

سیستم‌های قاب سبک ساختمانی

دکتر سپهر گنجه‌ای

فوق دکترای مهندسی راه و ساختمان از سوئد و آمریکا، متخصص خانه‌های چوبی و سیستم‌های سبک ساختمانی، مشاور عالی مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن

چکیده

خانه‌های با قاب سبک چوبی و یا فولاد سردنورد، دیافراگم سقف و دیوارهای باربر برشی و یا مهاربندی شده، سیستم متداول در کشورهای صنعتی دنیا نظیر ایالات متحده آمریکا، استرالیا، کانادا، اروپای شمالی و ژاپن می‌باشند. کاربرد این نوع ساختمان‌ها به عنوان سیستم‌های سازه‌ای مستقل، امروزه در ساختمان‌های مسکونی میان‌مرتب، ساختمان‌های تجاری و سالن‌های ورزشی است.

چوب یکی از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است که انسان با آن آشنایی پیدا کرده و در مناطقی که پوشیده از جنگل است از آن برای ساختن خانه‌های مسکونی استفاده کرده است. در آغاز با تنه‌های قطور درختان دیوارهای کلبه را بنا کرده و سقف آن را با شاخ و برگ درختان پوشانیده و گاهی بر روی همه اینها گل می‌مالیده و گاهی نیز از پوست درختان و یا ورقه‌های نازک سنگی بعنوان بام پوش استفاده کرده است. در نیم‌قرن اخیر صنعت چوب‌بری، عمل‌آوری چوب و سیستم‌های ساختمانی چوبی در کشورهای صنعتی جهان مانند کانادا، ایالات متحده آمریکا، استرالیا و کشورهای اروپای شمالی از جمله کشورهای اسکانندیناوی پیشرفت فراوانی کرده است به گونه‌ای که امروز بیش از ۸۵ درصد ساختمانهای مسکونی با ارتفاع شش طبقه به پایین این کشورها دارای سازه چوبی می‌باشند. در کشورهایی که فاقد جنگل‌های مناسب بوده و یا دسترسی به چوب دارای محدودیت است، فولاد سرد نورد جایگزین چوب گردیده و به تدریج جای خود را در سیستم ساختمانی قاب سبک باز نموده است. امروزه در حدود ۳ درصد خانه‌های مسکونی ایالات متحده آمریکا با قاب سبک فولاد سرد نورد ساخته می‌شوند. در سال‌های پس از جنگ جهانی دوم که دوران شکوفایی جوامع صنعتی است، استفاده از سیستم‌های قاب سبک ساختمانی و دیوار خشک (Dry Wall) به علت رشد سریع صنایع و نیاز به مسکن به سرعت گسترش یافت، به گونه‌ای که در بیش از ۸۵ درصد ساختمان‌های مسکونی و تجاری کشور ایالات متحده آمریکا و اروپای شمالی از این سیستم‌های ساختمانی استفاده می‌شود. در این مقاله در ضمن شرح اجمالی این سیستم‌های ساختمانی، الزامات، آیین نامه‌ها، استانداردهای مرتبط و مورد نیاز برای اجرای صحیح این سیستم‌ها در کشور زلزله خیز ایران شرح داده شده است.

مقدمه

استفاده از قاب سبک در ساخت و ساز در کشور ایالات متحده آمریکا از دهه ۱۸۴۰ در حومه شهر شیکاگو آغاز شد. روش اولیه ساخت به گونه قاب چوبی، اجرای قاب دیوارهای یکپارچه بود و تمامی ارتفاع ساختمان را در بر می‌گرفت. تکامل این سیستم در کشور سوئد به گونه ساخت طبقه‌ای انجام گرفت و در دهه ۱۹۲۰ به کشور انگلستان و سپس به کشورهای صنعتی دیگر گسترش پیدا کرد. از دهه ۱۹۵۰ میلادی کاربرد قطعات فولاد سرد نورد در دیوارهای خشک به عنوان دیوارهای داخلی ساختمان آغاز گردید و در دهه ۱۹۹۰ میلادی جایگزین کردن چوب با فولاد سرد نورد به تدریج

Wood Frame Constructions

وارد سیستم قابهای سبک گردید. امروزه سیستم‌های قاب سبک ساختمانی به دلیل سبکی، مقاومت زیاد در برابر زلزله و عوامل محیطی، سرعت بالای ساخت و مناسب بودن برای انبوه سازی گسترش فراوانی در کشورهای صنعتی کرده است. سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های سبک با سیستم‌های سنتی سازه‌های فولادی و بتنی بسیار متفاوت می‌باشند. اجزای قائم این ساختمان‌ها تحت بارهای ثقلی، به‌عنوان عضو باربر فشاری عمل می‌کنند؛ اعضای فشاری که در دهانه‌های مهاربندی شده قرار می‌گیرند، علاوه بر بار ثقلی، نیروهای ناشی از بارهای جانبی باد و زلزله را نیز تحمل می‌نمایند. این اعضا همان وادارهای عمودی یا استاداها می‌باشند. اتصال اعضای فشاری به کلاف عرضی کف به صورت مستقیم انجام می‌گیرد.

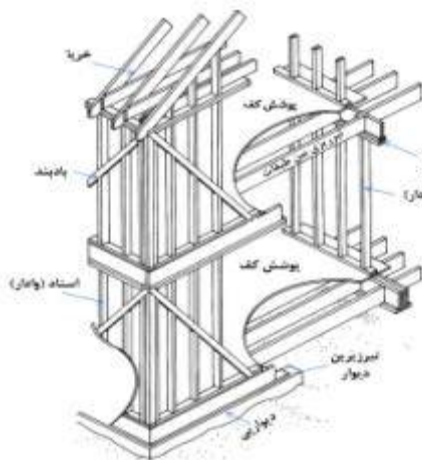
در طراحی این نوع ساختمان‌ها، علاوه بر محاسبات سازه‌ای، محاسبات دقیقی در زمینه انتقال رطوبت و حرارت به منظور پیشگیری از بروز میعان باید انجام شود. میعان خطری جدی برای این نوع سازه‌ها به‌شمار می‌رود، و علاوه بر کاهش مقاومت حرارتی جدار، باعث بروز رطوبت دائمی در مجاورت اجزای چوبی و یا فولادی و در نتیجه ظهور انواع میکروارگانیسم‌های مخرب چوب و تهدیدکننده بهداشت محیط مسکن و یا خوردگی فولاد می‌شود. به دلیل جرم کم و ناچیز بودن اینرسی حرارتی این ساختمان‌ها، هوابندی جدارها، یکپارچه بودن عایق حرارتی، و همچنین وجود لایه بخاربند در پوسته خارجی ساختمان، از ضروریات است. این ساختمان‌ها باید بتوانند پاسخ‌گوی کلیه انتظارات در زمینه فیزیک ساختمان باشند تا از طرفی عملکرد سازه‌ای ساختمان دچار اشکال نگردد و از طرفی دیگر، شرایط آسایش ساکنان فراهم گردد.

ساختمان‌های با قاب سبک

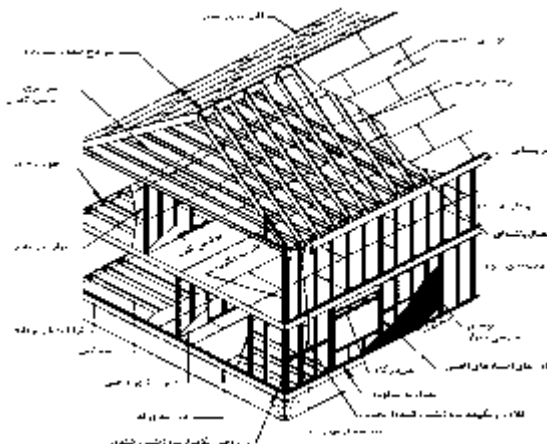
سیستم ساختمان‌های چوبی استاندارد یکی از پیش رفته ترین سیستم‌های ساختمانی است که رعایت تمام اصول فیزیک ساختمان از قبیل عایق کاری حرارتی، رطوبتی، صدا و هوابندی در شمار الزامات آن است و در نتیجه یکی از کامل ترین و در عین حال آسیب پذیر ترین سیستم‌های ساختمانی است که در صورت اجرای نادرست میتواند زیان‌های مالی بزرگی ببار آورد. مهم ترین نکته در این سیستم، محافظت سازه در برابر عوامل مخرب محیط از قبیل تغییرات شدید دما و رطوبت، قرار گرفتن در معرض قارچ‌ها، حشرات، میکروارگانیسم‌ها و حرارت زیاد است. باید در نظر داشت که نحوه محاسبات بارهای وارده و طراحی این سیستم ساختمانی با سیستم‌های متداول دیگر متفاوت است.

