

مطالعه‌ی تطبیقی جداره‌های خارجی (نما) در ساختمان‌های مسکونی تهران با روش تحلیل سلسله‌مراتبی

مهندس محمدحسین شیرازیان*، دکتر سید باقر حسینی**، مهندس سعید نوروزیان ملکی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

چکیده

امروزه در شهر تهران رشد فزاینده ساختمان‌های مسکونی در راستای تأمین مسکن جدید برای شهروندان و از طرفی نوسازی بافت فرسوده، مشاهده می‌شود. پوسته خارجی ساختمان به عنوان یکی از مؤثرترین عناصر زیبایی‌شناختی در نمای شهری و همچنین به عنوان مفصل درون و بیرون فضای مسکونی، نقش مهمی بر سیمای شهر عهده دارد. در این تحقیق سعی بر آن است تا سیستمی مناسب برای جداره خارجی ساختمان مسکونی در تهران معرفی شود. در این راستا، ابتدا مطالعاتی بر مبنای تحقیقات موجود صورت گرفته و چهار نمونه از سیستم نماهای شناخته شده و موجود در کشور، معرفی شده است. سپس با تکنیک دلفی نظریات متخصصان بر مبنای چهار عامل ویژه تعیین‌کننده‌ی کیفیت، جمع‌آوری و مورد ارزیابی واقع شده و در نهایت با روش تحلیل سلسله‌مراتبی، چهار سیستم نما با هم مقایسه گرفته است. تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی، سیستم نمای مناسب برای ساختمان‌های مسکونی تهران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

پوسته خارجی، ساختمان‌های مسکونی، ائتلاف انرژی، روش‌های اجرا

* کارشناسی ارشد معماری گرایش مسکن، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران. (مسئول مکاتبات)

Email: mhshirazian210@yahoo.com

** دانشیار گرایش مسکن، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

*** دکترای معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی. Email: s.norouzian@srttu.edu

دو مورد دیگر دو جداره می‌باشند، معرفی می‌شود. این چهار سیستم نما عبارتند از: تخته سیمانی روی عایق حرارتی، عایق قالب ماندگار (ICF)، دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی و صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما. سیستم‌های موجود برای نمای ساختمان دارای ویژگی‌های مختلفی هستند که هر کدام می‌توانند در ارتقای کیفیت سیستم نما تأثیر ویژه‌ای داشته باشند. برخی از مهم‌ترین این ویژگی‌ها روی چهار نمونه نمای حاضر، مورد سنجش قرار گرفته‌اند. گر چه قابلیت‌های واقعی سیستم‌های نمای ساختمانی شامل ویژگی‌های بسیار متعددی می‌شود، اما با توجه به محدودیت‌های این تحقیق، چهار ویژگی انتخاب گردیده و با توجه به میزان اهمیت آنها در نمونه‌های مورد بررسی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. چهار معیار انتخابی عبارتند از: مقاومت در برابر زلزله، هزینه و سرعت اجرا، عایق حرارتی، زیبایی‌شناسی معماری. در این تحقیق، اطلاعات لازم از طریق مطالعات میدانی، مصاحبه، استفاده از مدارک و اطلاعات جامع موجود در سازمان تحقیقات مسکن و شهرسازی، گردآوری شده است. روش تحقیق در پژوهش حاضر، کیفی است و برای مقایسه تطبیقی نمونه‌های موردی از سنجش کمی نیز استفاده می‌گردد. پس از تعیین معیارهای مورد مطالعه روی نما، تحلیل کمی از طریق امتیازدهی به این معیارها، صورت می‌گیرد. در مرحله تحلیل، ابتدا با توجه به اهداف تحقیق، دسته‌بندی اطلاعات اسنادی به صورت موضوعی انجام و یافته‌ها طبقه‌بندی گردیده تا در انجام تحلیل استفاده گردند. بررسی تطبیقی این چهار نمونه نما با توجه به دیدگاه‌های متخصصان در مورد میزان اهمیت هر یک از چهار معیار انتخابی، انجام می‌شود. در این زمینه، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۲ برای مقایسه تطبیقی چهار سیستم نما استفاده گردیده که نمودار درختی آن در شکل ۱ ارائه شده است.

