

## معرفی روش‌های نوین سبک سازی ابنیه در زیرساخت‌های حمل و نقل

## مقاله علمی - پژوهشی

واحد قیاسی\*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
 رویا غلامی احمدآبادی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: V.ghiasi@malayeru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

صفحه ۶۲-۴۹

## چکیده

امروزه یکی از معضلات موجود در صنعت ساخت و ساز سنگین بودن جرم ابنیه زیر ساخت‌های حمل و نقل به دلیل استفاده از مصالح سنتی و قدیمی رایج می‌باشد که موجب بالا رفتن بار مرده ابنیه می‌شود، که علاوه بر اینکه موجب بالا رفتن هزینه ابنیه حمل و نقل می‌شود و مقاومت آن را در مقابل زلزله کم می‌کند. لذا، در این پژوهش به معرفی روش‌های نوین صنعت ساخت و ساز که موجب سبک سازی جرم ابنیه حمل و نقل می‌گردد پرداخته شده است. این فناوری‌ها که امروزه جزء فناوری‌های نوین در صنعت ساخت و ساز محسوب می‌شود که در راستای بهینه‌سازی روش‌های اجرا، کاهش وزن ابنیه حمل و نقل و صرفه جویی در هزینه، زمان و انرژی زیان‌های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله صورت می‌پذیرد. این روش‌ها تحت عناوین تکنیک‌های اجرایی به روش‌های مختلف تحت عناوین تیلت آپ، استات وود و استات متال مورد بررسی قرار گرفته و توضیحات لازم در هر بخش ارائه گردیده است و در انتها بررسی معایب و مزایای مربوط به هر روش توضیح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی، روش اجرا، بار مرده ابنیه حمل و نقل، سبک سازی، مصالح ساختمانی

## ۱- مقدمه

عبارتست از کاهش وزن تمام شده ابنیه با استفاده از تکنیک‌های نوین ساخت مصالح جدید و بهینه سازی روش‌های اجرا. کاهش وزن ابنیه علاوه بر صرفه جویی در هزینه، زمان و انرژی زیان‌های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ابنیه را به حداقل می‌رساند (اقبالی و همکاران ۱۳۹۸). لذا، این پژوهش در راستای معرفی تکنیک‌های اجرایی و مصالح نوین در صنعت ساخت و ساز با رویکرد کاهش وزن مرده ابنیه حمل و نقل و در نتیجه آن کاهش اثرات تخریبی زلزله صورت پذیرفته است. امروزه کیفیت نسبتاً پایین محصول نهایی، تقاضا برای ساخت با کیفیت بالاتر، بالا بودن میزان مصرف انرژی و مواد اولیه در ساختمان سازی و

نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ابنیه و مسکن و ضرورت استفاده از روش‌ها و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک سازی، افزایش عمر مفید و نیز مقاوم نمودن ابنیه در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح کرده است (Ghiasi et al, 2009, 2010, 2011, 2018, 2019, 2020, 2021). حل مشکلاتی نظیر زمان طولانی اجرا، عمر مفید کم و یا هزینه زیاد اجرای ابنیه‌ها نیازمند ارائه راهکارهایی به منظور استفاده عملی از روش‌های نوین و مصالح ساختمانی جدید جهت کاهش وزن و کاهش زمان ساخت، دوام بیشتر و نهایتاً کاهش هزینه اجرائست. (معصومی و همکاران ۱۳۷۸). سبک‌سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می‌باشد. این فن آوری

که نهایتاً استراتیژی در رتبه اول و آجر فشاری و تری دو ال به طور مشترک در رتبه ششم قرار گرفت. (مغانلو ۱۳۹۶).

ارایه راهکار در مقوله سبک سازی علاوه بر بررسی های پژوهشی در زمینه مصالح سنتی بنایی، در مصالح فولادی در صنعت ساختمان نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این خصوص پیراسته و سلیمانی طی پژوهشی به امکان سنجی سبک سازی اسکلت و تراس های ساختمانی با جایگزینی ورق های st52 مصرفی به جای st37 کاهش انرژی و فلز مصرفی پرداختند که در این تحقیق قاب هایی با تعداد طبقات ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ طبقه مدل شده اند که در نهایت مشخص گردید. سیستم دوگانه قاب خمشی + مهاربند همگرای ویژه فولاد پرمقاومت سبب کاهش وزن قاب شده است در این سیستم ها مهاربندها کاهش وزن ناچیزی پیدا کردند. زیرا فولاد پرمقاومت سبب ظریف تر شدن مقاطع و کاهش سختی قاب می شود. در نتیجه مهاربندها که مهم ترین عامل افزایش سختی هستند کاهش وزن کمتری پیدا می کنند (پیراسته، و شریفی، ۱۳۹۶). با توجه به تاثیرات جدی احداث ابنیه حمل و نقل ها بر محیط زیست و خسارات غیر قابل جبران آن در زندگی افراد، استفاده از تکنولوژی ابنیه حمل و نقل سبز و توسعه فراگیر آن می تواند به عنوان یک راهکار ایده آل مدنظر قرار گیرد. از این رو خلیفه و همکاران طی پژوهشی عنوان نمودند که با بهره گیری از تکنولوژی های نوین و سبک سازی و با بکارگیری مفاهیم علمی و کاربردی در مواد می توان علاوه بر کاهش آلودگی های محیط زیست، الزامات ایمنی لرزه ای در سازه ها را نیز افزایش داد. معرفی مواد، مصالح نوین و راهکارهایی نوین در جهت کاهش وزن ساختمان ها، کاهش اثرات لرزه ای و همین طور بیان اهمیت در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی و گنجاندن آن در برنامه ریزی های آینده از اهمیت بالایی برخوردار است (خلیفه و همکاران ۱۳۹۵) و در سال ۱۳۹۵ باباعالی و همکاران طی پژوهشی تحت عنوان بهینه سازی ساختمان های فولادی با تغییر سیستم سازه ای و استفاده از مصالح سبک، با در نظر گرفتن چندین نمونه ساختمان با اسکلت فولادی با تعداد