سیستم ساختمان‌های با قاب سبک فولاد سرد نورد و یا چوبی برای اجرای ساختمان‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه (پنج طبقه و کمتر) کاربرد گسترده‌ای داشته است. خطر آتش‌سوزی بیشتر از هر چیز دیگر در محدودیت طبقات خانه‌های چوبی تعیین کننده بوده است. در چند دهه اخیر، با مطرح شدن فن‌آوری‌های جدید، نظیر خاموش کننده‌های خودکار آتش، ایجاد سلول‌های آتش، فرآوری چوب‌های بدون محافظ با مواد کندسوزکننده، و پیش‌بینی راه‌های فرار در هنگام آتش‌سوزی و تحقیقات گسترده در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای قاب چوبی، زمینه مناسبی برای افزایش تعداد طبقات و ارتفاع خانه‌های این سیستم ساختمانی فراهم گردیده است.

Wood Frame Constructions



سیستم قاب سبک چوبی



سیستم قاب سبک فولادی

سیستم ساختمان‌های قاب سبک، یک سیستم مدوله شده بر پایه ۳۰، ۴۰ و یا ۶۰ سانتی‌متر می‌باشند. هر دیوار از تعدادی اجزای عمودی (وادار یا استاد) با فاصله مرکزی ۳۰، ۴۰ یا ۶۰ سانتی‌متر، که در بالا و پایین به اجزای افقی متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. ابعاد چوب‌های به کار برده شده در سازه قاب سبک چوبی نباید از اندازه اسمی ۵ در ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد. این محدودیت ابعادی برای پایداری بیشتر سازه در هنگام آتش‌سوزی در نظر گرفته شده است. مکان خالی بین وادار(استاد)های دیوارها و تیرهای افقی سقف‌ها، جای بسیار مناسبی برای قرار دادن عایق‌های حرارتی و صوتی و عبور تأسیسات ساختمانی به‌شمار می‌رود.

دیوارهای این سیستم‌های ساختمانی با پوشش‌های تخته‌ای مقاوم مانند تخته چندلا Plywood و یا ورق تولید شده از چوب تراشه جهت دار (OSB (Oriented Strand Board می‌توانند به‌عنوان دیوارهای برشی عمل کنند. در سیستم قاب سبک فولادی از ورق‌های فولادی نیز میتوان به‌عنوان پوشش محافظ استفاده کرد. مقاوم سازی دیوارها در برابر بارهای جانبی می‌تواند با مهاربندهای قطری نیز تامین شود. در سازه‌های فولادی سبک از مهاربند تسمه‌ای قطری بگونه ضربدری برای مقابله با بارهای باد، زلزله و سایر نیروهای درون صفحه‌ای استفاده می‌شود. در ساختمان‌های چوبی اروپایی بیشتر از دیوارهای برشی و در ساختمان‌های چوبی آمریکایی بیشتر از مهاربندی قطری خرابایی استفاده می‌شود. سقف‌ها نیز در این سیستم‌های ساختمانی با ایجاد یکپارچگی، توسط پوشش‌های مقاوم، مانند دیافراگم قابل انعطاف در سیستم سازه چوبی و دیافراگم صلب در سیستم LSF عمل کرده و خرپاهای سقف نهایی با پوشش‌هایی از ورق‌های چوبی و یا سیمانی، به‌صورت یکپارچه در می‌آیند. یک اصل بسیار مهم در این سیستم‌های ساختمانی تأمین یکپارچگی سازه آنها است. شالوده، دیوارها، سقف‌های بین طبقات و سقف نهایی (بام)، و تمامی اجزای تشکیل‌دهنده سازه ساختمان باید به درستی و با دقت بسیار، مانند جعبه‌ای یکپارچه به یکدیگر دوخته شوند. در ساختمان‌های چوبی، اجزای ساختمانی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که چوب‌های به کار برده شده در سازه ساختمان تا حد امکان به‌گونه‌ای فشاری یا کششی عمل کنند، و باعث ایجاد گشتاورهای ناشی از خروج از محوریت نشوند. سیستم ساختمانی LSF با دقت بسیار از روی سیستم ساختمانی قاب سبک چوبی کپی برداری شده است بگونه‌ای که شباهت بسیار زیادی به ساختمان‌های چوبی دارد و در واقع با جایگزین کردن چوب با فولاد سرد نورد موجودیت یافته است. از آنجا که خواص فیزیکی و مکانیکی چوب و فولاد و رفتار آنها در برابر شرایط محیط متفاوت است، به تدریج تفاوت‌هایی میان این دو سیستم سبک ساختمانی به‌وجود آمده است.

Wood Frame Constructions



سازه خانه‌های با قاب سبک چوبی



سازه خانه‌های با قاب سبک فولادی

یکی از موارد بسیار اساسی در این سیستم‌های ساختمانی، تأمین هوابندی آنها است، به گونه‌ای که نفوذ هوا، حتی در مواردی که اختلاف فشار بین دو طرف جدار زیاد است، از حدود تعیین شده بیشتر نشود. از این روی، لازم است محل برخورد دیوارها با پی، درها و پنجره‌ها با دیوار، دیوارهای خارجی با یکدیگر و همچنین محل تلاقی خرپاها با دیوارهای خارجی، با استفاده از روش‌ها و مصالح مناسب، به درستی هوابندی شوند.

چوب تحت تأثیر نیروهای وارده و هم‌زمان با عوامل گوناگون طبیعی، از قبیل رطوبت و تغییرات آن، حرارت و تغییرات آن، و همچنین اشعه فرابنفش، می‌تواند با روندی تدریجی دچار تغییر شکل گردد. این تغییرات در طول زمان و در صورت قرار گرفتن در شرایط نامساعد می‌تواند منجر به شکست و یا غیرقابل استفاده شدن سازه شود [۱]. در طراحی سازه چوبی، لازم است مسائل مربوط به تغییرات وابسته به زمان، از جمله خزش، در نظر گرفته شود.



دیوار برشی و مهاربند قطری در قاب سبک چوبی



مهاربند تسمه‌ای قطری در قاب سبک فولاد سرد نورد

با آنکه چوب ماده‌ای آلی است با نگهداری درست و رعایت اصول طراحی و اجرای سیستم خانه‌های چوبی، می‌توان برای آن عمری بسیار طولانی در نظر گرفت. برای مثال، چوب کشتی‌های جنگی با کهنه‌گی بیش از ۲۰۰۰ سال که در آب‌های سواحل یونان به دست آمده، سازه چوبی ساختمان‌های ۷۰۰ ساله سوئدی و کلیساهای چوبی ۹۰۰ ساله نروژی هنوز کامل و بدون عیب پابرجا مانده‌اند. اگر بتوان یکی از سه عامل رطوبت، حرارت و اکسیژن را از سازه چوبی به دور نگاه داشت، می‌توان از فساد و تجزیه آن جلوگیری به عمل آورد. در پژوهش‌هایی که نگارنده بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب‌های ساختمان‌های ۶۰۰ تا ۷۰۰ ساله شهر قدیمی استکهلم و کلیساهای ۹۰۰ ساله سوئد و نروژ به انجام رسانیده، به نتیجه‌های قابل توجهی دست یافته است [۵]. مقاومت و مدول الاستیسیته چوب‌هایی که به خوبی در درون ساختمان محفوظ مانده‌اند، بین ده تا بیست درصد از چوب‌های تازه با چگالی و نوع یکسان بیشتر است. قابلیت جذب آب چوب کهنه

Wood Frame Constructions

و تغییرات ابعادی آن در هنگام جذب آب و در مجموع تأثیرپذیری آن در برابر عوامل محیطی، از چوب تازه کمتر است. خزش تحت تأثیر بار و تغییرات رطوبتی هوا، در چوب کهنه به مراتب کمتر از چوب تازه است. به طور کلی، می توان گفت که در صورت رعایت اصول سیستم خانه های چوبی و آگاهی از نحوه برخورد چوب با عوامل محیطی، می توان عمر مفید ساختمان های این سیستم را بی گمان به بیش از صد سال رسانید، ولی در صورت سهل انگاری و یا عدم رعایت این اصول، ساختمان های چوبی به آسیب پذیر خواهند بود.