۱-۱ تعاریف و مفاهیم موبود پیرامون جداره‌های مورد

بررسی

سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما

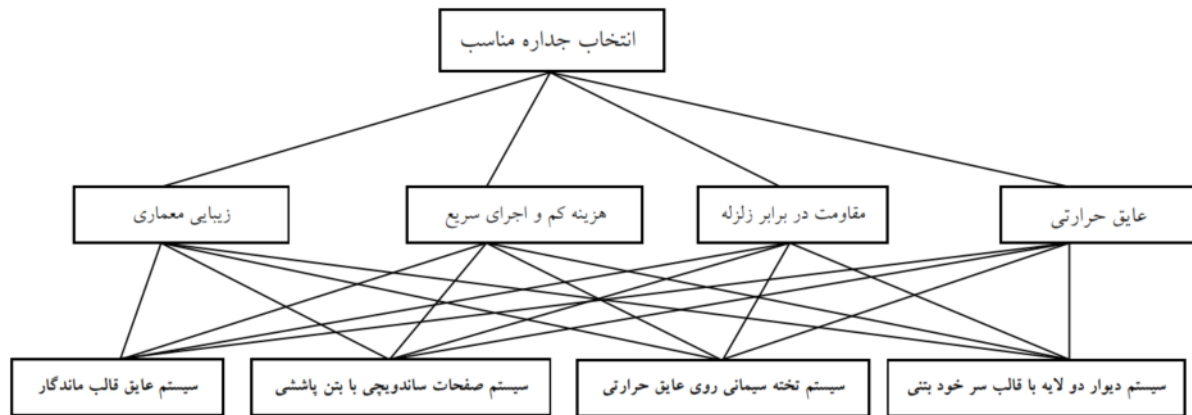
در سیستم پانل ساندویچی^۳، صفحات متشکل از پانل عایق حرارتی (پلی استایرن منبسط یا پلی‌یورتان)، همراه با دو شبکه فلزی در طرفین عایق، که به وسیله‌ی مفتول‌های فولادی مورب به یکدیگر متصل شده‌اند، یک شبکه فلزی سه بعدی را تشکیل می‌دهد. این قطعات پس از انتقال به محل احداث ساختمان، به یکدیگر متصل و از دو طرف بتن پاشیده^۴ می‌شود. میلگرد (مفتول) مورد استفاده با قطرهای مختلف، ۲/۵ تا ۵ میلی‌متر، و شبکه‌ها با چشمه‌های متفاوت، ۵۰×۵۰ تا ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر، توسط تولیدکنندگان مختلف ساخته می‌شود (محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷). فاصله دو شبکه موازی نیز بسته به

صنعت ساختمان مأمن بسیار گسترده‌ای برای ابداعات و نوآوری‌های فناوری است (قهرمانی، ۱۳۸۷). امروزه در شهری مانند تهران با وجود اینکه در صنعت ساختمان پیشرفت‌های قابل توجهی صورت گرفته و طرح‌هایی به بهره‌برداری می‌رسد که سال‌های گذشته امکان طراحی و ساخت آنها برای ما نبود، ولی متأسفانه اصولی بنیادی و اولیه در ساخت بناهای مسکونی و غیره لحاظ نمی‌شود (حسینعلی‌پور و حقیقی، ۱۳۸۹). از جمله این اصول می‌توان به صنعتی‌سازی، مقاوم‌سازی، عایق‌بندی و اصل سبک‌سازی سازه‌ها، اشاره کرد. از میان موارد ذکر شده بحث عایق‌بندی حرارتی و جلوگیری از اتلاف انرژی به‌طور ویژه در ساختمان‌های مسکونی، موضوع بحث تحقیق می‌باشد.

مهم‌ترین بخش ساختمان در بحث اتلاف انرژی، پوسته خارجی آن است که خود شامل سه بخش پوسته صلب، باز شو و همچنین بخش متصل‌کننده‌ی این دو عنصر می‌باشد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳). پوسته‌ی صلب به عنوان عمده‌ترین عامل تشکیل‌دهنده‌ی پوسته خارجی در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. در ساختمان‌های مسکونی تهران در حال حاضر، نقاط ضعف متعددی در اجرای پوسته و نمای خارجی مشاهده می‌شود. علل این نابسامانی را در دو عامل عمده می‌توان جستجو کرد. اول اینکه بسیاری از طرح‌های عمرانی توسط متخصصین واجد شرایط اجرا نمی‌شود و در بعضی موارد مجری بدون علم و تحصیلات دانشگاهی، تنها بر مبنای تجربیات شخصی به اجرای طرح می‌پردازد. دوم آنکه در مواردی که مجری، متخصص در این رشته هم می‌باشد، عدم اطلاع کافی از علوم روز و نبود مرجع مناسب برای ارتقاء این علوم در مورد افرادی که سال‌ها پیش تحصیلات خود را به پایان رسانیده‌اند، موجب می‌شود تا همچنان روش‌های قدیمی و پر مشکل گذشته به کار گرفته شود (فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰). در رابطه با مورد اول نیاز به بررسی و تحقیق گسترده در ساختار شغلی کشور و مسائل مرتبط لازم است که در این مقاله اشاره‌ای به آن نخواهد شد ولی در مورد مؤلفه دوم می‌توان با ایجاد مراجعی کاربردی برای مجریان، اطلاع‌رسانی کافی برای بهبود روش‌های ساخت امروزی را فراهم کرد.

روش تحقیق

هدف این تحقیق، انتخاب سیستمی مناسب برای جداره خارجی ساختمان‌های مسکونی در شهر تهران می‌باشد. در این راستا، ابتدا مطالعاتی بر مبنای تحقیقات موجود صورت گرفته و چهار نمونه از نماهای شناخته شده و موجود در کشور که دو مورد آنها تک جداره و



شکل ۱. نمودار درختی انتخاب جداره‌ی مناسب با توجه به چهار معیار مورد مطالعه

را کاهش می‌دهد، و باعث می‌گردد نیاز به قالب‌بندی کاملاً منتفی گردد یا به حداقل کاهش یابد. در برخی مدارک و مستندات موجود در خصوص ساختمان‌های با سیستم دیوارهای بتنی دولایه قالب سرخود، جزئیات اتصال مناسب بین عناصر باربر سازه‌ای برای مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم و زیاد ارائه شده است. ولی به نظر می‌رسد بیشترین کاربرد این‌گونه ساختمان‌ها در مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم بوده باشد (محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷).

سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)

سیستم قالب‌های عایق ماندگار اساساً شامل قالب‌های دائمی است که برای بتن‌ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن‌ریزی، جزئی از دیوار محسوب می‌شوند. در کشورهای صنعتی، این محصول برای ساخت واحدهای کوچک مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده قالب‌ها در این سیستم از جنس پلی‌استایرن^۵ منبسط شده است، ولی به ندرت از پلاستیک‌ها یا مصالح دیگر نیز استفاده می‌شود. از جمله می‌توان از کامپوزیت پلی‌استایرن - سیمان یا فوم پلی‌یورتان^۶ به عنوان انواع دیگر قالب نام برد، که به نسبت پلی‌استایرن، میزان استفاده از آنها بسیار اندک است.

در این سیستم، قطعات به عنوان قالب گم (ماندگار) برای بتن سازه‌ای اعم از دیوار باربر و غیرباربر، زیر سطح زمین یا روی سطح زمین به کار می‌روند. این قطعات برای ساخت تیر، نعل‌درگاه، دیوار خارجی و داخلی، شالوده و دیوار حایل بتنی مسلح یا غیر مسلح نیز به کار می‌رود. این قطعات پس از بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن، در محل باقی می‌مانند و می‌بایست با مواد نازک کاری داخلی و خارجی محافظت شوند. انواع مختلفی از این قالب‌ها وجود دارد که از نظر ابعاد بلوک،

نوع مصرف، میزان بتن وارد شده و ضخامت عایق حرارتی از ۷۰ تا نزدیک ۱۵۰ میلی‌متر تغییر می‌کند (Pokharel & Mahendran, 2003; Frostig, 2003). کشورهای ارائه‌کننده این سیستم در ابتدا اتریش و ایتالیا بودند. لازم به توضیح است این سیستم، با توجه به ضوابط حاکم در کشورهای نام‌برده، کاربرد چندانی ندارد و محدود به ساخت و ساز معدود ویلایی در خارج از شهرها می‌شود. در سال‌های بعد، ساخت و فروش آن در کشورهایی مانند چین، افغانستان، عراق، ترکیه، برزیل، آرژانتین، کلمبیا و ایران گسترش یافت.

سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی

سیستم سازه‌ای دیوارهای قالب سرخود بتنی ابتدا در کشورهای اسکانديناوی، به‌ویژه سوئد مطرح گردیده است. در این سیستم، قسمتی از دیوارهای بتن مسلح به‌صورت پیش ساخته در کارخانه تولید می‌شود. این دیوارها از دولایه بتن مسلح با فاصله نسبت به یکدیگر ساخته می‌شود. فاصله بین دو لایه، علاوه بر تأثیری که بر کاهش وزن دیوار در زمان حمل و جابجایی (در مقایسه با دیوارهای پیش ساخته یکپارچه توپر) دارد، نصب و برپایی آن را نیز تسهیل می‌کند. در این سیستم، بتن‌ریزی درجا می‌تواند به یکپارچگی اعضای سازه‌ای کمک کند و عملکرد لرزه‌ای ساختمان را بهبود بخشد. بتن پیش ساخته و بتن درجا، توسط میلگردهایی که میان دوجداره تعبیه شده‌اند و همچنین توسط قفل و بست بین لایه‌ها، به یکدیگر متصل می‌شوند. معمولاً قطعات پیش ساخته قالب سرخود، بدون میلگرد انتظار طراحی و تولید می‌شوند. اتصال دو لایه بتنی طرفین قطعه، توسط خرپاهای فلزی صورت می‌گیرد تا عملکردی مرکب داشته باشند. این اقدام، در عین دارا بودن مزایای اجرایی، خطر آسیب دیدن در زمان حمل

شکل هندسی سوراخ‌ها (یا فضای داخلی برای بتن‌ریزی) و نوع اجزای تشکیل‌دهنده با هم متفاوت هستند (محمدکاری و خلیلی جهرمی، ۱۳۸۷).

سیستم تخته‌سیمانی روی عایق حرارتی

در چند دهه اخیر، تولیدکنندگان مصالح ساختمانی تلاش کرده‌اند تا محصولاتی در صنعت ساختمان عرضه کنند که ضمن کمک به اهداف فوق، مشخصات فنی مناسبی از جهات بیان شده داشته باشد. از جمله این محصولات می‌توان «نمای تخته سیمانی روی عایق حرارتی» را به عنوان یک زیر سیستم نام برد که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. به‌طور کلی در ساختمان‌سازی، کاربرد فراوانی برای قطعات تخته‌ای شکل وجود دارد. این قطعات با مصالح مختلف از جمله گچ یا چوب ساخته می‌شوند، و بسته به محل و نوع استفاده، انتظارات مختلفی در هر حالت وجود دارد. برای کاربردهای خارجی، و در مواردی که حد بالای مشخصات مکانیکی مد نظر است، تخته‌های سیمانی به عنوان

یکی از مناسب‌ترین راه‌حل‌ها مطرح می‌شود. با توجه به مشخصات برتر این محصول در مناطق مرطوب و با بارندگی زیاد، فناوری تولید آن، خصوصاً در کشورهای اروپایی، در طول چند دهه گذشته، با تحولات چشمگیری همراه بوده است (محمدکاری، ۱۳۸۷). این محصول، علاوه بر داشتن مشخصات فنی مناسب، امکانات جدیدی را نیز در طراحی نمای ساختمان ایجاد می‌کند (Georgiades & Vakakis, 2009).

