بسم الله الرحمن الرحيم

١١١٩٦٤

بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم و تحقیقات و فن آوری
دانشگاه علوم و فنون مازندارن

پایان نامه

مقطع کارشناسی ارشد

رشته : عمران سازه

موضوع :

طراحی سازه ها با استفاده از مقاطع فولادی سرد نورد شده

استاد راهنما :

دکتر غلامرضا قدرتی امیری

۱۳۸۸/۲/۵

نگارش :

رامین گوران اوریمی

شهریور ۸٤

۱۱۱۹۶۴

فهرست مندرجات

عنوان ——— صفحه

مقـدمـه

فصل اول

مروری بر مفاهیم نورد سرد و مقاطع سرد نورد شده

۱-۱- تاریخچه ۲

۱-۲- تعریف مقاطع فولادی سرد نورد شده ۲

۱-۳- روشهای تولید ۳

۱-۴- کاربردهای گذشته و کنونی مقاطع سرد نورد شده ۵

۱-۵- توجیه استفاده از نورد سرد ورق‌ها در ساخت سازه‌ها ۹

۱-۶- ویژگی‌های اعضای سازه‌ای سرد نورد شده ۹

۱-۶-۱- ویژگی‌های مناسب مقاطع سرد نورد شده ۹

۱-۶-۲- نارسایی‌های مقاطع سرد نورد شده ۱۲

۱-۷- اختلاف اساسی مابین مقاطع سرد نورد شده و گرم نورد شده ۱۳

فصل دوم

ملاحظات عمومی در طراحی ساختمان های فولادی سرد نورد شده

۲-۱- مقدمه ۱۵

۲-۲- خواص مهم سازه‌ای فولادی سرد نورد شده ۱۵

۲-۳- مقاومت اعضای سازه‌ای فولادی سرد نورد شده ۱۶

۲-۴- افزایش مقاومت ناشی از عملیات نورد سرد ۱۸

۲-۵- تاثیر عملیات سرد بر مقاومت خمشی ۲۳

۲-۶- کمانش موضعی و توزیع تنش در اجزای نازک فشاری ۲۳

۲-۶-۱- کمانش موضعی و مقاومت پس از کمانش در اجزای نازک فشاری ۲۳

۲-۶-۲- مکانیزم عملکرد مقاومت پس از کمانش و توزیع تنش غیر یکنواخت تنش در اجزای فشاری ۲۶

۲-۷- مفهوم عرض موثر و خصوصیات متغیر در اجزای فشاری ۲۸

۲-۸- ملاحظات ابعادی و محدودیت‌های ضخامت ۳۰

۲-۸-۱- ملاحظات مربوط به نسبت عرض قسمت صاف به ضخامت بال ۳۰

۲-۸-۲- حداکثر نسبت عمق به ضخامت جان ۳۲

۲-۸-۳- محدودیت ضخامت ۳۳

۲-۹- عرض موثر عناصر سخت شده ۳۳
۲-۹-۱- عناصر سخت شده دارای سوراخ‌های دایره‌ای تحت اثر فشار یکنواخت ۳۴
۲-۹-۲- جان‌ها و عناصر سخت شده تحت اثر تنش متغیر ۳۵
۲-۹-۳- جان‌های سوراخ‌دار مقاطع C شکل تحت اثر گرادیان تنش ۳۵
۲-۱۰- عرض‌های موثر عناصر سخت نشده ۳۷
۲-۱۱- سخت کننده در اجزای فشاری ۳۹
۲-۱۲- ترکیب‌های سازه‌ای ۳۹
۲-۱۲-۱- مقاطع ساخته شده ۳۹
۲-۱۲-۲- سیستم‌های مختلط ۴۳
۲-۱۲-۳- مهاربندی جانبی ۴۳
۲-۱۳- وادارهای دیواری و ترکیب‌های وادارهای دیواری ۴۴
۲-۱۳-۱- وادارهای دیوار در فشار ۴۶
۲-۱۳-۲- وادارهای دیوار در خمش ۴۷
۲-۱۳-۳- وادارهای دیواری در ترکیب بارهای محوری و خمشی ۴۷
۲-۱۴- ساخت دیافراگم های فولادی کف، سقف و دیوار ۴۷
۲-۱۵- سختی پیچشی کوچک ۴۷
۲-۱۶- مقاومت لهیدگی جان ۴۸
۲-۱۷- اتصالات ۴۹

فصل سوم

بررسی و انتخاب مقاطع نورد سرد در سازه‌ها و نمودارهای طراحی

۳-۱- مقدمه ۵۱
۳-۲- بررسی و انتخاب مقاطع سرد نورد شده در سازه‌ها ۵۲
۳-۳- مشخصات کلی سیستم سازه‌ای با اعضای سرد نورد شده ۵۴
۳-۳-۱- انتخاب مقاطع تیرها ۵۵
۳-۳-۲- انتخاب مقاطع ستون ها ۵۹
۳-۴- طراحی اعضاء کششی ۶۱
۳-۵- طراحی اعضای خمشی ۶۲
۳-۵-۱- تعیین مهارشدگی عضو خمشی ۶۳
۳-۵-۲- مقاومت خمشی اسمی بر مبنای شروع جاری شدن در مقطع موثر ۶۴
۳-۵-۳- مقاومت اسمی مقطع بر اساس ظرفیت ذخیره شده غیر ارتجاعی ۶۵
۳-۵-۴- کنترل مقاومت برشی برای جانهای بدون سوراخ ۶۷
۳-۵-۵- بررسی کمانش جانبی مقطع ۶۸