ساختمان های ساخته شده با سیستم قاب سبک فولادی قدمت چندانی نداشته و در خصوص عمر مفید و تأثیر عوامل مربوط به زمان در آنها تجربه زیادی در دست نمی باشد. بیشترین خطری که سازه این سیستم ساختمانی را تهدید می کند خوردگی فولاد است که باید در پوشاندن آن با مواد مقاوم در برابر خوردگی اهتمام ورزید.

شالوده

شالوده این سیستم های ساختمانی، علاوه بر تحمل بار سبک سازه، باید به نحو مؤثری از نفوذ آب، رطوبت و حشرات بخصوص به داخل سازه چوبی جلوگیری به عمل آورد. در روش های اولیه پی سازی خانه های سبک چوبی، قاب دیوارها به طور مستقیم و یا به واسطه کلاف های چوبی بر روی زمین قرار می گرفت. آنچه که بیش از هر چیز در باره پی سازی این سیستم های ساختمانی دارای اهمیت است، قرار دادن سازه آنها در ارتفاعی بالاتر از سطح زمین است تا خطر نفوذ آب، رطوبت، قارچ ها و حمله انواع حشرات به سازه کاهش یابد. این ارتفاع در آیین نامه های ساختمان های چوبی دست کم ۳۰ سانتیمتر ذکر شده است.

ساختمان های با قاب چوبی و یا فولاد سردنورد بسیار سبک هستند، به گونه ای که بار ثقلی مرده و زنده هر مترمربع از سقف ساختمان از ۴۰۰ کیلوگرم کمتر است. برای مثال، باری که یک خانه چوبی دو طبقه دارای زیرزمین به زمین منتقل می کند، از وزن خاک دستی و خاک موجود قبل از احداث ساختمان بیشتر نیست. در نتیجه می توان گفت که ساختمان های کوتاه مرتبه در این سیستم های ساختمانی را می توان در زمین هایی که دارای مقاومت خاک حداقل هستند نیز اجرا کرد. از آن گذشته، این خانه ها، به دلیل سبکی و یکپارچگی، حتی در صورت نشست نامساوی خاک زیر شالوده، عملکرد خوبی دارند. در مجموع، می توان گفت که این سیستم های ساختمانی، برای زمین های سست، با مقاومت خاک بسیار کم، از بسیاری از سیستم های ساختمانی دیگر مناسب تر می باشند.

شالوده این ساختمان ها می توانند به صورت گسترده، نواری، منفرد و یا تلفیقی باشند. شالوده منفرد را می توان با استفاده از قطعات پیش ساخته بتنی قالب سرخود یا قالب ماندگار اجرا کرد. در مواردی که مقاومت خاک بسیار کم است، از شالوده گسترده استفاده می شود. شالوده های نواری و گسترده متداول ترین روش پی سازی در این سیستم های ساختمانی می باشند. با توجه به اینکه اعضای فشاری در ارتفاع ساختمان ممتد نبوده و در هر طبقه قطع می شوند، لذا اتصال این اعضا به کف سقف یا شالوده از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ اتصال اعضای فشاری به کف یا شالوده در ساختمان های قاب سبک چوبی، به واسطه یک کلاف چوبی که به طور معمول با مواد مقاوم در برابر موربانه و قارچ ها اشباع شده است، انجام می گیرد. کلاف عرضی به واسطه میله های انتظار، بولت های فولادی، که عملکرد مهار کششی را دارند به کف یا شالوده متصل می شود.

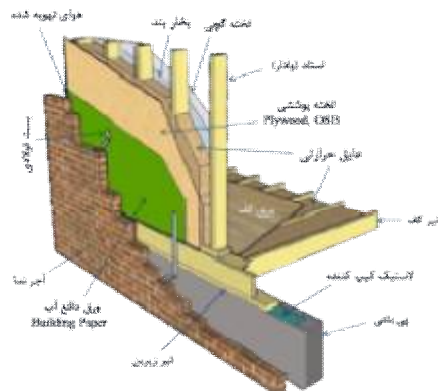
دیوارهای باربر خارجی

دیوارهای باربر خارجی به تنهایی و گاهی به همراه دیوارهای باربر داخلی سازه این ساختمان ها را تشکیل می دهند. این دیوارها با قرار دادن وادارهای چوبی و یا فولادی (استادها) با فاصله معین از یکدیگر و به صورت قاب ساخته شده و بر روی پی ساختمان که از بتن، آجر و یا مصالح غیرآلی دیگری ساخته شده قرار می گیرند. در ساختمان های چوبی مقطع این

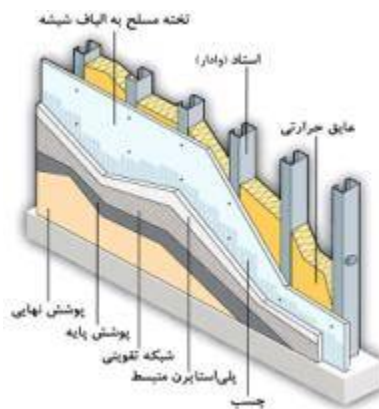
Wood Frame Constructions

وادرها نباید از اندازه اسمی ۵ در ۱۰ سانتی متر کمتر باشد. روی قاب دیوارها را از داخل با تخته‌های گچی و از خارج با ورق‌هایی از فرآورده‌های چوبی و یا مصالح مناسب دیگر می‌پوشانند.

نمای این سیستم‌های ساختمانی می‌تواند از انواع ورق‌های ساختمانی از جمله، ورق سیمانی، لمبه چوبی، تخته گچی، و پوشش‌های پلیمری در انواع گوناگون، ورق‌های فلزی، سفال و آردواز تشکیل شود. در نواحی پرباران، نماهای آجری خودایستا کاربرد فراوان دارند که برای پایداری در برابر نیروی باد و زلزله باید با اتصالات فولادی یا پلیمری به سازه دوخته شوند. در قسمت داخلی دیوار زیر تخته گچی، بخاربند و در قسمت خارجی و درزیرنما لایه مقاوم در برابر نفوذ باد و دافع آب قرار دارد. داخل دیوارها و بین وادرها را با یک عایق حرارتی معدنی از قبیل پشم سنگ یا پشم شیشه پر می‌کنند. در ساختمان‌های با وادارهای فولاد سردنورد از عایق‌های حرارتی پلیمری مانند پلی‌استایرن نیز استفاده شده است. در سیستم قاب سبک فولادی کاربرد یک لایه عایق حرارتی اضافی برای جلوگیری از پدیده پل حرارتی در داخل و یا خارج دیوار و بر روی وادرها ضروری است.



دیوار باربر خارجی در قاب سبک چوبی



دیوار باربر خارجی در قاب سبک فولادی

جداکننده‌های داخلی

سازه دیوارهای جداکننده داخلی را مانند سازه دیوارهای خارجی با وادارهای چوبی و یا فولادی به صورت قاب می‌سازند. دیوارها را در صورت ساخت درجا، بگونه‌ای افقی بر روی زمین ساخته و سپس برپا می‌کنند. در نوع پیش ساخته آن تمام اجزای دیوار در کارخانه ساخته شده و گاهی تاسیسات مکانیکی و الکتریکی نیز در آنها کار گذاشته می‌شود. دو طرف دیوارهای داخلی را بطور معمول با تخته گچی می‌پوشانند. جداکننده‌های داخلی نیازی به بخاربند و عایق حرارتی ندارند ولی در مکان‌های مورد نیاز از چند سانتیمتر پشم سنگ با چگالی بالا بعنوان عایق صوتی استفاده می‌شود. دیوارهای جداکننده دو واحد ساختمانی را بگونه‌ای دوتایی ساخته و با یک یا چندلایه اضافی تخته گچی پوشانده و داخل آن را با عایق حرارتی پر می‌کنند.