عوامل مؤثر در کیفیت جدارها

در این قسمت با توجه به جمع‌بندی اطلاعات گردآوری شده، خصوصیات سیستم‌های مورد مطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها، بررسی شدند (جدول ۱).

یافته‌ها

در این قسمت، خصوصیات سیستم‌های نما به تفکیک معیارها، بررسی شدند و در نهایت در قالب جدول خلاصه گردید (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات سیستم‌های مورد مطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها (مأخذ: محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و خلیلی جهرمی، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷)

معیار	زیر معیار	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
مقاومت در برابر زلزله	پیوستگی بین اجزای نما	بتن‌ریزی درجا منجر به یکپارچگی می‌شود.	-	بتن پاششی باعث پیوستگی بین اجزاست.	بتن‌ریزی درجا منجر به یکپارچگی می‌شود.
	اتصال به اجزای باربر	اتصال مناسب ندارد.	دارای اتصال مناسب (بیچ و مهره)	دارای اتصال مناسب (جوش)	-
	وزن	-	سبکی تخته سیمانی عامل مؤثر است.	وزن نسبتاً بالایی دارد.	-
هزینه و سرعت اجرا	سرعت و سهولت نصب	دارای سرعت بالای نصب	-	سرعت نصب بسیار بالاست.	سرعت بالای قالب‌بندی
	میزان نیاز به تجهیزات	نیاز به امکانات سنگین	عدم نیاز به امکانات سنگین نصب	عدم نیاز به امکانات سنگین نصب	عدم نیاز به امکانات گران قیمت
	سهولت تأمین مصالح	-	در بعضی موارد گرانی مصالح	سهولت تأمین مصالح در داخل کشور	-
	امکان موازی کردن اقدامات اجرایی	وجود دارد.	وجود دارد.	وجود دارد.	وجود دارد.
	محدودیت‌های فصلی و دمایی در اجرا	دارد.	وجود محدودیت‌های اندک فصلی	به‌طورجدی محدودیت دارد.	به دلیل وجود عایق، محدودیت ندارد.
	میزان اتلاف و ضایعات مصالح	کم است.	-	در مورد بتن پاشش می‌تواند بالا باشد.	-

ادامه جدول ۱. خصوصیات سیستم‌های مورد مطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها
(مأخذ: محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و خلیلی جهرمی، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷)

معیار	زیر معیار	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
زیبایی‌شناسی معماری	سهولت شکل‌دهی به اجزای نما	قابلیت شکل‌دهی ندارد	قابلیت شکل‌دهی دارد	دارای قابلیت کم شکل‌دهی	قابلیت شکل‌دهی بالا
	امکان ایجاد تغییرات در ساخت و بهره‌برداری	(مناسب برای طراحی مدولار).	(مناسب برای طراحی مدولار).	ندارد.	دارد.
	خطر جذب آب و یخ‌زدگی	ندارد.	دارد.	دارد.	ندارد.
	عملکرد در فضاهای خورنده یا مناطق با نوسان دمایی بالا	-	ندارد.	ضعیف	به دلیل وجود پلی‌استایرن، مناسب است.
عایق حرارتی	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طور جداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.	-	-	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طور جداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طور جداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.

مقاومت در برابر زلزله

عوامل متعددی در تعیین میزان مقاومت جداره نقش دارند. از جمله آنها به سه مورد ذیل که مهم‌ترین آنها است، اشاره می‌شود:

وزن مخصوص: با توجه به رابطه محاسبه میزان نیروی وارده در زلزله، $V=CW$ ، $C=ABI/R$ (V، زلزله، W برابر وزن می‌باشد). می‌توان نتیجه گرفت که وزن دیوار با میزان نیرویی که زلزله ایجاد می‌کند، رابطه مستقیم دارد (معین‌فر، ۱۳۸۵).

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، دیوار قالب سر خود بتنی سبک‌ترین و سیستم صفحات ساندویچی سنگین‌ترین جداره می‌باشند. **اتصالات:** چگونگی اتصال نما به ساختمان در هنگام زلزله می‌تواند سرنوشت‌ساز باشد. سیستم‌های تک جداره از این عامل مستثنی هستند ولی سیستم‌های تخته سیمانی و صفحات ساندویچی نیازمند اتصال مناسب جداره دوم به دیوار بنایی می‌باشند. در سیستم صفحات

ساندویچی، جداره دوم توسط جوش به سازه اصلی متصل شده (در اسکلت فلزی) و شبکه فلزی پانل‌های ساندویچی نیز به قیدهای افقی و عمودی متصل به سازه، جوش داده می‌شوند. به دلیل عدم محدودیت در ایجاد اتصال و همچنین مقاومت قابل قبول جوش (در صورت اجرای مناسب)، مقاومت اتصال نما به سازه در برابر نیروهای ناشی از زلزله، مناسب خواهد بود. این امر در سیستم تخته سیمانی نیز صادق خواهد بود با این تفاوت که به جای جوش، از پیچ و مهره برای اتصال استفاده می‌شود (به دلیل اینکه قیدهای افقی و عمودی، از جنس آلومینیوم می‌باشد).

