

بررسی تکنولوژی قاب های فولادی سرد نورد شده (Cold Formed Steel Framing) و سیستم های دیوار پوششی آن (Dry Wall)

رضا هوشمند کارشناس ارشد سازه - استاد دانشگاه آزاد اسلامی کرمان - مجری طرح های پژوهشی و اجرایی در ایران
پدرام رجب زاده دانشجوی کارشناسی عمران - دانشگاه آزاد اسلامی کرمان - پژوهشگر بخش پژوهشی دانشگاه آزاد

چکیده :

تکنولوژی سازه های فولادی سرد نورد شده (COLD FORMED STEEL)، چند صباحی است که بعنوان یک سیستم ساختمانی بهینه و نوین، ذهن بسیاری از مهندسين کشورمان را به خود جلب کرده، و آنان را به تلاش و تکاپو به منظور بدست آوردن اطلاعات در این زمینه واداشته است. در این مقاله سعی شده که بصورت مختصر و مفید و با زبانی بسیار ساده در گام اول ساختار اولیه این سازه ها و ابزار آن را بررسی کرده، سپس با دید مقایسه ای با سیستم های رایج ساختمانی در ایران (اسکلت فولادی گرم نورد شده)، مزایا و معایب این سازه ها را بر شمرده، و به ابعاد آئین نامه ای و محاسباتی آن اشاره نماید، و در نهایت به بررسی سیستم های پوششی این سازه ها (Dry Wall یا دیوار خشک، که هم اکنون در ساخت و ساز رایج کشور در سطح وسیعی در حال اجراست)، پرداخته و مسائل عایق بندی، مشکلات و راه کارهای مقابله با آن بیان شود. همچنین به مخاطرات رها کردن بحث تحقیق و پژوهش پیرامون این موضوع، و فاصله افتادن بین عرصه تولید و بازار با کارشناسان امر اشاره گردیده، و در آخر با این امید به نگارش مقاله پرداخته شده، که روزی فرا رسد تا تمامی آئین نامه های کشور، از دل دانشگاه ها بیرون بیاید.

۱- مقدمه :

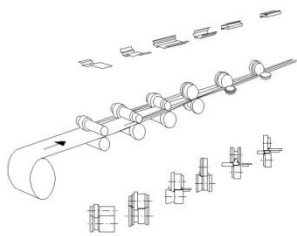
بطور کلی فولاد ساختمانی تشکیل شده از دو خانواده اصلی ؛

الف - فولاد گرم نورد شده (hot-rolled steel)، که همان فولاد شناخته شده و رایج ساختمانی است. مقاطع تولید شده این گروه فولادی حاصل کارخانه های ذوب آهن می باشد.

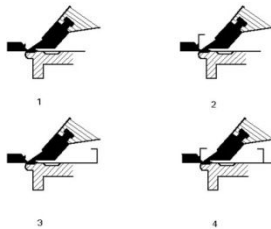
ب - فولاد سرد نورد شده (cold-formed steel)، که از شکل دادن ورق های فلزی روکش دار (گالوانیزه) توسط دستگاه های نورد سرد بدون حرارت ذوب ساخته می شود.

۱-۱- خط تولید مقاطع فولادی سرد نورد شده :

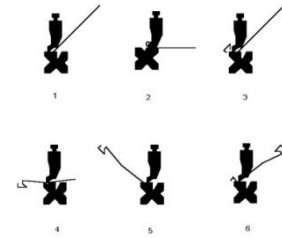
ورق های فولادی اولیه معمولاً در عرض های ۱ متر و در ضخامت های 0/4mm و 6/4mm (البته ورق های تا ضخامت 1 in نیز قابلیت نورد سرد را دارا میباشند، اما معمول نیست) در کارخانجات ذوب آهن تولید و در کارخانجات مخصوص دیگری به سه روش ؛ الف- رولی (Cold roll forming) ، (شکل ۱) ب- پرسی (Press brake operation) ، (شکل ۲) ج- خم کن (Bending brake operation) ، (شکل ۳) فرم داده می شوند و به اشکال مورد نظر در می آیند . البته بدلیل برآورده کردن خاصیت سازه ای مطلوب فولادهای تولید شده به روش رول فرمینگ، این روش کاربرد بیشتری در تولید مقاطع معمول ساختمانی دارد. فقط باید دقت کرد که درجه حرارت نورد سرد توسط ماشین آلات Roll Forming بطور مطلوب بین 30°F و 200°F (34°C - 93°C) در نظر گرفته شود.



شکل ۱- نورد بصورت رول فرمینگ



شکل ۲- نورد بصورت پرسینگ



شکل ۳- نورد بصورت خم

۱-۲- مروری بر تاریخچه این فولاد ساختمانی :

فولاد فرم داده شده در حالت سرد یا CFS⁽¹⁾ از سال های ۱۸۵۰ در کشورهای انگلستان و آمریکا با بکارگیری در ساخت لوازم منزل و ماشین آغاز شد ولی تا حدود سال های ۱۹۴۰ در ساختمان سازی بکار گرفته نمی شد. در این سال ها شخصی بنام "جرج وینتر(2)" در دانشگاه "کرنل(3)" آمریکا تحقیقات خود را در این زمینه آغاز کرد و از سال های ۱۹۴۶ بکارگیری این سیستم ابتدا در دیوارهای جدا کننده غیر باربر در آمریکا شروع شد، و بعد از آن از قطعات فولادی CFS، در ساختمانهای تجاری و صنعتی بکار گرفته می شد. اما از آنجا که نتوانست با سیستم های رایج مسکن سازی آن کشور (ساختمان های چوبی، بعلت فراوانی و ارزانی آن) رقابت اقتصادی کند بنابراین تا سال ۱۹۹۰ امکان بکارگیری قطعات فوق در این بخش عملی نگردیده بود. از سال ۹۰ به بعد به دلیل گران شدن چوب و مطرح شدن مشکلات زیست محیطی در صنعت ساختمان سازی سبب گردید سیستم ساختمانی با استفاده از قطعات فولاد CFS برای ساخت واحدهای مسکونی بکار گرفته شود. حاصل تحقیقات این دانشگاه توسط انجمن فولاد آمریکا مرتباً در استاندارد (4) "AISI" ، که بعنوان آئین نامه مختص فولاد سرد نورد شده پیش بینی بود، ثبت میگردد.

