هنگام اعمال کشش به ورق تقویتی بالها، براحتی این ورق خمیده شده و فلسفه اتصال گیردار زیر سئوال می رود. برای رفع یا حداقل کاهش مشکل درچنین حالاتی میتوان از جوشکاری ورق تقویت به دو لبه دیگر نیمرخهای ستون و یا جوش کام با ایجاد شیاری در طول ورق تقویت بالها استفاده نمود که این جزئیات بایستی در نقشه های اجرایی سازه آمده باشد .

شکل (۲۲): اتصال گیردار نامناسب تیر به ستون مرکب از دو نیمرخ IPE و ورقهای تقویتی روی بالها.

جوش شیاری اتصال ورقهای فوقانی و تحتانی به ستون برای تامین اتصال گیردار نیز اهمیت زیادی دارد و در عمل نسبت به جزئیات آن مثل داشتن پخ ۴۵ درجه لبه ورق و شرایط جوش نفوذی سهل انگاری می شود. خیلی اوقات ورق فوقانی به

صورت مستطیلی بکار می رود و لذا جوش شیاری از مقاومت کافی برخوردار نخواهد بود. برای رفع این مشکل بهتر است پهنای این ورق به صورت ذوزنقه ای درمحل اتصال به ستون افزایش یابد .

نبشی های نشیمن زیرتیرها در خیلی موارد برای تحمل نیروهای تکیه گاهی کافی نیستند و لذا بایستی آنها با افزودن سخت کننده های مثلثی تقویت نمود. مشکل دیگر اتصال تیر به ستون درسیستم اتصال خورجینی (اگرچه در حال حاضر بندرت بکار می رود) است که همواره تا حدی لنگر خمشی از تیر به ستون منتقل می شود لیکن عملاًستونهابرای این لنگر اضافی محاسبه و طراحی نمی شوند. در اتصال تیر به تیر نیز گاهی مشکلات اجرائی دیده میشود. یکی از موارد عمده, اتصال نامناسب تیر به تیر اصلی از نیمرخ لانه زنبوری می باشد.

سیستم مقاوم جانبی در ساختمانهای فولادی

تعداد قابل توجهی از ساختمانهای فلزی موجود درکشور بکلی فاقد هرگونه سیستم باربر در برابر بارهای زلزله هستند. در غالب آنها بدون هیچ سیستم مهاربندی از قاب ساده (یا قاب با اتصالات خورجینی طبق شکل ۲۳ بر اساس طبقه بندی استاندارد ۲۸۰۰) استفاده شده است که صرفاً برای تحمل بارهای قائم طراحی شده اند[۳و ۴]. درحالت بادبندی شده نیز گاهی اوقات به صورت متقارن بادبندی نمی شود که موجب ایجاد کوپل پیچشی بزرگی در طبقات ساختمان می گردد[۳]. بعنوان یک مسئله مهم در خیلی از ساختمانهای فلزی حذف عنصر مقاوم در طبقه همکف به علت ورودی ساختمان ، سبب شکل گیری طبقه نرم و ضعیف در این طبقه که قرار است حداکثر نیروی برشی ناشی از زلزله را تحمل نماید، می شود. در چنین حالتی مطابق استاندارد ۲۸۰۰, نیروی محوری و جابجائی زیاد می‌تواند اثرات $P\text{-}\Delta$ را تشدید نماید[۳].

شکل (۲۳): اتصال نامناسب مهاربند در یک قاب با اتصالات خورجینی که تنها به ستون متصل شده است.

مهاربندی

اشکالات متعددی درسیستم مهاربندی ساختمانهای فولادی در حال اجرا دیده می شود. اتصال عضو بادبند به صورت خارج از مرکز با نصب ورق اتصال در لبه بال ستون و تیر (تصاویر ۲۴و ۲۵)، اتصال این ورق به تنهائی به ستون (شکل ۲۳) یا تنها به تیر، و نیز ضعف عضو مهاربند و ابعاد غیرکافی ورقهای اتصال بادبند(شکل ۲۶)، از موارد معمول میباشد که بایستی با هشیاری مهندس ناظر از آنها اجتناب شود.

