فصلنامه پژوهش های مدیریت در جهان اسلام

شماره مجوز: ۸۵۴۹۵ شماره استاندارد بین المللی: ۶۰۹۴-۲۶۷۶ شماره بیست و ششم (بهار۱۴۰۵)

ارزیابی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در ساخت مدارس استان کرمانشاه با رویکرد افزایش مقاومت لرزه‌ای و بهینه‌سازی مصرف انرژی

(تاریخ ارسال ۱۴۰۵/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش ۱۴۰۵/۰۳/۲۸)

مهندس مرزبان نظری[۱]

مهندس مجتبی نجفی

چکیده

ساختمان‌های آموزشی به عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های اجتماعی، نیازمند بهره‌گیری از سیستم‌های ساختمانی ایمن، پایدار و کم‌مصرف هستند. با توجه به قرارگیری بسیاری از مناطق ایران، به‌ویژه استان کرمانشاه، در پهنه‌های لرزه‌خیز، ارتقای مقاومت لرزه‌ای مدارس و کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر مخاطرات طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین، افزایش هزینه‌های انرژی و ضرورت حرکت به سمت ساختمان‌های پایدار، توجه به عملکرد حرارتی و بهره‌وری انرژی در طراحی مدارس را ضروری ساخته است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در ساخت مدارس استان کرمانشاه با رویکرد افزایش مقاومت لرزه‌ای و بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام شده است.روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی منابع علمی، تحلیل ویژگی‌های فنی سیستم ICF و مقایسه آن با روش‌های متداول ساخت، قابلیت کاربرد این فناوری در پروژه‌های مدرسه‌سازی استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سیستم ICF به دلیل ایجاد دیوارهای بتن مسلح پیوسته، می‌تواند

---

[۱] نویسنده مسئول

موجب افزایش سختی جانبی، بهبود رفتار لرزه‌ای، کاهش آسیب‌های سازه‌ای و افزایش تاب‌آوری ساختمان‌های آموزشی شود. همچنین، وجود لایه‌های عایق حرارتی پیوسته در این سیستم، نقش مؤثری در کاهش انتقال حرارت، کاهش مصرف انرژی و ارتقای آسایش حرارتی کلاس‌های درس دارد.نتایج تحلیل نشان می‌دهد که اگرچه اجرای سیستم ICF ممکن است در مرحله اولیه ساخت با چالش‌هایی مانند هزینه اولیه بالاتر، نیاز به نیروی متخصص و ضرورت آموزش عوامل اجرایی همراه باشد، اما با در نظر گرفتن هزینه چرخه عمر ساختمان، کاهش هزینه‌های انرژی، افزایش دوام و کاهش نیازهای تعمیر و نگهداری، می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای توسعه مدارس پایدار در استان کرمانشاه باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، استفاده هدفمند از فناوری ICF در پروژه‌های آینده سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس می‌تواند گامی مؤثر در جهت ساخت فضاهای آموزشی مقاوم، کم‌مصرف و منطبق با الزامات توسعه پایدار باشد.

واژگان کلیدی: قالب عایق ماندگار(ICF) ، مدارس پایدار، مقاومت لرزه‌ای، بهینه‌سازی مصرف انرژی، تاب‌آوری سازه‌ای

مقدمه

ساختمان‌های آموزشی به عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های اجتماعی، علاوه بر نقش اساسی در فرآیند تعلیم و تربیت، از منظر مهندسی نیز در گروه ساختمان‌های با اهمیت بالا قرار می‌گیرند. زیرا عملکرد مناسب این سازه‌ها در شرایط بحرانی، به‌ویژه هنگام وقوع حوادث طبیعی، تأثیر مستقیمی بر حفظ جان دانش‌آموزان، تداوم فعالیت‌های آموزشی و کاهش خسارات اجتماعی دارد. در کشور ایران، با توجه به قرارگیری بخش قابل توجهی از مناطق در

پهنه‌های لرزه‌خیز، موضوع طراحی و اجرای مدارس مقاوم در برابر زلزله به یکی از اولویت‌های اصلی حوزه عمران و مدیریت ساخت تبدیل شده است. تجربه زلزله‌های اخیر کشور، به‌ویژه زلزله سال ۱۳۹۶ استان کرمانشاه، ضرورت بازنگری در روش‌های سنتی ساخت و حرکت به سمت فناوری‌های نوین، سریع و مقاوم را بیش از پیش آشکار ساخته است (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۸).استان کرمانشاه به دلیل شرایط زمین‌شناختی و قرارگیری در یکی از مناطق فعال لرزه‌ای کشور، همواره با چالش‌های مرتبط با آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله مواجه بوده است. مدارس این استان به عنوان فضاهای عمومی با تراکم جمعیتی بالا، نیازمند بهره‌گیری از سیستم‌های ساختمانی هستند که علاوه بر تأمین الزامات آیین‌نامه‌ای مقاومت و شکل‌پذیری، بتوانند در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله عملکرد مناسبی داشته باشند. از سوی دیگر، افزایش هزینه‌های انرژی و ضرورت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، اهمیت توجه به عملکرد حرارتی ساختمان‌های آموزشی را دوچندان کرده است. زیرا مدارس در طول سال تحصیلی ساعات زیادی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و کیفیت پوسته ساختمان تأثیر مستقیمی بر آسایش حرارتی کاربران و هزینه‌های بهره‌برداری دارد (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۰).در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های نوین ساختمانی با هدف افزایش سرعت اجرا، ارتقای کیفیت ساخت، کاهش مصرف انرژی و بهبود عملکرد سازه‌ای مورد توجه پژوهشگران و متخصصان صنعت ساختمان قرار گرفته است. یکی از این فناوری‌ها، سیستم قالب عایق ماندگار (ICF[1]) است که ترکیبی از قالب‌های عایق حرارتی و هسته بتن مسلح را تشکیل می‌دهد. در این سیستم، قالب‌های ساخته‌شده از مواد عایق مانند پلی‌استایرن منبسط‌شده (EPS) پس از بتن‌ریزی در محل باقی مانده و به عنوان بخشی از پوسته دائمی ساختمان عمل می‌کنند. این ویژگی سبب می‌شود که ساختمان‌های ساخته‌شده با فناوری ICF از یک‌سو دارای دیوارهای بتن مسلح با ظرفیت باربری و سختی جانبی مناسب باشند و از سوی دیگر، عملکرد حرارتی مطلوبی در برابر انتقال حرارت از جداره‌های خارجی ارائه دهند