(1) cold-formed steel

(2) George Winter

(3) Cornell University

(4) American Iron and steel Institute

(5) Cold Formed Steel Framing

(تذکر: این نام میتواند مناسب ساختمان های ساخته شده از فولاد سرد نورد شده باشد.)

هم اکنون کشورهای آمریکا، کانادا، ژاپن، استرالیا، انگلستان، آلمان، هلند، فرانسه و چین از پیشروان این صنعت ساختمانی هستند، و نیز هر روز به علاقه مندان استفاده از این سیستم ساختمانی در دنیا افزوده می شود.

۱-۳- مزایای ساختمان های فولادی سرد نورد شده :

۱- در مقایسه با ساختمان های فولادی گرم که با تعداد ستون های کمتر و دهانه های بزرگ سر و کار داریم، و در نتیجه با بارهای بزرگ و نیروی خمشی حداکثر مواجه شده، که مجبور به استفاده از مقاطع بزرگ و ضخیم خواهیم بود، لیکن اعضا در قاب های فولادی سرد نورد شده (5) (CFSF) بدلیل وجود تعداد ستون های بیشتر و دهانه های کوتاه، علاوه بر پایداری بیشتر نسبت به ساختمانهای فولاد گرم، تحت بارهای نسبتاً سبک قرار گرفته و در نتیجه ابعاد مقاطع پایین می آیند.

۲- خصوصیت بارز این مقاطع (CFS) بالا بردن مقاومت مقطع توسط افزایش مدول مقطع (S) با شکل دادن بیشتر به مقاطع میباشد. که در فولاد گرم نورد شده این افزایش مقاومت، به جای تنوع در اشکال غالباً توسط افزایش ضخامت و ابعاد تأمین میگردد، که نتیجه آن در ساختمان های فولادی گرم، مصرف فولاد بیشتر و هزینه بالاتر خواهد بود.

۳- یکی از ویژگیهای مهم این سیستم سازه ای، استفاده بهینه از مصالح ساختمانی است که علاوه بر اقتصادی کردن ساختمان سازی، امکان سبک سازی ساختمان را نیز به همراه دارد (وزن فولاد مصرفی در این سیستم کمتر از ۶۰٪ سیستم های اسکلت فلزی متداول است)، در نتیجه CFSF سیستم مناسبی برای مقابله با زلزله در مناطق زلزله خیز و مناطقی که خاک سست دارند، خواهد بود.

۴- وجود مقاطع متنوع این اجازه را به محاسب میدهد که با توجه به مقاومتی که انتظار دارد، مقطع مورد نظرش را کاملاً بصورت مدولار انتخاب کند. بنابراین همواره بهینه ترین طراحی را در این سازه ها خواهیم داشت. همچنین در طراحی معماری، شیوه اجرایی سیستم و نوع اتصالات بجز اینکه محدودیتی برای معمار ایجاد نکرده، در ضمن توانسته دست آن را برای دستیابی به اهداف طرح باز نگه دارد. از آن جمله می توان به پیروی از مدولار خاص (تبعیت از مدول معماری ۳۰ سانتی متر) برای طراحی معماری، انطباق با مبلمان فضاها، گسترش عمودی و افقی بنا، امکان تعبیه باز شوها، ساخت بالکن با کنسول کردن تیرها و غیره به صورت ذاتی در سیستم اشاره کرد.

۵- یکی از مهمترین دلایل رشد و توسعه این سیستم، فواید زیست محیطی آن می باشد. زیرا عمدتاً این سیستم بر اساس صرفه جویی مصالح ساختمانی از طریق حذف جزئیات اجرایی اضافی (مانند ایجاد سطوح صاف و شاقولی توسط مصالح اضافی، برای اجرای نازک کاری ها) طراحی گردیده، و نیز امکان بازیافت مصالح بکار رفته در این سیستم، از جمله سازه آن (Stud-Runner) و تبدیل به پروفیل های متداول یا استفاده مجدد مخصوصاً در هنگام ایجاد تغییرات در بنا بوده و این امر کمک زیادی برای صرفه جویی در استفاده از مواد اولیه و حفظ محیط زیست خواهد نمود.

۶- بعلاوه پوشش دار بودن اجزای اصلی سازه های CFSF (عموماً پوشش های گالوانیزه) و نیز سهولت در تعمیر و نگهداری این سیستم باعث افزایش عمر مفید بنا گشته است، بطوریکه ساختمان های ساخته شده با این شیوه در کشورهای صنعتی بیش از ۶۰ سال از عمرشان را سپری کرده اند.

۷- هماهنگی ساختار اصلی سیستم با اجرای تأسیسات از جمله مزایای دیگر سیستم به شمار میرود. برای کارگذاری تأسیسات در ساختمان، قطعات فولادی سیستم در کارخانجات سوراخکاری می شوند، و در اجرا نیز بدلیل وجود لایه آزاد میانی، تأسیسات پیش از نصب دیوار پوششی سازه کار گذاشته می شود. علاوه بر آن امکان دسترسی به تأسیسات را جهت تعمیرات بدون تخریب و آسیب جدی فراهم می آورد.

