پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

شاهین چرختاب مقدم *، میلاد روحانیان**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۲٤
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱٦

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 ٤۰۰ نمونه آماری واحد مسکونی چوبی سنتی در مناطق شمالی کشور، با مطالعه بر روی گونه‌های مختلف چوب در نواحی جنگلی شمال ایران این نتیجه به‌دست آمد که اولاً در نواحی مختلف با توجه به پراکندگی گونه‌های مختلف چوب، ساختمان‌ها متفاوت می‌باشد مثلاً در ارتفاعات بالای ٤۰۰ 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 به‌دلیل سبکی و استفاده از باد بند، عملکردی مناسب در برابر زلزله دارد و همچنین به‌دلیل 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 به‌صورت 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 بهینه‌سازی طرح‌ها و مصالح امکان‌پذیر می‌باشد. پس از زلزله سال ۱۳۶۹ گیلان که تعداد زیادی از خانه‌های چوبی و گلی ویران شدند مشاهده شد که تعدادی از این بناها که دارای اسکلت و تیر و ستون و پی مناسب بودند زلزله آن‌ها را تخریب نکرد و به‌جز چند ترک قابل ترمیم چندان آسیبی به آن‌ها 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 خانه‌های چوبی و کاهش چشمگیر اثر زلزله مزایای دیگری که ذکر می‌شود، ضرورت استفاده از بناهای چوبی بیشتر مشخص می‌شود.

استفاده از گل، کاهگل و چوب از عصر حجر با انسان بوده و مقاومت ساختمان چوبی به عصر نوسنگی باز می‌گردد. در کاخ‌های باستانی هگمتانه از چوب سِدر و سرو استفاده شد و در ستون‌ها و سقف تخت جمشید از چوب‌های بلوط و گردو استفاده شده است. چوب برخلاف سایر مصالح ساختمان پس از گل به خاطر خاصیت شکل‌پذیری فراوان، طبیعی بودنش و سازگاری با روحیه انسان از مطلوبیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه نیز به‌دلیل کشف خواص مکانیکی این ماده که در ساختمان‌سازی بسیار چشمگیر می‌باشد. سبب به‌کارگیری گسترده آن توسط مهندسین 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 ساختمان‌های چوبی و هم پل‌های چوبی فعالیت شده و به‌دلیل مقاومت مناسب، وزن کم و قابلیت جذب انرژی مناسب، پل‌های متعددی ساخته شده است که تعداد زیادی از آن‌ها امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد و این فعالیت‌ها در ٤ سال اخیر مخصوصاً در کشور آلمان رشد گسترده‌ای یافته طوری که آئین نامه دین آلمان (DIN) کاملاً ویژگی‌های چوب را بررسی و به‌صورت منحنی‌هایی اعلام نموده است. این مطالعات پس از زلزله سال ۱۹۷۹ نورتریج در آمریکا شدت گرفت و آئین نامه AITC (طرح ساختمان‌های چوبی) تدوین گردید و مهندسین را به سمت ساخت خانه‌های سبک چوبی مقاوم در برابر زلزله تا ۵ طبقه سوق داد به‌طوری که در حال حاضر بیش از ۸۰٪ ساختمان‌های تا ۵ طبقه کشور آمریکا چوبی می‌باشند. همچنین ۷۱۲۰۰ پل در آمریکا از چوب ساخته شده است که ۱۲٪ پل‌های آن کشور را در بر می‌گیرد. مقاله پژوهشی فوق نیز ضمن مطالعه و ارائه خواص مکانیکی چوب و مطالعه بر روی ٤۰۰ واحد مسکونی و سنتی و مصالح و چوب‌های بکارگرفته شده در دیوارها و سقف‌ها و پی‌های آن‌ها را بررسی قرار داد و بهترین نوع چوب را که می‌توان در اجزای ساختمان استفاده کرد، ارائه می‌نماید و همچنین بهترین الگوی دیوار، پی و سقف چوبی را که می‌تواند 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 به‌طور کلی خواص ویژگی‌های چوب مورد بررسی قرار گیرد و لزوم استفاده از آن در ساختمان مشخص گردد.

– از ویژگی‌های چوب سبکی آن می‌باشد یعنی چگالی چوب بین $350\ kg/m^2$ ، $950 kg/m^2$ می‌باشد در حالی که چگالی بتن حدود $2300 kg/m^2$ و فولاد حدود $7800 kg/m^2$ می‌باشد.

