راهکارهای معماری جهت کاهش انرژی نهفته در اجرای ساختمان مسکونی در بندرعباس

آذر زینلی خراجی*، نیلوفر نیک‌قدم، سید مجید مفیدی شمیرانی*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

چکیده
یکی از مسائل پیش‌روی طراحان و معماران، مصرف انرژی ساختمان در دورهٔ ساخت است. انرژی مصرف‌شده در فرایند ساخت یک بنا مقدار زیادی از منابع را دریافت می‌کند، بنابراین، از طریق ارزیابی انرژی زمان ساخت که انرژی نهفته نامیده می‌شود می‌توان با انتخاب مناسب‌ترین مصالح و راهکارها در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. در این مقاله به کاهش انرژی نهفته با راهکارهای اجرای معماری پرداخته خواهد شد. هدف این تحقیق کاهش مصرف انرژی در راستای حفظ محیط‌زیست است. در این تحقیق، با توجه به فرضیهٔ تحقیق که چنین است: برخی راهکارها در مرحلهٔ اجرای ساختمان می‌توانند بر کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان در بندرعباس مؤثر باشند، ابتدا انرژی نهفتهٔ یک ساختمان ۶طبقه در شهر بندرعباس محاسبه شد. سپس بر اساس نحوهٔ تأثیر متغیرها بر انرژی نهفتهٔ کل که از چهارچوب نظری تحقیق استخراج شده است، انرژی نهفته با تغییر متغیرهای اجرا مجدداً محاسبه و تحلیل شده است. نتیجه‌گیری در این مقاله بر مبنای سؤالات تحقیق که به‌دنبال متغیرها و راهکارهای کاهش انرژی نهفته در زمان اجرای ساختمان است، شامل دو بخش است: یک. نتایج تئوری که محصول بررسی متون است؛ دو. نتایج تجربی که از محاسبات حاصل شده‌اند. دستاوردهای این پژوهش نشان می‌دهند که انرژی نهفتهٔ هر مترمربع ساختمان در بندرعباس در بخش معماری بین ۱,۹ تا ۱۸,۵ گیگاژول است. در این تحقیق، متغیرهای مؤثر بر انرژی نهان در زمان اجرا شامل ملاط‌ها، حمل‌ونقل، تعمیر و نگهداری ساختمان، بازسازی به‌جای تخریب، استفاده از مصالح بازیافتی بر انرژی نهفتهٔ کل ساختمان بررسی گردیده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که انتخاب مصالح می‌تواند باعث افزایش تا ۸۹درصد انرژی نهفتهٔ کل ساختمان گردد که برابر با مصرف ۳۳ سال انرژی مصرفی ساختمان است و همان طور که از نتایج تحقیق مشخص است، بیشترین تأثیر را در انرژی نهفته دارد. پس معماران با انجام محاسبات انرژی نهفته می‌توانند در انتخاب مصالح و جزئیات و ابعاد و فضاها، بیشترین تأثیر را بر کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان داشته باشند. در این مقاله، راهکارهایی برای کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان در زمان اجرای ساختمان ارائه می‌شوند.

کلمات کلیدی: انرژی نهفته، طراحی معماری، مصالح ساختمانی، راهکارهای معماری.

* گروه معماری، واحد بین‌الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیرهٔ کیش، ایران.
** استادیار، گروه معماری، واحد تهران‌جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. n_nikghadam@azad.ac.ir
*** استادیار، گروه معماری، دانشکدهٔ معماری، علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکترای معماری است با عنوان تبیین راهکارهای معماری مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساختمان‌های مسکونی بندرعباس که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌الملل کیش توسط دانشجو، آذر زینلی خراجی و به‌راهنمایی دکتر نیلوفر نیک‌قدم و به‌مشاورهٔ دکتر سید مجید مفیدی شمیرانی در دست انجام است.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

مقدمه

ساختمان‌ها و بخش ساخت‌وساز در مقایسه با سایر بخش‌ها، مانند صنعت و حمل‌ونقل، بیشترین سهم از انرژی را دارند. عمدتاً به‌دلیل دسترسی انرژی بهینه‌شده در صنعت، ساختمان یکی از مصرف‌کننده‌های بزرگ انرژی در بسیاری از کشورهاست. این انرژی را می‌توان به‌عنوان انرژی نهفته و انرژی عملیاتی طبقه‌بندی کرد. این درصد بین کشورها به‌دلیل متغیربودن شرایط آب‌وهوایی، نیازهای انرژی، موقعیت‌های اقتصادی و اجتماعی و دردسترس‌بودن منابع اصلی انرژی (omrany،2020) بین کشورها متفاوت است. رشد بخش ساختمان به‌دلیل افزایش سریع جمعیت شهری، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، باعث می‌شود انرژی نهفته در آینده بیشتر شود. هدف از این تحقیق کاهش انرژی نهفته در ساختمان‌های مسکونی در زمان اجراست که معماران می‌توانند راهکارهایی در این زمینه ارائه دهند. این مقاله به پرسش‌های زیر پاسخ می‌دهد: ۱- چه عواملی بر کاهش انرژی نهفتهٔ زمان اجرا مؤثرند ؟؛ ۲- معماران با کدام راهکارها می‌توانند انرژی نهفته را کاهش دهند؟ در پی پاسخ به این سؤالات، به‌دنبال اثبات این فرضیه است: برخی راهکارها در مرحلهٔ اجرای ساختمان می‌توانند بر کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان در بندرعباس مؤثر باشند.