سیستم سقف-کف بین طبقات

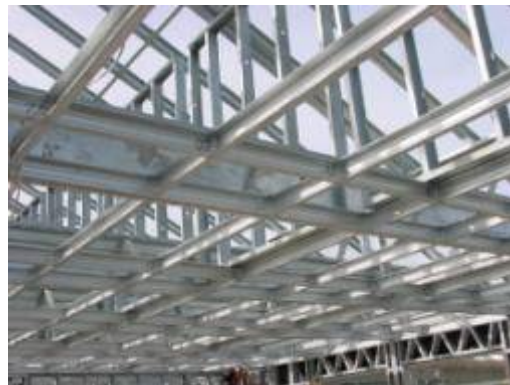
قاب‌بندی سقف بین طبقات از تیرهای ضخیم چوبی و یا پروفیل‌های فولاد سردنورد تشکیل می‌شود. فاصله بین تیرها، به‌طور معمول ۴۰ یا ۶۰ سانتی متر است. در قاب‌بندی سقف، در مواقع نیاز، می‌توان از تیرچه نیز استفاده کرد. سقف طبقات، با استفاده از ورق‌های ساختمانی، با اتصالات خشک، بر روی تیرها نصب می‌شوند. کف اطاق با الوار چوبی و یا تخته

Wood Frame Constructions

چندلایه ضخیم پوشیده شده و بر روی آن کف پوش مناسب قرار می‌گیرد. در صورت نیاز به شیب‌بندی، از ملات سیمانی و یا پلیمری مخصوص استفاده می‌شود. برای جلوگیری از انتقال صدای کوبه‌ای، از کف پوش نرم یا از کف شناور استفاده می‌شود. در روش‌های کارخانه‌ای، دیوارها و سقف‌ها به صورت صفحه‌هایی پیش‌ساخته، که در پروفیل‌های فولادی علاوه بر اتصالات سرد، گاهی از جوش نیز استفاده شده، به سایت منتقل می‌شوند و در کارگاه به وسیله اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند. پوشش سقف در ساختمان‌های سیستم LSF از نوع دال بتن‌آرمه، دال عرشه فولادی، است و در صورت تأمین یکپارچگی لازم بین بتن و پروفیل فولادی تیرچه، می‌توان سقف را به عنوان یک سقف مرکب طراحی کرد



سقف جداکننده طبقات در سیستم چوبی



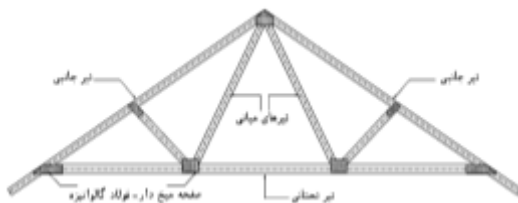
سقف جدا کننده طبقات در سیستم فولاد سرد نورد

سقف خارجی

سقف خارجی ساختمان، به طور متداول، از نوع شیب‌دار است که از خرپاهای چوبی و یا فولاد سردنورد تشکیل می‌شود. سقف‌های نهایی از نوع صاف در این سیستم بیشتر به شکل خرپای مسطح اجرا می‌شوند. سطح خارجی سقف تخته‌کوبی شده و بر روی آن پوشش مناسب قرار می‌گیرد. بین خرپاهای، و یا بر روی قسمت صاف سقف، عایق حرارتی مناسب قرار داده شده و قسمت زیرین سقف با بخاربند و تخته گچی و یا مصالح مناسب دیگر پوشانده می‌شود. ساختار اصلی سقف‌ها در سیستم قاب سبک فولاد سرد نورد مانند دیوارهای آن از مقاطع C و Z تشکیل شده است. در این سیستم ساختمانی برای سقف‌های تخت از سقف‌های کامپوزیت نیز استفاده می‌شود.

سقف خارجی می‌تواند از خرپاهای سبک پیش‌ساخته تشکیل شده باشد که بر طبق تجربیات و محاسبات دقیق مهندسی طراحی می‌شود. استفاده از خرپا در بام نیاز به جداکننده‌های باربر داخلی را برطرف کرده و باعث نصب سریع‌تر قاب‌بندی سقف و بام می‌شود.

خرپا و دیگر اجزای سقف باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که علاوه بر دارا بودن مقاومت لازم در برابر بارهای قائم، از یکپارچگی کافی نیز برخوردار باشند و بتوانند در برابر بارهای جانبی عملکرد مطلوبی داشته باشند. در طراحی این اجزا، لازم است نیروهای وارد شده در هنگام حمل و نصب و وزن کارگران نصاب در زمان اجرا نیز در نظر گرفته شود.



خرپای ساده چوبی



خرپای ساده فولاد سردنورد

Wood Frame Constructions

بام نهایی به دو گونه شیب‌دار و مسطح اجرا می‌شود که از نظر مقاومتی دارای ساختار اصلی یکسانی است. هرگاه سقف نهایی ساختمان شیب‌دار باشد، اجرا به دو گونه سقف سرد و سقف گرم، قابل اجرا است. در سقف گرم عایق حرارتی در زیر و یا بین تیرهای قسمت شیب‌دار سقف و در سقف سرد بر روی و یا بین تیرهای افقی سقف قرار می‌گیرد. در سقف سرد، خطر میعان تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

پوشش بام

به‌طور کلی، می‌توان گفت که بیشتر انواع پوشش‌های رایج بام برای این سیستم‌های ساختمانی نیز قابل اجرا است، مشروط بر این که از زیرسازی مناسب استفاده شود و تمهیدات لازم برای عایق‌کاری حرارتی و رطوبتی و همچنین محاسبات لازم جهت پیش‌بینی خطر میعان و نفوذ آب باران و بار برف انجام گیرد. متداول‌ترین پوشش‌های بام برای این سیستم‌های ساختمانی عبارتند از سفال، ورق‌های فلزی، پنل‌های فولادی با لایه‌ای از رزین و شن، کاغذ قیراندود مسلح شده با الیاف در چند لایه و ورق‌های سیمانی. کاربرد ورقه‌های چوبی، به صورت فلس ماهی، به عنوان پوشش بام در سقف‌های شیب‌دار، در بسیاری از مناطق، به‌خصوص در ایالت کالیفرنیا متداول بوده است ولی امروزه بدلیل ملاحظات مربوط به گسترش آتش مجاز نمی‌باشد.

لمبه‌های چوبی به ضخامت حدودی ۲/۵ سانتی‌متر و یا ورق‌هایی از فرآورده‌های چوبی مانند تخته چندلا، تخته از تراشه‌های چوب جهت‌دار و یا پانل از مصالح چوبی دیگر، بستر مناسبی برای پوشش‌های بام در این ساختمان‌ها فراهم می‌کنند. بر روی این بستر، نخست یک لایه عایق رطوبتی و سپس، بسته به نوع پوشش نهایی بام، چوب‌های چهارتراش به ابعاد گوناگون و در دو جهت عمود برهم و با فاصله‌های گوناگون از یکدیگر کوبیده می‌شوند. پانل‌های سازه‌ای در ضخامت‌های مختلف و ابعاد گوناگون تولید می‌شوند. فاصله چهارتراش‌های زیرین، که به طور مستقیم، در جهت شیب، بر روی تخته بام کوبیده می‌شوند، بستگی به فاصله تیرهای سقف زیر آن دارد و به طور معمول ۶۰ سانتی‌متر است.



پوشش بام شیب‌دار در ساختمان اسکلت چوبی



پوشش بام شیب‌دار در ساختمان LSF

رفتار سازه‌ای

سیستم‌های سازه‌ای در ساختمان‌های قاب سبک چوبی و یا قاب سبک فولاد سردنورد با سیستم‌های موجود در سازه‌های فولادی و بتنی بسیار متفاوت می‌باشند. اجزای قائم این سیستم‌های ساختمانی تحت بارهای ثقلی، به‌عنوان عضو باربر فشاری عمل می‌کنند؛ اعضای فشاری که در دهانه‌های مهاربندی شده قرار می‌گیرند، علاوه بر بار ثقلی، نیروهای ناشی

Wood Frame Constructions

از بارهای جانبی باد و زلزله را نیز تحمل می‌نمایند. این اعضا همان وادارهای عمودی یا استاداها می‌باشند. اتصال اعضای فشاری به کلاف عرضی کف به گونه‌ای مستقیم انجام می‌گیرد. اتصالات در این سیستم‌های ساختمانی بطور کلی اتصالات ساده مفصلی می‌باشند.

تمام اجزای سیستم قاب سبک چوبی از تیرهای چهارگوش چوبی تشکیل شده است. سقف جداکننده طبقات و سقف خارجی سازه نیز متشکل از تیرهای چوبی و یا خرپاهای چوبی است و فواصل تیرچه‌ها با توجه به ظرفیت باربری عضو و ابعاد قطعات پوشش که بطور معمول از ورق فرآورده‌های چوبی مانند تخته چندلا و یا ورق تولید شده از چوب تراشه جهت دار، تعیین می‌شود. تیرها و تیرچه‌ها عمدتاً دارای مقاطع مستطیل شکل هستند. اعضای قائم سیستم نیز از همین نوع می‌باشند و تحت اثر بارهای ثقلی به عنوان عضو باربر و تحت اثر بارهای جانبی در دهانه مهاربندی شده قطری یا برشی پوشیده شده با ورق یا تخته، نیروهای جانبی ناشی از بار باد یا زلزله را تحمل می‌نمایند.