۸- دارا بودن قابلیت پیش ساخته شدن و تولید انبوه بدلیل امکان ارائه نقشه های اجرایی دقیق و تولید اجزای سیستم در کارخانه و نیز سهولت حمل و نقل، و همچنین نیاز نداشتن به نیروهای کارگری با تخصص ویژه، در سیستم CFSF از مزیت های دیگر آن محسوب می شود.

۹- قابلیت تلفیق با روشهای سنتی ساخت و ساز اما با شیوه های کاملاً علمی و مطمئن تر اجرایی.

۱-۴- معایب ساختمان های فولادی سرد نورد شده :

از جمله معایب این سازه ها بالا بودن نسبت پهنا به ضخامت ($\frac{W}{t}$) مقاطع است (بعبارتی جزء المان های لاغر محسوب می گردند)، که حاصل آن بوجود آمدن کنترل های کم انشی کلی و موضعی مقطع میباشد. البته این مشکل با چشم پوشی از پهنای خالص و در نظر گرفتن عرض مؤثر و نیز با کمک تعدادی سخت کننده میانی و لبه ای تقویت شده ، و افزایش بار کم انشی قابل حل است. دومین مسئله موجود، پیچیده بودن محاسبات مقاطع به دلیل تنوع در اشکال و عمومیت طراحی آن (مانند بحث تیر های عمیق در فولاد گرم) میباشد، که البته برای این مورد هم نرم افزارهای قوی از جمله " SAP2000 " (از ورژن ۸ به بعد بطور جداگانه و آماده مقاطع عمومی Cold Formed در آن آورده شده و نیز در بحث طراحی، آئین نامه AISI96 در این برنامه موجود است)، و نیز نرم افزار "TEKLA Structures" یا همان "X Steel" (اغلب مقاطع CFS را در خود جای داده و بعنوان یک دیتیلر برای آماده کردن نقشه های اجرایی میتواند مؤثر باشد)، که هم اکنون در دسترس مهندسين کشور قرار دارد، میتواند ما را یاری کند. اما مشکل بزرگی که وجود دارد مقاومت خستگی و استقامت فولادهای سرد نورد شده است که طی آن در حال حاضر تحقیقات وسیعی توسط دانشگاه های نیومکزیکو (New Mexico) و مانیتوبا (Manitoba) در حال انجام است، و نیز کمیته ای از طرف AISI از سال ۱۹۹۹ تعیین گردیده، که وظیفه جمع آوری تحقیقات در این زمینه را بر عهده دارد. پس در شرایط موجود، اعضای این ساختمان ها باید به گونه ای طرح گردند که حتی الامکان تحت بارهای سیکلی زیاد قرار نگیرند.

۲- معرفی سیستم سازه ای CFSF⁽¹⁾

۲-۱- انواع اصلی مقاطع فولاد سرد نورد شده :

استفاده از اشکال گوناگون برای ساخت مقاطع سرد نورد شده مجاز است و هیچگونه شکل استاندارد ی جهت انواع باربری های مختلف وجود ندارد و با توجه به نظر طراح و رفتار مورد انتظار می توان انواع مقاطع خاص را طراحی و در باربری های مورد نظر به کار گرفت. اما بطور کلی دو دسته اصلی را می توان برای این مقاطع در نظر گرفت :

الف- مقاطع قابی شکل (شکل ۴).

ب- مقاطع صفحه ای شکل یا مقاطع پانلی (شکل ۵).

۲-۱-۱- مقاطع قابی شکل

معمولاً این مقاطع به اشکال C, Z, I, T, نبشی و کلاهی شکل، تولید شده و بر اساس کاربری مورد نیاز در ساختمان به صورت المان تیر، ستون، خرپا به کار گرفته میشوند. مقاطع عمومی این المان ها بطور معمول در عمق های 2-12 in (51-305 mm)

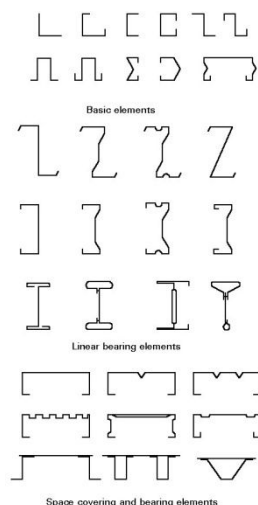
(1) Cold Formed Steel Framing

و با ضخامتی حدود 0.048-1/4 in (1.2-6.4 mm) تولید میگردند. البته در بعضی مواقع ممکن است این عمق به 18 in (457 mm) و ضخامت به حدود 1/2 in (13 mm) و یا حتی ضخیم تر برسد. (شکل ۴)

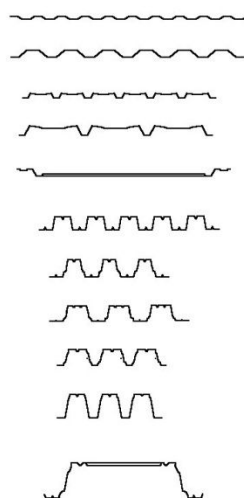
محدودیتی که در اینجا وجود دارد، اینست که استفاده از این مقاطع در فولاد سرد نورد شده (cold-formed) تنها می تواند در ساختمان های تا شش طبقه بعنوان اعضای اصلی سازه ای (تیر و ستون) مورد استفاده قرار گیرند، و در ساختمان های بلند و در طبقات بیشتر، اعضای اصلی سازه، فولاد گرم نورد شده (hot-rolled) است و مقاطع فولاد سرد بعنوان اعضای فرعی بکار میروند.

