

ارزیابی سازه‌های ساختمان‌های سنتی چوبی و تحلیل و ارائه الگوی ساختمانی مناسب محیط زیست و مقاوم در برابر زلزله

شاهین چرختاب مقدم *، میلاد روحانیان **

۱۳۹۱/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۲/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

در این مقاله با توجه به اهمیت احداث ساختمان‌های مقاوم و ارزان جهت نیل به توسعه پایدار، ضمن مطرح کردن سابقه و مزیت ساختمان‌های سنتی چوبی و بررسی مزایا و خواص مکانیکی چوب پس از تحقیق بر روی ۴۰۰ نمونه آماری واحد مسکونی چوبی سنتی در مناطق شمالی کشور، با مطالعه بر روی گونه‌های مختلف چوب در نواحی جنگلی شمال ایران این نتیجه به دست آمد که اولاً در نواحی مختلف با توجه به پراکندگی گونه‌های مختلف چوب، ساختمان‌ها متفاوت می‌باشد مثلاً در ارتفاعات بالای ۴۰۰ متر بیشتر از چوب‌های درختان بلوط در تیر و ستون و یا حتی سقف‌ها استفاده شده است یا در نواحی کوهپایه‌ای استان گیلان از درخت زربین که امروزه گونه محافظت شده و بسیار کمیاب می‌باشد، در پی استفاده شده است. علاوه بر این چوب‌ها، در تیرها و ستون‌ها عملاً درختان قوی‌تر همچون شمشاد، بلوط و راش استفاده می‌شود و در دیوارها و کف‌ها یا از شاخه درختان استفاده شده و یا از درخت توسکا و آزاد استفاده می‌شده است که بسیار مقاوم در برابر بار و رطوبت و حشرات می‌باشد. همچنین انواع پی‌ها و دیوارها و سقف‌های آن‌ها از لحاظ سازه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و سپس با توجه به اهمیت بحث محیط زیست و زلزله، بهترین و مناسب‌ترین الگو جهت یک ساختمان مسکونی سبک و چوبی ارائه گردید. آنگاه این مدل، مقاوم‌سازی شد و در کارگاه دانشگاه بازسازی و بهینه‌سازی و با نرم‌افزارهای محاسباتی و سازه‌ای مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که الگوی فوق به دلیل سبکی و استفاده از باد بند، عملکردی مناسب در برابر زلزله دارد و همچنین به دلیل استفاده از چوب در پی، تیر، ستون، سقف و گل در دیوار، بهترین سازه از لحاظ محافظت از محیط زیست می‌باشد که این ویژگی در کنار سرعت مناسب اجرا و کاهش هزینه ساخت نسبت به ساختمان‌های بتنی و فولادی، الگوی کاملی از یک ساختمان مسکونی ایده‌آل ارائه می‌نماید. الگوی ساختمانی چوبی علاوه بر همه خصوصیات سازه‌ای، ارزان است و عایق مناسب صوتی و حرارتی نیز می‌باشد و در صورت استفاده از چوب‌های درختان زود رشد کاج (نراد یا نوئل) در تیر و ستون از دیدگاه محیط زیست نیز ایده‌آل و مناسب می‌باشد. همچنین می‌توان از ترکیب چوب‌های کاج به صورت مقاطع ترکیبی با فشار و با توجه به جهت تقویت آن‌ها و افزایش مقاومت فشاری، آن‌ها را بارگذاری کرد تا برای ساخت ساختمان‌های چند طبقه استفاده شود.

واژگان کلیدی: ساختمان سبک، ساختمان چوبی، مقاوم سازی، زلزله، محیط زیست.

* عضو هیئت علمی مؤسسه دانشگاهی دیلمان و کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه. s. charkhtab.shahin@deylaman.ac.ir

** مدرس مؤسسه دانشگاهی دیلمان و کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه.

مقدمه

مسکن و ایجاد سرپناه ارزان و مقاوم یکی از مهم ترین نیازهای جامعه بوده و رسیدن به این امر در صورت بررسی همه جانبه مصالح و بکارگیری مناسب علوم مهندسی و بهینه سازی طرح ها و مصالح امکان پذیر می باشد. پس از زلزله سال ۱۳۶۹ گیلان که تعداد زیادی از خانه های چوبی و گلی ویران شدند مشاهده شد که تعدادی از این بناها که دارای اسکلت و تیر و ستون و پی مناسب بودند زلزله آن ها را تخریب نکرد و به جز چند ترک قابل ترمیم چندان آسیبی به آن ها وارد نشد. با توجه به ارزان بودن مصالح چوبی و گلی و همچنین با توجه به مزایای زیست محیطی استفاده از مصالح بومی و همچنین سبک بودن خانه های چوبی و کاهش چشمگیر اثر زلزله مزایای دیگری که ذکر می شود، ضرورت استفاده از بناهای چوبی بیشتر مشخص می شود.

استفاده از گل، کاهگل و چوب از عصر حجر با انسان بوده و مقاومت ساختمان چوبی به عصر نوسنگی باز می گردد. در کاخ های باستانی هگمتانه از چوب سدر و سرو استفاده شد و در ستون ها و سقف تخت جمشید از چوب های بلوط و گردو استفاده شده است. چوب برخلاف سایر مصالح ساختمان پس از گل به خاطر خاصیت شکل پذیری فراوان، طبیعی بودنش و سازگاری با روحیه انسان از مطلوبیت ویژه ای برخوردار است. امروزه نیز به دلیل کشف خواص مکانیکی این ماده که در ساختمان سازی بسیار چشمگیر می باشد. سبب به کارگیری گسترده آن توسط مهندسين در ساختمان شده و تحقیقات گسترده علمی در ارتباط با خواص مکانیکی چوب از حدود ۲۰۰ سال پیش از اوایل قرن ۱۸ آغاز شده است. در اروپا از ابتدای قرن ۲۰ در زمینه ساختمان های چوبی و هم پل های چوبی فعالیت شده و به دلیل مقاومت مناسب، وزن کم و قابلیت جذب انرژی مناسب، پل های