۳-۵-۶- تیرهایی که یک بال آنها مستقیماً به عرشه یا پوشش متصل باشد ۶۹
۳-۵-۷- تیرهایی که یک بال آنها به سیستم‌های درزدار متصل باشد ۷۱
۳-۵-۸- مقاومت کمانش پیچشی جانبی اعضاء با مقاطع جعبه‌ای بسته ۷۲
۳-۵-۹- کمانش پیچشی جانبی اعضای مهار نشده با مقطع باز ۷۳
۳-۵-۱۰- مقاومت لهیدگی جانهای بدون سوراخ ۷۵
۳-۵-۱۱- مقاومت لهیدگی جانهای بدون سوراخ ۸۰
۳-۵-۱۲- ترکیب مقاومت‌های خمشی و مقاومت لهیدگی جان ۸۱
۳-۵-۱۳- مقاومت ترکیبی خمشی و لهیدگی ۸۲
۳-۵-۱۴- مقاومت ترکیب خمشی و برشی وسط دهانه ۸۲
۳-۶- طراحی اعضای با بارگذاری فشار محوری ۸۳
۳-۶-۱- عرض موثر عناصر سخت شده ۸۴
۳-۶-۲- عرض‌های موثر عناصر سخت نشده ۸۷
۳-۶-۳- تعیین سطح مقطع موثر Ae ۸۸
۳-۷- طراحی عضو فشاری بر اساس ترکیب نیروی محوری فشاری و خمشی ۸۹
۳-۸- طراحی عضو خمشی بر اساس ترکیب نیروی محوری کششی و خمش ۹۰

فصل چهارم

مثالهای عملی به همراه، مدلسازی، تحلیل و طراحی، نکات و ارزیابی اقتصادی

۴-۱- مقدمه ۹۲
۴-۲- تحلیل و طراحی کامل ساختمان مسکونی یک طبقه با مقاطع سرد نورد شده ۹۳
۴-۳- تحلیل و طراحی ساختمان مسکونی یک طبقه با مقاطع گرم نورد شده ۱۳۹
۴-۴- تحلیل و طراحی ساختمان مسکونی دو طبقه با مقاطع نورد سرد ۱۴۳
۴-۵- تحلیل و طراحی ساختمان مسکونی دو طبقه با مقاطع نورد گرم و سیستم مهاربندی ۱۷۲

فصل پنجم

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری، پیشنهادات

۵-۱- جمع‌بندی ۱۸۵
۵-۲- نتیجه‌گیری ۱۸۵
۵-۳- پیشنهادات ۱۸۷

مراجع

پیوست

فهرست اشکال

فصول ——— صفحه

فصل اول

شکل ۱-۱- اشکال مختلف مقاطع سرد نورد شده ۳

شکل ۱-۲- تعدادی از مقاطع سرد نورد شده که معمولاً در سازه ها استفاده می شود ۳

شکل ۱-۳- ماشین شکل دهی به روش غلطکی سرد ۴

شکل ۱-۴- مراحل شکل دهی تدریجی مقطع ساده توسط زوجهایی از غلطک ها ۵

شکل ۱-۵- ساختمان با سیستم دیوار باربر متشکل از مقاطع اجزاء سرد نورد شده ۶

شکل ۱-۶- استفاده از مقاطع سرد نورد شده در کنار مقاطع گرم نورد شده به عنوان اعضای باربر ثانوی در ساختمان ها ۶

شکل ۱-۷- سیستم های قفسه بندی در انبارها و فروشگاهها ۷

شکل ۱-۸- عرشه کف ها ، سقف ها ، پانل دیوار ، سقف و ورق های موج دار ۷

شکل ۱-۹- ورق های موج دار جهت عبور تاسیسات و اجرای سقف ۸

شکل ۱-۱۰- ساختمان کوچک ساخته شده از مقاطع با اعضای سرد نورد شده ۹

فصل دوم

شکل ۲-۱- منحنی های تنش — کرنش ورق یا تسمه های فولادی کربن دار ۱۶

a) جاری شدن تیز b) جاری شدن تدریجی

شکل ۲-۲- نمودارهای تنش کرنش نمایانگر روشهای تعریف حد جاری شدن و مقاومت جاری شدن ۱۷