– چوب در عین سبکی دارای مقاومت مناسبی می‌باشد مثلاً برای درختان سوزنی برگ مثل درخت کاج

مقاومت فشاری چوب حدود $۷۰-۱۶۰ kg/m^2$ و مقاومت نهایی فشاری آن $F_U=۵۱۰ kg/m^2$ 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 بین۰/۲ 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 ۳٪ تا ۵٪ حال آنکه برای چوب بین ٦٪ تا 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 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 ٤۰۰ واحد مسکونی سنتی موجود در نواحی جنگلی شمال ایران این نتیجه به‌دست آمد که اولاً در نواحی مختلف با توجه به پراکندگی گونه‌های مختلف، چوب ساختمان‌ها متفاوت می‌باشد مثلاً در ارتفاعات بالای ٤۰۰ 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.

چوب‌های بکار رفته در دیوارهای قدیم	چگالی Gr/cm^3	مقاومت	توضیحات
بلوط	۰/۹	بسیار مقاوم در برابر بار و رطوبت و حشرات	از این چوب در سقف‌ها و دیوارهای لت پوش استفاده می‌شد به‌دلیل 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.
شمشاد	۰/۹	بسیار مقاوم و باربر	با توجه به چگالی آن دارای مقاومت بسیار بالایی است. در قدیم در تیرهای زیر سقف‌ها که از سقف به‌عنوان 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 به‌هیچ وجه نباید قطع شود.
گردو	۰/٦۵	مقاوم	این چوب گران بوده و در ساخت وسایل و ابزار آلات موسیقی و روکش ها استفاده دارد و از لحاظ اقتصادی اصلاً مقرون به صرفه در ساختمان نیست قبلاً در تیرو ستون و همه قسمتهای ساختمان مشاهده می‌شد.
راش	۰/۷	بسیار مقاوم در برابر بار و هجوم حشرات	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.
زربین	۰/۹۵	بسیار مقاوم در برابر بار و هجوم حشرات	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.
آزاد	۰/۷	مقاومت مناسب	نسبتاً چوب مناسبتری برای استفاده در ساختمان از لحاظ اقتصادی می‌باشد و تا ارتفاع حدود ٤۰۰ متری حداکثر مشاهده می‌شود و در دیوارهای ورچین و زگمه ای و تیرهای ساختمان و حتی ستونها مشاهده شده است.
خانواده کاج	۰/٦	متوسط	اره کاری مناسب، درب و پنجره، تزئینات داخلی و قالب بتون و در صورت داشتن قطر کافی حتی برای تیر و ستون استفاده می‌شود.

ج ۱. مصالح چوبی به‌کار رفته در ساختمان‌های سنتی در مناطق شمالی.

– 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 $30cm$ می‌رسد و دوره بازگشتی حدود ۲۰ سال دارد که بسیار مناسب محیط زیست می‌باشد.

– این گونه ذکر شده دارای چگالی حدود $500-350 kg/m^2$ بوده که سبک بوده و دارای مقاومت فشاری متوسط حدود $160-80 kg/cm^2$ می‌باشد که نسبت به بلوط،

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 کمتراز 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 گسترده تر 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 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

درخت پهن برگ پوشانده شده و استفاده از شاخه‌های آن لطمه‌ای به محیط زیست نمی‌زند و پس از مدتی دوباره شاخه‌ها باز می‌روید.

بررسی دیوارهای سنتی و چوبی موجود و ارائه بهترین الگو

پس از بررسی در مناطق جنگلی ایران به‌طور کلی ٤ نوع دیوار از ٤٠٠ نمونه سازه چوبی در این مناطق مشاهده شد که عبارتند از دیوارهای زگمه‌ای، ورچین، زگالی (ساده و مورب) و لت پوش که پس از مطالعه نتیجه آن در جدول ۲ ارائه شده است.

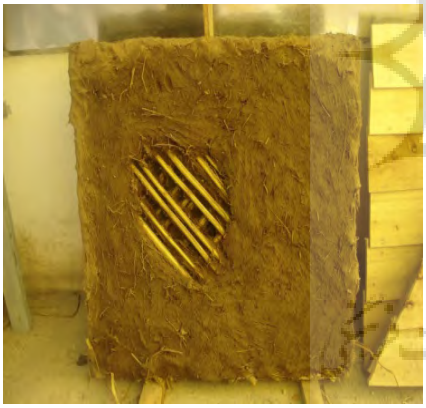
همانطور که مشاهده می‌شود دیوار زگمه‌ای و ورچین دیوارهای سنگینی می‌باشد و دیوارهای زگالی از بقیه دیوارها سبک‌تر است و همچنین به‌دلیل اجرای آسان نوع مورب آن بیشترین تعداد ساخت را نیز در جامعه آماری مورد نظر در بر می‌گیرد. البته دیوار لت پوش نیز سبک بوده ولی به‌دلیل اینکه فقط از تخته ساخته شده است برای 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.