متعددی ساخته شده است که تعداد زیادی از آن ها امروزه مورد استفاده قرار می گیرد و این فعالیت ها در ۴ سال اخیر مخصوصاً در کشور آلمان رشد گسترده ای یافته طوری که آئین نامه دین آلمان (DIN) کاملاً ویژگی های چوب را بررسی و به صورت منحنی هایی اعلام نموده است. این مطالعات پس از زلزله سال ۱۹۷۹ نورتریچ در آمریکا شدت گرفت و آئین نامه AITC (طرح ساختمان های چوبی) تدوین گردید و مهندسين را به سمت ساخت خانه های سبک چوبی مقاوم در برابر زلزله تا ۵ طبقه سوق داد به طوری که در حال حاضر بیش از ۸۰٪ ساختمان های تا ۵ طبقه کشور آمریکا چوبی می باشند. همچنین ۷۱۲۰۰ پل در آمریکا از چوب ساخته شده است که ۱۲٪ پل های آن کشور را در بر می گیرد. مقاله پژوهشی فوق نیز ضمن مطالعه و ارائه خواص مکانیکی چوب و مطالعه بر روی ۴۰۰ واحد مسکونی و سنتی و مصالح و چوب های بکارگرفته شده در دیوارها و سقف ها و پی های آن ها را بررسی قرار داد و بهترین نوع چوب را که می توان در اجزای ساختمان استفاده کرد، ارائه می نماید و همچنین بهترین الگوی دیوار، پی و سقف چوبی را که می تواند در مقابل زلزله واکنش مناسبی داشته باشد، مطرح و این الگوی کامل را مورد تجزیه و تحلیل با نرم افزارهای Etabs و محاسبات تحلیلی قرار دهد. در ابتدای امر لازم است که به طور کلی خواص ویژگی های چوب مورد بررسی قرار گیرد و لزوم استفاده از آن در ساختمان مشخص گردد.

- از ویژگی های چوب سبکی آن می باشد یعنی چگالی چوب بین 350 kg/m^3 ، 950 kg/m^3 می باشد در حالی که چگالی بتن حدود 2300 kg/m^3 و فولاد حدود 7800 kg/m^3 می باشد.

- چوب در عین سبکی دارای مقاومت مناسبی می باشد مثلاً برای درختان سوزنی برگ مثل درخت کاج

به کمتر از ۱۵٪ برسد و سپس به آن مواد نگهدارنده افزوده شود البته این مواد از ۷۰ سال پیش با نام تجاری آرسنات مس کرم دار cca استفاده می‌شد که بیش از ۵۰ سال از چوب محافظت می‌نماید و از سال ۲۰۰۲ نیز این ماده با تغییرات اندکی کامل‌تر شده و معایب آن از بین رفته است. همچنین چوب در مقابل آتش نیز باید حمایت شده و مواد ضد آتش مثل آنتی‌سپرین و یا حتی گچ به آن زده شود.

بررسی نوع چوب ساختمان‌های چوبی موجود و ارائه بهترین الگو

پس از ۳ سال بررسی و مطالعه بر روی بیش از ۴۰۰ واحد مسکونی سنتی موجود در نواحی جنگلی شمال ایران این نتیجه به دست آمد که اولاً در نواحی مختلف با توجه به پراکندگی گونه‌های مختلف، چوب ساختمان‌ها متفاوت می‌باشد مثلاً در ارتفاعات بالای ۴۰۰ متر بیشتر از چوب‌های درختان بلوط در تیر و ستون و یا حتی سقف‌ها استفاده شده است یا در نواحی کوهپایه‌ای استان گیلان از درخت زربین که امروزه گونه محافظت شده و بسیار کمیاب می‌باشد و در پی استفاده شده است. علاوه بر این چوب‌ها، در تیرها و ستون‌ها عملاً درختان قوی‌تر همچون شمشاد، بلوط و راش استفاده می‌شود و در دیوارها و کفها یا از شاخه درختان استفاده شده و یا از درخت توسکا و آزاد استفاده می‌شده است به‌طور کلی گونه‌های مشاهده شده در این داده آماری بشرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

پس از تحقیق و بررسی بر روی درختان پهن برگ و سوزنی برگ جهت استفاده از آن‌ها در ساختمان جمع‌بندی زیر حاصل گردید.

- درختان سوزنی برگ که در ایران بسیار کمتر از گونه پهن برگ است زود رشد بوده ولی مقاومت آن نسبت به درختان پهن برگ کمتر می‌باشد.

مقاومت فشاری چوب حدود $160-70 \text{ kg/m}^2$ و مقاومت نهایی فشاری آن $F_U = 510 \text{ kg/m}^2$ می‌باشد که برای درختان پهن برگ بیشتر می‌باشد.

- یکی از مهم‌ترین خواص نسبت مقاومت به جرم حجمی چوب می‌باشد که حدود ۲ تا ۵ برابر فولاد می‌باشد مثلاً «برای چوب کاج که مقاومت متوسطی دارد $\frac{F_U}{P} = \frac{510}{500} = 1.02$ ولی برای فولاد $\frac{F_U}{P} = \frac{4000}{7800} = 0.51$ = فولاد» که این امر نشان می‌دهد که چوب در عین سبکی مقاومت بسیار مطلوبی از خود نشان می‌دهد.

- از آنجا که میزان تخریب زلزله تابعی از جرم و وزن ساختمان است و چوب دارای چگالی کمی نسبت به بتن و فولاد می‌باشد. پس ساختمان‌های چوبی بسیار سبک‌تر از ساختمان‌های بتن و فولادی شده و نیروی برشی و افقی کمتری ناشی از زلزله در آن‌ها ایجاد می‌شود پس اثر زلزله در این ساختمان‌ها کاهش می‌یابد.

- چوب دارای مقاومت حرارتی بسیار مناسبی می‌باشد مقاومت عبور گرما در چوب بین ۰/۲ تا ۰/۳۳ می‌باشد حال آنکه دیوار آجری توخالی حدود ۰/۱۷ و دیوار بلوکی توخالی ۰/۱۸ می‌باشد.

- چوب دارای خاصیت ضد صدا می‌باشد ضریب جذب صدا برای دیوار آجری بین ۰/۳ تا ۰/۵ حال آنکه برای چوب بین ۰/۶ تا ۰/۱۵ می‌باشد.