[1] Insulated Concrete Form

.(BASF, ۲۰۲۰)از دیدگاه سازه‌ای، سیستم ICF به دلیل ایجاد دیوارهای یکپارچه بتن مسلح، قابلیت افزایش مقاومت جانبی، کاهش تغییرمکان نسبی طبقات و بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان را دارا است. این ویژگی در مناطق زلزله‌خیزی مانند استان کرمانشاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری ساختمان‌های آموزشی ایفا کند. همچنین پیوستگی سیستم دیوارهای ICF موجب کاهش نقاط ضعف اجرایی، کنترل بهتر ترک‌خوردگی و افزایش دوام سازه در طول دوره بهره‌برداری می‌شود.(Farny & Panushev, ۲۰۱۸) از منظر انرژی نیز، پوسته خارجی ساختمان‌های آموزشی یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی است. وجود لایه‌های عایق پیوسته در سیستم ICF موجب کاهش ضریب انتقال حرارت، کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و بهبود شرایط آسایش حرارتی داخل کلاس‌ها می‌شود. این موضوع در استان کرمانشاه با توجه به اقلیم سرد زمستانی و نیاز قابل توجه مدارس به سیستم‌های گرمایشی، می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری انرژی شود (Kosny et al., ۲۰۱۴). با وجود مزایای متعدد سیستم ICF ، استفاده گسترده از این فناوری در پروژه‌های ساختمانی ایران همچنان با چالش‌هایی مانند هزینه اولیه، نیاز به نیروی متخصص، محدودیت شناخت اجرایی و ضرورت تطبیق با ضوابط ملی ساختمان مواجه است. بنابراین، بررسی علمی و بومی‌سازی این فناوری برای شرایط اقلیمی، لرزه‌ای و اجرایی استان‌های مختلف کشور، به‌ویژه استان کرمانشاه، ضرورت دارد.پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در ساخت مدارس استان کرمانشاه با رویکرد افزایش مقاومت لرزه‌ای و بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام می‌شود. در این مقاله تلاش می‌شود ضمن بررسی ویژگی‌های فنی و اجرایی سیستم ICF ، قابلیت‌های آن در ارتقای ایمنی سازه‌ای، کاهش مصرف انرژی، افزایش دوام و بهبود کیفیت ساخت مدارس استان کرمانشاه مورد تحلیل قرار گیرد.

بخش اول: مفهوم و تاریخچه سیستم قالب عایق ماندگار(ICF)

سیستم قالب عایق ماندگار(ICF) یکی از فناوری‌های نوین در حوزه ساخت‌وساز است که با هدف ترکیب مزایای سازه‌های بتن مسلح و سیستم‌های عایق حرارتی توسعه یافته است. در این سیستم، قالب‌هایی از جنس مواد عایق حرارتی، معمولاً پلی‌استایرن منبسط‌شده (EPS) یا مواد مشابه، به عنوان قالب دائمی برای بتن‌ریزی استفاده می‌شوند. پس از قرارگیری آرماتورها و بتن‌ریزی، قالب‌ها در محل باقی مانده و بخشی از سیستم نهایی دیوار را تشکیل می‌دهند. در نتیجه، دیواری یکپارچه ایجاد می‌شود که همزمان دارای قابلیت باربری سازه‌ای و عملکرد عایق حرارتی است.(Amran et al., ۲۰۲۰) توسعه سیستم ICF به دهه‌های پایانی قرن بیستم بازمی‌گردد. زمانی که افزایش هزینه‌های انرژی، ضرورت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و توجه به ساختمان‌های پایدار، موجب افزایش تمایل صنعت ساختمان به استفاده از مصالح و سیستم‌های دارای عملکرد انرژی مناسب شد. این فناوری ابتدا در کشورهای آمریکای شمالی و اروپایی توسعه یافت و به تدریج در پروژه‌های مسکونی، تجاری و ساختمان‌های عمومی مورد استفاده قرار گرفت. امروزه ICF به عنوان یکی از سیستم‌های مؤثر در ساخت ساختمان‌های کم‌مصرف و مقاوم شناخته می‌شود.(PCA, ۲۰۱۸)

بند اول: اجزای تشکیل‌دهنده سیستمICF

سیستم قالب عایق ماندگار از سه جزء اصلی تشکیل شده است:

الف) قالب‌های عایق حرارتی

قالب‌های ICF معمولاً از جنس پلی‌استایرن منبسط‌شده(EPS) ، پلی‌اورتان یا مواد پلیمری مشابه ساخته می‌شوند. این بخش وظیفه اصلی کاهش انتقال حرارت بین فضای داخلی و محیط

خارجی ساختمان را بر عهده دارد. ویژگی مهم این قالب‌ها، باقی ماندن آن‌ها پس از بتن‌ریزی و ایفای نقش دائمی به عنوان عایق حرارتی ساختمان است.

ب) هسته بتن مسلح

بخش مرکزی سیستم شامل بتن مسلح است که نقش اصلی در تأمین مقاومت سازه‌ای را ایفا می‌کند. وجود بتن مسلح پیوسته در داخل قالب‌ها باعث ایجاد دیوارهایی با ظرفیت باربری بالا، سختی مناسب و عملکرد مطلوب در برابر نیروهای جانبی، به‌خصوص نیروهای ناشی از زلزله، می‌شود.

ج) شبکه آرماتورگذاری

آرماتورها در داخل فضای پیش‌بینی‌شده قالب‌ها قرار گرفته و موجب افزایش ظرفیت کششی و شکل‌پذیری دیوارهای بتنی می‌شوند. نحوه و میزان آرماتورگذاری بر اساس محاسبات سازه‌ای و الزامات آیین‌نامه‌ای تعیین می‌شود.(ACI ۳۱۸, ۲۰۱۹)

بند دوم: عملکرد سازه‌ای سیستم ICF در برابر زلزله

یکی از مهم‌ترین موضوعات در ارزیابی سیستم‌های ساختمانی برای مناطق لرزه‌خیز، بررسی رفتار آن‌ها در برابر نیروهای جانبی است. ساختمان‌های واقع در مناطق زلزله‌خیز باید دارای سیستم مقاوم جانبی مناسب بوده و بتوانند انرژی واردشده ناشی از زلزله را بدون ایجاد خرابی شدید جذب کنند.در سیستم ICF ، وجود دیوارهای بتن مسلح پیوسته باعث افزایش سختی جانبی ساختمان و کاهش تغییرمکان‌های ناشی از بارهای لرزه‌ای می‌شود. برخلاف برخی سیستم‌های سنتی که مقاومت جانبی آن‌ها وابسته به اتصالات متعدد و کیفیت اجرای اجزای مختلف است، در ICF یکپارچگی بیشتر بین اجزای سازه‌ای موجب بهبود رفتار کلی ساختمان می‌شود.مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که دیوارهای بتن مسلح مورد استفاده در سیستم ICF