	تعداد کل (٤٠٠)	وزن حدود m^2	مصالح
زگمه‌ای	١٤٨	١٢٠Kg	گردبینه + کاه گل
زگالی ساده	٤٩	٩٠Kg	شاخه+ کاه گل
زگالی مورب	١٦٦		
لت پوش	٢٢	٨٠-٩٠	تخته لت
ورچین	١٥	١١٠Kg	گردبینه

ج ۲. مقایسه دیوارهای سنتی چوبی.

دیوار زگالی مورب که از چهار طرف با چوبهای چهار تراش به هم کلاف شده و در وسط آن از شاخه درختان که به‌صورت مورب کشیده شده است تشکیل شده که بر روی این شاخه ها در دو طرف ملات کاهگل قرار دارد.

تصویر ۱ نمونه‌ای اصلاح شده و سبک ($۷۲kg/m^2$-۷۰) از دیوار فوق را که در کارگاه دانشگاه ساخته شده و از دو طرف شاخه‌های مورب ٤٥^o تقویت شده را نشان می‌دهد. این نمونه ساخته شده که بار ثقلی بر روی آن قرار گرفت و تا ٤٠٠ کیلوگرم بر متر بار گسترده بر روی آن قرار داده شد و دیوار کاملاً سالم و بدون هیچ‌گونه تغییر شکلی پایدار ماند. همچنین بررسی چندین نمونه از ساختمانهای سنتی ویران شده در زلزله رودبار نشان می‌دهد که دیوارهای زگالی مورب به‌دلیل وجود شاخه‌های ٤٥^o 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 زگمه‌ای مورب تقویت شده است که علاوه بر سبکی دارای خواص مقاومت بالا، یکپارچگی، استفاده از کاهگل به همراه چوب و صرفه‌جویی در مصرف چوب همچنین عایق

مناسب گرما و صوت می‌باشد و کاه‌گل 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 ٦ نوع پی سنتی در نواحی شمالی ایران مشاهده می‌شود که عبارتند از پس 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.

زیرا پس از بررسی ۱۸ ساختمان تخریب شده در زلزله رودبار مشاهد شد که بیش از ۱۵ مورد آن‌ها از نوع پی‌های سگتی و سگتی قطور بود. ۳ مورد آن پی سنگی است. پی‌های سگتی را به‌صورت 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 به‌صورت مناسب به زمین انتقال می‌دهد به‌دلیل 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)

ت۲. 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 متراژ بیشتر نیز روند محاسبات به همین نوع می‌باشد.

بدین منظور برای اجرای یک خانه دو طبقه $۱۴۰m^2$ نحوه اجرای کامل قطعات به‌صورت تصویر ۲ آمده است. همانطور که در تصویر مشخص است مساحت فوق دارای ۱۵ بستر پی‌سازی به ابعاد ۱m × ۱m 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 ٤ تراش ۱۰۰ cm × ۲۰ cm × ۲۰ cm مشاهده می‌شود.

– روی این پی‌ها ٦ عدد کمرکش به قطر ۳۰ × ۳۰ و به طول ۱۰m و به‌صورت دوبل مشاهده می‌شود.

– روی کمرکش‌های دوبل ۱۱ عدد تیر ۲۵ cm × ۲۵ cm به طول ۷m مشاهده شده و همچنین ستون‌هایی به ابعاد ۳۰×۳۰ به طول ۳ متر بر روی صفحه به ابعاد ۵۰×۵۰ که داخل صفحه حدود ۲ cm 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 ۸۰kg و چگالی چوب نراد $\rho = 0.5 \ kg/cm^3$ و وزن سقف به‌همراه زیرسازی چوبی حدود ٤۰Kg 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 به‌ذکر 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 به‌دست آمده در تحلیل فوق را در نرم افزار Ansys برای پی‌ها مجدداً مدل سازی نموده و آنرا مورد بررسی قرار داده و

به جوابهای قابل قبولی رسیده که به دلیـل حجـم زیـاد و بحث خاص پی‌سازی و نحوه قرار گرفتن چهار تـراش از پرداختن به آن صرفنظر می‌شود.