مکان پژوهش

با توجه به اینکه شهر بندرعباس در گروه‌بندی میزان مصرف انرژی، در گروه نیاز به انرژی زیاد قرار دارد و کاهش مصرف انرژی در این شهرها از اولویت‌های کشور است، مکان پژوهش شهر بندرعباس انتخاب شده است. شهر بندرعباس در جنوب استان هرمزگان واقع شده است و از نظر تقسیمات کشوری و سیاسی، مرکز این استان است. برای انجام این تحقیق، در ابتدا یک ساختمان با توجه به فراوانی در شهر بندرعباس به‌عنوان نمونهٔ موردی با جزئیات اجرایی مشخص انتخاب شد. نقشهٔ ساختمان شاهد در زمینی به‌مساحت ۲۹۶,۴ مترمربع و به‌ابعاد ۱۲,۳۵ و ۲۴ متر قرار دارد. این ساختمان شش طبقه روی همکف و یک طبقه در همکف دارد که مساحت هر طبقه ۱۹۴,۴ مترمربع و مجموع کل مساحت ساختمان ۱۵۵۳ مترمربع است. این ساختمان با دیوار بلوک سفالی و در نما از سنگ و کف طبقات از سرامیک ساخته شده است. نقشه‌های ساختمان در تصویر شماره ۱ نشان داده شده‌اند.

پیشینهٔ تحقیق

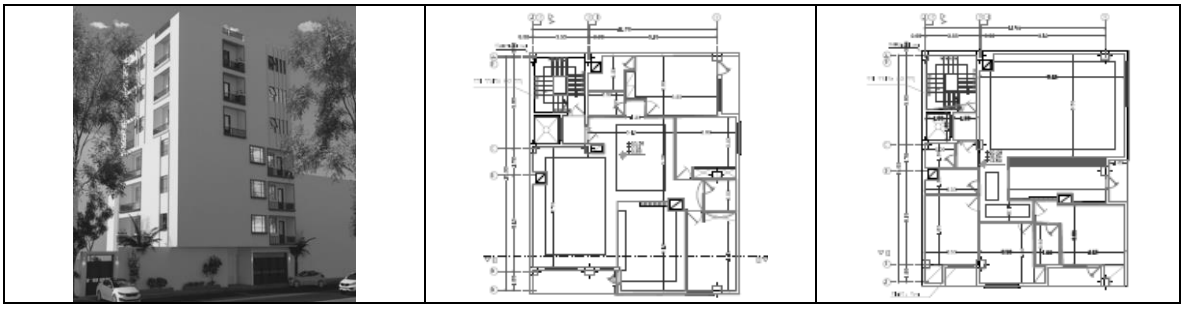
پس از بررسی پیشینهٔ تحقیق، ۱۴۰ مقاله و رسالهٔ خارجی و ۲۰ مقاله و پایان‌نامهٔ داخلی جمع‌آوری گردیدند که پس از غربالگری نهایی، ۵۵ تحقیق انتخاب شدند که با اهداف و فرضیه‌های تحقیق خواناتر بودند. پس از بررسی ادبیات تحقیق، در ابتدا دسته‌بندی موضوعی انجام شد. تعدادی از این مقالات به تعاریف انرژی نهفته و اهمیت آن پرداخته بودند. تعدادی نیز به‌دنبال راهکارهایی برای کاهش انرژی نهفته در بخش سازه و معماری ساختمان بودند. در این بررسی، ۱۳ پایان‌نامه و ۴۲ مقاله وجود دارند. همچنین ۸۳درصد خانه‌های مسکونی را به‌عنوان نمونهٔ موردی انتخاب کرده‌اند و ۵۶درصد یک خانهٔ مسکونی را به‌عنوان نمونهٔ موردی برگزیده‌اند و۴۴درصد بیشتر از یک خانه را انتخاب کرده‌اند و محاسبات را به کل تعمیم داده‌اند. ۳۶درصد از نرم‌افزار اکسل برای انجام محاسبات استفاده کرده‌اند. در بررسی ادبیات تحقیق، پژوهش حاضر به‌دنبال مقدار استاندارد انرژی نهفتهٔ کل ساختمان‌ها، متغیرهای مؤثر بر انرژی نهفته، نرم‌افزار استفاده‌شده در تحقیق و روش‌های محاسبات انرژی نهفتهٔ کل ساختمان است که موارد موردنظر بررسی و دسته‌بندی گردیده‌اند

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

و در زیر آمده‌اند. از نتایج تحقیقات، یک ساختمان مسکونی به‌عنوان نمونهٔ موردی استخراج گردید و از نرم‌افزار اکسل برای محاسبات و متغیرهای مؤثر بر انرژی نهفته استفاده شد.