مزایای فوق به همراه شکل‌پذیری و ایجاد اتصالات مناسب و اجرای سریع نسبت به بتن و فولاد و همچنین هزینه بسیار پایین احداث این ساختمان‌ها در مقابل ساختمان‌های فلزی و بتن اهمیت و ضرورت پرداختن به آن‌را بیش از گذشته مشخص می‌سازد. البته چوب دارای معایبی نیز می‌باشد از جمله رطوبت زیاد باعث پوسیدگی آن می‌شود یعنی باید ابتدا حتماً خشک شود و رطوبت آن

توضیحات	مقاومت	چگالی Gr/c m ³	چوب‌های بکار رفته در دیوارهای قدیم
از این چوب در سقف‌ها و دیوارهای لت پوش استفاده می‌شد به دلیل فشردگی زیاد اره خوری آن مشکل بوده این درخت از درختان دیر رشد بوده و بیش از ۱۰۰ سال زمان نیاز دارد تا به قطر مناسب برسد.	بسیار مقاوم در برابر بار و رطوبت و حشرات	۰/۹	بلوط
با توجه به چگالی آن دارای مقاومت بسیار بالایی است. در قدیم در تیرهای زیر سقف‌ها که از سقف به- عنوان انبار استفاده می‌شد کاربرد داشته و امروز در صنایع دستی استفاده می‌شود و تحت مراقبت شدید قرار دارد و قیمت آن در اروپا بسیار بالا می‌باشد و به هیچ وجه نباید قطع شود.	بسیار مقاوم و برابر	۰/۹	شمشاد
این چوب گران بوده و در ساخت وسایل و ابزار آلات موسیقی و روکش‌ها استفاده دارد و از لحاظ اقتصادی اصلاً مقرون به صرفه در ساختمان نیست قبلاً در تیر و ستون و همه قسمتهای ساختمان مشاهده می‌شد.	مقاوم	۰/۶۵	گردو
بزرگترین جامعه توده‌ای موجود در کشور ولی دیر رشد می‌باشد و بسیار زیباست و در روکش‌گیری مصرف دارد. این چوب در اروپا حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ یورو قیمت داشته و از لحاظ اقتصادی برای استفاده در تیر و ستون و اجزای ساختمان مناسب نمی‌باشد در تیر و ستون مشاهده می‌شود. همچنین در نازک کاری‌های داخلی و کف‌سازی استفاده می‌شود.	بسیار مقاوم در برابر بار و هجوم حشرات	۰/۷	راش
این چوب در پی‌های غلتکی در ساختمانهای قدیمی استفاده می‌شود و از گیاهان دیر رشد است و عمر بعضی از آنها تا حدود ۲۵۰ سال می‌رسد.	بسیار مقاوم در برابر بار و هجوم حشرات	۰/۹۵	زرین
نسبتاً چوب مناسبتری برای استفاده در ساختمان از لحاظ اقتصادی می‌باشد و تا ارتفاع حدود ۴۰۰ متری حداکثر مشاهده می‌شود و در دیوارهای ورجین و زگمه ای و تیرهای ساختمان و حتی ستون‌ها مشاهده شده است.	مقاومت مناسب	۰/۷	آزاد
اره کاری مناسب، درب و پنجره، تزئینات داخلی و قالب بتون و در صورت داشتن قطر کافی حتی برای تیر و ستون استفاده می‌شود.	متوسط	۰/۶	خانواده کاج

ج ۱. مصالح چوبی به کار رفته در ساختمان‌های سنتی در مناطق شمالی.

حدود ۲۰ سال دارد که بسیار مناسب محیط زیست می‌باشد.

- این گونه ذکر شده دارای چگالی حدود 500 kg/m^3 -
 ۳۵۰ بوده که سبک بوده و دارای مقاومت فشاری متوسط حدود $160-80 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد که نسبت به بلوط،

- در بین درختان سوزنی برگ درختی بنام کاج (نوئل و نراد) وجود دارد که صنعتی‌ترین و مناسب‌ترین درخت از لحاظ محیط زیست می‌باشد.

- این درخت بسیار سریع رشد می‌کند و در کمتر از ۲۰ سال قطر آن به بیش از ۳۰ cm می‌رسد و دوره بازگشتی

رشد معروفند و دوره رشد آنها تا رسیدن به قطر مطلوب، بیش از ۷۰ سال طول می‌کشد.

- با توجه به دیر رشد بودن درختان پهن برگ، قطع آنها از لحاظ محیط زیست اصلاً مطلوب نبوده زیرا دوره بازگشت آنها به طبیعت بسیار طولانی می‌باشد.

- بعضی از درختان پهن برگ که قبلاً استفاده می‌شد امروزه نمونه‌های کمیاب و گران می‌باشند. مثلاً درخت شمشاد که قبلاً چوب آن در تیرها و ستون‌های ساختمان کاربرد داشته امروزه جزو درختان محافظت شده و کمیاب است و یا استفاده از گردو در ساختمان امروزه مقرون به صرفه نیست و گران می‌باشد و یا بلوط که قبلاً به‌عنوان سقف و ستون در ساختمان‌های سنتی چوبی مشاهده می‌شد دوره رشد حدود ۲۰۰ سال دارد که استفاده از آن از لحاظ محیط زیست بسیار نامطلوب است. همچنین چوب درخت زربین که در پی‌های زگالی استفاده می‌شد دارای مقاومت بسیار مناسب و بالایی بوده اما امروزه جزو گونه‌های نایاب بوده و به‌شدت محافظت شده می‌باشد.

از بررسی و تحلیل موارد ذکر شده به این جمع‌بندی می‌توان رسید که در تیر و ستون در و پنجره به جای استفاده از چوب درختان پهن برگ که دارای مقاومت نسبتاً بیشتری هستند و در ایران بیشتر مشاهده می‌شوند اما دیر رشد و تعداد زیادی از انواع آن محافظت شده می‌باشند از درختان سوزنی برگ مانند نراد که زود رشد بوده و صنعتی‌ترند استفاده شود، فقط قطر آنها را باید اندکی بیشتر از قطر درختان پهن برگ در نظر گرفت تا تفاوت مقاومت آنها با افزایش سطح مقطع جبران شود، در دیوارها و یا جاهایی که نیاز به شاخه و قطعات کوچک‌تر دارد می‌توان از گونه درختی بنام پرسیکا استفاده کرد که حدود ۶۰٪ جنگل‌های ایران از این

شمشاد و راش مقاومت نسبتاً کمتری است اما اگر قطرهای بزرگتری از نراد نسبت به گونه‌های پهن برگ مقاوم ذکر شده استفاده گردد مثلاً ستون‌های 30cm×30cm یا 25cm×25cm این ستون‌ها برای باربری جوابگو بوده و مناسب می‌باشند.

- پس از مطالعه بر روی این گونه درختان سوزنی (نراد و نوئل) مشاهده شد که چوب این درخت دارای صمغ سمی می‌باشد که در مقابل موریانه و حشرات و کپک و پوسیدگی مقاوم می‌باشد و در نتیجه در دراز مدت نیز موریانه یا پوسیدگی آنرا تخریب نمی‌کند.