شکل ۲-۳- اثر نورد سرد بر روی مشخصات مکانیکی مقاطع فولادی سرد نورد شده ۱۸

a) مقطع c شکل b) یال تیرچه

شکل ۲-۴- اثر نورد سرد بر روی مشخصات مکانیکی مقطع فولادی کلاهی شکل ۱۹

شکل ۲-۵- اثر سخت شدگی کرنش و ماندگی کرنش بر روی مشخصات تنش — کرنش ۱۹

شکل ۲-۶- تغییرات افزایش نقطه جاری شدن بر حسب R/t و F_u/F_y ۲۱

شکل ۲-۷- کمانش موضعی عناصر فشاری a) تیرها b) ستون ها ۲۴

شکل ۲-۸- کمانش موضعی بال فشاری سخت شده مربوط به تیر با مقطع کلاه شکل ۲۵

شکل ۲-۹- مدل مربوط به مقاومت پس از کمانشی ۲۶

شکل ۲-۱۰- توزیع تنش در عناصر فشاری سخت شده ۲۸

شکل ۲-۱۱- ضریب کاهش ، ρ ، در مقابل ضریب لاغری ، λ ۲۹

شکل ۲-۱۲- روش سوراخ مجازی برای سوراخ های چند گانه ۳۶

شکل ۲-۱۳- روش سوراخ مجازی برای حد افزایش بازشو ۳۶

شکل ۲-۱۴- کمانش موضعی بال فشاری سخت شده ۳۷
شکل ۲-۱۵- حداکثر تنش برای عناصر فشاری سخت شده ۳۸
شکل ۲-۱۶- رابطه بین اطلاعات آزمایشی و حداکثر تنش پیش بینی شده ۳۸
شکل ۲-۱۷- نیروی کششی ایجاد شده در وسیله اتصال بالایی برای مقطع c شکل ۴۱
شکل ۲-۱۸- فاصله وسایل اتصال ۴۲
شکل ۲-۱۹- فواصل وسایل اتصال در مقطع مختلط ۴۲
شکل ۲-۲۰- کمانش وادارها در بین وسایل اتصال دهنده کاملاً موثر ۴۴
شکل ۲-۲۱- کمانش کلی ستونی مربوط به وادارها ۴۶

فصل سوم

شکل ۳-۱- انواع مقاطع کلاهی معکوس ۵۶
شکل ۳-۲- انواع مقاطع تیرها ۵۷
شکل ۳-۳- انواع مقاطع ستونها ۵۹
شکل ۳-۴- عناصر سخت شده ۸۵
شکل ۳-۵- عنصر سخت نشده با تنش یکنواخت ۸۷

فصل چهارم

شکل ۴-۱- ضرا یب شکل بار باد ۱۰۴
شکل ۴-۲- نمونه بارگذاری تیپ خرپا ۱۰۸
شکل ۴-۳- بارگذاری باد ۱۱۰
شکل ۴-۴- مولفه های افقی وقائم بار باد ۱۱۱
شکل ۴-۵- مقطع ورق پوششی سقف (شادولاین) ۱۱۲
شکل ۴-۶- بارها و نیروهای وارد بر ورق سقف (شادولاین) ۱۱۵

چکیـــده

با توسعه تکنولوژی و صنعت تولید قطعات فولادی و تولید ورق‌ها و تسمه‌های فلزی به روش نـورد سـرد، لزوم به کارگیری زمینه‌های نو در طراحی سازه‌ها از بعد اقتصادی و ایمنی حائز اهمیت و امری منطقی به نظر می‌رسد.

انجام کار سرد بر روی ورق موجب تغییرات مشخصات مکانیکی فولاد خواهد شد که از جمله می‌توان بـه افزایش مقاومت جاری شدن که عمدتاً ناشی از سخت شدگی کرنش می‌باشد اشاره نمود که در نتیجه کاهش مصرف فولاد را بدنبال خواهد داشت. لیکن در سازه‌های با فـولاد سـرد نـورد شـده اعـضای فـولادی دارای ضخامت کم بوده و نسبت عرض به ضخامت آنها درمقایسه با مقاطع فـولادی گـرم نـورد شـده زیـاد اسـت. زمانیکه این عناصر لاغر تحت تاثیر تلاشهای ناشی از فشار، خمش، برش و یا لهیدگی قرار می‌گیرند ممکـن است در تنش هایی زیر حد جاری شدن دچار کمانش موضعی شوند. اما از آنجائیکه کمانش موضـعی عناصـر فولادی یک معیار بسیار مهم طراحی می‌باشد طراحی چنین اعضائی با در نظر گرفتن مقاومت پس از کمانش و ناپایداریهای موضعی بایستی تأمین شود. لذا بدلیل رفتار سازه‌ای متفاوت اجزای جدار نازک و تعیـین کننـده بودن کمانش موضعی در ظرفیت باربری مقاطع جدار نازک سرد، این اجزاء دارای ضوابط طراحـی متفـاوت از مقاطع گرم نورد شده می‌باشد. که جهت تسهیل در امر طراحی در این خصوص فلوچارت های طراحی اعضاء ارائه گردیده است.

در این پژوهش کوشش شده است نحوه‌ی به کارگیری اعضاء فولادی جدار نازک با مقاطع سرد نورد شده به عنوان اعضای اصلی یک سیستم سازه‌ای یکپارچه مورد بررسی قرار گیرد. بهمین علت عمده‌ترین محاسن و ضعف‌های این نوع سازه با تکیه به موارد علمی و آئین‌نامه‌ای آن نسبت به مقاطع گرم نـورد شـده و ارائـه راهکارهای عملی و اجرائی برای پوشش دادن به موارد اجرائی آن مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تامین یکپارچگی و بر طرف نمودن محدودیت مقاطع جدار نازک جزئیات مناسبی در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن در این سیستم سازه‌ای باید اتصالات شکل‌پذیر و منطبق با ویژگیهای اعضا (مقاطع دارای ضـخامت‌هـای کوچک) طوری انتخاب شود که در آن نیروهای خارج از صفحه‌ای به نیروهای داخل صفحه‌ای تبـدیل گـردد که امکان دست‌یابی به یک سیستم سازه‌ای با قابلیت جذب انرژی مناسب را فراهم آورد.

مقـدمه

امروزه در ایران صنعت ساختمان سازی عمدتاً به صورت ساخت و سـازهای کوتـاه مرتبـه و میـان مرتبـه می‌باشد که اغلب محدود به ۴–۵ طبقه می‌گردد. مشکلات اصلی این نوع ساختمانها کیفیت نامناسب ساخت و زمان زیاد صرف شده برای ساخت می‌باشد. لذا جهت رفع مشکلات فوق نیاز به یک سیستم جـایگزین اسـت که دارای قابلیت پیش ساختگی و کیفیت مناسب ساخت باشد.