برای ایجاد کلاف پیرامون بازشوهای افقی در سقف، از تیرچه‌های چوبی استفاده می‌شود. به منظور مقابله با برش طبقه و مهار جانبی تیرچه‌های کناری، می‌توان از مهاربندی ضربدری استفاده نمود. اطراف بازشوهای قائم در دیوارها نیز، تیرچه‌های نعل درگاهی و ستونک‌ها با مقاطع مشابه استاداها چوبی به کار برده می‌شود.

از آنجایی که تیر اصلی به طور معمول به صورت سراسری اجرا می‌گردد، برای ایجاد طره‌های ساختمانی از تیر پیوسته استفاده می‌شود تا لنگر قسمت طره تیر به عضو فشاری و از طریق عضو فشاری به شالوده منتقل گردد.

مجموعه قاب‌های تشکیل دهنده سیستم سازه‌های چوبی، دارای اتصالات ساده بوده و تشکیل قاب ساختمانی ساده را می‌دهند؛ بنابراین تنها دهانه‌های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی در هر جهت می‌توانند در باربری جانبی به‌عنوان یک سیستم مقاوم مطرح باشند.

دیافراگم‌های ساخته شده از پانل‌های چوبی با قاب‌های سبک، می‌توانند به صورت ایده‌آل، انعطاف پذیر در نظر گرفته شوند. در این حالت، کل دیافراگم به صورت چند دهانه تیر ساده بین تکیه‌گاه‌ها (تیرهای چوبی کف) عمل خواهد نمود. دیافراگم‌های قاب سبک فولادی بطور معمول صلب در نظر گرفته می‌شوند.

عایق کاری حرارتی

فضای خالی بین استاداها دیوارهای خارجی، بین تیرها یا تیرچه‌های کف و سقف و در داخل شالوده مکان مناسبی است برای قرار گرفتن عایق حرارتی، که موجب کاهش تبادل حرارت پوسته خارجی ساختمان‌های با قاب سبک در شرایط آب و هوایی گرم و سرد می‌شود. این عایق کاری حراری همچنین می‌تواند در صورت کاربرد پشم‌های معدنی با جذب نوفه‌های خارجی آسایش ساکنان را افزایش داده و مانند جاذب صدا عمل نماید. ضریب انتقال حرارتی چوب نسبت به مصالح دیگر بسیار پایین است. عایق حرارتی متداول در این سیستم از انواع گوناگون پشم‌های معدنی است. ضریب انتقال حرارتی فولاد بسیار بالا است و در نتیجه وادارهای فولادی در سیستم ساختمانی LSF ایجاد پل حرارتی نموده و نیاز به یک عایق حرارتی تکمیلی در خارج و یا داخل دیوار می‌باشد. عایق حرارتی در انواع رولی یا تخته‌ای و یا به صورت فله به بازار عرضه می‌شود که نوع فله‌ای آن بیشتر در داخل شیروانی‌ها و بین یا روی تیرچه‌های سقف به کار برده می‌شود. با توجه به بالا رفتن بار آتش ساختمان‌های چوبی، کاربرد عایق‌های حرارتی پلیمری در این سیستم ساختمانی توصیه نمی‌شود. در داخل دیوارهای بتنی شالوده می‌توان از یک عایق حرارتی پلیمری مانند تخته‌های پلی‌استایرن که با چسب‌های مخصوص به دیوار نصب می‌شود، استفاده کرد. در مناطق سردسیر عایق حرارتی با چگالی بالا را در زیر شالوده و در زمین اطراف آن نیز قرار می‌دهند. ضریب هدایت فولاد در حدود $55 [W/m.K]$ و ضریب هدایت عایق‌های حرارتی در حدود $0.04 [W/m.K]$ است. در نتیجه، انتقال حرارت به صورت یکنواخت از تمامی قسمت‌های دیوار در سیستم قاب

Wood Frame Constructions

سبک فولادی صورت نمی‌گیرد، و بخش قابل توجهی از حرارت از وادارهای فلزی که مقاومت کمتری در برابر انتقال حرارت دارند عبور می‌کند. ضریب هدایت حرارت چوب بسیار کمتر از فولاد و در حدود $0.12 [W/m.K]$ است. در سیستم LSF، با توجه به وجود پل‌های حرارتی و در نتیجه یک بعدی نبودن انتقال حرارت در مقطع دیوار، امکان محاسبه ساده ضریب انتقال حرارت یا مقاومت حرارتی دیوار وجود ندارد. در سیستم ساختمان‌های چوبی این کار به سادگی امکان پذیر است.



محدود بودن پل حرارتی در ساختمان با سازه چوبی

یک لایه عایق حرارتی تکمیلی در طرف خارجی دیوار LSF

بخار بند

برای جلوگیری از انتقال بخار آب بر اثر اختلاف فشار جزئی بخار آب در دو طرف عضو ساختمانی، از یک لایه نازک مقاوم در برابر نفوذ بخار آب استفاده می‌شود. بخار بند می‌تواند از جنس پلیمر، به‌طور معمول پلی‌اتیلن و یا بیتومن باشد. بخار بند باید در سمتی از جدار نصب شود که فشار بخار آب زیاد است، یعنی در قسمت گرم و بطور معمول در سمت داخلی عایق حرارتی. در صورتی که طراحی جدارهای پوسته خارجی ساختمان با روشی اصولی و با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی انجام نگردد، خطر بروز میعان می‌تواند وجود داشته باشد. بخار بند از عبور بخار آب از میان دیوارهای خارجی و سقف جلوگیری می‌نماید و خطر بروز میعان را به شدت کاهش می‌دهد. وظیفه دیگر بخار بند جلوگیری از عبور هوا است که به نوبه خود باعث هدر رفتن انرژی می‌شود.

تأسیسات الکتریکی و مکانیکی

تأسیسات این سیستم‌های ساختمانی همگی از درون دیوارها و سقف کشیده می‌شوند و بدیهی است که نیازی به سقف کاذب در این سیستم‌های ساختمانی نمی‌باشد.

محل عبور کانال‌ها و لوله‌های تأسیسات الکتریکی و مکانیکی ساختمان، مجراها و سوراخ‌هایی است که به همین منظور در قطعات سازه پیش‌بینی شده است. فاصله بین استادها در دیوارها و فاصله بین تیرهای کف و فاصله بین خرپاهای سقف محل مناسبی برای عبور کانال‌های تأسیساتی می‌باشند، ولی کوشش می‌شود تا جایی که امکان دارد از درون دیوارها عبور داده شوند. ایجاد یک اتصال به زمین (Earth) برای تأسیسات الکتریکی ضروری است که در این صورت لازم است در طراحی ساختمان چاه زمین «ارت» پیش‌بینی شود. برای محافظت کابل‌های برق، بخصوص در برابر کوبیدن میخ به دیوارها، باید آنها را از درون لوله‌های فلزی و یا پلی وینیل کلرید سخت عبور داد. لوله‌های برق باید مقاوم در برابر حرارت بالا بوده و میخ نتواند به آسانی به‌داخل آن کوبیده شود.

Wood Frame Constructions



عبور کابل از درون دیوار چوبی



مکان عبور کابل از درون دیوار LSF

آیین‌نامه‌های ساختمانی سیستم‌های قاب سبک

با توجه به آن که تاکنون آیین‌نامه‌ای برای طراحی سازه‌های چوبی در ایران تدوین نشده است، می‌توان از آیین‌نامه IBC (International Building Code) ایالات متحده آمریکا سال 2009 میلادی استفاده کرد. در فصل ۲۳ آیین‌نامه IBC 2009 الزامات عمومی، اجرایی و طراحی ساختمان‌های چوبی ذکر شده است. براساس فصل ۱۶ این آیین‌نامه، بارگذاری لرزه‌ای سازه‌ها باید بر مبنای استاندارد ASCE 7-05 که در آن میزان بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها توسط انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا به چاپ رسیده، انجام شود.