- چوب این درخت در ایران کم مشاهده می‌شود ولی فراوان‌ترین و صنعتی‌ترین چوب در دنیا می‌باشد و لذا وارد کردن آن با توجه به هزینه نسبتاً پایین آن و زود رشد بودن و بازگشت سریع آن به محیط زیست بسیار مناسب می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود همگی درختان ذکر شده از درختان پهن برگ بوده و پس از بررسی و مطالعه جنگل‌های ایران در می‌یابیم که بیش از ۹۰٪ درختان جنگل‌های ایران از درختان پهن برگ بوده و حدود کمتر از ۱۰٪ درختان از نوع سوزنی برگ می‌باشد حال آنکه این موضوع در جنگل‌های کره زمین دقیقاً متفاوت و برعکس می‌باشد به‌عنوان نمونه جنگل‌های موجود در روسیه که حدود ۱۰۰۰ برابر گسترده‌تر از جنگل‌های ایران است (تایگا) بیش از ۹۵٪ درختان سوزنی برگ و از نوع کاج (نوئل و نراد) می‌باشد.

حال به مقایسه و تجزیه و تحلیل این دو نوع گونه پرداخته و مطلوب‌ترین و مناسب‌ترین نوع چوب معرفی می‌گردد.

- درختان پهن برگ دارای چوبی با مقاومت بسیار مناسب و مطلوب می‌باشد اما این درختان به درختان دیر

دیوار زگالی مورب که از چهار طرف با چوبهای چهار تراش به هم کلاف شده و در وسط آن از شاخه درختان که به صورت مورب کشیده شده است تشکیل شده که بر روی این شاخه ها در دو طرف ملات کاهگل قرار دارد. تصویر ۱ نمونه ای اصلاح شده و سبک (72 kg/m^2) از دیوار فوق را که در کارگاه دانشگاه ساخته شده و از دو طرف شاخه های مورب 45° تقویت شده را نشان می دهد. این نمونه ساخته شده که بار ثقلی بر روی آن قرار گرفت و تا 400 کیلوگرم بر متر بار گسترده بر روی آن قرار داده شد و دیوار کاملاً سالم و بدون هیچ گونه تغییر شکلی پایدار ماند. همچنین بررسی چندین نمونه از ساختمانهای سنتی ویران شده در زلزله رودبار نشان می دهد که دیوارهای زگالی مورب به دلیل وجود شاخه های 45° در درون دیوار، دیوارها عملکرد یکپارچه تری نسبت به انواع دیگر خود نشان داده است.



ت ۱. نمونه یک دیوار مناسب (الگو) ساخته شده در دانشگاه دیلمان.

پس بهترین الگوی دیوار چوبی دیوار زگمه ای مورب تقویت شده است که علاوه بر سبکی دارای خواص مقاومت بالا، یکپارچگی، استفاده از کاهگل به همراه چوب و صرفه جویی در مصرف چوب همچنین عایق

درخت پهن برگ پوشانده شده و استفاده از شاخه های آن لطمه ای به محیط زیست نمی زند و پس از مدتی دوباره شاخه ها باز می روید.

بررسی دیوارهای سنتی و چوبی موجود و ارائه بهترین الگو

پس از بررسی در مناطق جنگلی ایران به طور کلی ۴ نوع دیوار از 400 نمونه سازه چوبی در این مناطق مشاهده شد که عبارتند از دیوارهای زگمه ای، ورچین، زگالی (ساده و مورب) و لت پوش که پس از مطالعه نتیجه آن در جدول ۲ ارائه شده است.

همانطور که مشاهده می شود دیوار زگمه ای و ورچین دیوارهای سنگینی می باشد و دیوارهای زگالی از بقیه دیوارها سبک تر است و همچنین به دلیل اجرای آسان نوع مورب آن بیشترین تعداد ساخت را نیز در جامعه آماری مورد نظر در بر می گیرد. البته دیوار لت پوش نیز سبک بوده ولی به دلیل اینکه فقط از تخته ساخته شده است برای آنکه عایق مناسبی شود و دیوار ضخیمی ایجاد کند نیاز به استفاده از چوب بیشتری داشته که مقرون به صرفه نبوده و استفاده از چوب زیاد با محیط زیست سازگار نیست.

مصالح	وزن حدود m^2	تعداد کل (۴۰۰)	
گردبینه + کاه گل	۱۲۰ Kg	۱۴۸	زگمه ای
شاخه + کاه گل	۹۰ Kg	۴۹ ۱۶۶	زگالی ساده مورب
تخته لت	۸۰-۹۰	۲۲	لت پوش
گردبینه	۱۱۰ Kg	۱۵	ورچین

ج ۲. مقایسه دیوارهای سنتی چوبی.

زیرا پس از بررسی ۱۸ ساختمان تخریب شده در زلزله رودبار مشاهده شد که بیش از ۱۵ مورد آن‌ها از نوع پی‌های سگتی و سگتی قطور بود. ۳ مورد آن پی سنگی است. پی‌های سگتی را به صورت نقطه‌ای به زمین منتقل می‌کنند. همچنین پی‌های شفته آهکی و چینه‌ای در زیر زمین بوده و در واقع بستر زمین را مساعد برای بارگذاری می‌نمایند اما پی‌های زگالی ساده که بار را به صورت مناسب به زمین انتقال می‌دهد به دلیل پخش یکنواخت بار در سطح گسترده‌تر و بعد انتقال آن به زمین مانند یک فونداسیون عمل می‌نماید و اثر پانچ را تا حد زیادی از بین می‌برد. (تصویر شماره ۲)

مناسب گرما و صوت می‌باشد و گاه‌گل نیز مانند چوب دارای مقاومت حرارتی و صوتی بالایی می‌باشد. چهارچوب آن را می‌توان از چوب کاج نوئل وارداتی و ارزان استفاده کرد و در داخل آن برای اعضای مورب از شاخه درختان پرسیکا که قبلاً ذکر شد می‌توان استفاده نمود.

بهترین الگوی پی ساختمان

بطور کلی ۶ نوع پی سنتی در نواحی شمالی ایران مشاهده می‌شود که عبارتند از پی سگتی، سگتی قطور، سنگی، زگالی ساده، چینه‌ای و شفته آهکی که پی سگتی و سگتی قطور عملکرد مناسبی در برابر زلزله رودبار از خود نشان ندادند.



ت ۲. نحوه برپایی سازه مدل شده از ابتدا تا انتها.

مدل سازی

پس از مشخص شدن نوع پی و دیوار باید از سقف سبک حلبی که با چوب و مواد عایق پشم شیشه احاطه شده برای سقف استفاده کرد زیرا سقف‌های گالی پوش، لت پوش و سفالی هر کدام دارای مشکلاتی می‌باشد مثلاً سقف سفالی که از سفال ساخته شده سقف سنگینی بوده و در زلزله عملکرد مناسبی ندارد و سقف گالی پوش و لت پوش نیاز به ترمیم و بازسازی دوره‌ای دارد ولی سقف حلبی با زیرسازی چوبی که بین قطعات چوبی عایق پشم شیشه قرار دارد هم سبک است (یک متر مربع آن حدود ۴۰kg است) و هم عایق خوب گرمایی می‌باشد.