کمبود آشکار واحد مسکونی مناسب، ایمن و اقتصادی در کشور و توجه به نیاز و ضرورت نگرشی بهتر بـه ایده کلی از روند ایجاد ساخت و ساز در سراسر کشور با توجه به تنوع عوامل تاثیرگذار بر ایـن مهـم از جملـه توزیع پراکندگی جمعیت، تنوع شرایط اقلیمی حاکم، میزان رشد اقتصادی و فرهنگی جامعـه، ضـرورت ایجـاد ساخت و سازی با صرفه و ایمنی مناسب و استفاده و بهره‌گیری مناسب از تجهیزات کار آمد و مـسائلی چـون تغییر ساختار سنتی ساختمان‌سازی در کشور و به کارگیری بهینه و اقتصادی تکنولوژی و سرمایه، جامعه علمی مهندسی را بر آن داشته است تا به نظام صنعتی و تولید پیش ساخته انبوه مسکن، به عنـوان یکـی از ارکـان اساسی توسعه مسکن توجه عمیق مبذول داشته و از آن به عنوان ابزاری کار ساز استفاده نماید.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که امروزه کشورهای پیشرفته جهان با بهره‌گیری از طرح‌های نـوین سـاختمان و سازه‌های فولادی سرد نورد شده از ورق به شکل رول توانسته‌اند از روش طراحی و تولید مکانیزه با بهره‌گیری از تکنولوژی جدید جهت توسعه و انبوه سازی استفاده نموده واز مزایایی قابل توجه آن بهره‌مند گردند.

در ساختمان های فولادی، دو خانواده اصلی اعضای سازه‌ای وجود دارد یک گروه دسته آشنای مقاطع گرم نورد شده و اعضای ساخته شده از ورق‌ها می‌باشد. و دسته دیگر که کمتر شناخته شـده ولـی از رشـد شـایان توجهی برخوردار است مقاطع سرد نورد شده فولادی بوده که متشکل از ورق، نوار یا تسمه‌های صاف می‌باشد که در ماشینهای غلطک، دستگاه پرس یا دستگاه خم کن شکل داده می‌شوند. بدلیل افزایش غیرقابل اجتناب قیمت مصالح، تمایل به استفاده از اعضای جدار نازک در راستای صـرفه‌جـویی در مـصالح وجـود دارد. بـدین جهت مقاطع سرد نورد شده نقش مهمی را در پیش‌برد این اهداف دارا می‌باشند. در پژوهش حاضر بـه دلیـل نیازهای ذکر شده به بررسی امکان توسعه صنعت ساختمان سازی با استفاده از اعضای با مقاطع جـدار نـازک سرد نورد شده پرداخته می‌شود که در صورت بهره‌گیری از اعضای سرد نورد شده چشم‌انداز روشنی در صنعت ساختمان سازی وجود خواهد داشت.

از موانع اساسی بر سر راه رشد کاربرد ورق‌های فولادی در انواع سیستم‌های پیش ساخته اسکلت فلزی در کشورها، عدم معرفی مناسب این نوع ساخت و ساز و طراحی آن، کمبود آئین‌نامه ملی در این خصوص و نبود اطلاعاتی در خصوص راهکارهای اجرایی و طراحی این نوع سازه می‌باشد. تهیه این مجموعه تلاشی است برای کاستن نواقص موجود که در آن ضمن معرفی این نوع محصولات و بر شمردن محاسن استفاده از این نوع سازه‌ها و اشاره به اهم ضوابط طراحی این نوع محصولات و مقایسه نسبی با ضوابط طراحی محصولات با نورد گرم به ارائه راهکارهایی از جنبه کمی و کیفی طراحی و اجرا از این نوع محصولات پرداخته می‌شود. جهت پوشش دادن به موارد فوق در این پژوهش روند تهیه و ارائه مطالب به شرح ذیل می‌باشد.

در فصل اول تحت عنوان مروری بر مفاهیم نورد سرد و مقطع سرد نورد شده، مطالبی در مورد تاریخچه استفاده از مقاطع نورد سرد در ساخت و سازها، تعریف مقاطع با نورد سرد، روشهای تولید و کاربردهای گذشته و کنونی مقاطع سرد نورد شده گردآوری شده است. همچنین به توجیه استفاده از نورد سرد ورق‌ها در ساخت سازها و ویژگیهای اعضای سازه‌ای سرد نورد شده و اختلاف اساسی با مقاطع گرم نورد شده پرداخته شده است.

در فصل دوم با عنوان ملاحظات عمومی در طراحی ساختمان های فولادی سرد نورد شده، به بررسی عمده‌ترین مطالبی را که بایستی در امر طراحی سازه‌های با نورد سرد مورد توجه قرار گیرد پرداخته می‌شود. انجام کار سرد بر روی ورق‌های و جدار نازک بودن اعضا منجر به مسائلی در امر طراحی خواهد شد. که رفتار این گونه اعضاء را در مقایسه با مقاطع گرم نورد شده متمایز می‌گرداند، در این فصل ضمن اشاره به تاثیر عملیات سرد بر مشخصات مکانیکی فولاد به بررسی اعم مسائلی که در رابطه با جدار نازک بودن اعضا و کمانش‌های موضعی ناشی از آن مربوط می‌شود پرداخته می‌شود. که از جمله می‌توان به توزیع غیر یکنواخت تنش در اجزاء فشاری، ملاحظات ابعادی ومحدویت‌های ضخامتی، سخت‌کننده‌ها در اجزاء فشاری و سخت کننده‌ها اشاره نمود. در فصل سوم نیز مطالبی در خصوص مشخصات کلی سیستم سازه ای با اعضای سرد نورد شده و انتخاب مقاطع مناسب از تیرها و ستون ها آورده شده است. و همچنین در این فصل نمودارهای طراحی اعضاء جهت سهولت امر کاربرد فرمول ها و روابط طراحی اعضاء تهیه و ارائه شده است. که جهت تکمیل موضوعات مورد بحث این فصل جزئیات اجرایی آورده شده است که در پیوست ارائه شده است.