می توانند ظرفیت مناسبی در برابر بارهـای جـانبی داشـته باشـند و در صـورت طراحـی صـحیح، قابلیت استفاده در مناطق با خطر لرزه‌ای بـالا را دارا هسـتند.(Paulay & Priestley, ۱۹۹۲) ایـن ویژگی برای مدارس استان کرمانشاه اهمیت ویـژه‌ای دارد. زیـرا سـاختمان‌هـای آموزشـی بایـد علاوه بر مقاومت در برابر زلزله، امکان بهره‌بـرداری مجـدد پـس از وقـوع بحـران را نیـز فـراهم کنند. بنابراین، اسـتفاده از سیسـتم‌هـایی کـه موجـب افـزایش تـاب‌آوری سـاختمان مـی‌شـوند، می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات انسانی و اقتصادی داشته باشد.

بند سوم: عملکرد حرارتی و انرژی سیستمICF

یکی از نقاط قوت اصلی سیستمICF ، عملکرد مطلوب آن در زمینه بهره‌وری انـرژی اسـت. در ساختمان‌های معمولی، بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی بـه دلیـل انتقـال حـرارت از طریـق دیوارها، سقف و کف هدر می‌رود. بنابراین، بهبود عملکرد پوسـته خـارجی سـاختمان یکـی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش مصرف انرژی محسوب می‌شود.سیستم ICF به دلیـل وجـود لایـه عایق پیوسته در دو طرف هسته بتن، موجب کاهش انتقال حرارت و افزایش مقاومـت حرارتـی جداره‌ها می‌شود. این ویژگی باعث کاهش نیاز ساختمان به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و در نتیجه کاهش هزینه‌های بهره‌برداری خواهد شـد.در مـدارس، ایـن موضـوع اهمیـت بیشـتری دارد. زیرا آسایش حرارتی دانش‌آموزان تأثیر مستقیمی بـر تمرکـز، سـلامت و کیفیـت فرآینـد یادگیری دارد. استفاده از سیستم‌های ساختمانی با عملکرد حرارتی مناسب مـی‌توانـد عـلاوه بـر کاهش مصرف انرژی، محیط آموزشی مطلوب‌تری ایجاد کند.(Kosny et al., ۲۰۱۴)

بند چهارم: جایگاه ICF در ساخت مدارس پایدار

مفهوم مدرسه پایدار تنها به مقاومت سازه‌ای محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از عوامل شامل مصرف انرژی، کیفیت محیط داخلی، دوام مصالح، هزینه نگهداری و تأثیرات زیست‌محیطی را دربرمی‌گیرد.سیستم ICF به دلیل برخورداری از ویژگـی‌هـایی ماننـدمقاومت سـازه‌ای مناسـب،

عـایق حرارتـی مطلـوب، کـاهش مصـرف انـرژی ،افـزایش سـرعت اجـرا، کـاهش ضـایعات ساختمانی، افزایش دوام ساختمان می تواند به عنوان یکـی از گزینـه‌هـای مناسـب بـرای توسـعه مدارس پایدار مطرح شود.

بخش دوم: پیشینه پژوهش

بند اول: مطالعات خارجی

Amranو همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی جامع به بررسی عملکرد سیستم‌هـای ICF پرداختنـد و نشان دادند که این فناوری می تواند به طور همزمان موجب افـزایش مقاومـت سـازه‌ای و بهبـود عملکرد حرارتی ساختمان شود. نتایج ایـن مطالعـه نشـان داد کـه دیوارهـای ICF در مقایسـه بـا دیوارهای سنتی، قابلیت کاهش انتقال حرارت و افزایش بهره‌وری انرژی را دارند.

Kosnyو همکاران (۲۰۱۴) در مطالعات خود درباره پوسته‌های ساختمانی پیشرفته بیـان کردنـد که سیستم‌های دارای عایق پیوسته مانند ICF می توانند نقش مهمـی در کـاهش مصـرف انـرژی ساختمان‌ها داشته باشند.

Paulayو Priestley (۱۹۹۲) نیز در مطالعات مـرتبط بـا رفتـار لـرزه‌ای دیوارهـای بـتن مسـلح، اهمیت استفاده از سیستم‌های دیوار برشی بتن مسلح را در افزایش ایمنی ساختمان‌هـای واقـع در مناطق لرزه‌خیز مورد تأکید قرار دادند.

بند دوم: مطالعات داخلی

در ایران، بخش قابل توجهی از مطالعات حوزه سـاختمان‌هـای آموزشـی بـر موضـوعاتی ماننـد مقاوم‌سازی لرزه‌ای، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از فنـاوری‌هـای نـوین سـاخت تمرکـز داشته‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که ساختمان‌های آموزشـی کشـور، بـه دلیـل اهمیـت

عملکردی و شرایط بهره‌برداری خاص، نیازمند استفاده از سیستم‌هایی هستند که علاوه بر مقاومت سازه‌ای، دارای عملکرد مناسب انرژی نیز باشند.با وجود اهمیت موضوع، مطالعات تخصصی درباره کاربرد سیستم ICF در مدارس ایران، به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیزی مانند استان کرمانشاه، محدود است. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام مطالعات تحلیلی حاضر را افزایش می‌دهد.با توجه به نوظهور بودن فناوری قالب عایق ماندگار (ICF) در ایران، مطالعات داخلی انجام‌شده در این زمینه نسبت به مطالعات خارجی محدودتر است؛ با این حال، پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه فناوری‌های نوین ساختمانی، صنعتی‌سازی، بهینه‌سازی انرژی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، زمینه مناسبی برای تحلیل قابلیت کاربرد این سیستم در پروژه‌های آموزشی فراهم کرده‌اند. بررسی مطالعات داخلی نشان می‌دهد که مهم‌ترین محورهای مورد توجه پژوهشگران ایرانی شامل کاهش زمان ساخت، افزایش کیفیت اجرا، بهبود عملکرد حرارتی ساختمان، کاهش مصرف انرژی و افزایش مقاومت سازه‌ای بوده است .