در بعضی ساختمانها ، مالک ترجیح می دهد که از پروفیل های I شکل قدیمی به جای اعضای مهاربندی (معمولاً مقاطع زوج از ناودانی و یا نبشی) داده شده در نقشه ها استفاده گردد (اشکال ۲۴ و۲۵). باید توجه داشت که این مقاطع اغلب حتی جوابگوی شرط لاغری اعضای فشاری نیز نیستند و در صورت ارضاء شرط لاغری, تنها شاید بتوان در طبقات فوقانی ساختمان که نیروهای ناشی از زلزله در بادبندها کاهش می یابد از آنها استفاده نمود. مشکل دیگر اجرایی در این رابطه عدم اتصال دو

نیمرخ (ناودانی یا نبشی) به یکدیگر در طول اعضای بادبندی با مقاطع زوج می باشد که لازم است در فواصل مشخص (طبق نقشه مثلاً هر ۶۰ سانتیمتر) باتسمه به یکدیگر وصل شوند. با انتخاب مناسب دهانه های بادبندی می‌توان نیروهای ستونها را در طبقات پائین تعدیل نمود. طبق استاندارد ۲۸۰۰, ترجیح دارد که عناصر باربر جانبی طوری طراحی و اجرا شوند که انتقال نیروها بسمت شالوده به صورت مستقیم انجام شود و اعضایی که با هم کار می‌کنند در یک صفحه قائم قرار گیرند.[۳].

شکل (۲۴): . اتصال نامناسب عضو بادبند به صورت خارج از مرکز با نصب ورق اتصال در لبه بال ستون و تیر.

شکل (۲۵): . اتصال نامناسب ا عضای بادبندی (به شکل هشت یا شورن) به صورت خارج از مرکز با نصب ورق اتصال در لبه بال تیر. در ضمن جان تیر لانه زنبوری نیز تقویت نشده است.

شکل (۲۶): ضعف عضو مهاربند و ابعاد غیر کافی ورقهای اتصال بادبند در یک ساختمان فولادی.

در سیستم مهاربندی واگرا (ذوزنقه), علاوه بر توجه کافی به مشخصات لازم برای اعضای مهاربند بایستی به محل اتصال این اعضا به تیر و مقاومت خود تیر دقت نمود. اغلب دیده می شود که برای تامین بازشوی بزرگتر، زاویه مهاربندها با افق زیاد شده (شکل ۲۷) و نه تنها از راندمان سیستم مقاوم جانبی در تحمل بارهای جانبی می کاهد، بلکه نیروی برشی بزرگتری را به تیر پیوند تحمیل می نماید. ضمناً بدین ترتیب تیر پیوند به صورت خمشی عمل خواهد نمود. در صورتیکه بهتر است تحت نیروی برشی به محدوده تغییر شکلهای غیر ارتجاعی وارده شده و انرژی زلزله را مستهلک نماید. متاسفانه در خیلی از ساختمانهای فولادی در حال اجرا باسیستم مهاربندی واگرا، از یک تیر لانه زنبوری بعنوان تیر پیوند استفاده می گردد (شکل ۲۷) که به هیچ وجه جوابگوی ضوابط طراحی در خصوص جاری شدن برش جان نمی باشد. در چنین حالتی اگر جان تیر در محدوده تیر پیوند, با ورق تقویت گردد با آسیب دیدگی بخشهای کناری نمی‌توان به عملکرد شکل پذیری دست یافت. حال آنکه استاندارد ۲۸۰۰ ضریب رفتار بزرگتر ۷ را برای سیستم مهاربندی برون محور بعلت شکل پذیری مناسب آن توصیه می‌نماید[۳].

شکل (۲۷): از یک تیر لانه زنبوری بعنوان تیر پیوند استفاده شده که جوابگوی ضوابط طراحی در خصوص جاری شدن برش جان نمی باشد. ضعف مقطع مهاربند استفاده شده و در یک راستا نبودن عضو بادبندی ضربدری نیز جالب توجه است.

جوشکاری

یکی از مهمترین موضوعات درهر ساختمان فولادی، کنترل جوشکاری آن میباشد. جوشها درهمه بخشها بایستی منطبق بر اطلاعات نقشه بوده و از لحاظ بعد و طول جوش و کنترل کیفیت لازم بررسی گردد. دراین خصوص حتی ممکن است در یک ساختمان فولادی کوچک به انجام آزمایشات غیر مخرب (NDT) بر روی جوش نیاز باشد. در استاندارد ۲۸۰۰, آزمایشات اولتراسونیک و رادیوگرافی برای کنترل اتصالات جوشی قابهای خمشی ویژه اجباری شده است[۳] که البته بسته به تشخیص مهندس ناظر در سایر حالات نیز انجام می‌گیرد.