تاثیرات منفی محیطی ناشی از تولید انبوه زباله و نخاله های ساختمانی ضرورت استفاده از فن آوری های جدید ساختمانی به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک سازی، افزایش عمر مفید، کاهش هزینه ها و نیز بهبود الگوی مصرف انرژی ابنیه حمل و نقل ها را بیش از پیش مطرح ساخته است. از این رو در سال ۱۳۹۸ اقبالی و همکاران طی پژوهشی تلاش نمودند تا روش تحقیق بهترین روش صنعتی سازی ساختمان با بهره گیری از تکنولوژی های جدید صنعتی ساختمان سازی و ارزیابی مکان و هزینه، روش ها و مزایای سازگاری بهبود کیفیت و به روزآوری صنعت ساخت، بهبود مصرف انرژی، انطباق دائم با نیازهای در حال تغییر و فرصت های جدید دست یابند. در سال ۱۳۹۷ هلاکویی طی پژوهشی تحت عنوان بررسی مقایسه ای مصالح ساخت دیوار با استفاده از فناوری های نوین 3, ICF, LSF, D و بلوک لیکا به منظور سبک سازی دیوار ساختمان ها با استفاده از روش تصمیم گیری AHP صورت پذیرفت که در این تحقیق به جهت مقایسه مصالح ساخت دیوار با استفاده از فناوری های نوین سیستم های فوق الذکر روش تصمیم گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده گردیده و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. دلیل بررسی این نوع مصالح، فراوانی تولید و استفاده از این سیستم ها در ساختمان سازی و انبوه سازی مسکن در کشور بود. در پایان این بررسی، ترتیب الویت با استفاده از معیارهای مورد نظر مشخص گردید (هلاکویی، ۱۳۹۷).

در ادامه پژوهش های دیگری نیز در خصوص بررسی مقایسه ای مصالح سنتی با مصالح مدرن با رویکرد سبک سازی ساختمان صورت پذیرفت تا انجا که در سال ۱۳۹۶ نیکفان مغانلو و همکاران طی پژوهش گردآوری شده از منابع کتابخانه ای چند نمونه از مصالح نوین سبک سازی را با سایر مصالح سنتی و نیمه مدرن مورد مقایسه قرار گرفته شد. بعد از مقایسه شاخص ها با استفاده از روش ادغام کپ لند، برد و باخت در این پژوهش را محاسبه کرده و بهترین مصالح را براساس چهار شاخص فوق الذکر مطرح شد

بسیار کمی را دارا هستند. دوام ابنیه حمل و نقل‌های تیلت آپ در مقابل زلزله و نیروی جانبی از قبیل باد آزمایش شده و مقاومت آن به اثبات رسیده است. حداقل ترک خوردگی، نشست، مقاومت در مقابل زنگ زدگی و آتش سوزی، از جمله پارامترهای موثر در دوام سازه‌های تیلت آپ است. دیوارهای بتنی تیلت آپ عایق حرارتی بوده و هزینه‌های گرم و خنک‌کردن ابنیه حمل و نقل را به حداقل می‌رساند. ابنیه حمل و نقل‌های تیلت آپ به دلیل داشتن مزایایی همچون مقاومت در برابر آتش سوزی، پایدار در مقابل باد و زلزله، هزینه پرداخت حق بیمه کمتری نسبت به سایر ابنیه حمل و نقل‌ها دارند. ابنیه حمل و نقل‌های تیلت آپ هزینه نگهداری کمتری لازم دارند. ابنیه حمل و نقل‌های تیلت آپ می‌تواند رنگ نشده و بدون هیچگونه اثر نامطلوبی باقی بماند و چنانچه رنگ شود، فقط هر پنج تا ده سال یک بار نیاز به رنگ آمیزی مجدد خواهد داشت. سطوح خارجی بتن، با خاصیت آسیب پذیری کم، به آسانی شستشو یا مرمت می‌شوند. با برنامه ریزی دقیق قبلی، ابنیه تیلت آپ می‌تواند طوری طراحی شود که با جداکردن آسان و جایگزینی پانل‌های بتنی امکان توسعه آسان را بوجود آورد یا اینکه ورودی‌های جدیدی را ایجاد کند.

۱- طراحی و اجرای سریع بسیاری از مراحل ساخت به روش تیلت آپ با فشرده کردن برنامه زمان بندی، به صورت همزمان انجام می‌شود.

۲- برنامه‌ریزی مناسب، امکان ساخت و نصب سیستم نهایی ابنیه حمل و نقل را در یک دوره کوتاه آماده می‌کند.

۳- نقل و انتقال سریع، ایمن و راحت بر روی دال کف بتن ریزی شده باعث صرفه جویی در وقت و هزینه می‌شود.

۴- برای بتن ریزی از نیروی کار و بتن آماده موجود در محل استفاده می‌شود.

۵- کاستن هزینه در اجرای ابنیه حمل و نقل‌ها با روش تیلت آپ هزینه‌های حمل و نقل، مصالح، نیروی انسانی ماهر، داربست و سایر هزینه‌ها با سهولت بیشتری قابل کنترل هستند چون متغیرهای محدود و انگشت شماری در تیلت آپ وجود دارد. بتن آماده در دسترس، آرماتوربندی راحت، نیروی کار محلی از جمله این متغیرها هستند.

۶- چرخه سریع ساخت که کاربری سریع را ممکن می‌سازد، جریان نقدینگی را برای پیمانکار و کارفرما بهبود می‌بخشد.