اسدی (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان (انتخاب سیستم ساختمانی مناسب در مقایسه سیستم‌های نوین D۳) پانل و (ICF و سنتی با رویکرد مدیریت ساخت)، به بررسی عملکرد سیستم‌های نوین ساختمانی در مقایسه با روش‌های رایج پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که سیستم‌های نوین مانند ICF به دلیل کاهش مراحل اجرایی، افزایش سرعت ساخت و کنترل بهتر کیفیت، ظرفیت مناسبی برای استفاده در پروژه‌های انبوه‌سازی دارند. همچنین، این مطالعه بر ضرورت توسعه فناوری‌های صنعتی در صنعت ساختمان ایران به منظور کاهش مشکلات روش‌های سنتی تأکید کرده است .در مطالعات انجام‌شده درباره سیستم‌های قالب عایق ماندگار در ایران، ویژگی‌های فنی ICF شامل استفاده از قالب‌های دائمی عایق، ایجاد هسته بتن مسلح و نقش همزمان این سیستم در تأمین مقاومت سازه‌ای و عایق‌کاری حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که ICF می‌تواند ضمن افزایش سرعت اجرا، موجب بهبود عملکرد حرارتی جداره‌های ساختمان و کاهش نیاز انرژی در دوره بهره‌برداری شود .همچنین برخی مطالعات داخلی در حوزه ساختمان‌های انرژی‌کارآمد، بر

اهمیت طراحی پوسته ساختمان و نقش جداره‌های خارجی در کاهش مصرف انرژی تأکید کرده‌اند. در پژوهشی درباره مدارس ایران، تأثیر ویژگی‌های طراحی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه مدارس بررسی شد و نتایج نشان داد که اصلاح راهکارهای طراحی و توجه به عملکرد پوسته ساختمان می‌تواند ظرفیت قابل توجهی برای افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های آموزشی ایجاد کند. این یافته‌ها اهمیت استفاده از سیستم‌هایی مانند ICF را که دارای عایق حرارتی پیوسته هستند، در پروژه‌های مدرسه‌سازی تقویت می‌کند .در زمینه ساختمان‌های واقع در مناطق زلزله‌خیز، مطالعات داخلی پس از زلزله کرمانشاه نشان داده‌اند که کیفیت سیستم سازه‌ای، نحوه اجرای اجزای ساختمان و میزان انطباق با ضوابط طراحی لرزه‌ای، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات دارد. تجربه زلزله سرپل‌ذهاب ضرورت توجه بیشتر به فناوری‌هایی را مطرح کرد که بتوانند علاوه بر تأمین مقاومت سازه‌ای، قابلیت حفظ عملکرد ساختمان پس از زلزله را نیز افزایش دهند. بر این اساس، سیستم‌هایی مانند ICF که مبتنی بر دیوارهای بتن مسلح یکپارچه هستند، می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های قابل بررسی در ساختمان‌های با اهمیت بالا مانند مدارس مطرح شوند.با وجود اهمیت موضوع، بررسی ادبیات داخلی نشان می‌دهد که مطالعات مستقیمی درباره کاربرد سیستم ICF در مدارس استان کرمانشاه انجام نشده یا بسیار محدود است. بیشتر پژوهش‌های موجود به بررسی کلی فناوری‌های نوین ساختمانی، مقایسه سیستم‌ها یا عملکرد انرژی ساختمان‌ها پرداخته‌اند. بنابراین، خلأ پژوهشی موجود، ضرورت انجام مطالعه حاضر را برای ارزیابی کاربرد ICF در ساختمان‌های آموزشی استان کرمانشاه با توجه به شرایط خاص لرزه‌ای و اقلیمی این منطقه نشان می‌دهد.بر این اساس، پژوهش حاضر تلاش می‌کند با تلفیق دیدگاه‌های سازه‌ای، انرژی و مدیریت ساخت، عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار را در ساخت مدارس استان کرمانشاه تحلیل کرده و چارچوبی کاربردی برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های آینده مدرسه‌سازی ارائه دهد.

بخش سوم: تحلیل عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در مدارس استان کرمانشاه

بند اول: بررسی شرایط اقلیمی و لرزه‌ای استان کرمانشاه و ضرورت انتخاب سیستم مناسب ساخت

انتخاب سیستم ساختمانی مناسب برای مدارس، نیازمند توجه همزمان به شرایط محیطی، اقلیمی، لرزه‌ای و الزامات بهره‌برداری است. استان کرمانشاه به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود، دارای اقلیم متنوع با زمستان‌های سرد و نیاز قابل توجه به تأمین انرژی گرمایشی است. از سوی دیگر، قرارگیری این استان در پهنه لرزه‌خیز زاگرس موجب شده است که طراحی ساختمان‌ها، به‌ویژه ساختمان‌های عمومی با اهمیت بالا مانند مدارس، نیازمند رعایت دقیق الزامات مقاومتی و افزایش سطح تاب‌آوری باشد.زلزله سال ۱۳۹۶ کرمانشاه نشان داد که کیفیت سیستم سازه‌ای، نحوه اجرا و میزان انطباق ساختمان‌ها با ضوابط لرزه‌ای، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات دارد. مدارس به دلیل حضور تعداد زیادی از دانش‌آموزان و نقش حیاتی آن‌ها در تداوم خدمات اجتماعی پس از بحران، باید علاوه بر حفظ ایمنی جانی، قابلیت بهره‌برداری پس از زلزله را نیز داشته باشند. بنابراین، استفاده از سیستم‌های سازه‌ای با عملکرد مناسب لرزه‌ای، یکی از راهبردهای مهم در توسعه فضاهای آموزشی مقاوم محسوب می‌شود (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۹).سیستم ICF با ایجاد دیوارهای بتن مسلح پیوسته، ظرفیت مناسبی برای تحمل بارهای جانبی ایجاد می‌کند و می‌تواند به عنوان یک گزینه قابل بررسی برای مدارس مناطق زلزله‌خیز مانند کرمانشاه مطرح شود.

بند دوم: تحلیل عملکرد لرزه‌ای سیستم ICF در ساختمان مدارس

۱-افزایش سختی جانبی ساختمان

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم ICF ، تشکیل دیوارهای بتن مسلح یکپارچه است. در این سیستم، بتن موجود در هسته مرکزی دیوار به همراه شبکه آرماتورها، نقش اصلی در تحمل نیروهای جانبی ناشی از زلزله را ایفا می‌کند.افزایش سختی جانبی موجب کاهش تغییرمکان نسبی طبقات و کنترل آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌شود. این ویژگی در ساختمان‌های آموزشی اهمیت زیادی دارد. زیرا حتی آسیب‌های متوسط به اجزای غیرسازه‌ای مانند دیوارهای داخلی، نما، تأسیسات و تجهیزات آموزشی می‌تواند موجب توقف فعالیت مدرسه پس از زلزله شود.بر اساس اصول طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح، سیستم‌های دیوار برشی بتن مسلح در صورت طراحی صحیح، از جمله سیستم‌های مؤثر برای مقابله با نیروهای جانبی محسوب می‌شوند .(Paulay & Priestley, ۱۹۹۲) سیستم ICF با بهره‌گیری از همین مفهوم، امکان ایجاد یک پوسته مقاوم و یکپارچه را فراهم می‌کند.