سیستم سقف

در حال حاضر، اغلب از سقفهای تیرچه و بلوک در ساختمانهای فولادی استفاده می شود که دراینصورت بایستی میلگردهای تیرچه ها به خوبی دربتن محصور گردند و پوشش بتن تامین شود. ضمناً در خیلی از ساختمانهای فولادی که ازمقاطع لانه زنبوری CPE180 یا بالاتر استفاده می شود, ضخامت سقف سازه ای معادل ۲۵ سانتیمتر می باشد، لایه بتنی و آرماتورگذاری حرارتی بدرستی روی پلهای مزبور را نمیگیرد و دیافراگم کف نمی تواند بخوبی به صورت صلب و یکپارچه عمل نماید .

در سقفهای طاق ضربی که برای غالب ساختمانهای قدیمی استفاده شده، مطابق فصل سوم و پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰[۳]بایستی ازمهاربندی با میلگرد و پوشش بتن به ضخامت ۵ سانتیمتر بر روی سقف به منظور تامین صلبیت دیافراگم و انسجام کف کمک گرفت که معمولا در اجرا و حتی گاهی در نقشه‌های سازه ای فراموش می شود.

سقف های مرکب به خصوص در صورت اجرای مناسب، بهترین عملکرد صلب را می توانند از خود نشان دهند طوریکه نسبت حداکثر تغییرشکل دیافراگم به جابجایی نسبی طبقه کمتر از ۰/۵ باشد[۳]. موارد ضعف اجرایی این سقفها بیشتر به قرارگیری اتصالات برشی و آرماتورگذاری دال بتنی آن مربوط می شود.

در اجرای تاسیسات مکانیکی و برقی طبقات بایستی حتی المقدور سعی شود تا ضخامت تمام شده کف کاهش یابد . بدین منظور میتوان از روی هم ردشدن لوله ها جلوگیری نمود. مسئله دیگر در این رابطه استفاده از پوکه معدنی سبک برای کف سازی طبقات و شیب بندی بام می باشد که در صورت سهل انگاری مهندس ناظر ممکن است حتی از نخاله های ساختمانی استفاده گردد. در واقع طبق توصیه های استاندارد ۲۸۰۰, با بکاربردن مصالح غیرسازه‌ای سبک و کاهش میزان مصرف آن, وزن ساختمان بایستی به حداقل ممکن رسانده شود[۳].

دیوارهای خارجی و داخلی

مشکل اصلی اجرائی درخصوص دیوارها، عدم اتصال مناسب آنها به اسکلت فلزی ساختمان می باشد و لذا احتمال خسارات آنها به هنگام زلزله زیاد است. قطعات غیر سازه‌ای باید طوری طراحی و اجرا شوند که در هنگام وقوع زلزله از سازه جدا نشده و با فروریختن خود موجب خسارات مالی و جانی نشوند[۳]. برای جلوگیری از فروریختن این دیوارها می توان از پروفیل های نبشی یاسپری به صورت قائم یاافقی در فواصل مشخص مثلاً هر ۵۰ سانتیمتر استفاده نمود. طبق استاندارد ۲۸۰۰, دندانه دار کردن دیوار یا "هشت گیر" تنها برای اتصال تیغه ها مجاز است مشروط بر اینکه درزهای بالا و پائین آجرچینی کاملا با ملات پر شوند[۳] حال آنکه گاهی برای دیوارهای سازه‌ای نیز بکار برده می‌شود.
دیوار چینی با آجر فشاری به جای آجر مجوف سبک نیز نمونه دیگر اشتباه اجرایی است و معمولاً از آجر فشاری بعلت وزن بیشترآن فقط در دیوار چینی طبقه زیر زمین ساختمان استفاده می شود. بعضی اوقات دراجرا، محل دیوارها و تیغه ها نسبت به آنچه در نقشه ها آمده است تغییر می کند. تاثیر تغییر بارگذاری تیرها درچنین مواردی بایستی توسط مهندس ناظر بررسی گردد. برای نماسازی با سنگ در خیلی از ساختمانها صرفا از دوغاب ماسه سیمان استفاده می‌شود, در حالیکه این سنگها طبق فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰ بایستی با مفتول فلزی نیز به دیوار مهار شوند[۳].