در بررسی ادبیات تحقیق، داخل کشور هرجا که انرژی نهفتهٔ مصالح استفاده شده بود، از اعداد به‌دست‌آمده در تحقیقات دیگر کشورها استفاده شده است. مرادی و همکاران برای محاسبهٔ ساختمان ۷طبقه در تهران و نرجس فروزان در پایان‌نامهٔ خودش برای محاسبهٔ انرژی نهفته از مقدار عددی گزارش‌های دانشگاه بت استفاده کرده‌اند. دانشگاه بت انگلیس مقدار انرژی نهفتهٔ مصالح را به دست آورده است که در بررسی ادبیات تحقیق داخلی و خارجی محققین برای محاسبهٔ انرژی نهفتهٔ ساختمان، از این اطلاعات استفاده کرده‌اند.مرکز تحقیقات ساختمانی دانشگاه ویکتوریا ولینگتون در کشور نیوزلند تحقیقاتی در ارتباط با انرژی نهفتهٔ مصالح ساختمانی انجام داده است که در بسیاری از مقالات، از این جداول استفاده شده است. این مطالعات در سال ۲۰۰۱ و۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ انجام شده‌اند.

انرژی نهفته در واحد مگاژول(MJ) یا گیگاژول (GJ) به‌ازای هر واحد وزن (کیلوگرم یا تن) یا مساحت (مترمربع) بیان می‌شود. مجموع انرژی نهفته از انرژی نهفته در ارتباط با کف و دیوارها و سقف به دست می‌آید (Haynes، 2010). در کشور هند، انرژی نهفته در یک کاشانهٔ مسکونی معمولی چندطبقه با سازهٔ بتن‌مسلح محاسبه شده و نتایج تجزیه‌وتحلیل شده‌اند و یافته‌های گزارش با برخی تحقیقات مشابه در ژاپن و هند مقایسه شده‌اند (Bardhan، 2011). در یک مطالعه (Aktas، 2012)، نشان داده شد که انرژی نهفتهٔ اولیه ۷,۳-۱,۷ (2GJ/M) در ساختمان‌های مسکونی و ۴,۳ تا ۷,۷ (2GJ/M) در ساختمان‌های کم‌مصرف به پوسته‌های ضخیم ساختمان و استفادهٔ گسترده از عایق تعلق می‌گیرد. انرژی نهفتهٔ سازهٔ ساختمان با سازهٔ فلزی و بتنی محاسبه شده است و انرژی نهفتهٔ ساختمان در سازهٔ فلزی ۱۴,۴ و در بتونی ۹,۶ و در سازهٔ چوبی ۱۰,۵ گیگاژول برای هر مترمربع است (YEO، 2011). در جدول شماره ۱، مقدار انرژی نهفته در هر مترمربع ساختمان با واحد گیگاژول آورده شده است که از پیشینهٔ پژوهش به دست آمده است.



ت۱. نقشه‌های ساختمان شاهد

ج۱. مقدار انرژی نهفته هر مترمربع در پیشینهٔ تحقیق

انرژی نهفتهٔ گیگاژول در هر مترمربع	محقق	انرژی نهفتهٔ گیگاژول در هر مترمربع	محقق	انرژی نهفتهٔ گیگاژول در هر مترمربع	محقق
۱۴	Reddy	۹,۳۶	Bardhan	۵	Ding
۱۰,۵	Yeo	۱۴	Fay	۶,۳	Crawford
۷.۱	Aktas	۱۱,۷	Treloar	۳	Koezjakov

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

روش تحقیق

نوع پژوهش در این تحقیق کاربردی است و روش گردآوری اطلاعات برای تمام مراحل تحقیق شامل گردآوری اطلاعات به‌صورت اسنادی و میدانی و کتابخانه‌ای می‌شوند. روش تحلیل داده‌ها کمی و مبتنی بر آمار و جداول است. تجزیه‌وتحلیل در این پژوهش از نوع کمی تبیین است. در تجزیه‌وتحلیل تبیین، روابط علت و معلول بین متغیرهای مستقل وابسته بحث و بررسی می‌شوند و پژوهشگر با ردکردن یا تأیید فرض‌های آماری، روابط علت و معلول بین متغیرها و انرژی نهفته را تأیید یا رد می‌کند و پس از تحلیل راهکارهایی تبیین می‌شود این تحقیق نحوه محاسبه انرژی نهفته مصالح و محاسبه انرژی نهفتهٔ جزئیات اجرایی و انتخاب متغیرها از بررسی ادبیات پژوهش استفاده شده است در ابتدا، انرژی نهفتهٔ ساختمان در نرم‌افزار اکسل محاسبه می‌گردد. بر اساس ادبیات تحقیق، مؤلفه‌های اجرای ساختمان به‌عنوان متغیر مستقل و انرژی نهفته به‌عنوان متغیر وابسته و سایر عوامل، مانند طراحی سازه و تأسیسات، متغیر کنترل‌اند. با توجه به تغییر متغیرهای مستقل در جدول اکسل نهایی، انرژی نهفتهٔ کل محاسبه می‌گردد و پس از تحلیل نتایج، راهکارهای معماری ارائه می‌گردند. در این تحقیق، واحد انرژی نهفته گیگاژول بر کیلوگرم است.