۲-۱-۲- مقاطع صفحه ای شکل

مقاطع صفحه ای یا پانلی در پوشش های سقف، بام و پانلهای دیواری مورد استفاده قرار می گیرند. بطور مثال استفاده از ورق های موجدار جهت پوشش بام و یا در برخی موارد از انواع دیگر آن بعنوان دیوار برشی به منظور مقابله با نیروهای جانبی، و همچنین در مقاطع ترکیبی (ترکیب با بتن) جهت پوشش سقف طبقات و نیز بعنوان دیوارهای جدا کننده، کاربرد وسیع دارند. عمق این صفحات بطور عمومی 1.5-7.5 in (38-191 mm) بوده و ضخامتی برابر 0.018-0.075 in (0.5-1.9 mm) را دارا می باشند. (شکل ۵)



شکل ۴- مقاطع قابی شکل



شکل ۵- مقاطع پانلی شکل

۲-۲- بررسی و ضوابط طراحی CFSF :

در سال های ۱۹۳۰ در ایالات متحده آمریکا با پذیرش و توسعه cold-formed steel در صنعت ساختمان سازی، با توجه به اینکه تفاوت هایی با فولاد گرم نورد شده در نوع بارگذاری ها و مقاطع وجود داشت، متوجه فقدان یک آئین نامه مجزا برای این نوع فولاد گردیدند. بدین ترتیب با گردآوری تحقیقات دانشگاه کرنل پیرامون این سیستم سازه ای، اولین استاندارد فولاد سرد تحت عنوان AISI (American Iron and Steel Institute) در سال ۱۹۳۰ تدوین گردید. در سال ۱۹۴۹ با تشکیل کمیته ای با ریاست " Tappan Collins " و جمع آوری ضوابط طراحی در مجموعه ای تحت عنوان "Light Gauge Steel Desin Manual" بطور کامل طراحی این سازه ها از سایر آئین نامه ها جدا گردید، و بعد از آن در سال های ۱۹۵۶، ۱۹۶۱، ۱۹۶۲، ۱۹۶۸، ۱۹۷۲، ۱۹۷۷، ۱۹۸۳، ۱۹۸۶ این ضوابط تجدید نظر گردید، و نهایتاً در سال ۱۹۹۶ این ضوابط بطور کامل تر در هشت بخش به شرح ذیل جمع آوری گردید؛ ۱- ابعاد و خواص ۲- طراحی تیر ۳- طراحی ستون

۴- طرح اتصالات ۵- مشخصات فنی ۶- تفسیر ۷- اطلاعات تکمیلی ۸- نتایج آزمایشات. در این آیین نامه روش طراحی عناصر سازه ای هم براساس تنش مجاز (ASD) و هم براساس ضریب کاهش بار و مقاومت (LRFD) بیان شده است (البته روش ASD اولین روش آئین نامه AISI بوده، و نیز بعنوان روش انتخابی معمول در طراحی های فولادی مهندسین کشور ما محسوب میشود). بنابراین کاملاً مشخص می شود که هیچکدام از استانداردهای ارایه شده قابل مقایسه با آیین نامه (AISI) در زمینه سازه های فولادی سرد نورد شده نمی باشد. به خصوص برای مهندسین کشورمان که اکثراً با آیین نامه (AISC) آشنایی کامل دارند، میتواند ابزاری مفید برای فعالیت در این زمینه تلقی شود.

۲-۳- بار گذاری و روش تحلیل

در بارگذاری بارهای سرویس همانند، بارهای مرده، بارهای زنده و بار برف هیچ تفاوتی با سایر آئین نامه های موجود ندارد، و میتوان بطور مثال بارگذاری سازه را بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ایران انجام داد. اما برای محاسبات بار زلزله این سازه ها آئین نامه ها و شیوه های متفاوتی موجود می باشد. بعنوان نمونه آئین نامه های (Technical Instructions) TI 809 و آئین نامه ارتش آمریکا (IBC 2003)، مقادیر ویژه ای را در رابطه با ضریب رفتار این سیستم ها (R) در نظر می گیرد، که طبق این آئین نامه ها، به ترتیب حداکثر مقادیر 4 و 4.5 برای آن منظور می شود. در محاسبات بار باد می توان همان شیوه های بار گذاری معمول مبحث ششم مقررات ملی را اعمال کرد، که البته بعنوان روشی دقیق تر می توان از آزمایش تونل باد برای سازه های مرتفع تر کمک گرفت. روش تحلیلی آن هیچ تفاوتی با سایر سازه ها ندارد و به همان شیوه گذشته می توان سازه را تحلیل کرد.

۲-۴- ترکیب بار

در آئین نامه AISI اشاره ای به ترکیب بارهای مربوط به طراحی به روش تنش مجاز (ASD) نشده است، بنابراین طبق ضوابط آئین نامه ای باید اعضا به گونه ای طرح شوند که مقاومت آنها مساوی و یا بیشتر از اثر نیروهای اسمی حاصل از هر یک از ترکیب بارهای زیر گردد؛

1- D

2- D+L+(Lr یا S یا Rr)

3- D+(W یا E)

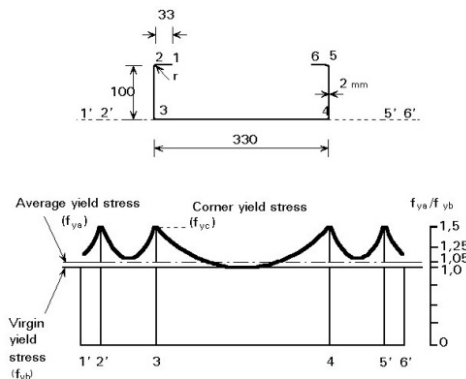
4- D+L+(Lr یا S یا Rr)+(W یا E)

و نیز باید دقت کرد که در تحلیل و طراحی این سازه توسط برنامه SAP2000 هیچگونه ضریبی به ترکیب بارهای آن داده نشود.