میزان تردی و شکنندگی مصالح: استفاده از مصالحی چون سنگ و شیشه در هر سیستم نمایی، می‌تواند در هنگام زلزله خطرناک باشد (فرخزاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰). به کارگیری فراوان نماهای شیشه‌ای تغییر مکان ساختمان را افزایش می‌دهد (موسوی، ۱۳۸۹).

جدول ۲. وزن مخصوص سیستم‌های نما

نوع نما	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
وزن در مترمربع (kg)	۱۱۵	۱۹۸	۲۵۴	۲۴۵

عایق حرارتی

دستمزد: بسته به اینکه هر سیستم چه مقدار نیاز به نیروی متخصص دارد یا مدت زمان اجرای هر سیستم چقدر می‌باشد، دستمزد نیروی اجرا می‌تواند متنوع باشد. بعضی سیستم‌ها در عین سرعت بالای اجرا، نیاز به نیروی متخصص برای کار می‌باشند که اگر چه عامل اول می‌تواند در کاهش هزینه مؤثر باشد ولی آموزش نیروی کار می‌تواند هزینه‌بر باشد.

سیستم عایق قالب ماندگار (ICF) طبق نتایج به دست آمده از جدول ۳، بهترین عایق حرارتی بین سیستم‌های مورد مطالعه می‌باشد. این در حالی است که طبق نظر متخصصان به ترتیب سیستم صفحات ساندویچی و سیستم ICF از لحاظ عدم انتقال حرارت عملکرد بهتری دارند (جدول ۳).

هزینه و سرعت اجرا

نیاز به تجهیزات: بعضی از سیستم‌ها توسط ابزارهای عادی موجود در کارگاه قابل اجرا می‌باشند در مقابل سیستم‌هایی مانند قالب سر خود بتنی نیاز به تجهیزات خاص برای جابجایی یا نصب قطعات دارند. محدودیت‌های اجرا: بعضی سیستم‌ها امکان اجرای موازی مراحل مختلف ساخت هم‌زمان با اجرای نما را دارا می‌باشند؛ در مقابل در بعضی سیستم‌ها سلسله‌مراتب زمانی در اجرای بخش‌های مختلف باید رعایت شود که این می‌تواند عاملی در جهت کاهش سرعت ساخت قلمداد شود. همچنین محدودیت‌های اقلیمی و دمایی می‌تواند در تعیین مدت زمان اجرا بسیار مؤثر باشد. برای مثال در سیستم صفحات ساندویچی، برای اجرا محدوده دمایی معینی وجود دارد که می‌تواند

مؤلفه‌های متعددی در تعیین میزان هزینه سیستم نما نقش دارند که به سه مورد عمده آن اشاره می‌شود: قیمت مواد و مصالح: در جدول زیر قیمت تقریبی حال حاضر مصالح سیستم‌های مختلف با استخراج قیمت اجزای تشکیل دهنده هریک، مشخص شده است. شایان ذکر است قیمت‌های روز مصالح از مجریان و شرکت‌های پیمانکاری مختلف، جمع‌آوری شده است (جدول ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود برای سیستم‌های دو جداره، هزینه‌ی بیشتری برای تأمین مصالح باید صرف شود.

جدول ۳. محاسبه‌ی ضریب تبادل حرارت سیستم‌های نما^۲

سیستم نما	مصالح تشکیل دهنده	ضخامت e(m)	ضریب هدایت حرارت λ (W/m °C)	ضریب تبادل حرارت $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$ $k = \frac{1}{0.2 + \sum \frac{e}{\lambda}}$
سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	بتن سبک	0.15	0.31	0.35+0.22=0.57
	لایه هوا	0.05	0.024	
	نما	0.015	0.35	
	نازک‌کاری داخلی	0.02	0.35	
سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	دیوار سفالی	0.21	1.15	0.4+ 0.22 +0.22 =0.84
	نازک‌کاری	0.02	0.35	
	ایزولاسیون پشم سنگ	0.08	0.041	
	تخته سیمانی	0.02	0.17	
سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	عایق پلی استایرن (EPS)	0.1	0.038	0.18 +0.22 +0.22=0.62
	بتن پاششی	0.045	0.33	
	لایه هوا	0.05	0.024	
	دیوار سفالی	0.21	1.15	
	نازک‌کاری لایه نما	0.02 0.015	0.35 0.35	
سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)	دو لایه پلی استایرن	2× 0.06	0.038	0.24 +0.22=0.46
	نازک‌کاری	0.02	0.35	
	بتن	0.2	0.33	
	لایه نما	0.015	0.35	