محاسبهٔ انرژی نهفتهٔ ساختمان شاهد

در ابتدا با توجه به اطلاعات میدانی، جزئیات متداول معماری در شهر بندرعباس به دست آمدند. با توجه به تعریف انرژی نهفته و موضوع تحقیق در این مقاله، انرژی نهفتهٔ کل ساختمان در بخش معماری با توجه به حجم مصالح مصرفی در ساختمان برای هر مترمربع ساختمان محاسبه گردیده است. سپس با تغییر متغیرهای مصالح و جزئیات مجدد، مدل‌سازی انجام گردیده است و محاسبات انرژی نهفته در اکسل به‌دست آمده‌اند. انرژی حمل‌ونقل و انرژی تخریب و انرژی نهفتهٔ بخش سازهٔ ساختمان در این تحقیق محاسبه نشده‌اند. این جدول در اکسل طراحی شده است. در این تحقیق، به‌منظور اطمینان از دقت محاسبات مقدار انرژی نهفتهٔ مصالح ساختمانی، از جداول استاندارد دانشگاه بت انگلستان (Hammond,2008) استفاده شده است. شایان ذکر است، در صورت محاسبهٔ انرژی نهفتهٔ برخی مصالح ساختمانی در کشور و دردسترس‌بودن اطلاعات آن، به‌کارگیری این اعداد به دقت محاسبات این تحقیق کمک خواهد کرد.

تحلیل محاسبهٔ انرژی نهفتهٔ کل ساختمان

پس از محاسبهٔ انرژی نهفتهٔ کل ساختمان، نتایج زیر حاصل گردیدند که در جدول شماره ۲ نشان داده شده‌اند. ملات ماسه‌وسیمان بیشترین درصد انرژی نهفته را در ساختمان دارد. پس از آن، بتن کف‌سازی و عایق رطوبتی کمترین انرژی نهفته را دارند. انرژی نهفتهٔ هر مترمربع ساختمان در بخش معماری ۱,۹ گیگاژول برای هر مترمربع به دست آمده است که در مقایسه با جدول شماره ۱ که بین ۱,۴ تا ۱۹,۲ به دست آمده است، عددی است که می‌توان پذیرفت.

ج۲. حجم مصالح مصرفی در ساختمان شاهد

حجم مصالح	نوع مصالح	حجم مصالح	نوع مصالح
۸/۹۱	موزاییک	۳۰۴۷/۳۱	ملات ماسه‌سیمان
۱۲۲/۸۸	بتن پوکه	۱۴۷/۹۵	بتن کف‌سازی
۵۴۲/۶	بلوک سفالی	۱۱/۲۸۵	نقاشی
۱۶/۳۵	سرامیک	۲۸/۰۶	گچ‌وخاک
۷/۲۶	قرنیز(سنگ)	۳۲/۱۴	گچ پرداختی
۲/۹۶	سنگ	۳۱/۷۴	سنگ نما تراورتن
۱۲/۵۳	عایق رطوبتی	۱۸/۷۸۹	سیمان لیسه‌ای

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

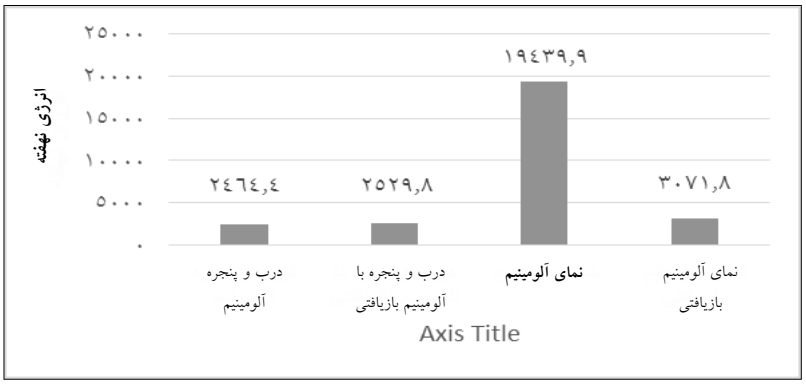
بررسی متغیر مصالح بازیافتی بر انرژی نهفتهٔ کـل در زمان اجرا