نتیجه اینکه الگوی فوق ساختمانی است که بر روی پی‌های زگالی ساده قرار دارد و تیر و ستونها چوبی بوده و همچنین دیوار زگالی مورب و سقف حلبی عایق‌بندی دارد. از آنجا که در روستاها و شهرهای کوچک درآمد افراد نسبتاً کمتر بوده و درک اجرای خانه‌های چوبی با فرهنگ آن‌ها نزدیکتر از شهرهای بزرگ می‌باشد لذا الگویی کوچک، دو طبقه، سبک، ضد زلزله و ارزان مدل سازی شده و ارائه می‌گردد که برای طبقات و مترای بیشتر نیز روند محاسبات به همین نوع می‌باشد.

بدین منظور برای اجرای یک خانه دو طبقه $140m^2$ نحوه اجرای کامل قطعات به صورت تصویر ۲ آمده است. همانطور که در تصویر مشخص است مساحت فوق دارای ۱۵ بستر پی‌سازی به ابعاد $1m \times 1m$ می‌باشد که ۹ عدد پی درست زیر ستون‌های اصلی بوده و ۶ عدد دیگر در زیر کمرکش‌ها برای کمک به جلوگیری از کمانش تیر گذاشته شده است. در مورد آن ذکر نکات زیر ضروری می‌باشد.

- زیر هر پی چوبی حتماً باید ۱m خاکبرداری شده و مجدداً با آهک و قلوه، سنگ و خاکستر پی شفته آهکی کوبیده شده احداث گردد یعنی زمین زیر پی کاملاً کوبیده شود.

- ۱۵ عدد پی چوبی که هر پی شامل ۱۰ عدد چوب ۴ تراش $100cm \times 20cm \times 20cm$ مشاهده می‌شود.

- روی این پی‌ها ۶ عدد کمرکش به قطر 30×30 و به طول ۱۰m و به صورت دابل مشاهده می‌شود.

- روی کمرکش‌های دابل ۱۱ عدد تیر $25cm \times 25cm$ به طول ۷m مشاهده شده و همچنین ستون‌هایی به ابعاد 30×30 به طول ۳ متر بر روی صفحه به ابعاد 50×50 که داخل صفحه حدود ۲cm خالی شده است تا ستون در بالا و پایین خوب در داخل صفحه قرار گیرد، مشاهده می‌شود.

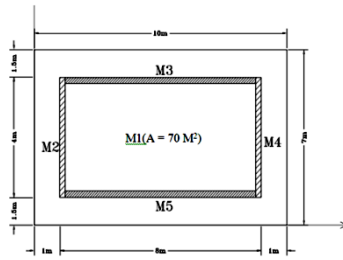
- در طبقه ۲ تیر عیناً طبقه اول کمرکش‌ها و ۱۱ عدد تیر و ۹ عدد ستون مانند طبقه ۱ مشاهده می‌شود.

- پس از تیر و ستون‌گذاری دیوارهای زگالی مورب و الگو شده و به دنبال آن پله‌ها قرار می‌گیرد.

- در انتها سقف سبک چوبی که بر روی آن عایق حرارتی و در انتهای حلب قرار دارد، مشاهده می‌شود.

تعیین بار ثقلی و بار جانبی و محاسبه نیروی برشی زلزله

دیدیم وزن دیوار الگوی مورد نظر حداکثر $80kg$ و چگالی چوب نراد $\rho = 0.5 kg/cm^3$ و وزن سقف به همراه زیرسازی چوبی حدود $40Kg$ محاسبه شد و با توجه به اینکه تیرها روی فونداسیون قرار دارند و ستون‌ها نیز بر روی تیر قرار داده می‌شود. اتصال ستون به طبقات را بصورت تکیه گاه‌های مفصلی فرض کرده و از اثر اصطکاکی چوب صرف‌نظر شده است. همچنین ساختمان از فونداسیون به بالا مدل شده یعنی از ستون‌های طبقه همکف به بالا بارگذاری انجام شده است و لازم به ذکر است که الوار و تخته‌های تکیه گاه‌ها با نرم افزار Etabs و یا نرم افزارهای مشابه دیگر مدل قابل قبولی نشده ولی نگارنده بارهای ثقلی و زلزله به دست آمده در تحلیل فوق را در نرم افزار Ansys برای پی‌ها مجدداً مدل سازی نموده و آنرا مورد بررسی قرار داده و



ت ۳

با استفاده از روابط فوق می‌توان مرکز جرم هر طبقه را جداگانه حساب نمود (جدول شماره ۳ و ادامه آن). البته جرم کل دو طبقه به صورت زیر محاسبه می‌شود. چون مرکز جرم دو طبقه بر روی هم قرار می‌گیرد و بادبندها متقارن طراحی شده اثر پیچش از بین می‌رود.

$$wt = 11.7t + 10.2t = 21.9t$$

لازم به ذکر است که بادبندها در ده مدل مختلف بررسی شده و بادبندی که جواب قابل قبول داد، بررسی شده است. سپس با استفاده از رابطه زیر میزان نیروهای جانبی و برشی بدست می‌آید.

$$C = \frac{ABI}{R}$$

$$F_i = \frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i}$$

$$B = S + 1 = 2.75 \quad I = 1$$

$$\text{III خاک تپ III} \quad A = 0.3$$

$$R = 4.5 \quad [2]$$

$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}} = 0.19$$

$$C = \frac{CBI}{R} = \frac{0.3 \times 2.75 \times 1}{4.5} = 0.18$$

که نحوه محاسبه آن در جدول ۴ آمده است.

به جوابهای قابل قبولی رسیده که به دلیل حجم زیاد و بحث خاص پی‌سازی و نحوه قرار گرفتن چهار تراش از پرداختن به آن صرفنظر می‌شود.