۲-۵- نکات طراحی

- ۱- روش های طراحی مقاطع سرد نورد شده بدلیل اشکال متنوع و مدولاری که دارند بسیار کلی و عمومی (General) می باشد.
- ۲- نسبت عرض به ضخامت المان های سرد نورد شده در مقایسه با مقاطع گرم نورد شده بسیار بزرگ بوده، لذا روش های ارایه شده جهت محاسبه و طراحی آنها می بایست شرایط کمانش و پس از کمانش موضعی (Post Buckling) را تحت بارهای فشاری در نظر گرفت. علاوه بر این ضخامت کوچک در مقاطع سرد نورد شده نسبت به اعضاء ضخیم مقاطع گرم نورد شده سختی پیشگی را کمتر از سختی خمشی نتیجه می دهد، این عامل تأثیر بسیار مهمی در رفتار کمانش پیشگی - خمشی تیرها و ستون ها دارد.
- ۳- روش ساخت در هنگام تولید قطعات سرد نورد شده باعث تغییر در خصوصیات مواد به کار رفته می شود. در حقیقت حد تسلیم عضو ساخته شده نسبت به ورق مینا افزایش می یابد. به عبارت دیگر عملیات مکانیکی سرد که روی قطعه انجام می گیرد ویژگیهای

مقاومتی قطعه یا المان سردنوردشده را خصوصاً در نزدیکی خم‌ها و گوشه عضو زیاد می‌کند، لذا مقاومت کمانشی مقطع به شدت افزایش می‌یابد. بطور مثال در مقطع C نمایش داده شده در (شکل ۶) میتوان تأثیر سخت کننده ها و خم های بوجود آمده را در توزیع تنش ها بر مقطع مشاهده کرد.



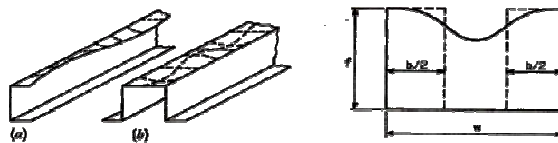
شکل ۶- تأثیر گوشه های المان CFS در توزیع تنش

۴- مقاومت ورق صاف و نازک تحت تأثیر نیروی فشاری به عوامل زیر وابسته است:

$$\text{الف) نسبت } \frac{W}{t}$$

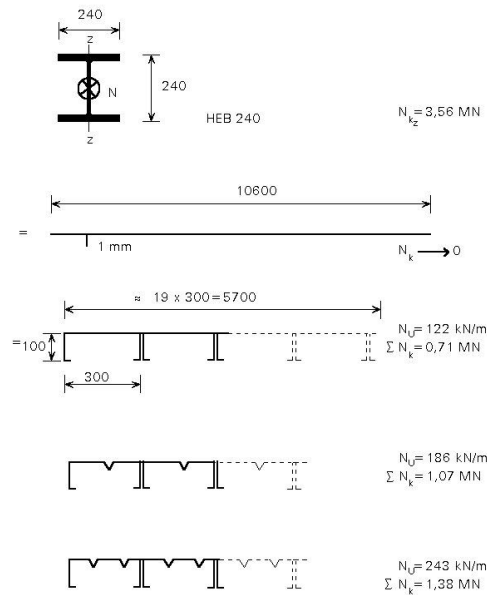
ب) شرایط مرزی گوشه المان .

در نسبت فوق W عرض ورق و t ضخامت المان مورد نظر فرض می‌شود. با توجه به نازک بودن $\frac{W}{t}$ این المان‌ها، کمانش موضعی عامل بسیار تعیین کننده در باربری مقاطع سرد نورد شده است. شرایط مرزی از طریق ضریب k که همان ضریب طول مؤثر است، در رفتار و مقاومت فشاری قطعه موثر است. در (شکل ۷) دو عضو خمشی نشان داده شده است، در (شکل ۷-a) جز فشاری، بال بالایی ناودانی دارای یک تکیه‌گاه طولی یا جان است. در حالی که در (شکل ۷-b) المان فوق به دو جان یا دو تکیه‌گاه متصل است. بنابراین اعوجاج ورق یا کمانش در (شکل ۷-a) بسیار زودتر از (شکل ۷-b) اتفاق می‌افتد در حالی که هر دو عضو دارای $\frac{W}{t}$ یکسان هستند.



شکل ۷- تأثیر نیروی فشاری بر مقاطع مختلف

حال بعنوان یک مثال کاربردی، مقاومت یک مقطع پروفیل فولاد گرم نورد شده (HEB 240) با یک مقطع CFS با افزایش سخت کننده ها در (شکل ۸)، مقایسه و بررسی می‌کنیم و به تأثیر جالب این سخت کننده ها بر مقاومت مقاطع فولادی سرد نورد شده پی خواهیم برد.



شکل ۸- تأثیر سخت کننده ها در مقاومت مقطع CFS

۲-۶- ضوابط طراحی

به منظور طراحی المان‌های فولادی سرد نورد شده که تحت تنش‌های غیر یکنواخت قرار دارند. در محاسبات بجای استفاده از W پهنای المان مذکور، از یک عرض مؤثر استفاده می‌شود. به عبارت دیگر عرض مؤثر b_e جایگزین W عرض ورق می‌گردد، در این صورت اثر کمانش موضعی در محاسبات اعمال شده است. این جایگزینی به صورتی انجام می‌گیرد، که سطح تنش‌های تولید شده در مقطع المان که به صورت یک منحنی در عرض W المان است، با مساحت تنش مستطیلی در عرض مؤثر ورق b_e کاملاً یکسان باشد (شکل C-۷). بدین ترتیب در تمامی مراحل طراحی ابتدا با کنترل لاغری و انواع کمانش‌ها، توسط محاسبه عرض مؤثر، مشخصات مقاطع را حساب کرده، و بعد از آن به ضوابط مربوط به طراحی اعم از طرح تیر، ستون و مابقی اعضا، می‌پردازیم.