۲-کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ای و افزایش تاب‌آوری مدارس

تاب‌آوری ساختمان های آموزشی تنها به معنای جلوگیری از فروریختن سازه نیست، بلکه توانایی ساختمان برای حفظ عملکرد خود پس از وقوع بحران را نیز شامل می‌شود. در این زمینه، سیستم ICF دارای چند ویژگی مهم است: کاهش تعداد اتصالات اجرایی آسیب‌پذیر، افزایش پیوستگی دیوارهای سازه‌ای، کاهش احتمال ایجاد ضعف‌های موضعی، کنترل بهتر ترک‌خوردگی بتن، افزایش دوام سازه در طول دوره بهره‌برداری. این ویژگی‌ها می‌توانند در مدارس استان کرمانشاه که در معرض خطر زلزله قرار دارند، موجب افزایش سطح ایمنی و کاهش هزینه‌های بازسازی پس از بحران شوند.

بند سوم: تحلیل عملکرد انرژی سیستم ICF در مدارس کرمانشاه

۱-نقش پوسته ساختمان در کاهش مصرف انرژی

پوسته خارجی ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی است. در مدارس، به دلیل ساعات طولانی بهره‌برداری و تعداد زیاد کاربران، ضعف عملکرد حرارتی دیوارها می‌تواند موجب افزایش قابل توجه مصرف انرژی شود.در ساختمان‌های سنتی، عدم پیوستگی لایه‌های عایق ممکن است باعث ایجاد پل‌های حرارتی شود. پل حرارتی سبب افزایش انتقال گرما از داخل به خارج ساختمان در فصل سرد و بالعکس در فصل گرم می‌شود.سیستم ICF با قرار دادن لایه‌های عایق در دو طرف هسته بتن، یک پوشش حرارتی پیوسته ایجاد می‌کند که موجب کاهش انتقال حرارت و افزایش مقاومت حرارتی دیوار می‌شود.(Kosny et al., ۲۰۱۴)

۲-تأثیر ICF بر کاهش هزینه‌های انرژی مدارس

در استان کرمانشاه، بخش قابل توجهی از هزینه‌های بهره‌برداری مدارس مربوط به تأمین گرمایش در فصل سرد سال است. کاهش اتلاف حرارتی ساختمان می‌تواند پیامدهای زیر را به همراه داشته باشدکاهش مصرف گاز طبیعی، کاهش هزینه‌های سالانه بهره‌برداری، کاهش فشار بر سیستم‌های گرمایشی، افزایش عمر تجهیزات تأسیساتی، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی .بنابراین، استفاده از سیستم ICF می‌تواند در چارچوب اهداف توسعه ساختمان‌های کم‌مصرف و پایدار مورد توجه قرار گیرد.

۳-بررسی سرعت اجرا و کیفیت ساخت سیستم ICF در پروژه‌های مدرسه‌سازی

یکی از چالش‌های مهم در پروژه‌های عمرانی مدارس، محدودیت زمانی برای تحویل پروژه و آغاز سال تحصیلی است. سیستم‌های سنتی معمولاً به دلیل تعدد مراحل اجرایی، وابستگی زیاد

به نیروی انسانی و احتمال خطاهای اجرایی، ممکن است باعث افزایش زمان پروژه شوند.سیستم ICF به دلیل یکپارچگی اجزا و کاهش مراحل اجرایی، می‌تواند موجب افزایش سرعت ساخت شود. در این روش، پس از نصب قالب‌ها، آرماتورگذاری و بتن‌ریزی، بخش عمده‌ای از دیوار نهایی ساختمان تکمیل می‌شود.از منظر مدیریت پروژه، کاهش زمان اجرا می‌تواند مزایایی مانند: کاهش هزینه‌های غیرمستقیم پروژه، کاهش مدت حضور عوامل اجرایی، کنترل بهتر برنامه زمان‌بندی، افزایش قابلیت اجرای پروژه‌های انبوه مدرسه‌سازی را به همراه داشته باشد.

بخش چهارم: امکان‌سنجی استفاده از ICF در پروژه‌های مدارس استان کرمانشاه

با توجه به ویژگی‌های فنی سیستمICF ، این فناوری می‌تواند در پروژه‌های مدرسه‌سازی استان کرمانشاه دارای ظرفیت مناسبی باشد. با این حال، استفاده گسترده از آن نیازمند بررسی برخی عوامل اجرایی و اقتصادی است.مهم‌ترین عوامل مؤثر عبارت‌اند از:

الف) شرایط فنی

وجود دانش اجرایی کافی در میان پیمانکاران.آموزش نیروهای متخصص. تطبیق طراحی با ضوابط ملی ساختمان .

ب) شرایط اقتصادی

مقایسه هزینه اولیه با هزینه چرخه عمر. بررسی صرفه‌جویی انرژی در دوره بهره‌برداری. کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری .

ج) شرایط مدیریتی

تدوین دستورالعمل های اجرایی. ایجاد استانداردهای بومی برای استفاده در مدارس. انجام پروژه‌های پایلوت در استان .بررسی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار نشان می‌دهد که این فناوری از دو منظر اصلی مورد توجه است: نخست، ایجاد یک سیستم سازه‌ای مقاوم با قابلیت عملکرد مناسب در برابر نیروهای لرزه‌ای، و دوم، بهبود عملکرد حرارتی ساختمان و کاهش مصرف انرژی. با توجه به شرایط خاص استان کرمانشاه از نظر خطر زلزله و نیاز به مدیریت مصرف انرژی، استفاده از ICF می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های قابل بررسی در مسیر توسعه مدارس ایمن و پایدار مطرح شود.