بار سطحی سقف طبقه اول

بار خطی دیوار کاهگلی

بابازشو $\times 0.7$ جرم یک متر مربع دیوار $\times 80 \text{ kg/m}^2$

ارتفاع

$$2.8 = 160 \text{ kg/m} \quad \text{جرم کمر کش در هر متر مربع}$$

$$\frac{m}{A} = \frac{\rho v}{A} = \frac{500 \times 0.3 \times 0.8 \times 30}{70 \text{ m}^2} = 38.6 \text{ kg/m}^2$$

$$8\text{cm تخته سقف} \rightarrow 0.08 + 500 \text{ kg/m}^3 = 40 \text{ kg/m}^2$$

تیر روی کمر کش

$$\frac{0.25 \times 0.25 \times 500 \times 11 \times 7}{70} = 34.4 \text{ kg/m}^3$$

$$= \text{جمع وزن طبقه اول بدون دیوار}$$

$$38.6 + 34.4 + 40 = 113 \text{ kg}$$

بار سطحی سقف طبقه دوم «جرم واحد سطح»

$$40 \text{ kg/m}^2 = \text{وزن سقف شیروانی}$$

$$0.08 \times 500 = 40 \text{ kg/m}^2 = \text{وزن سقف}$$

$$40 \text{ kg} = \text{وزن کلاف روی کمرکش ها}$$

$$40 + 40 + 40 = 120 \text{ kg}$$

بار سطحی در هر متر مربع از طبقه دوم

به تصویر ۳ دقت شود که مقطعی از سطح مقطع ساختمان فوق بوده که سطح مقطع کل را M_1 فرض کرده که 70 m^2 است و دیوارها را به ترتیب M_2 و M_3 و M_4 و M_5 در هر دو طبقه نامگذاری شده‌اند. به دلیل متفاوت بودن جرم طبقات اول و دوم مرکز جرم هر طبقه جداگانه و در هر دو راستای x و y محاسبه شده است و برای آن از رابطه زیر استفاده شده است.

$$\bar{y} = \frac{\sum y.M}{\sum M} \quad \bar{x} = \frac{\sum x.M}{\sum M}$$

Mi.yi	Mi.xi	yi (m)	xi (m)	Mi (kg)	جرم واحد طول/سطح	طول/سطح	num M
27685	39550	3.5	5	7910	113	70	1
2240	672	3.5	1.05	640	160	4	2
6801.6	6240	5.45	5	1248	160	7.8	3
2240	5728	3.5	8.95	640	160	4	4
1934.4	6240	1.55	5	1248	160	7.8	5
40901	58430	-	-	11686	-	-	Sum

Xm	5
Ym	3.5

ج ۳. مرکز جرم طبقه اول.

Mi.yi	Mi.xi	yi (m)	xi (m)	Mi (kg)	جرم واحد طول/سطح	طول/سطح	num M
29400	42000	3.5	5	8400	120	70	1
1120	336	3.5	1.05	320	80	4	2
3400.8	3120	5.45	5	624	80	7.8	3
1120	2864	3.5	8.95	320	80	4	4
967.2	3120	1.55	5	624	80	7.8	5
36008	51440	-	-	10288	-	-	Sum

Xm	5
Ym	3.5

ادامه ج ۳. مرکز جرم طبقه دوم و سقف.

Vi(ton)	Fi(ton)	$w_i h_i / \sum w_i h_i$	Wihi(ton)	Wi(ton)	Hi(m)	
2.51	2.51	0.63551	61.2	10.2	6	2
3.95	1.44	0.36449	35.1	11.7	3	1
	3.95	1	96.3			Sum

ج ۴. نیروی برشی هر طبقه.

حال این نیروهای برشی و ثقلی به دست آمده را بر روی سازه در نرم افزار Etabs مدل کرده و بادهای وارد بر آن ناشی از فشاری و کششی و ... محاسبه شده و نتایج آن ارائه می شود (تصویر شماره ۵). لازم به ذکر است که چوب ذکر شده از نوع درختان سوزنی بوده و داریم:

$$F'C = 81.57 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 0.12 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$F_u = 520 \text{ kg/cm}^2 = 51 \text{ N/mm}^2$$

$$F_v = V \text{ N/mm}^2 = 71.38 \text{ kg/cm}^2 \text{ نهایی}$$

$$F_v = 0.8 \text{ N/mm}^2 = 8.15 \text{ kg/cm}^2 \text{ مجازی}$$

که پس از بررسی جوابها ۱۰ حالت بارگذاری را برای آن در نظر می گیریم.

D

D + L

$$0.75 (D + L \pm Ex)$$

$$0.75 (D + L \pm Ey)$$

$$0.75 (D \pm Ex)$$

$$0.75 (D \pm Ey)$$

پس از بررسی کلیه ستون ها، ستون وسط در طبقه اول بیشترین بار مرده و زنده را تحمل نموده و بحرانی ترین حالت را ایجاد می کند و M_x و M_y آن صفر است که برای آن بحرانی ترین رابطه از ده رابطه عبارتست از:

$$DL = 2903 \text{ kg}$$

$$LL = 2124 \text{ kg} \quad DL + LL = \text{وزن بار مرده و زنده}$$

$$5027 \text{ kg}$$

$$Ex = 585$$

$$Ey = 585$$

که وزن اسکلت ستون نیز به آن اضافه می شود.