در ابتدا، انرژی نهفتهٔ ساختمان با تغییر مصالح درب‌ها در ابتدا، انرژی نهفتهٔ ساختمان با تغییر مصالح درب‌ها و پنجره‌ها با آلومینیـوم و بـار دوم بـا آلومینیـوم بازیـافتی محاسبه و مقایسه شده‌اند. در حالت اول، انـرژی نهفتـهٔ کـل ۲۴۹۱ گیگـاژول و در حالـت دوم بـا آلومینیـوم بازیافتی ۲۵۲۹ به دست آمـده اسـت کـه بـا ایـن تغییـر آلومینیوم بازیـافتی، در کـل ۳۸ مگـا ژول انـرژی نهفتـه کاهش مـی‌یابـد. بـرای بـار دوم، عـلاوه بـر درب‌هـا و پنجره‌ها، در نمـای سـاختمان نیـز از آلومینیـوم اسـتفاده می‌شود. انرژی نهفتهٔ کل سـاختمان بـا نمـای آلومینیـوم ۱۹۴۳۹ گیگاژول و۴. ۱۴ برای هر مترمربع ساختمان بـه دسـت مـی‌آیـد و بـا نمـای آلومینیـوم بازیـافتی ۳۰۷۱ گیگاژول و۲,۳ برای هـر مترمربـع سـاختمان بـه دسـت می‌آید. نتایج در جـدول شـماره۳ و تصـویر شـماره ۲ نشان داده‌شده‌اند.

یک مطالعه در هونگ‌کونگ از سوی چن و همکـاران نشان داد که سه‌چهارم مصالح اسـتفاده‌شـده مربـوط بـه فولاد و آلومینیوم است و می‌توان انرژی نهفتهٔ سـاختمان را با کاهش هوشمندانهٔ ایـن دو مصـالح، بـین ۶ تـا ۱۷ درصد کاهش داد (CHEN، 2019). اسـتفادهٔ مجـدد و بازیافت مصالح ساختمانی قبلاً به‌عنوان یـک اسـتراتژی برای کاهش مصرف انـرژی در چرخـهٔ عمـر سـاختمان برای کاهش انرژی نهفته پیشنهاد شده اسـت. مـی‌تـوان مشاهده کرد که ایـن اسـتراتژی منجـر بـه کـاهش کـل مصرف انرژی چرخهٔ عمر ساختمان تا ۲۲درصـد شـده است که اختلاف بین استفاده از آلومینیوم بازیافتی و غیر بازیافتی عدد ۱۲,۱ برای هر مترمربـع سـاختمان اسـت. استفاده از مصالح ساختمانی بازیافتی، مانند بتن و فـولاد و چـوب باعـث کـاهش ۵ تـا ۲۲درصـد انـرژی نهفتـهٔ ساختمان می‌گردد (Omrany, 2020).

ج۳. مقایسهٔ انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با مصالح بازیافتی

انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با نمای آلومینیم		انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با درب و پنجرهٔ آلومینیم	
انرژی نهفتهMJ	۱۹۴۳۹۹۳۹/۲	انرژی نهفتهMJ	۲۴۶۴۴۴۷/۴
انرژی نهفتهGJ	۱۹۴۳۹/۹	انرژی نهفتهGJ	۲۴۶۴/۴
انرژی نهفته برای هر مترمربع ساختمان GJ/M2	۱۴/۴	انرژی نهفته برای هر مترمربع ساختمان GJ/M2	۱/۸
انرژی نهفته کل ساختمان با نمای آلومینیم بازیافتی		**انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با درب و پنجره با آلومینیم بازیافتی**	
انرژی نهفتهMJ	۳۰۷۱۸۴۱/۰	انرژی نهفتهMJ	۲۵۲۹۷۶۲/۷
انرژی نهفتهGJ	۳۰۷۲	انرژی نهفتهGJ	۲۵۲۹/۸
انرژی نهفته برای هر مترمربع ساختمان GJ/M2	۲/۳	انرژی نهفته برای هر مترمربع ساختمان	۱/۹



ت۲. مقایسهٔ انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با مصالح بازیافتی

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

بررسی بازسازی ساختمان به‌جای تخریب بر انرژی نهفتهٔ کل در زمان اجرا

در جدول محاسبات اکسل ۱۳، محاسبهٔ انرژی نهفته در ردیف مصالح ساختمان به‌جای تخریب بازسازی انجام شده است و انرژی نهفتهٔ بازسازی این ۱۳ ردیف از مصالح ۹۲۶ گیگاژول به دست آمده است و برای هر مترمربع ساختمان ۷/ مگاژول انرژی نهفته مصرف می‌گردد که در همین ساختمان، در صورت ساخت مجدد، ۱/۸ گیگاژول انرژی نهفته مصرف می‌شد. گاسپار و سانتوس انرژی نهفتهٔ ساختمان مسکونی در مقایسه با تخریب و ساخت‌وساز بعدی را انجام دادند که ۲۲درصد کاهش احتمالی انرژی نهفته را نشان دادند و در تحقیق آن‌ها، با بازسازی به‌جای تخریب، ۶۵درصد در انرژی نهفته صرفه‌جویی گردیده است.