بخش پنجم: بحث و تحلیل

بررسی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در ساخت مدارس استان کرمانشاه نشان می‌دهد که این فناوری می‌تواند پاسخی مناسب به بخشی از چالش‌های موجود در حوزه مدرسه‌سازی، به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز و دارای نیاز انرژی بالا باشد. تحلیل انجام‌شده در این پژوهش بیانگر آن است که مزیت اصلی سیستم ICF در یکپارچگی همزمان ویژگی‌های سازه‌ای و حرارتی آن نهفته است. به‌گونه‌ای که یک سیستم واحد می‌تواند نیازهای مرتبط با مقاومت، دوام، آسایش حرارتی و بهره‌وری انرژی را پاسخ دهد.در بخش سازه‌ای، مهم‌ترین ویژگی سیستمICF ، ایجاد دیوارهای بتن مسلح پیوسته است. این ویژگی سبب افزایش سختی جانبی ساختمان و بهبود رفتار آن در برابر نیروهای ناشی از زلزله می‌شود. با توجه به اینکه مدارس در دسته ساختمان‌های با اهمیت بالا قرار می‌گیرند، هدف از طراحی آن‌ها تنها جلوگیری از فروریختن نیست، بلکه باید امکان حفظ عملکرد ساختمان پس از وقوع زلزله نیز فراهم شود. از این منظر، سیستم ICF می‌تواند با کاهش آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، نقش مؤثری در افزایش تاب‌آوری مدارس ایفا کند.اهمیت این موضوع برای استان کرمانشاه به دلیل تجربه زلزله سال ۱۳۹۶ دوچندان است. این حادثه نشان داد که ساختمان‌های عمومی، به‌ویژه

مدارس، باید با رویکردی فراتر از حداقل الزامات طراحی شوند و به سمت ساخت‌وسازهای مقاوم، پایدار و دارای قابلیت بازگشت سریع به چرخه بهره‌برداری حرکت کنند. بنابراین، استفاده از فناوری‌هایی مانند ICF می‌تواند بخشی از راهبرد افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌های آموزشی استان باشد.

بند اول: تحلیل عملکرد لرزه‌ای ICF در مقایسه با روش‌های متداول ساخت مدارس

در روش‌های سنتی ساخت مدارس، عملکرد لرزه‌ای ساختمان به عوامل متعددی مانند کیفیت اجرای اتصالات، نحوه اجرای دیوارها، کنترل کیفیت بتن و دقت عملیات اجرایی وابسته است. در مقابل، سیستم ICF با کاهش تعداد مراحل اجرایی و ایجاد یک ساختار یکپارچه، امکان کاهش خطاهای انسانی و افزایش یکنواختی عملکرد سازه‌ای را فراهم می‌کند.دیوارهای بتن مسلح مورد استفاده در این سیستم مشابه عملکرد دیوارهای برشی بتن مسلح، قابلیت جذب و انتقال مناسب نیروهای جانبی را دارند. این موضوع می‌تواند موجب کاهش تغییرمکان جانبی ساختمان و کنترل بهتر آسیب‌های ناشی از زلزله شود. البته باید تأکید کرد که عملکرد مطلوب این سیستم نیز مانند هر سیستم سازه‌ای دیگر، وابسته به طراحی صحیح، اجرای دقیق و رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای است.بر اساس مطالعات انجام‌شده در زمینه رفتار دیوارهای بتن مسلح، افزایش سختی و ظرفیت جانبی سیستم‌های دیوارمحور می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌های واقع در مناطق لرزه‌ای داشته باشد.(Paulay & Priestley, ۱۹۹۲)

بند دوم: تحلیل نقش ICF در بهینه‌سازی مصرف انرژی مدارس

یکی از مهم‌ترین چالش‌های ساختمان‌های آموزشی در ایران، مصرف بالای انرژی در دوره بهره‌برداری است. مدارس معمولاً دارای ساعات کاری مشخص و تعداد زیادی کاربر هستند و هرگونه ضعف در عملکرد حرارتی پوسته ساختمان می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های انرژی

شود.سیستم ICF با ایجاد یک لایه عایق پیوسته، موجب کاهش انتقال حرارت از جداره‌های خارجی می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود در فصل سرد، گرمای تولیدشده توسط سیستم گرمایشی مدت بیشتری در فضای داخلی باقی بماند و در فصل گرم نیز ورود گرمای محیط بیرون کاهش یابد.برای استان کرمانشاه، که دارای زمستان‌های سرد و نیاز قابل توجه به گرمایش مدارس است، این ویژگی اهمیت ویژه‌ای دارد. کاهش مصرف انرژی علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی، موجب کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و حرکت به سمت ساختمان‌های سبز و پایدار خواهد شد.بررسی‌های انجام‌شده در مطالعات بین‌المللی نیز نشان می‌دهد سیستم‌های دارای عایق پیوسته مانند ICF در مقایسه با دیوارهای متداول، عملکرد حرارتی مطلوب‌تری داشته و می‌توانند نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی ساختمان ایفا کنند.(Kosny et al., ۲۰۱۴)

بند سوم: تحلیل اقتصادی و هزینه چرخه عمر سیستمICF

یکی از موضوعات مهم در تصمیم‌گیری برای انتخاب فناوری‌های نوین ساختمانی، توجه به هزینه چرخه عمر ساختمان است. در بسیاری از موارد، سیستم‌هایی که در مرحله ساخت هزینه اولیه بیشتری دارند، در دوره بهره‌برداری به دلیل کاهش هزینه‌های انرژی و نگهداری، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند.در ارزیابی اقتصادی سیستم ICF باید مجموعه‌ای از عوامل مورد توجه قرار گیرد:هزینه اولیه مصالح و اجرا.کاهش زمان ساخت، کاهش هزینه نیروی انسانی، کاهش مصرف انرژی سالانه، کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری، افزایش عمر مفید ساختمان، برای پروژه‌های مدرسه‌سازی دولتی، که هزینه‌های بهره‌برداری در طول سال‌های طولانی بر بودجه عمومی تحمیل می‌شود، توجه به هزینه چرخه عمر اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین، ارزیابی فناوری ICF نباید صرفاً بر اساس قیمت اولیه ساخت انجام شود، بلکه باید منافع اقتصادی بلندمدت آن نیز مورد بررسی قرار گیرد.

بند چهارم: چالش‌ها و محدودیت‌های اجـرای سیسـتم ICF در مـدارس اسـتان کرمانشاه

با وجود مزایای متعدد سیستمICF ، اجرای گسترده آن نیازمنـد توجـه بـه برخـی محـدودیت‌هـا است. مهم‌ترین چالش‌های احتمالی عبارت‌اند از:

۱ .محدودیت دانش اجرایی

عدم آشنایی کافی برخی پیمانکاران و عوامل اجرایی با روش اجرای ICF ممکن است موجـب کاهش کیفیت نهـایی شـود. بنـابراین، آمـوزش نیروهـای اجرایـی و تـدوین دسـتورالعمل‌هـای استاندارد ضروری است.