$$m = \rho v = 500 \times 6 \times (0.30 \times 0.30) = 270 \text{ kg}$$

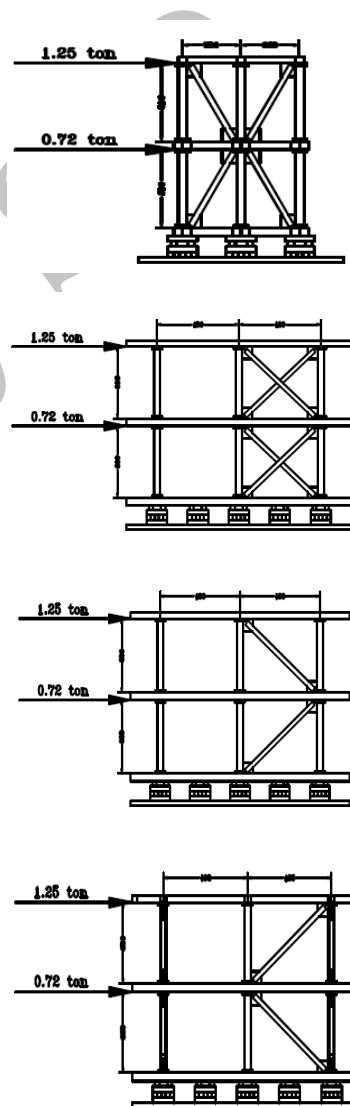
کل بار وارده به بحرانی ترین ستون

$$5027 + 270 = 5297 = 53 \text{ kg}$$

$$F_a = \frac{P}{A} = \frac{5300}{30 \times 30} = 5.9$$

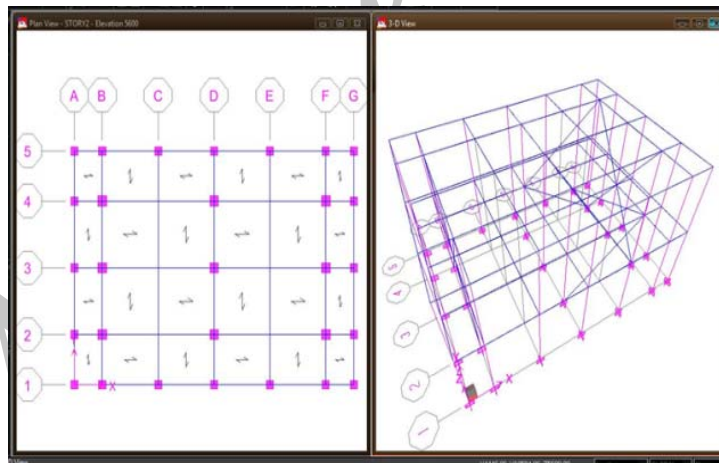
$$\frac{F_a \text{ مجاز}}{F_a \text{ موجود}} = \frac{5.9}{81.5} \sim 0.02$$

که میزان نیروی جانبی طبقه بالا ۲/۵۱ TON چون در هر دو راستای X و Y و بادبند ایجاد شده و در هر راستا دو دهانه بادبند وجود دارد به دلیل وجود دو دهانه در هر دو راستای X و Y ، مقدار بار جانبی نصف می شود یعنی به هر دهانه بادبند دار ۱/۲۵ TON می رسد و عیناً نیروی برشی ۱/۴۴ تن نیز به دو دهانه تقسیم می شود زیرا در هر دو راستای X و Y ، دو دهانه بادبند دار ایجاد شده است. (تصویر شماره ۴)



ت ۴

STORV1	C1	DEAD	0.0000	-1729.23	6.07	-2.66	-55.623	-33.062	23.200
			125.0000	-1729.23	6.07	-2.66	-55.623	299.877	-736.029
			250.0000	-1729.23	6.07	-2.66	-55.623	632.815	-1495.259
STORV1	C1	LIVE	0.0000	-1196.14	3.82	-3.88	-56.190	-28.371	25.950
			125.0000	-1196.14	3.82	-3.88	-56.190	456.412	-451.480
			250.0000	-1196.14	3.82	-3.88	-56.190	941.194	-928.910
STORV1	C1	EX	0.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	-41.768	-334.141
			125.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	136.683	1093.462
			250.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	315.133	2521.065
STORV1	C1	EY	0.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	-41.768	-334.141
			125.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	136.683	1093.462
			250.0000	-496.52	-11.42	-1.43	88.756	315.133	2521.065
STORV1	C2	DEAD	0.0000	-2040.68	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
			125.0000	-2040.68	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
			250.0000	-2040.68	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
STORV1	C2	LIVE	0.0000	-1604.64	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
			125.0000	-1604.64	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
			250.0000	-1604.64	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
STORV1	C2	EX	0.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	62.651	0.000
			125.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	88.144	-203.943
			250.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	113.637	-407.886
STORV1	C2	EY	0.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	62.651	0.000
			125.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	88.144	-203.943
			250.0000	-213.53	1.63	-0.20	0.000	113.637	-407.886
STORV1	C3	DEAD	0.0000	-1896.30	0.00	2.80	-19.959	0.000	-14.257
			125.0000	-1896.30	0.00	2.80	-19.959	-349.397	-14.257
			250.0000	-1896.30	0.00	2.80	-19.959	-698.793	-14.257
STORV1	C3	LIVE	0.0000	-1317.56	0.00	3.33	3.869	0.000	2.763
			125.0000	-1317.56	0.00	3.33	3.869	-416.538	2.763
			250.0000	-1317.56	0.00	3.33	3.869	-833.075	2.763
STORV1	C3	EX	0.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
			125.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
			250.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
STORV1	C3	EY	0.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
			125.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
			250.0000	-462.65	0.00	0.00	26.105	0.000	0.000
STORV1	C4	DEAD	0.0000	-2781.82	4.35	0.00	13.061	-18.659	0.000
			125.0000	-2781.82	4.35	0.00	13.061	-18.659	-54.317
			250.0000	-2781.82	4.35	0.00	13.061	-18.659	-1086.635
STORV1	C4	LIVE	0.0000	-2036.33	3.16	0.00	6.254	-8.935	0.000
			125.0000	-2036.33	3.16	0.00	6.254	-8.935	-394.807
			250.0000	-2036.33	3.16	0.00	6.254	-8.935	-789.614
STORV1	C4	EX	0.0000	567.98	-9.79	-0.41	0.000	-83.535	0.000
			125.0000	567.98	-9.79	-0.41	0.000	-32.549	1223.659
			250.0000	567.98	-9.79	-0.41	0.000	18.436	2447.319
STORV1	C4	EY	0.0000	567.98	-9.79	-0.41	0.000	-83.535	0.000



ت ۵. نمونه جواب‌های ارائه شده Etabs.

الگوی مدل شده Etabs.

تنش موجود بسیار کمتر از تنش مجاز چوب است پس ستونها از لحاظ ممان و نیروی فشاری قابل قبول هستند.

که بسیار کوچکتر از ۰/۱۵ می‌باشد که تک رابطه را شامل می‌شود ولی از آنجا که M_x و M_y آن صفر است و

$$\frac{108000}{4500} = 24 \leq F_b \text{ خمشی}$$

بحرانی ترین حالت بارگذاری

	D	L	E _x	E _y
V _x	50	31	3	3
V _y	21.4	10	0	0
	4			

$$F_{V_x} = \frac{81}{30 \times 30} < F_V =$$

$$D+L=50+31=81=V_x$$

$$F_{V_y} = \frac{31.4}{30 \times 30} < F_V :$$

$$D+L=21.4+10=31.4=V_y$$

$$S_x = 4500$$

همانطور که مشاهده می‌شود این تیرها در خمش هنوز فاصله زیادی با تنش خمشی مجاز چوب دارد که این امر بیانگر این است که در ساختمان بار مناسب پخش شده است. همچنین تیر فوق به دلیل نیروی برشی بسیار کمتر از ستون ۳ و با توجه به اینکه مساحت این کمرکشی حدود ۳۰×۳۰ است پس در برابر برشی نیز قابل قبول می‌باشد و حتی می‌توان تعداد طبقات دیگر را نیز برای آن بررسی نمود زیرا تنش‌های موجود فاصله زیادی تا تنش مجاز چوب دارند.