بار سطحی سقف طبقه اول

بار خطی دیوار کاهگلی

بابازشو $\times$ 0.7 جرم یک متر مربع دیـوار $\times$ 80 kg/m^2 ارتفاع

2.8 = 160 kg/m جرم کمر کش در هر متر مربع

$$\frac{m}{A}=\frac{\rho v}{A}=\frac{500\times0.3\times0.8\times30}{70\ m^2}=38.6\ kg/m^2$$

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

تیر روی کمر کش

$$\frac{0.25\times0.25\times500\times11\times7}{70}=34.4\,kg/m^3$$

= جمـــع وزن طبقـــه اول بـــدون دیـــوار

38.6+34.4+40=113kg

بار سطحی سقف طبقه دوم «جرم واحد سطح»

وزن سقف شیروانی = 40 kg/m^2

وزن سقف = 0.08 × 500 = 40 kg/m^2

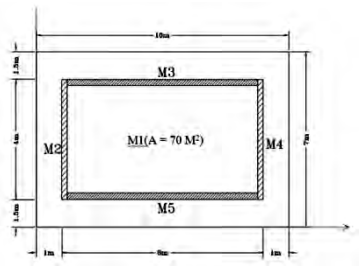
وزن کلاف روی کمرکش ها = 40 kg

40 + 40 + 40 = 120 kg

بار سطحی در هر متر مربع از طبقه دوم

به تصویر ۳ دقـت شـود کـه مقطعـی از سـطح مقطـع ساختمان فوق بوده که سطح مقطع کل را M_1 فرض کرده که 70m^2 است و دیوارها را به ترتیـب M_2 و M3 و M_4 و M_5 در هر دو طبقه نامگذاری شده‌اند. به‌دلیل متفـاوت بودن جرم طبقات اول و دوم مرکز جرم هر طبقه جداگانه و در هر دو راستای x و y محاسبه شده است و بـرای آن از رابطه زیر استفاده شده است.

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



ت ۳

با استفاده از روابط فوق می‌توان مرکز جرم هر طبقـه را جداگانه حساب نمود (جدول شماره ۳ و ادامه آن). البته جرم کل دو طبقه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

چون مرکز جرم دو طبقه بر روی هم قـرار مـی‌گیـرد و بادبندها متقارن طراحی شده اثر پیچش از بین می‌رود.

wt = 11.7 t+ 10.2t = 21.9 t

لازم به ذکـر اسـت کـه بادبنـدها در ده مـدل مختلـف بررسی شده و بادبندی که جواب قابل قبول داد، بررسـی شده است.

سپس با استفاده از رابطه زیر میزان نیروهـای جـانبی و برشی بدست می‌آید.

$$F_i=\frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i} \qquad C=\frac{ABI}{R}$$

B=S+1= 2.75 I=1

A = 0.3 خاک تیپ III

R=4.5 [۲]

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

$$C=\frac{CBI}{R}=\frac{0.3\times2.75\times1}{4.5}=0.18$$

که نحوه محاسبه آن در جدول ٤ آمده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

ج۳. 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

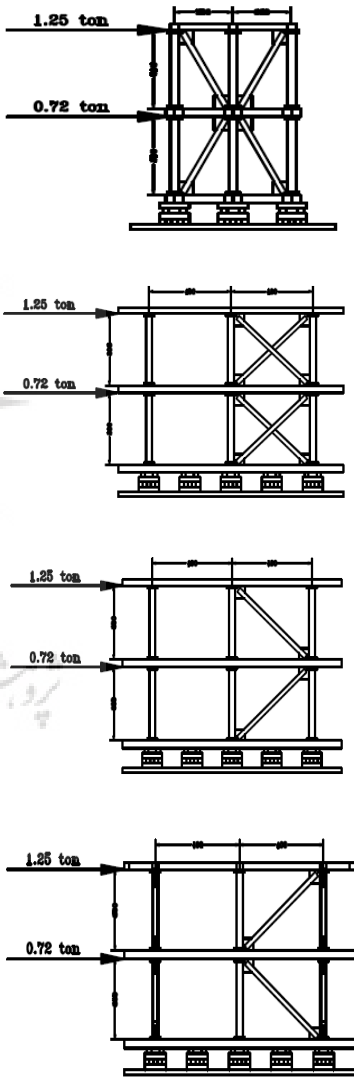
Xm	5
Ym	3.5

ادامه ج۳. 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

ج٤. نیروی برشی هر طبقه.