در فصل چهارم نیز به منظور استفاده از نحوه کاربرد مواردی که در این پژوهش مورد توجه بوده است. تحلیل و طراحی کامل دو نمونه ساختمان انجام گردیده است که نمونه اول آن طراحی ساختمان یک طبقه پیش ساخته با سیستم سازه‌ای از نوع دیوار باربر بهمراه مهاربندی می باشد که طراحی آن با مقاطع نورد گرم نیز انجام شده است و نیز نمونه دیگر که در دو طبقه تعریف شده است به دو روش با مقاطع نورد گرم و با مقاطع نورد سرد طراحی شده است که در نهایت مطالبی در خصوص ارزیابی فنی و اقتصادی مقاطع نورد سرد و گرم ارائه شده است.

در فصل پنجم به جمع‌بندی مطالب ارائه شده از مقاطع فولادی سرد نورد شده و نتیجه‌گیری از آن اشاره شده است و در پایان نیز پیشنهاداتی در این خصوص ارائه گردیده است که مطالعه آن برای غنی‌تر نمودن اطلاعات علمی در جهت بهره‌برداری مفیدتر از استفاده از این نوع مصالح در ایجاد ساخت سازه با نورد سرد برای دانش پژوهان قابل توصیه است.

فصل اول

مروری بر مفاهیم نورد سرد و مقاطع سرد نورد شده

۱-۱- تاریخچه

استفاده از مقاطع فولادی سرد نورد شده درسازه‌ها نشان دهنده گامی دیگر در جهت بهره‌گیری از اعضایی با ابعاد بزرگ و ورق‌های نازک سبک به جای مقاطع سازه‌ای با ابعاد کم و ضخامت زیاد و سنگین ، در راستای صرفه‌جویی در مصالح فولادی می‌باشد.

تا قبل از معرفی فولاد در مهندسی ساختمان در اواخر قرن هجدهم، اغلب سازه‌ها متشکل از ستونها و قوسهای سنگی بوده‌اند. ضمن اینکه مصالح چوبی در ساختمان های کوچکتر مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

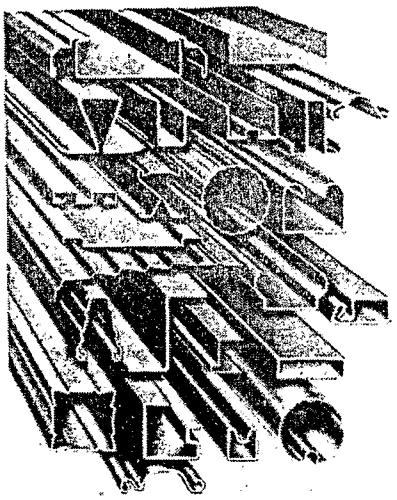
استفاده از اعضای فولادی سرد نورد شده در حدود سالهای ۱۸۵۰ در ایالات متحده و بریتانیای کبیر آغاز گردیده است با این حال در آمریکا استفاده از این مقاطع در ساختمان سازی تا نشر اولین چاپ ضوابط انجمن آمریکایی آهن و فولاد در سال ۱۹۴۶ گسترش زیادی پیدا نکرد. از سال ۱۹۴۶ استفاده و توسعه ساختمان های فولادی با مقاطع جدار نازک سرد نورد شده در ایالات متحده با انتشار ویرایشهای مختلف ضوابط طراحی برای اعضای سازه ای با مقاطع فولادی سرد نورد شده مربوط به موسسه آهن و فولاد در آمریکا (AISI) شتاب بیشتری پیدا کرده است [۷].

۱-۲- تعریف مقاطع فولادی سرد نورد شده

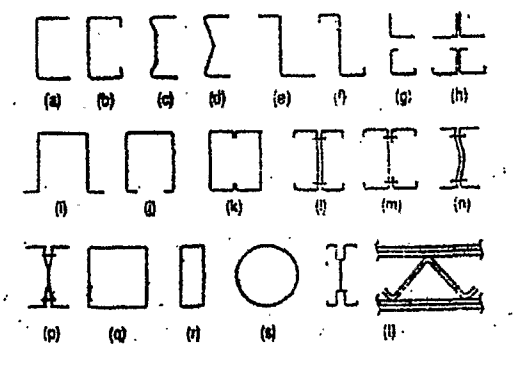
مقاطع فولادی سرد نورد شده شکل (۱-۱) و (۱-۲) شکل‌هایی هستند که توسط خم کن [۱] از قطعات برش خورده ورق ساخته می‌شوند و یا توسط دستگاه شکل دهنده رول [۲] از ورق یا کلاف‌های گرم نورد شده ساخته می‌شوند .

در هر دو روش ، شکل دهی در دمای محیط انجام می شود و نیازی به افزایش قابل توجه دما، بدان گونه که در روش نورد گرم وجود دارد، ندارند. قابل ذکر است که عموماً ضخامت ورق‌ها و یا تسمه‌هایی که برای اعضای سازه‌ای سرد نورد شده به کار می‌روند بین ۰/۳۷۳ میلیمتر تا ۶/۳۵ میلیمتر می‌باشد.