۷- با برنامه‌ریزی دقیق قبلی، ابنیه حمل و نقل تیلت آپ می‌تواند طوری طراحی شود که با جداکردن آسان و جایگزینی

طبقات مختلف و استفاده از مصالح مختلف و همچنین سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی مختلف به بررسی این موضوع پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از سیستم مهاربندی در هر دو جهت ابنیه حمل و نقل در ساختمان‌های فولادی به ازای بارگذاری‌های مختلف کمترین وزن واحد سطح اسکلت سازه را نتیجه می‌دهد. همچنین مشاهده شد که اثر سبک‌سازی با افزایش تعداد طبقات برای همه سیستم‌های باربر جانبی بیشتر می‌شود. اثر سبک‌سازی برای سیستم‌های مختلف باربر جانبی بررسی شده و مشاهده گردید که تاثیر سبک‌سازی معمولا برای ابنیه‌های با سیستم قاب خمشی در هر دو جهت ابنیه بیشتر از بقیه سیستم‌های باربر جانبی است.

## ۲- روش شناسی

در این بخش مقاله، به معرفی انواع روش‌های نوین اجرایی ساخت و بررسی تأثیر روش‌ها و مصالح مذکور در سبک‌سازی و بالا بردن مقاومت لرزه‌ای ابنیه حمل و نقل‌ها پرداخته شده است.

## ۳- یافته‌ها

روش‌های اجرایی نوین ساخت

### ۳-۱- روش تیلت آپ

سیستم اجرای تیلت آپ روشی است که در آن با سرعت هرچه تمام می‌توان عملیات ساخت را انجام داد. در این روش معمولا دیوارهای باربر از بتن ساخته می‌شوند، به این صورت که در محل اجرای پروژه، دیوارها به صورت افقی بتن ریزی شده و پس از اتمام کار و به اصطلاح بسته شدن بتن، به وسیله جرثقیل، دیوارهای بتنی را در محل خود نصب می‌کنند. از این روش برای ساخت ابنیه حمل و نقل‌هایی مانند مراکز خرید، انبارها، ساختمان‌های اداری و ... استفاده می‌شود که در آنها سرعت بالای ساخت سازه، به دلیل مسائل اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است.

همچنین، از این روش برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه حداکثر تا چهار طبقه استفاده می‌شود. البته باید بدانید که ابنیه حمل و نقل‌های بالای چهار طبقه هم با این روش ساخته شده که تعداد

شالوده، دیوارها، سقف‌های بین طبقات و سقف نهایی (بام)، و تمامی اجزای تشکیل‌دهنده سازه ابنیه حمل و نقل باید به درستی و با دقت بسیار، مانند جعبه‌ای یکپارچه به یکدیگر دوخته شوند. در ابنیه حمل و نقل‌های چوبی، اجزای ساختمانی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که چوب‌های به‌کار برده شده در سازه ابنیه حمل و نقل تا حد امکان به‌گونه‌ای فشاری یا کششی عمل کنند، و باعث ایجاد گشتاورهای ناشی از خروج از محوریت نشوند. سیستم ابنیه حمل و نقلی LSF با دقت بسیار از روی سیستم ساختمانی قاب سبک چوبی کپی برداری شده است بگونه‌ای که شباهت بسیار زیادی به ابنیه حمل و نقل‌های 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. یکی از موارد بسیار اساسی در این سیستم‌های ساختمانی، تأمین هوابندی آنها است، به‌گونه‌ای که نفوذ هوا، حتی در مواردی که اختلاف فشار بین دو طرف جدار زیاد است، از حدود تعیین‌شده 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، به‌درستی 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. در طراحی سازه چوبی، لازم است مسائل مربوط به تغییرات وابسته به زمان، از جمله خزش، در نظر گرفته شود. از نقاط قوت و ضعف سیستم‌های قاب سبک در مقایسه با یکدیگر می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود. زمین‌لرزه‌های فراوانی که در گوشه و کنار جهان به وقوع پیوسته است، نشان داده‌اند که خانه‌های قاب سبک چوبی مقاومت بی‌نظیری

پانل‌های بتنی امکان توسعه آسان را بوجود آورد یا اینکه ورودی‌های جدیدی را ایجاد کند.

### روش اجرای ابنیه حمل و نقل با قاب سبک

سیستم ابنیه حمل و نقل‌های با قاب سبک فولاد سرد نورد و یا چوبی برای اجرای ابنیه حمل و نقل‌های کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه (پنج طبقه و کمتر) کاربرد گسترده‌ای داشته است. خطر آتش‌سوزی بیشتر از هر چیز دیگر در محدودیت طبقات خانه‌های چوبی تعیین‌کننده بوده است. در چند دهه اخیر، با مطرح شدن فن‌آوری‌های جدید، نظیر خاموش‌کننده‌های 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 ابنیه حمل و نقلی فراهم گردیده است. دیوارهای این سیستم‌های ابنیه حمل و نقلی با پوشش‌های تخته‌ای مقاوم مانند تخته چند لایه وود و یا ورق تولید شده از چوب تراشه جهت دار OSB 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 ابنیه حمل و نقل‌های چوبی اروپایی بیشتر از دیوارهای برشی و در ابنیه حمل و نقل‌های چوبی آمریکایی بیشتر از مهاربندی قطری خرپایی 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 قاب سبک فولادی 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.

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 ابنیه حمل و نقل 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 ابنیه حمل و نقل ها، به درستی رعایت شود. در جدول ۱ آمار مقاومت ابنیه حمل و نقل های چوبی در هنگام زمین لرزه ارایه گردیده است.