جدول ۴. محاسبه‌ی هزینه‌ی ساخت هر یک از سیستم‌های نما

نوع نما	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
قیمت هر مترمربع (تومان)	۳۷۰۰۰	۵۱۰۰۰	۴۸۰۰۰	۳۵۰۰۰

امکان کار در بعضی فصول را از بین ببرد. برای استفاده از امتیازات حاصل از نظرسنجی که در مورد ویژگی‌های مورد مطالعه روی هر نما از پرسش‌نامه به‌دست آمده و محاسبه امتیازات کل برای هر یک از سیستم‌های نما و مقایسه میان آنها، از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی بهره‌گیری شد. برای تعیین ضریب اهمیت معیارهای مشخص‌کننده‌ی کیفیت نما، از جدول ۱۶ کمیته استفاده می‌شود (جدول ۵). با توجه به اینکه چهار معیار برای هر نما مشخص شده، مقایسه‌های دوه‌دو در جدول ۴×۴ به صورت زیر آورده می‌شود (عزیزی و ملک‌محمدنژاد، ۱۳۸۶؛ قدسی‌پور، ۱۳۸۵؛ ماکوئی، ۱۳۸۶). پس از تشکیل جدول A، محاسبه ضریب اهمیت معیارها انجام پذیرفته است. ابتدا میانگین هندسی ردیف‌های جدول A محاسبه و سپس آنها را استاندارد (نرمالیزه) می‌نمایند (رابطه‌ی ۱). پس از انجام این مرحله سازگاری منطقی قضاوت‌ها بررسی شده‌اند (زبردست، ۱۳۸۴). ضریب اهمیت نهایی برای هر عامل مورد بررسی به قرار زیر است (جدول ۶):

جدول ۵. جدول مقایسه زوجی معیارها

زیبایی شناسی معماری	هزینه و سرعت اجرا	مقاومت در برابر زلزله	عایق حرارتی
0.50	1	0.25	1
1	9	1	4
0.33	1	0.11	1
1	3	1	2
2.833	14	2.361	8

جدول ۶. ضریب اهمیت معیارهای مورد مطالعه

ویژگی	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
ضریب اهمیت	0.115	0.490	0.086	0.309

$$x_{1j} = \frac{a_{1j}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} \rightarrow x_{11} = \frac{1}{1 + 4 + 1 + 2} = 0.125$$

رابطه‌ی ۱: روند استاندارد (نرمالیزه) کردن ستون‌های جدول

$$\text{Score A} = \sum w_i \times q_i, i = 1, 2, 3, \dots$$

رابطه‌ی ۲. محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها

سیستم دیگر به صورت تک‌جداره اجرا می‌شوند. این نکته باید مدنظر قرار گیرد که سیستم‌های دو‌جداره در مقابل انتقال انرژی مقاوم‌ترند ولی هزینه آنها می‌تواند از دیوارهای تک‌جداره بیشتر باشد. سیستم‌های ICF و دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی، دیوارهایی هستند که لایه عایق‌بندی در آنها موجود است، پس رقابت برای این سیستم‌ها برای کسب بیشترین مقبولیت با توجه به همه عوامل منطقی خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیستم‌های دو‌جداره، از دید متخصصان در مجموع امتیاز بیشتری کسب کرده‌اند. علت آن می‌تواند ضریب اهمیت ۰/۱۱۵/ عایق حرارتی (که در دیوارهای دو‌جداره بهتر است) در مقابل ضریب اهمیت ۰/۰۸۶/ هزینه و سرعت اجرا (که در دیوارهای تک‌جداره بهتر است)، باشد. این در حالی است که بر خلاف دیدگاه متخصصان که سیستم‌های دو‌جداره را عایق‌های بهتری در مقابل انتقال حرارت می‌دانند، سیستم‌های تک‌جداره ضریب هدایت کوچکتتری در محاسبات به‌دست آوردند؛ یعنی عایق‌های بهتری هستند. می‌توان گفت نکته‌ای که متخصصان بدان توجه نداشته‌اند، پل حرارتی است که شبکه نگه‌دارنده دیوارهای دو‌جداره ایجاد می‌کند. با توجه به همه عوامل، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما به عنوان بهترین سیستم از دید متخصصان، انتخاب

دریافت می‌کند و این روند برای سه سیستم دیگر نیز تکرار می‌شود. پرسش‌نامه‌ها توسط ۲۵ متخصص که در زمینه ساخت و ساز مشغول به کار هستند، تکمیل گردیده است (جدول ۷). در جدولی دیگر نیز چهار مؤلفه مورد مطالعه روی سیستم‌های نما، دارای ضریب اهمیت می‌شوند. به این ترتیب که توسط متخصصان نسبت اهمیت هر عامل به عامل دیگر با اعدادی از بین ۱ تا ۹ مشخص می‌شود (جدول ۸). در نهایت میانگین نمرات به‌دست آمده برای هر سیستم توسط هر متخصص و سایر امتیازات به‌دست آمده از بقیه پرسش‌نامه‌ها، محاسبه گردید که نتیجه نهایی در جدول ۹ ذکر شده است. امتیازات نهایی نشان می‌دهد از دیدگاه متخصصان، عامل مقاومت در برابر زلزله، مهم‌ترین معیار و عامل هزینه و سرعت اجرا، کم‌اهمیت‌ترین معیار برای سنجش میزان کیفیت سیستم نما می‌باشد و با در نظر گرفتن کلیه معیارهای مطرح شده در پرسش‌نامه، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما، مناسب‌ترین سیستم برای ساختمان‌های مسکونی تهران می‌باشد. این در حالی است که سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی، از نقطه نظر متخصصان، نامناسب‌ترین سیستم پیشنهادی می‌باشد. از سیستم‌های موردبررسی، دو مورد به صورت دو‌جداره و دو