که میزان نیروی جانبی طبقه بـالا TON ۲/۵۱ چـون در هر دو راستای x و y و بادبند ایجاد شده و در هـر راسـتا دو دهنه بادبند وجود دارد به‌دلیل وجود دو دهانه در هـر دو راستای x و y ، مقدار بارجانبی نصف می‌شـود یعنـی به هر دهانه بادبند دار TON ۱/۲۵ می‌رسد و عیناً نیـروی برشی ۱/٤٤ تن نیز به دو دهانه تقسیم می‌شود زیرا در هر دو راسـتای x و y ، دو دهانـه بادبنـددار ایجـاد شـده است.(تصویر شماره ٤)



ت ٤

حال این نیروهای برشی و ثقلی به‌دست آمده را بر روی سازه در نرم افزار Etabs مدل کرده و بادهـای وارد بـر آن ناشی از فشاری و کششی و ... محاسـبه شـده و نتـایج آن ارائه می‌شود (تصویر شـماره ۵). لازم بـه‌ذکـر اسـت کـه چوب ذکر شده از نوع درختان سوزنی بوده و داریم:

مجاز فشاری $F'C = 81.57\ kg/cm^2 = 8\ N/mm^2$

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

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

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

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

که پس از بررسی جوابها ۱۰ حالت بارگذاری را بـرای آن در نظر می‌گیریم.

D
D + L
0.75 (D + L ± Ex)
0.75 (D + L ± Ey)
0.75 (D ± Ex)
0.75 (D ± Ey)

پس از بررسی کلیه ستون‌ها، ستون وسـط در طبقـه اول بیشترین بار مرده و زنده را تحمل نموده و بحرانـی‌تـرین حالت را ایجاد می‌کند و Mx و My آن صـفر اسـت کـه برای آن بحرانی‌ترین رابطه از ده رابطه عبارتست از :

DL = 2903 kg
LL = 2124 kg وزن بار مرده و زنده = DL+ LL
5027 kg
Ex = 585
Ey = 585

که وزن اسکلت ستون نیز به آن اضافه می‌شود.

ستون $m = \rho v = 500 \times 6 \times (0.30 \times 0.30) = 270kg$

کل بار وارده به بحرانی‌ترین ستون

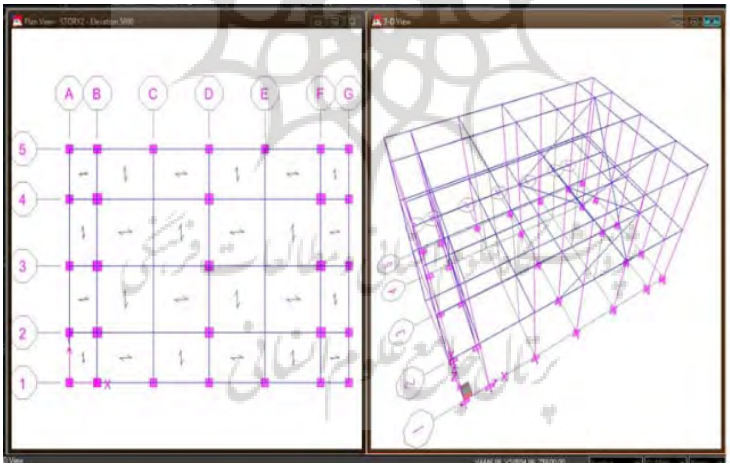
$5027 + 270 = 5297 = 53kg$

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

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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	-543.317
			250.0000	-2781.82	4.35	0.00	13.061	-18.659	-1086.635
STORY1	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
STORY1	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
STORY1	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.

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

اما بر روی ستون‌ها در برش بیشترین تنش برشی در ستون C_3 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 Mx و My باز هم در ستون ۳ بیشترین مقدار اتفاق افتاده است که داریم :

	D	L	E_x	E_y	بحرانی‌ترین حالت
V_x	6859	4312	481	481	
V_y	3212	1715	105	105	

D+L=11371 kg/cm
D+L=4927 kg/cm

و نیروی محوری آن‌ها صفر است پس فقط داریم:

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

همانطوری که مشاهده می‌شود صورت کسر از مخرج بسیار کوچکتر شده و مخرج نیز که از ۳ بالاتر است [٤]