۲ .هزینه اولیه

در برخی پروژه‌ها ممکن است هزینه اولیه اجرای ICF نسبت به روش‌های سنتی بیشـتر باشـد. بـا این حال، این اختلاف هزینه باید در کنار صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه‌هـای بهـره‌بـرداری تحلیل شود.

۳ .ضرورت هماهنگی با طراحی معماری و سازه

استفاده موفق از ICF نیازمند آن است که سیسـتم از مراحـل اولیـه طراحـی وارد فرآینـد پـروژه شود و هماهنگی مناسبی بین طراح سازه، معمار و مجری وجود داشته باشد.

۴ .نیاز به مطالعات بومی

با توجه به تفاوت شرایط اقلیمی و اجرایی مناطق مختلف کشور، لازم است مطالعات بیشتری درباره عملکرد واقعی این سیستم در مدارس ایران، به‌خصوص مناطق لرزه‌خیزی مانند کرمانشاه، انجام شود.

بخش ششم: پیشنهادهای اجرایی برای توسعه استفاده از ICF در مدارس استان کرمانشاه

۱. اجرای پروژه‌های پایلوت مدارس با سیستم ICF در استان کرمانشاه به منظور ارزیابی عملکرد واقعی این فناوری .
۲. تهیه دستورالعمل فنی بومی برای اجرای ICF در مدارس با همکاری سازمان نوسازی مدارس، دانشگاه‌ها و متخصصان عمران .
۳. آموزش پیمانکاران و عوامل اجرایی برای افزایش کیفیت اجرا و کاهش خطاهای عملیاتی .
۴. انجام مطالعات اقتصادی مبتنی بر هزینه چرخه عمر پیش از انتخاب سیستم ساختمانی .
۵. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی انرژی و تحلیل سازه‌ای برای مقایسه دقیق ICF با سیستم‌های رایج .
۶. توجه به الزامات معماری پایدار در طراحی مدارس آینده و استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و مقاوم .

نتایج تحلیل نشان می‌دهد که سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) می‌تواند به عنوان یک فناوری قابل توجه در ساخت مدارس استان کرمانشاه مطرح شود. این سیستم با ایجاد ترکیبی از مقاومت سازه‌ای، عملکرد حرارتی مناسب، سرعت اجرای بالا و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، ظرفیت پاسخگویی به نیازهای امروز مدرسه‌سازی را داراست.با این حال، بهره‌گیری موفق از این فناوری نیازمند برنامه‌ریزی، آموزش، مطالعات اقتصادی دقیق و اجرای پروژه‌های نمونه است. در صورت فراهم شدن زیرساخت‌های لازم، سیستم ICF می‌تواند به عنوان یکی از

گزینه‌های مناسب برای توسعه مدارس ایمن، کم‌مصرف و پایدار در استان کرمانشاه مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

توسعه فضاهای آموزشی ایمن، پایدار و کم‌مصرف، یکی از ضرورت‌های اساسی در برنامه‌ریزی عمرانی کشور محسوب می‌شود. ساختمان مدارس به دلیل اهمیت عملکردی و حضور تعداد زیادی از کاربران، نیازمند بهره‌گیری از سیستم‌های ساختمانی هستند که علاوه بر تأمین مقاومت سازه‌ای مناسب، بتوانند پاسخگوی الزامات انرژی، دوام و بهره‌برداری بلندمدت باشند.پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد سیستم قالب عایق ماندگار (ICF) در ساخت مدارس استان کرمانشاه با رویکرد افزایش مقاومت لرزه‌ای و بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام شد. بررسی مبانی نظری و مطالعات انجام‌شده نشان داد که سیستم ICF به دلیل برخورداری از ساختار ترکیبی بتن مسلح و لایه‌های عایق حرارتی، دارای ظرفیت قابل توجهی برای ارتقای عملکرد ساختمان‌های آموزشی است.از منظر سازه‌ای، مهم‌ترین مزیت سیستمICF ، ایجاد دیوارهای بتن مسلح پیوسته است که موجب افزایش سختی جانبی، بهبود رفتار ساختمان در برابر نیروهای لرزه‌ای و کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله می‌شود. این ویژگی با توجه به شرایط لرزه‌ای استان کرمانشاه و تجربه زلزله‌های گذشته، اهمیت ویژه‌ای دارد. استفاده از این سیستم می‌تواند موجب افزایش تاب‌آوری مدارس و کاهش احتمال خسارات شدید سازه‌ای و غیرسازه‌ای در هنگام وقوع زلزله شود.از منظر انرژی، نتایج تحلیل نشان داد که سیستم ICF به دلیل وجود عایق حرارتی پیوسته، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به بسیاری از روش‌های سنتی دارد. کاهش انتقال حرارت از جداره‌ها، کاهش بار سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و بهبود شرایط آسایش حرارتی داخل کلاس‌ها از جمله پیامدهای مثبت استفاده از این فناوری است. این موضوعدر مدارس استان کرمانشاه، با توجه به شرایط اقلیمی سرد منطقه و هزینه‌های بالای تأمین انرژی، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری داشته باشد.همچنین،

بررسی جنبه‌های اجرایی نشان داد که سیستم ICF می‌تواند با کاهش تعداد مراحل ساخت، افزایش سرعت اجرا و کنترل بهتر کیفیت، زمینه مناسبی برای صنعتی‌سازی فرآیند مدرسه‌سازی فراهم کند. با این حال، موفقیت این فناوری وابسته به آموزش نیروی انسانی، وجود پیمانکاران متخصص، طراحی هماهنگ و تدوین ضوابط اجرایی متناسب با شرایط کشور است.بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که سیستم قالب عایق ماندگار (ICF)قابلیت آن را دارد که به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب در ساخت مدارس جدید استان کرمانشاه مورد توجه قرار گیرد. البته تصمیم‌گیری نهایی درباره استفاده گسترده از این سیستم باید بر اساس مطالعات دقیق‌تر اقتصادی، تحلیل هزینه چرخه عمر و اجرای پروژه‌های نمونه انجام شود.