1- Press braking 2-Rool forming



شکل ۱-۱ اشکال مختلف مقاطع سرد نورد شده [2]



شکل ۱-۲ تعدادی از مقاطع سرد نورد شده که معمولاً در سازه ها استفاده می شود[2]

هر چند ورق‌ها و میله‌های فولادی با ضخامت ۱ اینچ (۲۵/۴ میلیمتر) را نیز می‌توان با موفقیت به صورت مقاطع سرد نورد شده شکل داد.

۱-۳- روشهای تولید

معمولاً دو روش در تولید مقاطع سرد نورد شده استفاده می‌شود.

۱- شکل دادن به روش غلطکی سرد

۲- عملیات شکل دادن با دستگاه خم

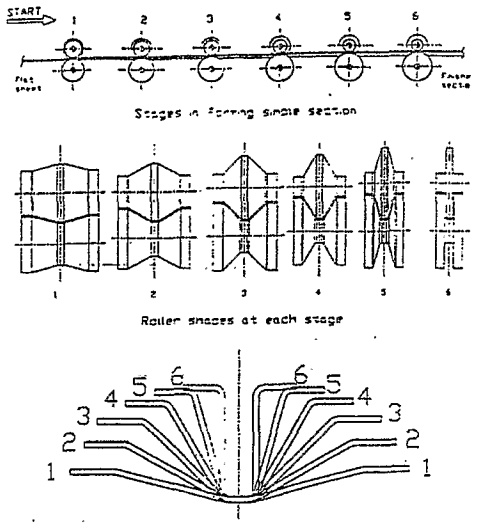
مقاطع سرد نورد شده توسط روش های شکل‌دهی فوق در دمای اتاق به صورت موردنظر خم می‌گردند. لذا برخلاف مقاطع گرم نورد شده، که با شکل‌دهی شمش های ذوب شده فولادی ساخته می‌شوند، قابلیت ساخت شکل های پیچیده در شکل‌دهی به صورت نورد سرد وجود داشته و مشکلات ناشی از سرد کردن در نورد گرم در مقطع به وجود نخواهد آمد.

از طرفی مقطع ساخته شده توسط نورد سرد بصورت جدار باز بوده که در برخی مواقع لازم است، مقاطع به صورت مرکب و متشکل از چند مقطع منفرد ساخته شوند.

روش شکل دادن غلطکی نورد سرد به طور وسیع برای محصولات اجزای سازه‌ای و برخی از اجزای سقف‌ها، کف‌ها، پانلهای دیواری و ورق‌های کنگره‌ای به کار می‌رود. مقاطع ساخته شده از نوارهایی به عرض تا ۳۶ اینچ (۹۱۵ میلیمتر) و از کلاف‌های دور پیچ با طول بیش از ۳۰۰۰ فوت (۹۱۵ متر)، می‌توانند به صورت اقتصادی، در تولید به روش شکل دادن غلطکی نورد سرد، شکل (۱-۳) به کار روند.

شکل ۱-۳ ماشین شکل دهی به روش غلطکی سرد [4]

ماشین های استفاده شده در شکل غلطکی نورد سرد ، شامل زوج‌هایی از غلطک‌ها هستند، که به تدریج نوارها را به شکل نهایی مورد نظر در می‌آورند شکل (۱-۴)، در پایان عمل شکل دادن مقاطع کامل شده و طولهای مورد نیاز بوسیله قیچی خودکار بریده می‌شود.



شکل ۱-۴ مراحل شکل دهی تدریجی مقطع ساده توسط زوجهایی از غلطک ها [4]

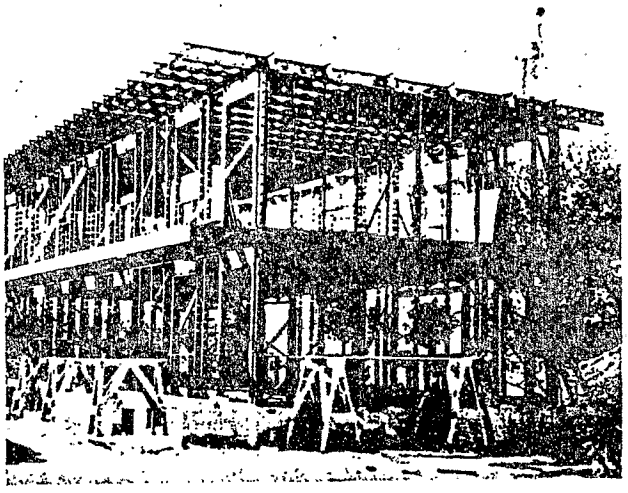
در روش شکل دهی با دستگاه خم، ورق با طول محدود به طول دستگاه خم بین فک ثابت و متحرک تیغه خم کن دستگاه قرار داده شده ، خم مورد نظر با زاویه دلخواه با فشار تیغه متحرک بر روی خط خم صورت می گیرد. در این روش امکان تولید شکل های پیچیده با خم های متعدد وجود ندارد.

۱-٤- کاربردهای گذشته و کنونی مقاطع سرد نورد شده

اعضای نازک فلزی در سازه‌ها ابتدا در اوایل قرن نوزدهم در پل ها و سپس با پیشرفت صنعت هواپیما سازی در اوایل قرن بیستم مورد استفاده بوده است.