نتیجه

استفاده از ساختمان‌های چوبی که از حدود ۴۰ سال قبل در کشورهای پیشرفته آغاز شده است دارای مزایای بسیاری است که الگویی اصلاح شده با توجه به شرایط فرهنگی و اجتماعی کشورمان ارائه شد که هم از لحاظ زلزله مقاوم بوده و هم از لحاظ اجرایی بسیار آسان و سریع اجرا می‌شود. این مدل دارای پی زگالی (غلتنکی) مقاوم بوده که بار را به خوبی بر روی زمین پخش می‌کند. همچنین دیوارهای آن از نوع زگالی "مورب

اما بر روی ستون‌ها در برش بیشترین تنش برشی در ستون C₃ طبقه دوم اتفاق افتاده است و داریم:

$$I = \frac{1}{12} \times 30 \times 30^3 = 67500$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{67500}{15} = 4500$$

و در مورد بیشترین M_x و M_y باز هم در ستون ۳ بیشترین مقدار اتفاق افتاده است که داریم:

بحرانی ترین حالت

	D	L	E _x	E _y
V _x	6859	4312	481	481
V _y	3212	1715	105	105

$$D+L=11371 \text{ kg/cm}$$

$$D+L=4927 \text{ kg/cm}$$

و نیروی محوری آن‌ها صفر است پس فقط داریم:

$$\frac{\frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y}}{\frac{F_{bx}}{F_b} + \frac{F_{by}}{F_b}} \leq \frac{\frac{11371}{4500} + \frac{11370}{4500} + \frac{4927}{4500}}{\frac{4500}{4500} + \frac{4500}{4500}} \leq 1$$

همانطوری که مشاهده می‌شود صورت کسر از منخرج بسیار کوچکتر شده و منخرج نیز که از ۳ بالاتر است [۴]

$$\frac{0.17}{F_{bx}} + \frac{0.07}{F_{by}} \leq 1$$

قابل قبول می‌باشد.

اما در مورد تیرها بحرانی‌ترین حالت را در نظر می‌گیریم که همان تیر وسط ۱۱ متری می‌باشد که M_x آن بحرانی‌ترین حالت را دارد.

D	L	E _x	E _y
6200	4600	0	0

⇒

$$M_D + M_L = 108000 \text{ kg/cm}$$

$$F_b \text{ خمشی} = 0.6 F_p$$

$$0.6 \times 81 = 48 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_x = \frac{M_x}{F_{bx}} \Rightarrow \frac{108000}{S_x} \leq F_b \text{ مجاز}$$

تقویت شده" است که در هنگام زلزله یکپارچه عمل کرده و همین امر سبب تکه تکه شدن دیوار در هنگام زلزله می شود همچنین دیوارهای غیر سازه ای اما متقارن و سنگین می تواند باعث ایجاد پیچش در ساختمان شود که این امر در دیوار سبک فوق منتفی می باشد و همچنین اثر میانقاب ها دیوار در زلزله به دلیل انعطاف پذیری و سبکی آن حذف می گردد. استفاده از بادبندها و ستون ها به همراه کف ستون ها سبب پخش مناسب بار در ساختمان و انتقال آن به پی ها، غلظتی می شود و در نهایت اینکه الگوی ساختمانی چوبی فوق علاوه بر همه خصوصیات سازه ای فوق، ارزان و عایق مناسب صوتی و حرارتی نیز می باشد و در صورت استفاده از چوب های درختان زود رشد کاج (نراد، نوئل) در تیر و ستون از دیدگاه محیط زیست نیز ایده آل و مناسب می باشد و همچنین می توان از ترکیب چوب های کاج بصورت مقاطع ترکیبی با فشار و با توجه به جهت تقویت آن ها و افزایش مقاومت فشاری آن ها را بارگذاری کرده و برای ساخت ساختمان های چند طبقه استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

نویسنده این مقاله بر خود لازم می داند از کمک های جناب آقای پروفسور رهایی کمال قدردانی و تشکر را ابراز نماید.

فهرست منابع

- دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان مبحث ۶ بارهای وارد بر ساختمان
- دکتر ابراهیمی، قنبر، طراحی مهندسی سازه های چوبی، دانشگاه تهران
- استاندارد ملی ایران ۱۶۵۷ سال ۱۳۵۶- آئین نامه آغستگی و اشباع تیرهای چوبی
- زمرشیدی، حسین. ۱۳۶۸، اجرای ساختمان با مصالح سنتی، افشار، تهران.

- دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹، صرفه جویی در مصرف انرژی.
- دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان، آئین نامه طرح ساختمان در برابر زلزله، آئین نامه ۲۸۰۰ ایران.
- برداشت درس روستا ۱ توسط دانشجویان عبدالمحمدی، کاکوئی و غیاثی، دانشگاه گیلان
- خاکپور، مزگان. ۱۳۸۶، معماری خانه های گیلان، فرهنگ ایلیا، رشت.
- زنده، مهدی؛ پروردی نژاد، سمیرا. ۱۳۸۹، توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران، مسکن و محیط روستا، شماره ۱۳۰.
- ابراهیمی، قنبر. ۱۳۸۸، طراحی مهندسی سازه های چوبی، دانشگاه تهران، تهران.
- چرختاب، شاهین. بررسی فن آوری نوین سبک سازی در ساختمان و لزوم آموزش آن در مهندسی عمران.
- قبادیان، وحید. ۱۳۸۵، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تهران.
- فرهودی، مروه. ۱۳۸۶، بررسی مفهوم معماری مبتنی بر تفکر پایداری، مجله معماری و ساختمان، شماره ۱۲.
- گرجی مهربانی، یوسف؛ یاران، علی. ۱۳۸۹، راهکارهای معماری پایدار گیلان به همراه قیاس با معماری ژاپن، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۴۱.
- گلپور فرد، نازنین. ۱۳۸۹، انسان-طبیعت-معماری، انتشارات طحان، چاپ دوم، تهران.
- معماریان، غلام حسین. ۱۳۸۵، آشنایی با معماری مسکونی ایرانی گونه شناسی برونگرا، انتشارات سروش دانش، چاپ پنجم، تهران.
- زمرشیدی، حسین. ۱۳۸۴، اجرای ساختمان با مصالح سنتی، انتشارات زمرد، چاپ هفتم، تهران.
- برون برژه، کریستیان. ۱۳۷۰، مسکن و معماری در جامعه روستایی گیلان، ترجمه علاء الدین گوشه گیر، موسسه مطالعات و تحقیقات فرهنگی، چاپ اول، تهران.
- بدیگ، ژوزف. مکانیک چوب و فراورده های مرکب آن. ترجمه قنبر ابراهیمی، انتشارات دانشگاه تهران.