• نوآوری پژوهش

نوآوری اصلی این پژوهش در بررسی همزمان دو مؤلفه کلیدی مقاومت لرزه‌ای و بهره‌وری انرژی در کاربرد سیستم ICF برای ساختمان‌های آموزشی استان کرمانشاه است. بسیاری از مطالعات پیشین، عملکرد سازه‌ای یا حرارتی این سیستم را به صورت جداگانه بررسی کرده‌اند. در حالی که پژوهش حاضر تلاش می‌کند با رویکردی جامع، قابلیت کاربرد این فناوری را در یک بستر واقعی یعنی پروژه‌های مدرسه‌سازی استان کرمانشاه تحلیل نماید.مهم‌ترین جنبه‌های نوآورانه پژوهش عبارت‌اند از:

۱. تمرکز بر ساختمان‌های آموزشی به عنوان ساختمان‌های با اهمیت بالابرخلاف بسیاری از مطالعات که ساختمان‌های عمومی را به صورت کلی بررسی کرده‌اند، این پژوهش مدارس را به عنوان زیرساخت‌های حیاتی اجتماعی مورد توجه قرار می‌دهد.
۲. توجه به شرایط بومی استان کرمانشاه ویژگی‌های لرزه‌ای، اقلیمی و اجرایی استان در تحلیل سیستم ICF لحاظ شده است.

۳. ترکیب نگاه سازه‌ای و انرژی پژوهش حاضر تنها به مقاومت ساختمان در برابر زلزله توجه نمی‌کند، بلکه عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی را نیز به عنوان یک معیار مهم ارزیابی در نظر می‌گیرد.
۴. ارائه رویکرد کاربردی برای سازمان‌های اجرایی نتایج این تحقیق می‌تواند برای تصمیم‌گیری مدیران و کارشناسان حوزه نوسازی مدارس در انتخاب سیستم‌های ساختمانی آینده مورد استفاده قرار گیرد.

- **پیشنهادهای کاربردی**

۱ .اجرای مدارس پایلوت با سیستمICF

پیشنهاد می شود سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان کرمانشاه، تعدادی پروژه آزمایشی را با استفاده از فناوری ICF اجرا کرده و عملکرد واقعی آن را از نظر سازه‌ای، انرژی و اقتصادی ارزیابی نماید.

۲ .تدوین دستورالعمل اجرایی بومی

ضروری است دستورالعملی متناسب با شرایط اجرایی کشور و الزامات سازمان نوسازی مدارس تهیه شود تا نحوه طراحی، اجرا و کنترل کیفیت پروژه‌های ICF مشخص گردد.

۳ .استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر

در انتخاب سیستم‌های ساختمانی، صرفاً هزینه اولیه ساخت نباید ملاک تصمیم‌گیری باشد. بلکه هزینه‌های انرژی، تعمیرات و نگهداری در طول عمر ساختمان نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

۴.آموزش عوامل اجرایی

برگزاری دوره‌های آموزشی برای مهندسان، پیمانکاران و نیروهای اجرایی می‌تواند موجب افزایش کیفیت اجرای سیستم ICF و کاهش خطاهای عملیاتی شود.

۵.توسعه همکاری دانشگاه و دستگاه‌های اجرایی

ایجاد ارتباط میان دانشگاه‌ها، سازمان نوسازی مدارس و بخش خصوصی می‌تواند زمینه انجام مطالعات دقیق‌تر و توسعه فناوری‌های نوین ساخت را فراهم کند.

منابع و مآخذ

۱. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی .(۱۳۹۹) استاندارد ۲۸۰۰ ایران: آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش چهارم) .تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

۲. سازمان ملی استاندارد ایران .(۱۳۹۲) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان: بارهای وارد بر ساختمان .تهران: دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

۳. حسینی، ع.، احمدی، م.، و کریمی، س. (۱۳۹۹). بررسی الزامات طراحی ساختمان‌های آموزشی مقاوم در برابر زلزله .فصلنامه مهندسی عمران و مدیریت ساخت، ۷(۲)، ۴۵-۶۰.

۴. مهدوی، م.، رضایی، ح.، و مرادی، ع. (۱۳۹۸). ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های عمومی پس از زلزله کرمانشاه و راهکارهای کاهش خسارت .فصلنامه مهندسی سازه و زلزله، ۱۲(۳)، ۷۵-۹۲.

۵. زارعی، م.، محمدی، ر.، و کریمی، ف. (۱۳۹۸). تحلیل عملکرد ساختمان‌های آموزشی پس از زلزله سرپل‌ذهاب و ضرورت توسعه ساخت‌وساز مقاوم .مجله پژوهش‌های مهندسی عمران، ۱۵(۱)، ۱۰۱-۱۱۸.

۶. علیزاده، م.، احمدی، ک.، و صادقی، م. (۱۴۰۰). بررسی نقش پوسته ساختمان در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی .فصلنامه انرژی و ساختمان، ۸(۴)، ۲۵-۴۲.

۷. موسوی، م.، اکبری، ن.، و حسینی، ر. (۱۴۰۰). رویکردهای نوین در طراحی ساختمان‌های آموزشی پایدار با تأکید بر بهره‌وری انرژی .فصلنامه معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۲)، ۶۵-۸۰.

۸. American Concrete Institute. (۲۰۱۹). Building code requirements for structural concrete (ACI ۳۱۸-۱۹) and commentary. American Concrete Institute.

۹. Amran, M., Debbarma, S., & Ozbakkaloglu, T. (۲۰۲۰). Performance of insulated concrete form (ICF) systems: A review of structural and thermal characteristics. Construction and Building Materials, ۲۵۳, ۱۱۹۱۸۸. https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.conbuildmat.۲۰۲۰.۱۱۹۱۸۸

۱۰. Farny, J. A., & Panushev, I. (۲۰۱۸). Insulating concrete forms: Energy-efficient and resilient construction. Portland Cement Association.

۱۱. Federal Emergency Management Agency. (۲۰۲۰). Seismic design principles and building performance. FEMA.

۱۲. Kosny, J., Biswas, K., Miller, W., & Kriner, S. (۲۰۱۴). Field thermal performance of innovative insulation systems for building envelopes. Energy and Buildings, ۸۴, ۶۸۱-۶۹۲.

۱۳. Leger, P., & Dussault, M. (۲۰۱۹). Seismic performance of reinforced concrete wall systems: Design considerations and applications. Engineering Structures, ۱۸۱, ۵۲۵-۵۳۶.

۱۴. Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (۱۹۹۲). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons.

۱۵. Portland Cement Association. (۲۰۱۸). Insulating concrete forms: Applications and benefits. Portland Cement Association.

۱۶. Straube, J., & Burnett, E. (۲۰۰۵). Building science for building enclosures. Building Science Press.