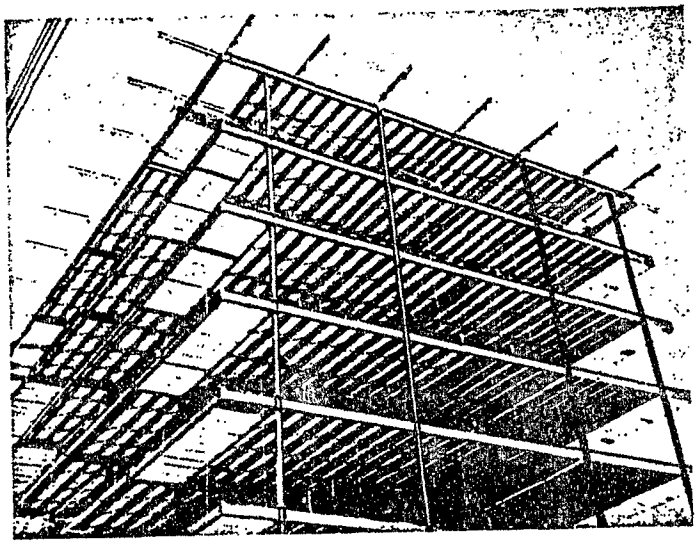
گام بعدی در توسعه اعضای سازه‌ای جدار نازک سرد نورد شده در صنعت اتومبیل‌سازی شکل گرفته است. در جریان جنگ جهانی اول، تکنیک ساخت بدنه ماشین با خم کردن و شکل دادن ورق‌های نازک در حالت سرد ابداع گردید. این تکنیک‌ها سپس برای ساخت قاب های پنجره و اعضای مشابه غیر سازه‌ای ساختمانها مورد استفاده قرار گرفت. بدلیل کمبود فولاد در جریان جنگ جهانی دوم، به منظور صرفه‌جویی در مصالح، استفاده از اعضای سازه‌ای نازک ضرورت پیدا نمود.

یکی دیگر از کاربردهای مقاطع سرد نورد شده استفاده از آنها در ساختمان های دیوار باربر به عنوان اعضای اصلی این سیستم می‌باشد. این سیستم ساختمانی در گذشته به عنوان تنها سازه ساختمانی متشکل از عناصر اصلی سرد نورد شده مطرح بوده و مورد استفاده قرار می‌گرفته است. شکل (۱-۵)



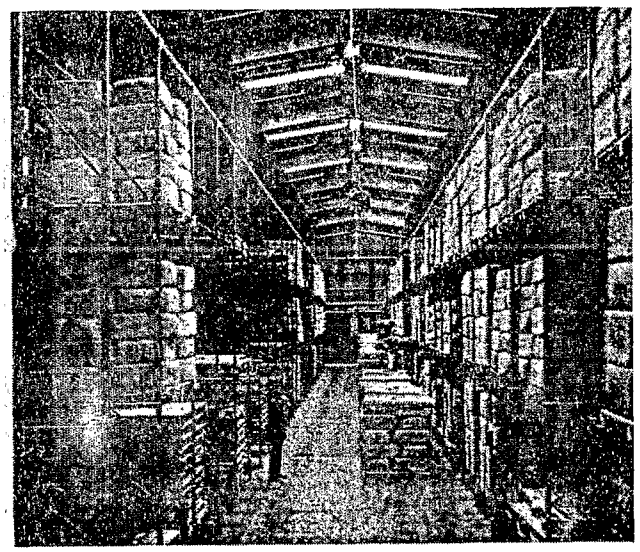
شکل ۱–۵ ساختمان با سیستم دیوار باربر متشکل از مقاطع اجزاء سرد نورد شده [2]

استفاده دیگر سازه ه ای از اعضای سرد نوردشده به عنوان اعضای باربر ثانوی در ساختمانها می‌باشد. در ساختمان های بلند چند طبقه اعضای اصلی قابها معمولاً متشکل از مقاطع سنگین گرم نورد شده بوده و اعضای درجه دوم همانند تیرهای سقف، عرشه یا پانل‌ها ممکن است از مقاطع سرد نورد شده تشکیل شده باشند. شکل (۱–۶)



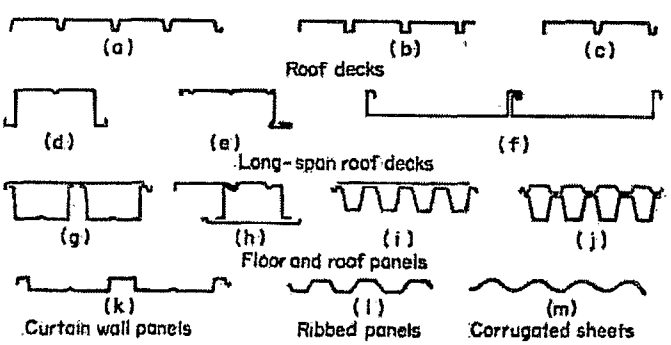
شکل ۱–۶ استفاده از مقاطع سرد نورد شده در کنار مقاطع گرم نورد شده به عنوان اعضای باربر ثانوی در ساختمان ها [2]

از جمله کاربردهای وسیع دیگر این مقاطع سرد نورد شده، شامل سیستم‌های قفسه‌بندی فروشگاه‌ها، سیستم‌های قفسه‌بندی صنعتی تمام اتوماتیک [1] شکل (۱-۷) می‌باشد.