راه پله

از معایب معمول در اجرای راه پله فولادی، اشتباه در طول لازم قسمت شمشیری پله میباشد که موجب شیب نامناسب پله و ،شرایط نامطلوب ابعاد پاگرد میگردد. برای حل این مشکل گاهی از کف سازی زیاد در قسمت شیبدار پله استفاده می کنند که خطای بزرگی است و بارمرده زیادی را به تیرهای شمشیری پله و نیز به طور کلی به ساختمان تحمیل می نماید (مغایر با توصیه های استاندارد ۲۸۰۰ [۳]). عدم اتصال صحیح تیر پاگرد پله به تیر اصلی سقف, مشکل دیگر در اجرای تیرهای راه پله ساختمانهای فولادی می باشد.

نتیجه گیری

ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساختمانهای در حال احداث را تشکیل می دهند و متاسفانه هنوز علیرغم عنایت به زلزله خیزی از یک سو و افزایش بیش از حد قیمت مسکن از طرف دیگر اشکالات اجرایی زیادی متناقض استاندارد ۲۸۰۰ و آئین نامه طراحی ساختمانهای فولادی در آنها دیده می شود. بکارگیری اصول صحیح اجرایی میتواند کارآیی ساختمان را به خصوص در برابر بارهای فوق العاده زلزله افزایش دهد. درمناطق با لرزه خیزی زیاد، با توجه به شرایط اجرایی در کشور بهتر است از سیستم بادبندی در هر دو راستای ساختمان استفاده شود. در این حالت کاربرد تیرهای لانه زنبوری برای تیرهای پیوند در سیستم مهاربندی واگرا مناسب نمی باشد.

چنانچه عرض پلان ساختمان خیلی کم باشد طوریکه در آن راستا ناچار به استفاده از قاب خمشی باشیم، بایستی در امتداد مزبور از تیرها با اتصالات خورجینی و کلاً تیرهای لانه زنبوری استفاده نشود. شرایط خاص اتصال گیردار تیر به ستون دراین رابطه بایستی توسط مهندس ناظر مطابق نقشه های سازه أی صحیح منطبق بر آئین نامه های طراحی (مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی کشور و پیوست ۲ استاندارد ۲۸۰۰) دنبال شود.

جوشکاری به عنوان مهمترین مسئله اتصالات در اجرای یک ساختمان فلزی بایستی مورد توجه قرار گیرد و روشهای مختلف کنترل کیفیت جوش دراین خصوص بکار گرفته شود. کاهش بارمرده کف سازی و دیوارها نیز میتواند به کاستن نیروهای جانبی ناشی از زلزله کمک نماید و بدین ترتیب اثر بعضی اشکالات اجرایی اجتناب ناپذیر را تا حدودی جبران نماید.

مراجع

۱. کوهیان افضلی, رویا و غفوری آشتیانی, محسن. ؛نگاهی به تکنولوژی ساخت ساختمانهای متداول مسکونی در کشور, پژوهشنامه موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله, سال ۵, شماره ۵و۶, .۱۳۷۵

۲. تیو, مهران. ؛نقدی بر فرآیند طرح و اجرای ساختمانهای اسکلت فولادی در کشور؛, پژوهشنامه موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله, سال ۸, شماره ۲, .۱۳۷۹

۳. آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله – استاندارد ۲۸۰۰, ویرایش دوم, نشریه شماره ض-۲۵۳, مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن, آذر .۱۳۷۸

۴. آئین نامه طراحی ساختمانهای فولادی - مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی کشور, وزارت مسکن و شهرسازی, تهران ۱۳۷۴.

۵. زهرائی, سید مهدی. جنبه های کاربردی مقاوم سازی؛ سمینار آموزشی مقاوم سازی ساختمانهای فولادی موجود, تبریز, مرداد .۱۳۸۱

۶. سر حدی, احمدرضا. ؛نقدی بر عملکرد دفتر امور مهندسان ناظر شهرداری تهران؛, پیام نظام مهندسی, شماره ۲۲, ۱۳۸۱