بررسی متغیر ابعاد جزئیات بر انرژی نهفتهٔ کل در زمان اجرا

در مرحلهٔ اجرا، ابعاد جزئیات ملات در ساختمان شاهد تغییر داده شده‌اند و نتایج زیر به دست آمده‌اند. با ملات ۵ سانتی‌متر انرژی نهفته برای هر مترمربع ۱,۷۵ مگاژول است و با ملات ۶ سانتی‌متر ۱,۸۳ مگاژول می‌گردد. با تغییر ملات ماسه‌سیمان از ۵ سانتی‌متر به ۶ سانتی‌متر، ۱۱۶ مگاژول انرژی نهفته افزایش پیدا می‌کند. پس این متغیر بر کاهش انرژی نهفته مؤثر است. برای یک ساختمان مسکونی ۱۵طبقه با مساحت ۹۶۰ مترمربع در شهر مونترال، با استفاده از صفحه‌ستون‌ها به‌ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر به‌جای صفحه به‌ضخامت ۲۱۰ میلی‌متر می‌توان ۱۴۷۰ گیگاژول در انرژی نهفته صرفه‌جویی انجام داد (Noman,2019). با صرفه‌جویی ۱۱درصد در هزینه می‌توان ۲,۶درصد در انرژی نهفته صرفه‌جویی کرد.

بررسی متغیر ابعاد فضا بر انرژی نهفتهٔ ساختمان

با توجه به اینکه برای ساخت هر مترمربع ساختمان ۱,۸ گیگاژول انرژی در بخش معماری صرف می‌شود، نتیجه می‌گیریم که افزایش هر مترمربع ساختمان تأثیر مستقیم بر انرژی نهفته دارد. همچنین در این تحقیق، بدون تغییر در مساحت کل در پلان معماری، ابعاد فضا تغییر داده شده‌اند تا از هدررفتن مصالح کاشی و سرامیک جلوگیری شود. در کل، ۶۵ مترمربع سرامیک کاهش پیدا کرد و پس از محاسبهٔ مجدد، انرژی نهفتهٔ کل ۴۴ مگاژول کاهش یافت و نتیجه گرفته شد که این متغیر بر کاهش انرژی نهفته مؤثر است. در جدول شماره ۴ نتایج کل تغییرات متغیرها آورده شده‌اند.

ج۴. مقایسهٔ متغیرهای انرژی نهفته و انرژی مصرفی

متغیرهای (اجرا)						
درصد تأثیر	محقق	مقایسهٔ انرژی نهفته و مصرفی در سال	درصد تأثیر بر انرژی نهفتهٔ کل	مقدار انرژی نهفتهٔ کل، گیگاژول بر مترمربع	مقدار انرژی نهفتهٔ کل، گیگا ژول	تغییر متغیرها
–	–	۳	–	۱/۹	۲۴۹۱,۴	ساختمان شاهد
٪۶۷	Crawford	۳۳	۸۹,۷	۱۸,۵	۲۸۳۹۷	تغییر مصالح باانرژی نهفتهٔ بالا
٪۳۳	Menzie	۴	۲۳	۳,۲	۳۰۷۱,۸	مصالح بازیافتی در نما
-	Crawford	۲۶	۸۷	۱۴,۴	۱۹۴۳۹	نمای آلومینیوم
٪۱۴	Feng	۲	۳۶ کاهش	۱,۲	۱۵۶۵	بازسازی به‌جای تخریب
-	Wec	۳	۱,۷۵ کاهش	۱,۸۳	۲۴۹۱	ملات باضخامت .۶
–	Wec	۳	۹/ کاهش	۱,۷۵	۲۵۶۲	ملات باضخامت .۵
-	Whitworth	۳	۱,۷	۱,۹۴	۲۵۳۵	ابعاد فضا

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

سایر متغیرها

استفاده از مصالحی که عمر مفید بیشتری دارند، با توجه به اینکه عمر مفید ساختمان را بالا می‌برند و نیاز به تعمیرات کمتری دارند، انرژی نهفته را کاهش می‌دهد. همچنین جلوگیری از هدررفتن مصالح در زمان ساخت، بازیافت زباله در پایان عمر ساختمان، کم‌کردن انرژی در زمان حمل مصالح و استفاده از دستگاه‌های مدولار نیز از متغیرهایی‌اند که باعث کاهش انرژی نهفتهٔ مرحلهٔ اجرا می‌گردند. یک استراتژی عملی برای جلوگیری از به‌حداقل‌رساندن ضایعات ساخت‌وساز تغییر شیوه‌های معمول ساخت‌وساز به پیش‌ساخته است. این رویکرد می‌تواند انرژی نهفتهٔ ساختمان‌ها را در مقایسه با روش سنتی کاهش دهد. ازاین‌رو، استفاده از مواد پیش‌ساخته یکی از راهکارهای توصیه‌شده برای کاهش انرژی نهفته است و میله‌گرد سیمان وزن حماسه بیشترین هدررفت را در ساخت‌وساز و بیشترین مصرف انرژی نهفته را دارند (Taffese،2019).