جدول ۱. آمار مقاومت ابنیه های چوبی در هنگام زمین لرزه (گنجه ای، ۱۳۸۹)

تعداد خانه های چوبی	کشته شدگان	کشته شدگان	نیروی زلزله g	نیروی زلزله M	زمین لرزه
با تکان بسیار شدید	درخانه های چوبی	تعداد کل	شتاب زمین	ریشتر	
۱۰۰۰۰۰	۴	۶۳	۰.۶	۶.۷	سان فرناندو 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 اتا کالیفرنیا ۱۹۸۹
۲۰۰۰۰۰	* ۱۶	۶۰	۱	۶.۷	نورتریج کالیفرنیا ۱۹۹۴
۸۰۰۰	۰	۶۸۰۰	۰.۸	۶.۸	کوبه ژاپن ۱۹۹۵

\* همگی در یک آپارتمان مسکونی و در زیر آوار غیر چوبی

### شالوده ابنیه حمل و نقل

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 ابنیه حمل و نقل های چوبی دست کم ۳۰ سانتیمتر ذکر شده است. ابنیه حمل و نقل های با قاب چوبی و یا فولاد سردنورد بسیار سبک هستند، به گونه ای که بار ثقلی مرده و زنده هر مترمربع از سقف ابنیه حمل و نقل از ۴۰۰ کیلوگرم کمتر است. برای مثال، باری که یک خانه چوبی دو

در برابر زمین لرزه دارند. ابنیه حمل و نقل 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 به دست می دهند. در سال ۲۰۰۳ میلادی زلزله بم به قدرت ۶/۶ ریشتر باعث مرگ 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

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

لمبه چوبی، تخته‌گچی، 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 تخته‌گچی، بخاربند و در قسمت خارجی و درزیرنما لایه مقاوم در برابر نفوذ باد و دافع آب قرار دارد. داخل دیوارها و بین وادارها را با یک عایق حرارتی معدنی از قبیل پشم سنگ یا پشم شیشه پر می‌کنند. در ابنیه حمل و نقل‌های 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 وادارها ضروری است.

### دیوار جدا کننده 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 به عنوان 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.

### سقف بین طبقات ابنیه حمل و نقل

قاب‌بندی سقف بین طبقات از تیرهای ضخیم چوبی و یا پروفیل‌های فولاد سردنورد تشکیل می‌شود. فاصله بین تیرها، به‌طور معمول ۴۰ یا ۶۰ سانتی‌متر 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 اتاق با الوار چوبی و یا تخته چندلایه ضخیم پوشیده شده و بر روی آن کف‌پوش مناسب قرار می‌گیرد. در صورت نیاز به شیب‌بندی، از ملات سیمانی

طبقه دارای زیرزمین به زمین منتقل می‌کند، از وزن خاک دستی و خاک موجود قبل از احداث ابنیه حمل و نقل بیشتر نیست. در نتیجه می‌توان گفت که ابنیه حمل و نقل‌های کوتاه‌مرتبه در این سیستم‌های ابنیه حمل و نقلی را می‌توان در زمین‌هایی که دارای مقاومت خاک حداقل هستند نیز اجرا کرد. از آن گذشته، این خانه‌ها، به دلیل سبکی و یکپارچگی، حتی در صورت نشست نامساوی خاک زیر شالوده، عملکرد خوبی دارند. در مجموع، می‌توان گفت که این سیستم‌های ساختمانی، برای زمین‌های سست، با مقاومت خاک بسیار کم، از بسیاری از سیستم‌های ساختمانی دیگر مناسب‌تر می‌باشند. شالوده این ابنیه حمل و نقل‌ها می‌توانند به صورت گسترده، نواری، منفرد و یا تلفیقی باشند. شالوده منفرد را می‌توان با استفاده از قطعات پیش‌ساخته بتنی قالب سرخود یا قالب ماندگار اجرا کرد. در مواردی که مقاومت خاک بسیار کم است، از شالوده گسترده استفاده می‌شود. شالوده‌های نواری و گسترده متداول‌ترین روش پی‌سازی در این سیستم‌های ساختمانی می‌باشند.

با توجه به اینکه اعضای فشاری در ارتفاع ابنیه حمل و نقل ممتد نبوده و در هر طبقه قطع می‌شوند، لذا، اتصال این اعضا به کف سقف یا شالوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ اتصال اعضای فشاری به کف یا شالوده در ابنیه حمل و نقل‌های قاب سبک چوبی، به واسطه یک کلاف چوبی که به طور معمول با مواد مقاوم در برابر موریانه و قارچ‌ها اشباع شده است، انجام می‌گیرد. کلاف عرضی به واسطه میله‌های انتظار، بولت‌های فولادی، که عملکرد مهار کششی را دارند به کف یا شالوده متصل می‌شود.

### دیوار باربر خارجی

دیوارهای باربر خارجی به تنهایی و گاهی به همراه دیوارهای باربر داخلی سازه این ابنیه حمل و نقل‌ها را تشکیل می‌دهند. این دیوارها با قرار دادن وادارهای چوبی و یا فولادی (استاداها) با فاصله معین از یکدیگر و به صورت قاب ساخته شده و بر روی پی ابنیه حمل و نقل که از بتن، آجر و یا مصالح غیرآلی دیگری ساخته شده قرار می‌گیرند. در ابنیه حمل و نقل‌های چوبی مقطع این وادارها نباید از اندازه اسمی ۵ در ۱۰ سانتی‌متر 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،

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

به طور 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 عایق کاری 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 به دلیل 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 ابنیه حمل و نقل‌ها 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.

### عایق کاری حرارتی

فضای خالی بین استاد‌های 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 ابنیه حمل و نقل‌های با قاب سبک در شرایط آب و هوایی گرم و سرد

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 به‌صورت صفحه‌هایی پیش‌ساخته، که در پروفیل‌های فولادی علاوه بر اتصالات سرد، گاهی از جوش نیز استفاده شده، به سایت منتقل می‌شوند و در کارگاه به‌وسیله اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند. پوشش سقف در ابنیه‌های 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 به‌عنوان یک سقف مرکب طراحی کرد.