جدول ۷. امتیاز حاصل از نظرسنجی متخصصان در مورد ویژگی‌های مورد مطالعه روی هر نما

نوع نما	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	۸	۶	۸	۹
سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	۸	۷	۷	۶
سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	۷	۸	۸	۵
سیستم عایق قالب ماندگار ICF	۹	۸	۷	۷

جدول ۸. نمونه‌ای از ضرایب اهمیت مؤلفه‌های مورد مطالعه روی سیستم‌های نما

	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
عایق حرارتی	۱	۱/۴	۱	۱/۲
مقاومت در برابر زلزله	۴	۱	۹	۱
هزینه و سرعت اجرا	۱	۱/۹	۱	۱/۳
زیبایی‌شناسی معماری	۲	۱	۳	۱

جدول ۹. وزن نهایی هر یک از سیستم‌های نما

معیار	ضریب اهمیت	امتیازات حاصل از نظرات متخصصان			
		سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)
عایق حرارتی	0.115	6.4	6.4	8.3	7.1
ضریب اهمیت عایق حرارتی × میانگین نمرات کسب شده		0.736	0.736	0.955	0.816
مقاومت در برابر زلزله	0.490	5.3	7.6	7.4	5.4
ضریب اهمیت مقاومت در برابر زلزله × میانگین نمرات کسب شده		2.597	3.724	3.626	2.646
هزینه و سرعت اجرا	0.086	7.1	6.4	5.8	7.1
ضریب اهمیت هزینه و سرعت اجرا × میانگین نمرات کسب شده		0.610	0.550	0.499	0.610
زیبایی‌شناسی معماری	0.309	4.3	6.3	6.4	5.1
ضریب اهمیت زیبایی‌شناسی معماری × میانگین نمرات کسب شده		1.329	1.947	1.978	1.576
امتیاز نهایی سیستم‌های نما		5.272	6.957	7.058	5.648

نمای مناسب برای شهر زلزله‌خیزی مانند تهران، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما می‌باشد. شایان ذکر است که سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی از دید متخصصان که بر خلاف ICF، امتیاز بیشتری کسب کرده بود، با اختلاف کمی در جایگاه دوم مناسب‌ترین سیستم نما قرار گرفت.

گردید و سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی با اختلاف کمی در جایگاه دوم قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

انتخاب سیستم نمای مناسب برای هر شهر و موقعیت جغرافیایی می‌تواند منحصر به فرد باشد. به علاوه مؤلفه‌های متنوعی میزان کیفیت یک سیستم نما را مشخص می‌کند. یعنی ممکن است که در چهار عامل مورد مطالعه روی نما، یک سیستم در دو عامل قابل قبول و در دو عامل دیگر غیرقابل قبول باشد. به همین جهت در مقایسه‌ی تطبیقی سیستم‌های نما که با روش AHP صورت پذیرفت، به عوامل مؤثر در کیفیت نما، ضریب اهمیت اختصاص داده شد.

از آنجایی که شهر مورد مطالعه تهران می‌باشد و مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده طبق نظر متخصصان در این شهر، مقاومت در برابر زلزله می‌باشد، لذا در این تحقیق سیستمی پیشنهاد می‌گردد که از این نظر در اولویت بوده و به‌طور نسبی رتبه قابل قبولی در سایر عوامل کسب کند. از میان سیستم‌های نما، سیستم تخته سیمانی به‌طور قابل ملاحظه‌ای از سیستم صفحات ساندویچی سبک‌تر است و همچنین از میان دو سیستم دیگر، سیستم قالب سر خود بتنی به مراتب از سیستم ICF سبک‌تر است. پس می‌توان به این نکته اشاره کرد که

پی‌نوشت‌ها

1. Insulating Concrete Forms
2. Analytical Hierarchy Process
3. Sandwich Panel
4. Shotcrete
5. Polystyrene
6. Polyurethane

۷. در جدول بالا، ضریب هدایت حرارت لایه نما برای همه سیستم‌ها، ۰/۳۵ برابر ضریب هدایت گچ در نظر گرفته شده است.
- برای همه سیستم‌ها لایه نازک‌کاری در نظر گرفته شده است.
- از جزئیاتی نظیر انتقال حرارت توسط اتصالات پیچ و مهره صرف‌نظر شده است.
- عملکرد سیستم‌ها در شهری همانند تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالی که دمای داخل ۲۵+ و دمای خارج ۵- درجه سانتی‌گراد فرض شده که در این شرایط دمایی ضریب هدایت هوا ۰/۰۲۴ در نظر گرفته شده است.

سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی (تری دی). تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۸۶).

۱۲. محمدکاری، بهروز؛ و خلیلی چهرمی، کیان. (۱۳۸۷). بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم قالب‌های عایق ماندگار. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۳).

۱۳. محمدکاری، بهروز؛ معصومی، علی؛ و طباطبایی فر، حمیدرضا. (۱۳۸۷). بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم دیوار دولا به یا قالب سرخود بتنی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۷).

۱۴. مظفری ترشیزی، حسین. (۱۳۸۲). روش‌های عایق کردن حرارتی مسکن، هنرهای زیبا، ۱۴، ۷۱-۸۲.

۱۵. معین فر، علی اکبر. (۱۳۸۵). آیین‌نامه ۲۸۰۰ طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله. چاپ چهارم. تهران: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

۱۶. موسوی، حمیدرضا. (۱۳۸۹). کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله در عرصه‌ی طراحی معماری با رویکرد طراحی لرزه‌ای مبتنی بر کارایی. هویت شهر، ۷، ۵۳-۶۰.

17. Bhushan, N., & Kanwal, R. (2004). Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process. London: Springer-Verlag.

18. Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytical hierarchy process—an exposition. *Operations Research*, 49 (4), 469–487, doi:10.1287/opre.49.4.469.11231.

19. Frostig, Y. (2003). Classical and high-order computational models in the analysis of modern sandwich panels. *Composites Part B. Engineering*, 34 (1), 83–100.

20. Georgiades, F., & Vakakis, A. F. (2009). Passive targeted energy transfers and strong modal interactions in the dynamics of a thin plate with strongly nonlinear attachments. *International Journal of Solids and Structures*, 46 (11-12), 2330-2353.

21. Pokharel, N., & Mahendran, M. (2003). Experimental investigation and design of sandwich panels subject to local buckling effects. *Journal of Constructional Steel Research*, 59 (12), 1533–1552.

22. Saaty, T. L. (2008). Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)*, 102 (2), 251–318.

23. Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2008). Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

– مقدار ۰/۲۲ بر حاصل نهایی همه سیستم‌ها افزوده شده است. این مقدار میزان افزایش انتقال حرارت به واسطه پیل حرارتی است که اسکلت ساختمان ایجاد می‌کند.

– در نمای تخته سیمانی و نمای صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما، همچنین پیل حرارتی که به واسطه شبکه فلزی نگهدارنده پوسته نما، ایجاد می‌شود، لحاظ گردیده است.

– کلیه مقادیر از نشریه شماره ۲۱۱ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن اخذ شده است.

– نماهای مورد بررسی، شامل سیستم‌های به کار گرفته شده در ساختمان‌های مسکونی است.

– قطر جداره نما برای هر سیستم به مقدار متغیر و معمول آن در نظر گرفته می‌شود (ریاضی، ۱۳۷۴؛ ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳؛ مظفری ترشیزی، ۱۳۸۲).

فهرست مراجع

۱. ابراهیم‌پور، عبدالسلام؛ معرفت، مهدی؛ و محمدکاری، بهروز. (۱۳۸۳). بهینه‌سازی عایق کاری در ساختمان‌های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه. فنی و مهندسی مدرس، ۱۷، ۳۳-۵۲.

۲. حسینی‌پور، مجتبی؛ و حقیقی، حسین. (۱۳۸۹). راهبرد صنعتی‌سازی ساختمان در چشم‌انداز بیست ساله کشور (مطالعه موردی امکان‌سنجی استفاده از LSF در تهران). راهبرد، ۵۷، ۳۲۵-۳۳۹.

۳. ریاضی، جمشید. (۱۳۷۴). اصول محاسبه انتقال حرارت در اجزای ساختمان. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۲۱۱).

۴. زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۴). مکان‌یابی مراکز امداد رسانی با استفاده از GIS و روش ارزیابی چند محوری AHP. هنرهای زیبا، ۲۱، ۵-۱۷.

۵. عزیزی، محمد مهدی؛ و ملک محمدنژاد، صارم. (۱۳۸۶). بررسی تطبیقی دو الگوی مجتمع‌های مسکونی (متعارف و بلندمرتبه). هنرهای زیبا، ۳۲، ۲۷-۳۸.

۶. فرج‌زاده‌اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ و امینی، جمال. (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران). مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای، ۹، ۱۹-۳۶.

۷. قدسی‌پور، حسن. (۱۳۸۵). مبحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی چند هدفه. (چاپ دوم). تهران: امیر کبیر.

۸. قهرمانی، آرش. (۱۳۸۷). تغییرات در صنعت ساختمان ایران. هویت شهر، ۳، ۸۵-۹۴.

۹. ماکوئی، احمد. (۱۳۸۶). تکنیک‌های تصمیم‌گیری، تهران: مهر و ماه نو.

۱۰. محمدکاری، بهروز. (۱۳۸۷). بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، زیر سیستم نمای تخته سیمانی روی عایق حرارتی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۱).

۱۱. محمدکاری، بهروز؛ و احمدی، رسول. (۱۳۸۷). بررسی و ارزیابی چند