مقایسهٔ انرژی نهفته و انرژی مصرفی با تغییر متغیرهای اجرا

در ساختمان شاهد، مصرف سالانه با توجه به قبوض برق به دست آمده است و در بررسی انرژی مصرفی ساختمان شاهد، با توجه به فیش‌های برق ماهانهٔ ساختمان، در یک مطالعهٔ میدانی، میزان انرژی مصرفی یک سال پس از تبدیل واحد ۵۶/. مگاژول برای هر مترمربع در سال به دست آمده است که با توجه به محاسبات انرژی نهفتهٔ ساختمان شاهد در شهر بندرعباس، ۱/۹ گیگاژول برای هر مترمربع به دست آمده است. همان طور که از جدول شماره ۴ مشخص است، انرژی نهفتهٔ کل ساختمان شاهد برابر با مصرف ۳ سال انرژی مصرفی ساختمان است و انرژی نهفتهٔ بازسازی به‌جای تخریب برابر با یک سال انرژی مصرفی ساختمان است و بیشترین مقدار مربوط به انرژی نهفتهٔ بدون مصالح بازیافتی است که برابر با ۲۶ سال انرژی مصرفی ساختمان است که طبق جدول ۶، درصد کاهش انرژی نهفته در این تحقیق بین ۷/۸ تا ۸۹ درصد است و برابر است با مصرف یک سال تا ۲۶ سال برق مصرفی. در جدول شماره ۴، مقایسهٔ تغییرات متغیرهای مرحلهٔ اجرا و انرژی مصرفی آورده شده است.

نتایج و تحلیل متغیرها

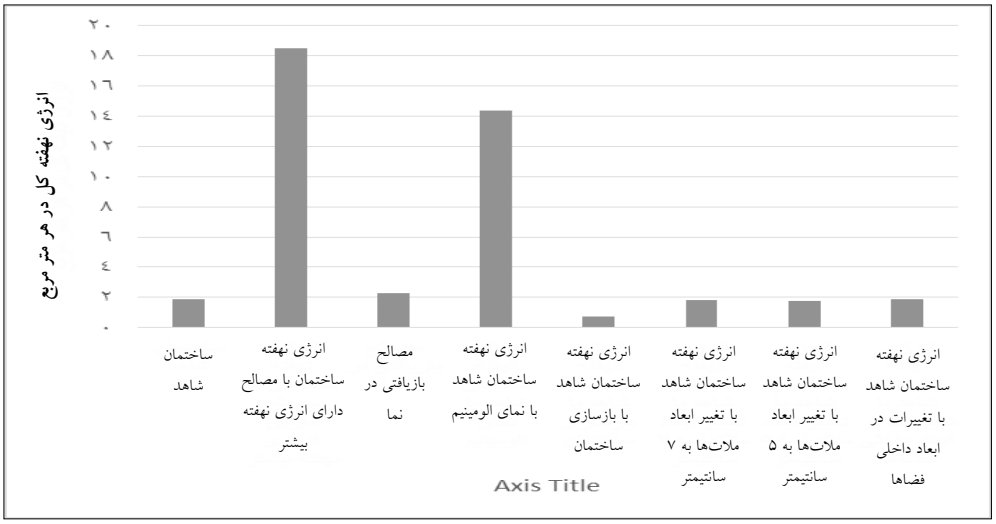
در این تحقیق، با توجه به پرسش تحقیق (چه عواملی بر کاهش انرژی نهفتهٔ زمان اجرا مؤثرند؟)، متغیرهای مرحلهٔ اجرا برای کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان از سوی معماران ارائهٔ شده‌اند. به‌طور کلی، متغیرهای بررسی‌شده شامل ۴ موردند که پس از بررسی و تحلیل هرکدام بر انرژی نهفتهٔ کل، مؤثرترین آن‌ها نیز معرفی شده است. در ابتدا، در جدولی که در اکسل طراحی‌شده است، انرژی نهفتهٔ کل ساختمان شاهد به‌متراژ ۱۳۵۳ مترمربع محاسبه شده و عدد ۲۵۶۰ و انرژی نهفتهٔ هر مترمربع ساختمان ۱,۹ گیگاژول به دست آمده است. سپس در جدول اکسل، متغیرها تغییر داده شده‌اند و نتایج تحلیل‌شده‌اند. اولین متغیر مصالح ساختمانی بود که با تغییر مصالح انرژی نهفته برای هر مترمربع بین ۱,۹ تا ۱۸,۵ گیگاژول تغییر می‌کند. در جدول شماره ۴ و تصویر شماره ۳، نتایج تغییر متغیرها نشان داده شده‌اند.