### سقف خارجی

سقف خارجی ابنیه حمل و نقل، به‌طور 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 خرپاها، 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 شده‌است. 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. بام نهایی به دو گونه شیب‌دار و مسطح اجرا می‌شود که از نظر مقاومتی دارای ساختار اصلی یکسانی است. هرگاه سقف نهایی ابنیه حمل و نقل شیب‌دار باشد، اجرا به دو گونه سقف سرد و

داخلی عایق حرارتی. در صورتی که طراحی جدارهای پوسته خارجی ابنیه حمل و نقل با روشی اصولی و با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی انجام نگیرد، خطر بروز میعان می‌تواند وجود داشته باشد. بخارند از عبور بخار آب از میان دیوارهای خارجی و سقف جلوگیری می‌نماید و خطر بروز میعان را به شدت کاهش می‌دهد. وظیفه دیگر بخارند جلوگیری از عبور هوا است که به نوبه خود باعث هدر رفتن انرژی می‌شود.

### تاسیسات الکتریکی و مکانیکی

تاسیسات این سیستم‌های ساختمانی همگی از درون دیوارها و سقف، از میان فضای خالی بین وادارهای دیوار و تیرهای سقف، کشیده می‌شوند و در نتیجه نیازی به سقف کاذب نمی‌باشد. محل عبور کانال‌ها و لوله‌های تأسیسات الکتریکی و مکانیکی ابنیه حمل و نقل، 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 مکان 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 برای تأسیسات الکتریکی ضروری است که در این صورت لازم است در طراحی ابنیه حمل و نقل 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 حرارت‌های بالا بوده و میخ نتواند به آسانی به‌داخل آن کوبیده شود.

### آیین‌نامه‌های ابنیه‌ای

با توجه به آن که تاکنون آیین‌نامه‌ای برای طراحی سازه‌های چوبی در ایران تدوین نشده است، می‌توان از آیین‌نامه (International Building Code) IBC ایالات متحده آمریکا سال ۲۰۰۹ میلادی استفاده کرد. در فصل ۲۳ آیین‌نامه IBC ۲۰۰۹ الزامات عمومی، اجرایی و طراحی ساختمان‌های چوبی ذکر شده است. براساس فصل ۱۶ این آیین‌نامه، بارگذاری لرزه‌ای سازه‌ها باید بر مبنای استاندارد VASCE-۰۵ که در آن میزان بارهای طراحی ابنیه‌ها و سایر سازه‌ها توسط انجمن مهندسان راه و ابنیه آمریکا به چاپ رسیده، انجام شود. آیین‌نامه‌های معتبر دیگری نیز در سطح

می‌شود. این عایق‌کاری 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 ابنیه حمل و نقل‌های 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 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.

### بخارند

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. بخارند می‌تواند از جنس پلیمر، به طور معمول پلی اتیلن و یا بیتومن باشد. بخارند باید در سمتی از جدار نصب شود که فشار بخار آب زیاد است، یعنی در قسمت گرم و بطور معمول در سمت



اجزای ساختمانی فلزی و چوبی در هنگام آتش سوزی کاربرد دارد. نازک‌کاری ابنیه‌های 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 داده‌اند. 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 بشدت نقصان پیدا کرده بگونه‌ای که در ۵۵۰ درجه سلسیوس ۶۰ درصد مقاومت خود را از دست داده است. ازدیاد درجه حرارت تأثیری در مقاومت چوب ندارد و مقاومت سازه چوبی توسط سطح مقطع قسمت سوخته نشده چوب تامین می‌شود.

#### ۴- ارزیابی و بررسی معایب و مزایای روش‌ها

##### اجزایی نوین

#### ۴-۱- بررسی معایب و مزایای استفاده از روش تیلیت

##### آپ

مزایای استفاده از روش تیلیت آپ به شرح زیر ارائه می‌گردد.

- طراحی و اجرای سریع بسیاری از مراحل ساخت به روش تیلیت آپ با فشردن برنامه زمان بندی، به صورت همزمان انجام می‌شود.

- برنامه ریزی مناسب، امکان ساخت و نصب سیستم نهایی ابنیه حمل و نقل را در یک دوره کوتاه آماده می‌کند.

- نقل و انتقال سریع، ایمن و راحت بر روی دال کف بتن ریزی شده باعث صرفه جویی در وقت و هزینه می‌شود.

- برای بتن ریزی از نیروی کار و بتن آماده موجود در محل استفاده می‌شود.

- کاستن هزینه در اجرای ابنیه حمل و نقل‌ها با روش تیلیت آپ هزینه‌های حمل و نقل، مصالح، نیروی انسانی ماهر، داربست و سایر هزینه‌ها با سهولت بیشتری قابل کنترل هستند

جهانی در خصوص ابنیه‌های چوبی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به آیین‌نامه NDS ۲۰۰۵ که مشتمل بر مشخصات اجرایی ابنیه‌های چوبی است و استاندارد SDPWS ۲۰۰۵ که ملاحظات ویژه‌ای را برای طراحی سازه‌های چوبی در برابر باد و زلزله ارائه می‌نماید و استاندارد DIN ۱۰۵۲ در رابطه با طراحی سازه‌های چوبی و مقررات عمومی ابنیه اشاره کرد. فصل دهم FEMA ۴۵۱ 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 راه، مسکن و شهرسازی منتشر گردید. طراحی اجزاء و اتصالات سیستم ابنیه‌ی قاب سرد نورد LSF در کشورهای صنعتی بر اساس استاندارد AISI و طرح سازه‌ای و لرزه‌ای آن بر اساس آیین‌نامه‌های ASCE ۰۷ و IBC ۲۰۰۹ انجام می‌گیرد. ضوابط مربوط به اتصالات در آیین‌نامه AISC 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. در کشورهای صنعتی که دسترسی به چوب مناسب برای ابنیه 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 ابنیه‌های 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 به سرعت مقاومت خود را در هنگام آتش سوزی از دست می‌دهد، تمامی سازه ابنیه 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

۵- با توجه به سنگین بودن قطعات بتنی مورد استفاده، وجود جرقه‌بندی و دیگر امکانات سنگین نصب الزامی است.