بطور کلی آیین‌نامه AISI روش طراحی اعضای CFSF را به صورت زیر خلاصه می‌کند:

الف) تنش کمانشی (تنش اسمی F_n) براساس خصوصیات مقطع کاهش نیافته، محاسبه می‌شود.

ب) سطح مؤثر مقطع نیز با توجه به تنش‌های اسمی قابل محاسبه است.

ج) با محاسبه تنش‌های اسمی و سطح مقطع مؤثر، ظرفیت اسمی مقطع یا عضو تعیین می‌گردد.

مراحل فوق کاملاً جهت محاسبه تغییر مکان‌ها قابل استفاده است. بدین منظور سطح مؤثر براساس تنش‌هایی که تغییر مکان در آنها محاسبه می‌گردد، بدست می‌آید.

۱- اتصالات

بطور کلی انواع اتصالاتی که برای این اعضا بسته به شرایط و ضخامت آن می توان در نظر گرفت عبارتند از ؛ جوش ، پیچ ، پرچ ، پیچ خودکار (Screw) و چسب های مخصوص این فلزات، که هر کدام از این اتصالات به انواع مختلفی تقسیم بندی می شوند. که البته اتصالات جوش، پیچ و Screw بیشتر از بقیه مورد تأیید AISI می باشد.

۳-۱- اتصالات جوشی

جوشکاری و انواع آن برای ورق های فولادی سرد نورد شده که ضخامت نازکترین عضو متصل شده از 0.18 in کمتر باشد، باید نسبت به ضخامت و موقعیت های جوشکاری طبق استاندارد (ANSI/AWS D1.3—) ANSI/AWS D1.3 (Structural Welding Code—) Sheet Steel)، نوع آن تعیین گردد. آیین نامه AISI بر اساس دو روش طراحی اسمی و مجاز، انواع اتصالات جوشی را به قرار ذیل معرفی می کند؛ ۱- جوش های شیاری ۲- جوش گوشه ۳- جوش نقطه ای ۴- جوش دوختی ۵- جوش مختلط (مشابه جوش انگشتانه در فولاد گرم).

۳-۲- اتصالات پیچی

روش عمومی جهت اتصال اعضا سرد نورد شده، اتصالات پیچ و مهره ای (Bolt) و پیچ خودکار (Screw) میباشد. این اتصالات به خاطر نازک بودن ضخامت ورق نسبت به ابعاد پیچ ها تقریباً شکل های خرابی متفاوتی نسبت به اتصالات پیچی معمولی در سازه های فلزی دارند. با توجه به آزمایشات انجام شده به روی اتصالات پیچی مدهای خرابی زیر را می توان برای اتصالات سرد نورد شده در نظر گرفت.

a) برش و کشش خود پیچ. این گسیختگی تابعی از نوع و جنس پیچ است که معمولاً از نوع A-307 ، A-325 و A-447 ، با توجه به استاندارد ASTM ساخته می شوند. در این حالت پیچ ها در مقطع شان تحت برش گسیخته می شوند.

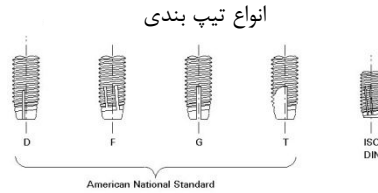
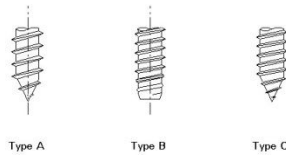
b) برش طولی صفحات اتصال هم جهت با اعمال بار. که با ایجاد فاصله کافی ما بین مرکز سوراخ پیچ و لبه ورق در جهت موازی اعمال بار از این نوع گسیختگی می توان جلوگیری کرد.

c) لهیدگی بسبب تنش های تماسی فشاری ما بین پیچ ها و ورق اتصال. این مد گسیختگی هنگامی آشکار می گردد که یک تمرکز تنش در یک نقطه ای از اتصال بین پیچ و ورق ایجاد گردد.

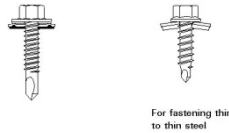
d) پارگی برشی مقطع خالص ورق در جهت عمود بر اعمال بار، که در این حالت با توجه به اینکه پیچ ها هنوز قادر به باربری بوده ورق اتصال ما بین سوراخ های اتصال، گسیخته می شود.

آیین نامه AISI شامل ضوابط و محدودیت هایست که از وقوع هریک از شرایط بالا جلوگیری کند.

البته با توجه به نازک بودن قطعات فولادی سرد نورد شده از پیچ (Screw) یا پیچ خودکار بدون پیش سوراخ و یا با پیش سوراخ جهت اتصال اجزای فولادی CFS استفاده می گردد. در این نوع اتصال از مهره برای بستن پیچ استفاده نمی شود. در این حالت پیچ ها در قسمت نوک شرایطی ایجاد شده که پیچ مانند مته ورق های اتصال و اعضا را سوراخ کرده و اتصال با سرعت زیاد در محل قابل انجام است. (شکل ۹)



الف) با پیش سوراخ



ب) بدون پیش سوراخ

شکل ۹- انواع پیچ های (Screw)

۲- بررسی ضوابط عایق بندی سازه های CFSF

۴-۱- تشریح سیستم پوششی قاب های فولادی سرد نورد شده :

سیستم های دیوار پوششی از سه جزء اصلی تشکیل شده اند؛

۱- پروفیل های سرد نورد شده، عمودی (Stud) و افقی (Track or Runner) که نقشی تعیین کننده در ایستایی دیوار دارند.

۲- تخته های گچی (Gypsum board) و سیمانی (Cement board) که بعنوان پوشش در دو طرف سازه نصب می شوند.