آیین‌نامه‌های معتبر دیگری نیز در سطح جهانی در خصوص ساختمان‌های چوبی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به آیین‌نامه NDS 2005 که مشتمل بر مشخصات اجرایی ساختمان‌های چوبی است و استاندارد SDPWS 2005 که ملاحظات ویژه‌ای را برای طراحی سازه‌های چوبی در برابر باد و زلزله ارائه می‌نماید و استاندارد DIN 1052 در رابطه با طراحی سازه‌های چوبی و مقررات عمومی ساختمان اشاره کرد. فصل دهم FEMA 451 نیز مثال کاملی را در خصوص طرح و محاسبه یک سازه سبک چوبی ارائه داده است که برای اطلاع بیشتر می‌توان به آن مراجعه نمود.

آیین‌نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سبک سرد نورد، به دلیل درخواست زیاد صنعت، در آذرماه ۱۳۹۰ توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن منتشر گردید. طراحی اجزاء و اتصالات سیستم ساختمانی قاب سرد نورد LSF در کشورهای صنعتی بر اساس استاندارد AISI و طرح سازه‌ای و لرزه‌ای آن بر اساس آیین‌نامه‌های ASCE 07 و IBC 2009 انجام می‌گیرد. ضوابط مربوط به اتصالات در آیین‌نامه AISI و استاندارد AISI آورده شده است. مشخصات فولاد سرد نورد در چند استاندارد ASTM آمده است. ورق‌های فولاد سردنورد شده در این سیستم ساختمانی با ضخامت ۰/۶ تا ۲/۵ میلی‌متر ساخته شده و دارای حد جاری شدن ۲۴۰ تا ۳۴۰ مگاپاسکال می‌باشند.



ساختمانهای ۱۰ طبقه چوبی شهرک چوبی لیمنولوگ کشور سوئد



ساختمانهای ۶ طبقه LSF با قاب خمشی فولاد گرم نورد

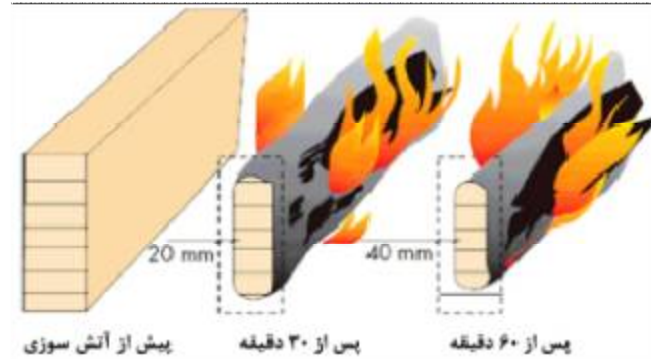
Wood Frame Constructions

در کشورهای صنعتی که دسترسی به چوب مناسب برای ساختمان محدود است، گرایش به سیستم ساختمانی LSF در حال افزایش است. در کشور ایالات متحده امریکا این سیستم موفقیت چندانی نداشته است و بیشترین کاربرد آن در ایالت فلوریدا بوده است که حداکثر به ۵٪ کل ساخت و ساز ساختمان‌های مسکونی رسیده است در حالی که ساخت و ساز با سازه چوبی در این ایالت بیشتر از ۸۰٪ بوده است.

مقاومت در برابر آتش

سازه این سیستم‌های ساختمانی، از فولاد سرد نورد و یا چوب و فرآورده‌های چوبی تشکیل شده است و از آنجایی که چوب در برابر آتش آسیب پذیر است و فولاد نازک سردنورد بسرعت مقاومت خود را در هنگام آتش سوزی از دست می‌دهد، تمامی سازه ساختمان باید با مصالح نسوز پوشانده شود. در اکثر موارد، ورق‌های گچی به عنوان لایه محافظ در برابر آتش مورد استفاده قرار می‌گیرند. گچ به واسطه آب تبلور (۲۱ درصد) پایداری زیادی در برابر آتش دارد و به‌گونه‌ای گسترده به عنوان یک ماده عایق حرارت جهت حفاظت ستونها و اجزای ساختمانی فلزی و چوبی در هنگام آتش سوزی کاربرد دارد. نازک‌کاری ساختمان‌های با قاب سبک، به طور کلی، به روش خشک صورت می‌گیرد. این عمل، علاوه بر بالا بردن سرعت ساخت، از اضافه کردن آب به سازه چوبی یا فولادی جلوگیری می‌کند.

چوب قابل اشتعال است ولی ذغال ایجاد شده در سطح چوب به واسطه خاصیت عایق‌کاری حرارتی خود از سرعت نفوذ آتش به درون چوب می‌کاهد و باعث پایداری بیشتر آن می‌گردد. بواسطه همین پدیده تیرهای چوبی قطور در آتش سوزیها مقاومت بمراتب بیشتری از خود نسبت به فولاد نشان داده اند.



مقاومت تیر چوبی در هنگام آتش سوزی

سازه فولادی نسوز است ولی ورق‌های نازک فولاد سرد نورد در هنگام آتش سوزی مقاومت چندانی از خود نشان نمی‌دهند. فولاد در دمای حدود ۱۴۶۰ درجه سلسیوس آب میشود و در حدود ۳۰۰ درجه مقاومت آن شروع به کاهش می‌نماید و در ۴۰۰ درجه شدت نقصان پیدا کرده بگونه‌ای که در ۵۵۰ درجه سلسیوس ۶۰ درصد مقاومت خود را از دست داده است. از دیاد درجه حرارت تاثیری در مقاومت چوب ندارد و مقاومت سازه چوبی توسط سطح مقطع قسمت سوخته نشده چوب تامین می‌شود.

مقاومت در برابر قارچ‌ها، حشرات و خوردگی

برای حفاظت چوب در برابر قارچ‌ها و نفوذ حشراتی مانند موریه، آن را با مواد شیمیایی گوناگون مقاوم می‌سازند. نحوه اعمال مواد محافظت‌کننده به دو گونه اشباع عمقی و آغشتگی سطحی تقسیم می‌شود. در آغشتگی سطحی، چوب را در محلول ماده محافظت‌کننده فرو می‌برند، با قلم مو بر روی آن پخش می‌کنند و یا با پمپ می‌پاشند. در این روش ماده

Wood Frame Constructions

محافظت کننده بر روی سطح چوب باقی مانده و یا یکی دو میلی متر به داخل آن رسوخ می کند. برای ایجاد مقاومت پایدار روش اشباع عمقی بکار برده می شود. در این روش چوب را داخل استوانه های بسته قرار داده و مواد شیمیایی را تحت خلاء و فشار به داخل آن وارد می کنند. مواد شیمیایی مناسب می توانند چوب را برای مدت بسیار زیادی در برابر حمله موربانه، حشرات موذی و پوسیدگی ناشی از فعالیت قارچ ها حفاظت کنند.

در سیستم LSF تمام سطح ورق های فولادی را با مواد مقاوم در برابر خوردگی می پوشانند. تمام مصالحی که در ساخت و ساز سیستم قاب فولادی سبک، به خصوص ساختمان های مسکونی، به کار می روند، باید با پوششی مقاوم در برابر خوردگی حفاظت شده باشند. این پوشش ها عبارتند از گالوانیزه، گالفان و گالوالوم که روش گالوانیزه متداول ترین است.

مقاومت در برابر زمین لرزه

زمین لرزه های فراوانی که در گوشه و کنار جهان به وقع پیوسته است، نشان داده اند که خانه های قاب سبک چوبی مقاومت بی نظیری در برابر زمین لرزه دارند. ساختمان های با قاب سبک چوبی بیش از ۱۸۰ سال از عمر ساخت و ساز با آنها می گذرد و شاهد زمین لرزه های فراوانی بوده اند.

در زمین لرزه هوگوکن نامبو که در سال ۱۹۹۵ در کوبه ژاپن بوقوع پیوست ۶۸۰۰ کشته از خود برجای گذاشت که همگی در خانه های بدون سازه چوبی بودند. زمین لرزه های دیگری که در کشور ایالات متحده امریکا و در گوشه و کنار دنیا بوقوع پیوسته است آمار مشابهی بدست می دهند.