۶- امکان تغییر ابعاد قطعات، پس از تولید متفی است. در نتیجه، در صورت وجود اشتباه در ساخت قطعه (ابعاد، میل‌گردگذاری و ...) لازم است قطعه مجدداً ساخته شود.

۷- امکان دسترسی به مدارهای تاسیسات مکانیکی و الکتریکی در دوره بهره‌برداری وجود ندارد، و در صورت بروز مشکل، در اکثر موارد لازم خواهد بود مدار جایگزینی به صورت روکار اجرا شود.

#### ۴-۲- بررسی معایب و مزایای استفاده از روش اجرای

##### ابنیه حمل و نقل با قاب سبک

#### نقاط قوت و ضعف سیستم‌های قاب سبک چوبی و فولادی در مقایسه با یکدیگر

۱- سازه سیستم قاب سبک فولادی در برابر موریانه 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 (۵۷)  $(W/m.K)$  بسیار بیشتر از ضریب هدایت حرارتی چوب (۰,۱۲)  $(W/m.K)$  است و در نتیجه در پوسته خارجی این سیستم ساختمانی انرژی زیادی بواسطه پدیده پل حرارتی به هدر رفته و نیاز به عایق حرارتی تکمیلی دارد. ضریب هدایت حرارتی پشم‌های معدنی در حدود  $0,04 W/m.K$  و به ضریب هدایت حرارتی چوب نزدیک‌تر است. شکل ۱ سمت راست، انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک فولادی و شکل سمت چپ انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک چوبی را نشان می‌دهد.

چون متغیرهای محدود و انگشت شماری در تیلت آپ وجود دارد. بتن آماده در دسترس، آرماتوربندی راحت، نیروی کار محلی از جمله این متغیرها هستند.

۶- چرخه سریع ساخت که کاربری سریع را ممکن می‌سازد، جریان نقدینگی را برای پیمانکار و کارفرما بهبود می‌بخشد.

۷- تولید کارآمد، نماسازی زیبا، مصالح بهتر، مبین آن است که تیلت آپ در انواع مختلف ابنیه حمل و نقل و در هر جایی قابل استفاده است.

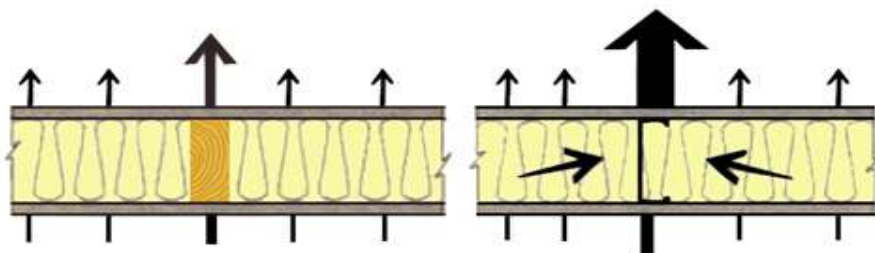
#### معایب و محدودیت‌های استفاده از روش تیلت آپ

۱- این روش اجرا بیشتر برای ابنیه حمل و نقل‌های کوتاه مرتبه در نظر گرفته شده‌است و حداکثر تعداد طبقات ابنیه حمل و نقل، با توجه به محدودیت‌های اجرایی به ۴ طبقه محدود می‌شود. بدیهی است افزایش تعداد طبقات مسائل اجرایی را با پیچیدگی‌هایی همراه می‌سازد و در این حالت دیگر توجیه قوی برای استفاده از این سیستم وجود ندارد.

۲- در زمینه طراحی، الزام وجود دیوارهای سازه‌ای باعث می‌شود، آزادی عمل در طراحی ساختار اصلی معماری اندکی کمتر از سیستم‌هایی نظیر تیر ستون بتنی یا اسکلت فلزی (بادبنددار یا قاب خمشی) باشد. در نتیجه، میزان اختیار در تعیین ابعاد فضاها، در مقایسه با دیگر سیستم‌های نام برده کمتر است.

۳- این سیستم از نظر نما محدودیت‌های فراوانی دارد و تنها در مورد نماهای کاملاً مسطح و دو بعدی قابل توجیه است. به عبارت دیگر، در صورت کاربرد این روش اجرا، در معماری امکان ایجاد تورفتگی‌ها و بیرون‌زدگی‌ها در نما کاملاً متفی می‌شود.

۴- این سیستم در مقایسه با سیستم‌های متداول (حتی در مقایسه با دیوارها و سقف‌های سیستم‌هایی نظیر تونلی) و خصوصاً نسبت به سیستم‌های نوین نظیر  $(LSF)$  سنگین است و مصرف مصالح اصلی (بتن و میل‌گرد) قابل ملاحظه است. لازم به توضیح است در اکثر موارد، افزایش مصرف مصالح اصلی به دلیل بارهای وارد شده در زمان جابجایی و نصب دیوار است.



شکل ۱. سمت راست، انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک فولادی و شکل سمت چپ انتقال حرارت از میان دیوار قاب سبک چوبی

فولادی داشته و در کشورهای دارنده این فناوری مورد توجه آرشیتکت‌ها می‌باشد.

۱۲- 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.

۱۳- ابنیه‌های 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 در حالی که نزدیک به ۲۰۰ سال از عمر سیستم ابنیه‌ی قاب سبک چوبی می‌گذرد و تجربه گسترده‌ای در خصوص عمر مفید آن کسب گردیده است.