شکل ۱-۷ سیستم های قفسه بندی در انبارها و فروشگاهها [2]

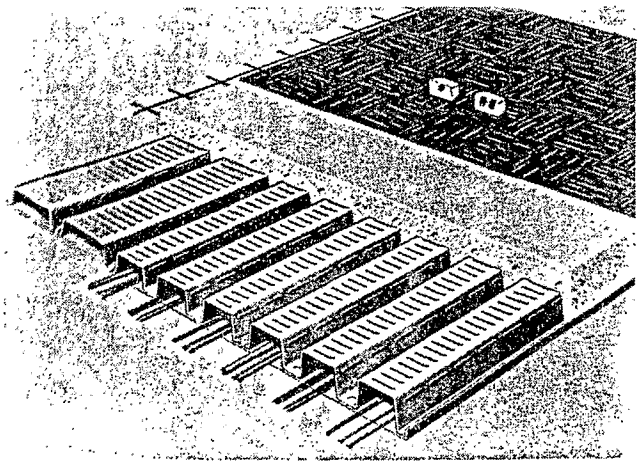
دسته دیگر مقاطع سرد نورد شده در شکل (۱-۸) نشان داده شده است. این مقاطع معمولاً برای عرشه سقف ها، کف، پانل دیوارها و قالب پل ها استفاده می‌شوند. در عرشه پانل های عمیق‌تر که با نورد سرد شکل داده می‌شوند، با تعبیه سخت کننده‌هایی در جان و بال آنها با کاهش نسبت عرض به ضخامت اجزاء ، سختی مورد نیاز فراهم می‌گردد.



شکل ۱-۸ عرشه کف ها ، سقف ها ، پانل دیوار ، سقف و ورق های موج دار [2]

1- Rack Supported Ware House

پانل ها و عرشه‌های فولادی، نه تنها مقاومت سازه‌ای در باربری را تامین می‌کنند، بلکه سطوحی برای عملیات اجرای سقف و بتن‌ریزی فراهم می‌آورند. همچنین از ورق های موجدار همانند شکل (۱-۹) می توان برای عبور تاسیسات ساختمانی استفاده نمود، ضمن اینکه این ورق ها به عنوان قالب، فراهم آورنده سطحی برای بتن‌ریزی پوشش کف می‌باشند[2].



شکل ۱-۹ ورق های موج دار جهت عبور تاسیسات و اجرای سقف [2]

ساختمان های یک طبقه استاندارد شده فلزی بصورت گسترده در کاربردهای صنعتی، تجاری و کشاورزی مورد استفاده می‌باشند.

همچنین این نوع سیستم سازه‌ای برای ساختمان ها عمومی نظیر ساختمان های تفریحی، مدارس و کلیساها استفاده شده است. این ساختمان های استفاده شده فلزی استاندارد شده مزیت های زیر را فراهم می آورند.

۱- ظاهر زیبا

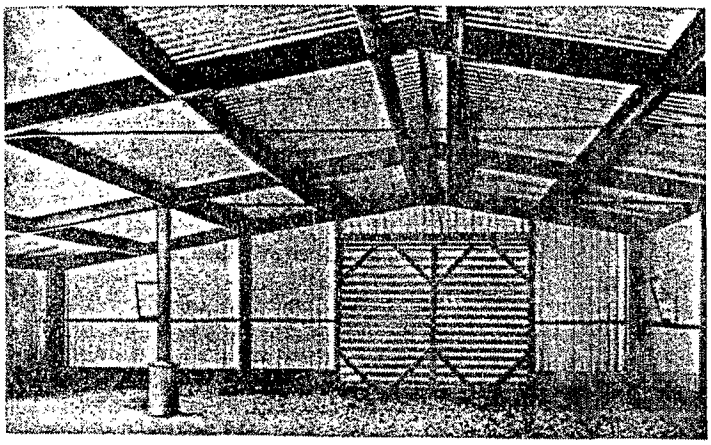
۲- سرعت در ساخت

۳- تعمیرات کم

۴- گسترش وتوسعه سریع

۵- هزینه نگهداری کم

به طور کلی ، ساختمان های کوچک می‌توانند تماماً با مقاطع سرد نورد شده ساخته شوند [2] شکل (۱-۱۰).



شکل ۱-۱۰ ساختمان کوچک ساخته شده از مقاطع با اعضای سرد نورد شده [2]

۱-۵- توجیه استفاده از نورد سرد ورق‌ها در ساخت سازه‌ها

اساساً علت استفاده از نورد سرد ورق‌ها در ساخت سازه را می‌توان به ویژگیهای مناسب مقاطع سرد نورد شده در ایجاد ساخت سازه‌ها نسبت داد و همچنین می‌توان به اختلاف اساسی که مابین مقاطع سرد نورد شده و گرم نورد شده ، وجود دارد اشاره کرد.

هر چند که نارسایی‌هایی در مقاطع سرد نورد شده وجود دارد که امکان بهره‌گیری به طور گسترده از آن را محدود نموده است ، لیکن ، ویژگی های مناسب آن به حدی است، که جا دارد با بهره‌گیری از ویژگیهای مناسب آن به رفع نواقص و کاستی‌های آن پرداخته شود. در ادامه ضمن اشاره به ویژگی های مناسب مقاطع سرد نورد شده و همچنین نارسایی‌های آن که منجر به ملاحظات خاصی در امر طراحی سازه‌ها خواهد شد، تلاش خواهیم داشت تا با شناخت بیشتر از این نوع مقاطع ، از موانع موجود بر سر راه استفاده از آن، کاسته و با ارائه راهکارهای مناسب، از ویژگیهای مناسب آن بهره بیشتر برده باشیم.

۱-٦- ویژگی های اعضای سازه‌ای سرد نورد شده

۱-٦-۱ ویژگی های مناسب مقاطع سرد نورد شده

مطلوبیت سیستم‌های سازه‌ای سرد نورد شده و استفاده از مقاطع آن به عنوان اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای منوط به ویژگیهای منحصر به فرد مقاطع شکل داده شده توسط نورد سرد می‌باشد. با به کارگیری از