۳- عایق حرارتی احتمالی (پشم سنگ، پشم شیشه و یا پلی استایرن) که در بین دو تخته گچی یا سیمانی قرار می گیرد.

۴-۲- عایق بندی حرارتی :

از دید حرارتی گچ به کار رفته در تخته های گچی ضریب هدایت حرارت کمی دارد (بین ۰.۳۵ و ۰.۵۰)، ولی ضخامت لایه های گچی به قدری کم است که در نهایت، پانل گچی تأثیر چندانی بر روی مقاومت حرارتی کل سیستم ندارد. ورق های سرد نورد شده با وجود ضخامت کم ، و فاصله ای که از یکدیگر دارند (معمولاً ۴۵ تا ۶۰ سانتیمتر) ولی با تشکیل یک پل حرارتی قابل توجه بزرگترین نقطه ضعف سیستم از دید حرارتی می باشد. با توجه به ضوابطی که در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی وجود دارد، ضروری است بین دو لایه پوششی دیوار یک لایه عایق حرارتی پیش بینی گردد.

۴-۲-۱- راه کارهای مقابله با این نقطه ضعف ؛

به منظور بهبود عملکرد حرارتی دیوار، در جهت دستیابی به مقاومت های تعیین شده در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، روش های ذیل را می توان بررسی کرد :

الف - افزایش ضخامت عایق حرارتی، از نظر اجرایی ساده‌ترین روش افزایش ضخامت و در نتیجه مقاومت حرارتی عایق است، تا حدی که اثر پل‌های حرارتی را جبران نماید. جالب است بدانید که این روش اثر پل‌های حرارتی را کاهش نداده و حتی در اکثر موارد مقدار آن را افزایش می‌دهد و باعث می‌گردد عایق‌های حرارتی با ضخامت‌های بالا مورد استفاده قرار گیرد که از نظر اقتصادی فاقد توجیه قوی است.

ب - قراردادن یک لایه نازک عایق پلی استایرن به عنوان پوشش خارجی دیوار، این اقدام اثر موضعی پل‌های حرارتی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

ج - کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی، به شیوه‌های ذیل ؛

۱ - کاهش ضخامت ورق‌های سرد نوردشده. ۲ - اضافه کردن چند خم کوچک در مقطع پروفیل برای طولانی کردن مسیر جریان حرارت. ۳ - اضافه کردن شیارها و بریدگی‌های عمود بر جهت مسیر جریان حرارت. البته روش آخر اجرایی ترین، مؤثرترین و بهینه ترین روش محسوب می‌گردد، که مطالعات و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده‌است.

۳-۴- عایق بندی رطوبتی :

یکی از مهمترین مسائلی که باید در مورد این سیستم مورد توجه دقیق قرار گیرد، هوابندی و برطرف کردن مخاطرات ناشی از میعان می‌باشد. با توجه به وجود امکان جریان هوا در داخل این سیستم، لازم است راه‌های ورود هوا به این سیستم کاملاً مسدود گردد. خطر جدی میعان نیز در صورت هوابند نبودن و عدم پیش‌بینی لایه‌های بخاربند و همچنین در نظر نگرفتن تهویه مناسب در زیر شیروانی‌های سقف، می‌تواند ظاهر می‌شود.

۴-۴- عایق بندی صوتی :

به جرأت می‌توان گفت که صدابندی در سیستم ساختمانی از بزرگترین دغدغه‌های ساکنین محسوب می‌شود. و با توجه به اینکه این سیستم ساختمانی (Dry wall) دارای چگالی پائینی نسبت به سیستم‌های سنتی رایج ساختمانی می‌باشد، در بحث آکوستیکی آن می‌بایست تحقیقات و بررسی‌های بیشتری انجام پذیرد.

موسسه سوئدی^۱ SBI نیز سه روش اجرائی برای جلوگیری از انتقال صدا بین واحدهای آپارتمانی به شرح ذیل معرفی کرده است ؛

۱- دیوارهای جدا کننده با دو قاب جدا از هم ۲- دیوارهای جدا کننده با رانرهای عریض تر از استادها (استادها یکی در میان در دو سمت از رانرها کار گذاشته می‌شوند) ۳- دیوارها با استادهای آکوستیکی

۴-۵- مقاومت در برابر آتش :

ورق‌های نسبتاً نازک فولاد گالوانیزه، چارچوب اصلی ساختمان‌های CFSF را از نظر سازه‌ای تشکیل می‌دهند. این ورق‌ها در برابر آتش دارای مقاومت کمی بوده و از این نظر باید محافظت شوند. محافظت این ساختارها در برابر آتش به وسیله تخته‌های گچی که بر روی چارچوب فولادی نصب می‌شوند، قابل تأمین است. برای مقاومت‌های کم در برابر آتش می‌توان از تخته‌های گچی معمولی استفاده نمود، اما برای مقامت‌های بیشتر باید از انواع مقاوم آن در برابر حریق استفاده کرد. لازم به ذکر است که گاهی از سایر تخته‌های محافظ از جنس چوب، سیمان یا سیلیکات کلسیم نیز استفاده می‌شود، اما گچ در بین مواد فوق از خواص بهتری برخوردار

¹ Swedish Building Institute

بوده و بسیار رایج‌تر است. بدیهی است که هر چه ارتفاع ساختمان بیشتر و یا کاربری آن مهمتر باشد، به مقاومت بیشتری در برابر آتش نیاز خواهد بود که این به معنای استفاده از تمهیدات بیشتر محافظتی (عمدتاً به معنای استفاده از تخته‌های گچی ضخیم‌تر یا استفاده از چند لایه تخته گچی) است. موضوع مهم دیگر، نحوه اجرا و استفاده از اجزا و اتصالات مناسب می‌باشد. برای تأمین مقاومت‌های بالاتر در برابر حریق نیاز به اتصالات قویتر، استفاده از قطعات و اتصالات ویژه و کم کردن فاصله بین اتصالات است.