۱۴- ابنیه حمل و نقل‌های با قاب سبک چوبی مقاوم‌ترین سیستم ساختمانی در برابر زمین‌لرزه، بر طبق تجربیات بدست آمده از زمین لرزه‌های گذشته شناخته شده است. آزمون‌های لرزه‌ای در اندازه واقعی بسیاری بر روی ساختمان‌های این سیستم ساختمانی انجام شده و دانش گسترده‌ای در خصوص رفتار لرزه‌ای آن در دست می‌باشد. ابنیه‌های قاب فولادی زمین‌لرزه‌های زیادی را تجربه نکرده و دانش زیادی در خصوص رفتار لرزه‌ای آنها در دست نمی‌باشد. آزمون‌های زمین لرزه انجام شده بر روی ابنیه‌های با قاب سبک فولادی نشان دهنده مقاومت خوب آنها در برابر زمین لرزه است ولی تا کنون آزمون‌های لرزه‌ای در اندازه واقعی بر روی این ابنیه‌ها انجام نشده و تجربه چندانی در برابر مقاومت واقعی آنها در مقابل زمین لرزه در دست نیست.

#### ۵- نتیجه گیری

این سیستم‌های ساختمانی در زمان کمی برپا می‌شوند، و سرعت اجرا نسبت به شیوه‌های سنتی و حتی صنعتی سنگین

۴- ابنیه حمل و نقل‌های قاب سبک فولادی، به دلیل محصور شدن در میان سطح وسیعی از ورق‌های فولادی، در میدان الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند.

۵- ابنیه حمل و نقل‌های قاب سبک فولادی در کشورهای صنعتی، از ابنیه حمل و نقل‌های قاب سبک چوبی گران‌تر تمام می‌شوند. بر طبق تحقیقات اداره توسعه مسکن شهری کشور ایالات متحده آمریکا، مصالح ابنیه‌های قاب سبک فولادی ۱۴/۵ درصد گران‌تر از مصالح ابنیه‌های چوبی است.

۶- هزینه تمام شده ابنیه‌های فولادی، در کشورهای صنعتی، شامل مزد کارگر و قیمت مصالح در مجموع ۴۲/۴ درصد بیشتر از ابنیه‌های 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 در کشورهای صنعتی است.

۹- سازه ابنیه‌های قاب سبک فولادی بار حریق ندارند و در نتیجه خطر انتشار آتش در هنگام آتش‌سوزی آنها از ابنیه‌های چوبی کمتر است ولی ورق‌های فولاد سرد نورد 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، در شرایط موجود، نیاز به چوب وارداتی است که برای حفاظت از منابع طبیعی از عوارض گمرکی معاف شده است، ولی بیشتر فولاد سرد نورد مورد نیاز در داخل کشور تولید می‌شود.

۱۲- هر دو سیستم برای تنوع در معماری فضا قابلیت بالایی دارند ولی سیستم قاب سبک چوبی قابلیت شکل‌پذیری و اجرای دهانه‌های متنوع بیشتری نسبت به سیستم قاب سبک

مسکن و زلزله خیز بودن کشور، این سیستم‌های ساختمانی که دارای سرعت بالای ساخت و مقاومت بسیار خوبی در برابر زمین‌لرزه می‌باشند، در صورت اجرای درست، می‌توانند برای صنعت ابنیه کشور بسیار مفید واقع شوند. متأسفانه بسیاری از دست اندرکاران ساخت و ساز با این سیستم‌های ساختمانی، بدون آشنایی کامل و تجربه کافی، اقدام به ساخت و ساز با این سیستم‌های ساختمانی کرده و کاربری و آینده آن را در کشور به خطر انداخته‌اند. باید در نظر داشت که هر ساختمانی که در آن چوب یا فولاد سردنورد به کار برده شده باشد در شمار این سیستم‌های ساختمانی نیست. پیروی از آیین‌نامه‌های معتبر ابنیه حمل و نقل‌های قاب سبک، اجرای صحیح و انجام محاسبات فیزیک ابنیه حمل و نقل، علاوه بر محاسبات ثقلی و لرزه‌ای، مقاوم سازی در برابر آتش و انتشار آن، عایق‌کاری حرارتی، رطوبتی، صوتی و هوابندی از الزامات این سیستم‌های ساختمانی است که بدون آنها (بر خلاف سیستم‌های ساختمانی سنتی) کاربری این ابنیه حمل و نقل‌ها به شدت زیر سؤال رفته و در آینده بسیار نزدیک خسارات جبران ناپذیری به همراه خواهد داشت.

#### ۶- مراجع

- معصومی، ع. محمدکاری، ب. و طباطبایی‌فر، م.، (۱۳۸۷)، "سیستم تیلت‌آپ"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

- اقبالی، ح. احمدوند، م. و رضایی، (۱۳۹۸)، "ارایه مدل ارزیابی روش‌های صنعتی‌سازی ساختمان‌های سبک مسکونی - اداری"، ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

- هلاکویی، ص.، (۱۳۹۷)، "بررسی مقایسه‌ای مصالح ساخت دیوار با استفاده از فناوری‌های نوین D LSF, ICF 3 و بلوک لیکا به منظور سبک سازی دیوار ساختمان‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری AHP"، کنفرانس ملی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن ۲۱، کرج، دبیرخانه دایمی کنفرانس.