در سال ۲۰۰۳ میلادی زلزله بم به قدرت ۶/۶ ریشتر باعث مرگ در حدود ۵۰ هزار نفر یعنی یک چهارم جمعیت شهر گردید. در سال ۱۹۹۴ میلادی در منطقه نورتریج ایالت کالیفرنیا زمین لرزه ای با قدرت ۶/۷ ریشتر بوقوع پیوست و ۴۰ بیلیون دلار خسارت به بار آورد و باعث مرگ تنها ۵۷ نفر گردید. تمامی این افراد در خانه های غیر چوبی بودند بجز ۱۶ نفر که در اثر سرنگونی دیوار و دودکش آجری جان سپردند. دلیل اساسی کمی تلفات در این زمین لرزه در مقایسه با زلزله بم، وجود ۹۹ درصدی خانه های چوبی مسکونی در منطقه نورتریج است. با وجود آنکه ساختمان های با سازه سبک چوبی در برابر زمین لرزه مقاومت بسیار خوبی دارند، در برابر آتش سوزی پس از زلزله آسیب پذیر می باشند، از این روی در انبوه سازی خانه های چوبی باید نکات ایمنی آتش از جمله قراردادن موانع آتش بین طبقات و بین واحدها، کاربرد خاموش کننده های خودکار در طبقات و ایجاد فاصله لازم بین ساختمان ها، به درستی رعایت شود.

تعداد خانه های چوبی	کشته شدگان	کشته شدگان	نیروی لرزه E	نیروی لرزه M	زمین لرزه
۱۰۰۰۰۰	۴	۶۳	۰.۶	۶.۷	سان فرانسو کالیفرنیا ۱۹۷۱
۷۰۰۰	۰	۰	۰.۳۲	۶.۳	نیوزلاند ۱۹۸۷
۱۰۰۰۰	۰	۰	۰.۱۵	۵.۷	کویک ۱۹۸۸
۵۰۰۰۰	۰	۶۶	۰.۵	۷.۱	لوماپری انا کالیفرنیا ۱۹۸۹
۲۰۰۰۰۰	۱۶	۶۰	۱	۶.۷	نورتریج کالیفرنیا ۱۹۹۴
۸۰۰۰	۰	۶۸۰۰	۰.۸	۶.۸	کوبه ژاپن ۱۹۹۵

* همگی در یک ایستگاه مسکونی و در زیر آوار غیر چوبی

آمار مقاومت ساختمان های چوبی در هنگام زمین لرزه

Wood Frame Constructions

آزمون زلزله با قدرت هفت و نیم ریشتر، تیرماه ۱۳۸۸ در آزمایشگاه زمین‌لرزه شهر میکی واقع در کشور ژاپن روی میز لرزان و بر روی ساختمان هفت طبقه چوبی در اندازه واقعی انجام گرفت. این آزمون نتوانست باعث تخریب ساختمان هفت طبقه چوبی شود و تنها آسیبی جزئی به اجزای یکی از طبقات رسانید. ساختمان چوبی در هنگام آزمون، بر روی میز لرزان فولادی به شدت به اطراف و بالا و پایین حرکت میکرد. این میز برای تحمل باری برابر با ۱/۲ میلیون کیلوگرم طراحی شده است و لرزش وارده از روی زلزله‌ای که در سال ۱۹۹۴ در شهر نورتریج واقع در ایالت کالیفرنیا اتفاق افتاد، با ۱۸۰ درصد قدرت آن شبیه سازی شده بود. شدت این زلزله (۷/۵ ریشتر) به اندازه‌ای است که تنها در هر ۲۵۰۰ سال یکبار میتواند اتفاق افتد. این آزمون بخشی از پروژه چهار ساله‌ای است که زیر نام NEESWood و با همکاری مراکز پژوهشی زمین‌لرزه در سطح جهانی انجام گرفته است. هدف از اجرای این آزمون که بزرگترین آزمون زمین لرزه تاریخ بشری است، به مبارزه طلبیدن آیین‌نامه‌های جدید ایالات متحده آمریکا بود که محدودیت‌هایی برای ارتفاع ساختمان‌های اسکلت چوبی در مناطق زلزله خیز کشور مانند نواحی شمال کالیفرنیا اعمال کرده بود. بیشتر ساختمان‌های با ارتفاع هفت طبقه از فولاد و یا بتن ساخته میشوند که در برابر زمین لرزه مقاومت خوبی از خود نشان نداده‌اند. رییس مهندسی زلزله دانشگاه ایالتی فورت کالیز کلورادو گفت: "ما در این پروژه کوشش کرده‌ایم نشان دهیم که اگر خانه‌های چوبی به درستی و مطابق آیین‌نامه‌ها طراحی شوند، بهتر از هر سیستم ساختمانی دیگر می‌توانند در برابر زمین‌لرزه‌های شدید مقاومت کنند."



آزمون زلزله به قدرت ۷/۵ ریشتر بر روی ساختمان هفت طبقه چوبی

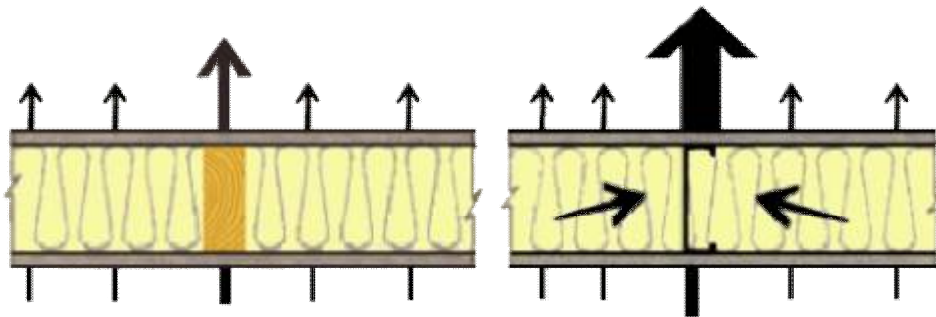
در ایالات متحده آمریکا، بیش از ۸۰ درصد تمامی ساختمانها از جمله ساختمان‌های اداری، صنعتی و مسکونی، بیش از ۹۰ درصد تمامی ساختمانهای مسکونی و در حدود ۹۹ درصد ساختمانهای ایالت خیز کالیفرنیا دارای سازه چوبی می‌باشند.

آزمون‌های زمین لرزه انجام شده بر روی ساختمان‌های با قاب سبک فولادی نشان دهنده مقاومت خوب آنها در برابر زمین لرزه است ولی از آنجایی که عمر زیادی از ساخت و ساز با این ساختمان‌ها نمی‌گذرد، تجربه چندانی در برابر مقاومت واقعی آنها در مقابل زمین لرزه در دست نیست.

Wood Frame Constructions

نقاط قوت و ضعف سیستم‌های قاب سبک در مقایسه با یکدیگر

۱. سازه سیستم قاب سبک فولادی در برابر موربانه و قارچها مقاوم است و بر خلاف سازه سیستم‌های ساختمانی چوبی نیازی به فرآوری با مواد شیمیایی ندارد ولی در محل برش‌ها و در صورت زخمی شدن لایه پوششی فولاد خطر خوردگی وجود دارد.
۲. وزن وادارهای (استادهای) فولادی از وادارهای چوبی کمتر است، با وجود آنکه وزن فولاد حدود ۱۲ برابر بیشتر از وزن چوب است. این به دلیل سطح مقطع کوچک‌تر وادارهای فولادی است.
۳. ضریب هدایت حرارتی فولاد (57 W/m.K) بسیار بیشتر از ضریب هدایت حرارتی چوب (0.12 W/m.K) است و در نتیجه در پوسته خارجی این سیستم انرژی زیادی بواسطه پدیده پل حرارتی به هدر می‌رود. ضریب هدایت حرارتی پشم‌های معدنی در حدود 0.04 W/m.K و به ضریب هدایت حرارتی چوب نزدیک‌تر است.



انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک چوبی

انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک فولادی

۴. ساختمان‌های قاب سبک فولادی، به دلیل محصور شدن در میان سطح وسیعی از ورق‌های فولادی، در میدان الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند.
۵. ساختمان‌های قاب سبک فولادی در کشورهای صنعتی، از ساختمان‌های قاب سبک چوبی گران‌تر تمام می‌شوند. بر طبق تحقیقات اداره توسعه مسکن شهری کشور ایالات متحده آمریکا، مصالح ساختمان‌های قاب سبک فولادی ۱۴/۵ درصد گران‌تر از مصالح ساختمان‌های چوبی است.
۶. هزینه تمام شده ساختمان‌های فولادی، در کشورهای صنعتی، شامل مزد کارگر و قیمت مصالح در مجموع ۴۲/۴ درصد بیشتر از ساختمان‌های چوبی است.
۷. زمان ساخت خانه‌های قاب سبک فولادی ۴/۳ درصد طولانی‌تر از زمان ساخت خانه‌های چوبی است.
۸. مخارج طراحی، نظارت، سرپرستی و داد و ستد با خانه‌های سبک قاب فولادی ۷/۳ درصد بیشتر از خانه‌های اسکلت چوبی است.
۹. سازه ساختمان‌های قاب سبک فولادی بار حریق ندارند و در نتیجه خطر انتشار آتش در هنگام آتش‌سوزی آنها از ساختمان‌های چوبی بسیار کمتر است ولی ورق‌های فولاد سرد نورد (CFS) مقاومت بسیار کمتری، نسبت به سازه چوبی، در هنگام آتش‌سوزی دارند.
۱۰. هرگاه تمامی نکات فنی و عایق کاری حرارتی تکمیلی در اجرای قاب سبک فولادی به درستی رعایت نشود، خطر ایجاد صدا در حالت‌های انقباض و انبساط حرارتی وجود دارد.
۱۱. برای ساخت خانه‌های چوبی در ایران نیاز به واردات چوب از کشورهای دیگر است که در حال حاضر برای حفاظت از منابع طبیعی از عوارض گمرکی معاف شده است، ولی بیشتر فولاد سرد نورد مورد نیاز در داخل کشور تولید می‌شود.

Wood Frame Constructions

۱۲. هردو سیستم برای تنوع در معماری فضا قابلیت بالایی دارند ولی سیستم قاب سبک چوبی قابلیت شکل پذیری و اجرای دهانه‌های متنوع بیشتری نسبت به سیستم قاب سبک فولادی داشته و در کشورهای دارنده این فناوری مورد توجه آرشیتکت‌ها می‌باشد.
۱۳. در سیستم قاب سبک فولادی محدودیت دهانه بارگذاری وجود دارد بگونه‌ای که از جمله الزامات این سیستم بکارگیری حداکثر دهانه تا ۵ متر می‌باشد. در سیستم قاب سبک چوبی چنین محدودیتی وجود نداشته و دهانه‌های بزرگی را می‌توان بدون استفاده از ستون پوشانید.
۱۴. ساختمان‌های ساخته شده با سیستم قاب سبک فولادی قدمت کمی داشته و در خصوص عمر مفید و تاثیر عوامل مربوط به زمان آنها تجربه‌ای کسب نشده است. از طرفی دیگر آزمون‌های لرزه‌ای در اندازه واقعی بر روی این ساختمان‌ها انجام نشده و دانش زیادی در خصوص رفتار لرزه‌ای آنها در دست نمی‌باشد.
۱۵. هردو سیستم ساختمانی در ایران با مشکلات فرهنگی برای آشنایی و درک روبرو می‌باشند، بخصوص در مورد چوب که توده مردم آنرا به‌سختی می‌توانند در شمار مصالح ساختمانی آورند.

نتیجه گیری

این سیستم‌های ساختمانی در زمان کمی برپا می‌شوند، و سرعت اجرا نسبت به شیوه‌های سنتی و حتی صنعتی سنگین بسیار بالاتر است. نسبت فرآوری محصول در کارخانه نسبت به ساخت درجا در این سیستم‌های ساختمانی، بر اساس نوع اجرا و میزان پیش‌ساختگی، می‌تواند بسیار متغیر و متفاوت باشد. این سیستم‌ها قابلیت اجرا در تمام شرایط جوی را دارند و با تغییرات شرایط جوی، مشکلات جدی در اجرا به‌وجود نخواهد آمد مشروط بر اینکه از ریزش مستقیم برف و باران بر روی سازه و جمع شدن آب زیاد در داخل ساختمان جلوگیری بعمل آید. این سیستم‌های ساختمانی در واقع سیستم‌های مدوله شده می‌باشند که استفاده از قطعات از پیش‌برش‌خورده یا پانل‌های مدوله شده پیش‌ساخته، قابلیت اجرای طرح‌های مدولار را افزایش می‌دهد. این سیستم‌ها و بخصوص سیستم ساختمانی چوبی برای تنوع در معماری فضا و اختیار دادن به طراح در ایجاد طرح‌های گوناگون قابلیت بالایی دارند.

سهولت اجرای دهانه‌های متنوع و تغییر ارتفاع، به‌اضافه سادگی قرار دادن بازشو در جداره‌ها، این سیستم‌ها را از جهت تطابق با طرح‌های معماری در سطح بسیار خوبی قرار داده است. به‌دلیل کاهش زیاد وزن، اتلاف اندک مصالح نسبت به شیوه‌های سنتی و دستی، کاربرد مصالح و اجزای ساختمانی مدوله شده، اجرای نازک کاری پیش‌ساخته با روش خشک و سرعت بالا این سیستم‌ها برای انبوه‌سازی بسیار مناسب می‌باشند. هرگاه عمل‌آوری شیمیایی اجزای چوبی ساختمان، در مکان‌های مورد نیاز، به‌خوبی انجام شده‌باشد، و به شرط رعایت اصول فنی در طراحی و اجرا، سیستم ساختمانی چوبی مقاومت کافی در برابر حشرات، قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌ها خواهد داشت. قطعات فولادی نیز با مواد مقاوم در برابر خوردگی به‌خوبی محافظت می‌شوند. از نظر زیست‌محیطی، این سیستم‌های ساختمانی در زمره سیستم‌هایی می‌باشند که انرژی اندکی برای ساخت اجزای آنها مصرف می‌شود و تمام مصالح آنها از طبیعت گرفته شده است بگونه‌ای که ساختمان‌های اسکلت چوبی در کشورهای صنعتی از مالیات‌های مربوط به آلودگی محیط زیست معاف شده‌اند.

اجرای خشک، امکان برچیدن و در برخی موارد استفاده مجدد مصالح و اجزای این سیستم‌ها را تا حد زیادی ایجاد کرده است، به‌علاوه آن‌که قطعات و اجزای ساختمانی این سیستم‌ها به‌طور کلی از مصالح قابل بازگشت به چرخه تولید ساخته شده‌اند. ساخت و ساز و بخصوص انبوه‌سازی ساختمان‌های قاب سبک چوبی و LSF بیش از پیش در کشورهای صنعتی جهان در حال توسعه است. در کشور سوئد هم‌اکنون برج‌های ده طبقه چوبی در شهرک چوبی "لیمنولوگ" ساخته شده‌اند.

مراجع:

۱. دکتر سپهر گنج‌های، "بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در پروژه‌های انبوه سازی ساختمان‌های مسکونی. سیستم خانه‌های اسکلت سبک چوبی". مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. تهران ۱۳۸۸.
۲. دکتر بهروز کاری، دکتر رسول احمدی، "بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در پروژه‌های انبوه سازی ساختمان‌های مسکونی. سیستم قاب سبک فولادی". مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. تهران ۱۳۸۷.
3. Sepehr Gangei, "A Study of Creep of Wood. Taking into Account the Influence of Constant as well as cyclically varying relative humidity". Doctoral Dissertation Thesis, Institute of Building Materials, The Royale Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1987.
4. Sepehr M. Gangei 1983: "The Rheology of Wood". Institute of Building Materials, The Royale Institute of Technology, Publication trita-byma 1982:8, Stockholm, Sweden.
5. Sepehr Gangei, "The Influence of Moisture Variations in Creep of Timber". The Royale Institute of Technology, Stockholm, Sweden 1986.
6. Sepehr Gangei, T. Toratti, "Long Term Bending Creep of Wood in Cyclic Relative Humidity". Wood Science and Technology, Springer Verlag 27:49-59.1993.
7. Sepehr Gangei, "The Influence of Aging on the Physical and Mechanical Properties of Wood". The Swedish National Testing and Research Institute, Stockholm, Sweden, 1988.
8. Sepehr Gangei, Antti Hanhijarvi, "A Model for Accumulation of Viscoelastic and Mechano-sorptive Creep in Wood". Swedish National Testing and Research Institute, Stockholm, Sweden 1991.
9. Wood Handbook, "Wood as an Engineering Material". Technical Report, Forest Products Laboratory. USA, 2006.
10. Canadian Sheet Steel Building Institute, "Residential Steel Framing", Installation Manual, CSSBI, Ontario, 1999.
11. "Prescriptive Method for Connecting Cold-Formed Steel Framing to Insulating Concrete Form Walls in Residential Construction", U.S. Department of Housing and Urban Development, The Steel Framing Alliance, The Portland Cement Association, The Insulating Concrete Form Association, Building Works, Inc., Cambridge, MA, February 2003.