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

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

$\Rightarrow$

$^{M}D+^{M}L=108000$ kg/cm

F_b خمشی $0.6F_p$

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

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

$$\frac{108000}{4500}=24\le F_b$$ خمشی

بحرانی ترین حالت

	D	L	E_x	E_y	بارگذاری
V_x	50	31	3	3	$\Rightarrow$
V_y	21.4	10	0	0	$\Rightarrow$

D+L=50+31=81=V_x $\quad F_{V_x}=\frac{81}{30\times 30}<F_V$

D+L=21.4+10=31.4=V_y $\quad F_{V_y}=\frac{31.4}{30\times 30}<F_V$

$S_x = 4500$

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. هچنین تیر فوق به‌دلیل 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 ٤٠ 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 (غلتکی) مقاوم بوده که بار را به خوبی بر روی زمین پخش می‌کند. همچنین دیوارهای آن از نوع زگالی "مورب

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 سازه‌ای اما متقارن و سنگین می‌تواند باعث ایجاد پیچش در ساختمان شود که این امر در دیوار سبک فوق منتفی می‌باشد و همچنین اثر میانقاب‌ها دیوار در زلزله به‌دلیل انعطاف پذیری و سبکی آن حذف می‌گردد. استفاده از بادبندها و ستون‌ها به‌همراه کف ستون‌ها سبب پخش مناسب بار در ساختمان و انتقال آن به پی‌ها، غلتکی می‌شود و در نهایت اینکه الگوی ساختمانی چوبی فوق علاوه بر همه خصوصیات سازه‌ای فوق، ارزان و عایق مناسب صوتی و حرارتی نیز می‌باشد و در صورت استفاده از چوب‌های درختان زود رشد کاج (نراد، نوئل) در تیر و ستون از دیدگاه محیط زیست نیز ایده آل و مناسب می‌باشد و همچنین می‌توان از ترکیب چوب‌های کاج بصورت مقاطع ترکیبی با فشار و با توجه به جهت تقویت آن‌ها و افزایش مقاومت فشاری آن‌ها را بارگذاری کرده و برای ساخت ساختمان‌های چند طبقه استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

نویسنده این مقاله بر خود لازم می‌داند از کمک‌های جناب آقای پروفسور رهایی کمال قدردانی و تشکر را ابراز نماید.

فهرست منابع

– دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان مبحث ٦ بارهای وارد بر ساختمان

– دکتر ابراهیمی، قنبر، طراحی مهندسی سازه‌های چوبی، دانشگاه تهران

– استاندارد ملی ایران ١٦٥٧ سال ١٣٥٦– آئین نامه آغشتگی و اشباع تیرهای چوبی

– زمرشیدی، حسین. ١٣٦٨، اجرای ساختمان با مصالح سنتی، افشار، تهران.

– دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان، مبحث ١٩، صرفه جویی در مصرف انرژی.

– دفتر ترویج و تدوین مقررات ملی ساختمان، آئین نامه طرح ساختمان در برابر زلزله، آئین نامه ٢٨٠٠ ایران.

برداشت درس روستا ١ توسط دانشجویان عبدالمحمدی ، کاکوئی و غیاثی ، دانشگاه گیلان

– خاکپور، مژگان. ١٣٨٦، معماری خانه های گیلان، فرهنگ ایلیا، رشت.

– زندیه، مهدی؛ پروردی نژاد، سمیرا. ١٣٨٩، توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران، مسکن و محیط روستا، شماره ١٣٠.

– ابراهیمی، قنبر. ١٣٨٨، طراحی مهندسی سازه های چوبی، دانشگاه تهران ، تهران.

– چرختاب، شاهین. بررسی فن آوری نوین سبک‌سازی در ساختمان و لزوم آموزش آن در مهندسی عمران.

– قبادیان، وحید. ١٣٨٥، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تهران.

– فرهودی، مروه. ١٣٨٦، بررسی مفهوم معماری مبتنی بر تفکر پایداری، مجله معماری و ساختمان ، شماره ١٢.

– گرجی مهلبانی، یوسف؛ یاران، علی. ١٣٨٩، راهکارهای معماری پایدار گیلان به همراه قیاس با معماری ژاپن، نشریه هنرهای زیبا – معماری و شهرسازی ، شماره ٤١.

– گلپرور فرد ، نازنین. ١٣٨٩، انسان–طبیعت–معماری، انتشارات طحان، چاپ دوم، تهران.

– معماریان، غلام حسین. ١٣٨٥، آشنایی با معماری مسکونی ایرانی گونه شناسی برونگرا، انتشارات سروش دانش ، چاپ پنجم، تهران.

– زمرشیدی، حسین. ١٣٨٤، اجرای ساختمان با مصالح سنتی، انتشارات زمرد، چاپ هفتم، تهران.

– برون برژه، کریستیان. ١٣٧٠، 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.