- نیکفاله مغانلو، س. هاشمی معصوم آباد، ر. و نیکفاله مغانلو، ص.، (۱۳۹۶)، "سبک سازی ساختمان برای نیل به مسکن پایدار"، نخستین کنفرانس ملی به سوی

بسیار بالاتر است. نسبت فراوری 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 به وجود نخواهد آمد مشروط بر اینکه از ریزش مستقیم برف و باران بر روی سازه و جمع شدن آب زیاد در داخل ابنیه حمل و نقل 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. به دلیل کاهش زیاد وزن، اتلاف اندک مصالح نسبت به شیوه‌های سنتی و دستی، کاربرد مصالح و اجزای ساختمانی مدوله شده، اجرای نازک کاری پیش ساخته 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 ابنیه حمل و نقل 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 ابنیه حمل و نقل‌های 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 به طور کلی از مصالح قابل بازگشت به چرخه تولید ساخته شده‌اند. ساخت و ساز و بخصوص انبوه سازی ابنیه‌های 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. در ایران به دلیل نیاز مبرم به

- Ghiasi, V., Mahmudi, A., (2020), "Investigation of seismic design methods of Retaining walls, Road.
- Ghiasi, V., Mousapoor, E., madandoust, R., (2020), "The effect of compressive membrane force and surrounding slabs on the behavior of flat slab structures in progressive collapse", *Journal of Structural and Construction Engineering*.  
doi: 10.22065/jsce.2020.240430.2197.
- Ghiasi, V., Najafi, F., (2020), "Investigation of liquefiable soils improvement methods", *Road*.
- Ghiasi, V., Omar, H., Yusoff, Z. B. M., Huat, B. K., Muniandy, R., & Ghosni, N., (2010), "Design Criteria of subway tunnels", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences (AJBAS)*, ISSN: 1991, 8178, pp.5894-5907.
- Ghiasi, V., Pourkeramat, P., Mohebi, B., (2021), "Modification of base shear of moment steel frame to ensure the level of life safety in post-earthquake fire", *Sharif Journal of Civil Engineering*.  
doi: 10.24200/j30.2020.56242.2814.
- Ghiasi, V., Valipour, M. R., Mohammadirad, A. R., & Baharipour, S., (2013), "Methods of Retrofitting the Foundation of Unreinforced Masonry Buildings", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, pp.5747-5758.
- Ghiasi, V., VALIRASTI, S., (2021), "A review of stress distribution in circular tunnels", *Road*.  
doi: 10.22034/road.2021.211545.1879.
- Kazemian, S., Prasad, A., Ghiasi, V., & Huat, B. B. K., (2011), "Effect of Cement on Compressibility and Microstructure of Tropical Peat", *Advanced Materials Research*, pp.33-37.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.261-263.33>.
- Mafian, S., Huat, B. B. K., & Ghiasi, V., (2009), "Evaluation on root theories and root strength properties in slope stability", *European Journal of Scientific Research*, 30(4), pp.594-607.
- Safaei, M., Omar, H., Huat, B. K., Yousof, Z. B., & Ghiasi, V., (2011), "Deterministic rainfall induced landslide approaches, advantage and limitation", *Electronic journal of geotechnical engineering*, 16, pp.1619-1650.
- شهرسازی و معماری دانش بنیان، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- پیراسته، ع. و شریفی، س.، (۱۳۹۶)، "امکان سنجی سبک سازی اسکلت و تراس‌های ساختمانی با جایگزینی ورق‌های st52 مصرفی به جای st37 و کاهش انرژی و فلز مصرفی"، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز، موسسه معماری و شهرسازی سفیران راه مهرازی.
- خلیفه، ا. ناصری، ن. صیاحی، ف. و حسینی، ب.، (۱۳۹۵)، "استفاده از فناوری‌ها و مصالح نوین سازگار با محیط زیست در جهت سبک سازی ساختمان"، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت)، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
- باباعلی، ح. امیدی نسب، ف. و دالوند، ع.، (۱۳۹۵)، "بهبود سبک سازی ساختمان‌های فولادی با تغییر سیستم سازه‌ای و استفاده از مصالح سبک"، کنفرانس ملی دانش و فناوری علوم مهندسی ایران، تهران، موسسه آموزش عالی فرزادگان.
- گنج‌ای، س.، (۱۳۸۹)، "بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در پروژه‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم خانه‌های، وزارت راه و مسکن و شهرسازی.
- Ghiasi, V., & Moradi, M., (2018), "Assessment the effect of pile intervals on settlement and bending moment raft analysis of piled raft foundations", *Geomechanics and Engineering*, 16(2), pp.187-194.
- Ghiasi, V., fathi, R., Shirkhani Cheshmeh Shafie, M., (2020), "Evaluation on Effect of Modulus of Elasticity, Shear Modulus, Damping Ratio and Shear Wave Velocity on Soil Dynamic".
- Ghiasi, V., Ghasemi, S.A.R. & Yousefi, M., (2021), "Landslide susceptibility mapping through continuous fuzzification and geometric average multi-criteria decision-making approaches", *Nat Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04606-y>.
- Ghiasi, V., Koushki, M., (2019), "Numerical investigation of ground surface settlement due to circular tunneling influenced by variations of geometric characteristics of tunnel and mechanical properties of saturated soil and its prediction in the artificial neural network, *Journal of Modeling in Engineering*, doi: 10.22075/jme.2019.18022.1735.

# **Introducing New Methods of Lightening Buildings in Transportation Infrastructure**

*Vahed Ghiasi, Assistant Professor, Department of Engineering, Malayer University,  
Malayer, Iran.*

*Roya Gholami, M.Sc., Grad., Department of Engineering, Malayer University,  
Malayer, Iran.*

*E-mail: v.ghiasi@malayeru.ac.ir*

Received: October 2021- Accepted: May 2022

## **ABSTRACT**

One of the problems in the construction industry is the heavy weight of the transportation infrastructure due to the use of traditional materials, which raises the dead load of the building, which in addition increases the cost of the building and increases its resistance to In front of the earthquake, In this study, it was introduced new methods of transportation infrastructure construction industry which make lightening of mass of the building. These technologies, nowadays considered one of the new technologies in the construction industry, are aimed at optimizing the implementation methods, reducing the weight of the building, and saving the cost, time, and energy of the damage caused by natural disasters such as earthquakes. These methods have been studied under the heading of implementing techniques in different ways under tilt-up, stud wood, and stud metal titles. The necessary explanations are given in each section. Finally, A review of the disadvantages and benefits of each method is described.

**Keywords:** Dead Load of Construction, New Methods of transportation infrastructure Industry, Optimization of Implementation Method