۴-۶- نقش تخته‌های گچی بعنوان اصلی‌ترین عضو پوششی

با توجه به این که پانل‌های گچی نقش مهمی را در تأمین مقاومت این سیستم سازه ای ایفا می‌کنند، لازم است که توضیحاتی در خصوص این تخته‌ها و خواص فنی آنها ذکر گردد.

۴-۶-۱- خواص فنی

امروزه واژه دیوار خشک معادل ساخت و ساز با تخته گچی می‌باشد. تخته گچی یک واژه عمومی است که برای گروه متنوعی از محصولات گچی که عمدتاً به وسیله کاغذ مخصوص پوشیده شده‌اند، استفاده می‌شود. استفاده از پوشش کاغذی عمدتاً به علت مسلح کردن تیغه‌ها، بخصوص در طول نسبتاً بلند می‌باشد. تفاوت اصلی تخته گچی با سایر مصالح قابل استفاده در سیستم دیوار خشک نظیر چوب، تخته‌های چند لایه یا نئوپان، در مقدار مقاومت آنها در برابر آتش می‌باشد. در پوشش دیوارها تنها یک لایه تخته گچی به کار رفته که برای تأمین بسیاری از الزامات حریق و کنترل صدای هوابرد (صدایی که توسط هوا منتقل می‌شود)، در این نوع ساختمان‌ها کافی است. ساختارهای چند لایه‌ای دارای یک لایه رویه هستند که بر روی لایه زیرکار نصب شده است که لایه زیرکار مستقیماً به قاب متصل می‌شود، این سیستم مقاومت بالاتری را از نظر مکانیکی، حریق و انتقال صدا تأمین می‌کند.

۴-۶-۲- نکات اجرایی تخته‌های گچی ؛

الف) سعی می‌شود تا از تخته‌هایی با حداکثر طول قابل دسترس استفاده شود تا تعداد درزها به حداقل برسد.

ب) تخته‌ها باید به صورت لب به لب اما بدون فشار دادن به یکدیگر نصب شوند.

ج) رانرهای فولادی مربوط به تخته‌های کف و سقف باید با اتصالات مناسب به عناصر سازه‌ای وصل شوند.

د) فاصله این اتصالات از انتها می‌بایست پنج سانتی‌متر و با یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر (مرکز به مرکز) باشد.

ه) وادارها باید به صورت قائم و با فواصل ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر نصب شوند، به طوری که طرف باز آنها همگی به یک سمت باشد.

بنابراین میتوان نتیجه گرفت که مصالح گچ بعنوان یکی از اصیل‌ترین و قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی، در ساختار اصلی دیوارهای Dry wall، بسیاری از نیازهای بنیادی ما را در ساختمان برآورده خواهد کرد.

۳- نتیجه گیری و پیشنهاد

بدلیل اینکه سیستم بررسی شده یک سیستم از پیش مهندسی شده می‌باشد، یعنی تمامی فکرها و برنامه ریزی‌ها قبل از اجرا صورت گرفته، و همچنین اغلب کارهای پیچیده ساخت و ساز در کارخانه انجام می‌شود، سبب می‌گردد که کارگران نیمه ماهر را در کارگاه احتیاج داشته باشیم (این موضوع از یک جهت میتواند بدلیل کمبود کارگران ماهر برای ساختمان سازی در کشور قابل توجه باشد)، بنابراین از یکطرف مجموع زمان پروژه‌ها کاهش یافته، و از طرف دیگر هزینه‌های بالاسری کمتر شده و بازگشت سرمایه سریعتر خواهد بود، و مهمترین مسئله اینکه در این سیستم ساخت و ساز دیگر سرنوشت ساختمان را به دست کارگران نخواهیم داد.

همچنین از آنجا که این سیستم از نظر رعایت اصول فنی در حد بالا بهینه سازی شده، لذا بخاطر گستردگی مطالب و سرعت بالا در گسترش بکارگیری این روش ساخت و ساز در کشور و خارج، لازم است هرچه سریع تر در این زمینه اقدامات مؤثر صورت گیرد. و با انجام و بررسی پروژه های تحقیقاتی وسیع پیرامون موضوع، و در نهایت با بهره گیری از تجربیات کشورهای پیشرو، هرچه سریعتر کمیته ای ویژه نظیر آنچه که در سایر کشورها معمول می باشد برای هدایت این سیستم در کشور تدارک دیده شود، تا بتواند به صورت خود جوش کارهای فنی مربوط به این سیستم ساختمانی را پیگیری بنماید. زیرا سیستم کنترل و تدوین آئین نامه ها در کشور شاید جوابگویی سرعت گسترش بکارگیری این سیستم در کشور را نداشته باشند، و در نهایت سازندگان مجبور به انجام کارهای غیر اصولی میگردند و این اتفاق برای این سیستم ساختمانی بسیار خطرناک خواهد بود.

منابع :

1. COLD-FORMED STEEL DESIGN, (third edition), Wei-Wen Yu, Ph.D., P.E.
(Curators' Professor Emeritus of Civil Engineering-Director, Center for Cold-Formed Steel Structures-University of Missouri-Rolla)
2. TI 809-07 (Technical Instructions), Design of Cold-Formed Load Bearing Steel Systems and Masonry Veneer / Steel Stud Walls.
3. cold formed steel design manual, Washington, D.c.: American Iron and Steel Institute, 1996.
4. <http://www.kuleuven.be/>
5. A GUIDE TO FIRE & ACOUSTIC DATA FOR STEEL FLOOR & WALL ASSEMBLIES (October 2005), Steel Framing Alliance.