با تغییر متغیر مصالح نمای بازیافتی ساختمان، طبق جدول اکسل، انرژی نهفتهٔ کل بین ۲,۳ تا ۱۴,۴ گیگاژول برای هر مترمربع ساختمان تغییر می‌کند. سپس با تغییر متغیر بعدی بازسازی به‌جای تخریب در ساختمان شاهد، انرژی نهفته برای ساخت ساختمان محاسبه گردید و انرژی نهفته در صورتی که همان

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

ساختمان موجود باشد و قسمت‌هایی از بنا بازسازی گردند نیز محاسبه شده است که در حالت اول، انرژی نهفته ۲۴۹۱ و در صورت بازسازی، ۹۲۶,۹ گیگاژول به دست آمده است. سپس در این مقاله با توجه به مصرف زیاد انرژی نهفته در مصالح ملات‌های ساختمان، در ساختمان شاهد یک بار ضخامت ملات طبق جزئیات استاندارد در نظر گرفته شده است و بار دوم، ضخامت ملات تا ۲ سانتی‌متر بیشتر فرض شده است. در حالت اول، انرژی نهفتهٔ کل ۲۴۹۱, و در حالت دوم، ۲۵۶۲ به دست آمده است. در قسمت بعد، ابعاد فضا با توجه به هدررفت مصالح تغییر داده شدند که انرژی نهفتهٔ کل ۴,۰۸ گیگاژول تغییر کرد. با توجه به جدول شماره ۸، نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین هم‌سو است. انتخاب مصالح ساختمانی با انرژی نهفتهٔ بیشتر که باعث افزایش تا ۸۹ درصد انرژی نهفتهٔ کل می‌گردد، با نتایج میتراتن و جاگادیش و شوکلا هم‌سو است و استفاده از مصالح بازیافتی که باعث افزایش انرژی نهفته تا میزان ۸۴ درصد می‌گردد، با نتایج عمرانی و رامش و راسموسن هم‌سو است که در نتایج این محقق، استفاده از مصالح بازیافتی ۲۶درصد انرژی نهفته را کاهش می‌دهد. همچنین متغیر بازسازی به‌جای تخریب با نتایج مالویست و رامش و تارابیه هم‌سو است و تغییر ابعاد جزئیات که باعث کاهش ۷,۸درصدی انرژی نهفته می‌گردد، با نتایج نظام و نومن و هم‌سو است.



ت۳. مقدار انرژی نهفتهٔ کل ساختمان شاهد با واحد مگاژول در هر مترمربع با تغییر متغیرهای زمان اجرا

نتیجه

فرضیه: برخی راهکارها در مرحلهٔ اجرای ساختمان می‌توانند بر کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان در بندرعباس مؤثر باشند. بنابراین، برای پاسخ به این فرضیه در ابتدا به پرسش پاسخ داده شد و پس از آن، اهداف فرضیه بررسی گردیدند و در آخر، نتایج فرضیه آورده شدند. برای اثبات فرضیه، نقش متغیرهای به‌دست‌آمده از ادبیات تحقیق (شامل مصالح بازیافتی، مصالح جداسازی‌شونده، مصالح بازسازی‌شونده، هزینهٔ حمل، زمان‌بندی اجرا، ابعاد جزئیات، ضخامت ملات و ابعاد فضا) تحلیل گردید.

پرسش تحقیق

– چه عواملی بر کاهش انرژی نهفتهٔ زمان اجرا مؤثرند؟

– پس از بررسی متغیرهای مؤثر بر انرژی نهفتهٔ

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

ساختمان در زمان اجرا و بررسی نتایج دیگر محققین، راهکارهای زیر برای کاهش انرژی نهفتهٔ زمان اجرا پیشنهاد می‌گردند:

۱. با توجه به جدول شماره ۳، انرژی نهفتهٔ کل ساختمان با نمای آلومینیوم ۱۹۴۳۹ گیگاژول و۴. ۱۴ گیگاژول برای هر مترمربع ساختمان به دست می‌آید و با نمای آلومینیوم بازیافتی ۳۰۷۱ گیگاژول و۲,۳ برای هر مترمربع ساختمان به دست می‌آید. نتایج این جدول نشان می‌دهند با استفاده از آلومینیوم بازیافتی در ساختمان، انرژی نهفته ۱۲/۱ گیگاژول در هر مترمربع کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌گردد آلومینیوم باتوجه به انرژی نهفتهٔ بالایی که داردف در اجرا استفاده نشود؛ ولی اگر نیاز بود، بیشتر از آلومینیوم بازیافتی استفاده گردد؛

۲. با توجه به جدول شماره ۴، در ساختمان‌ها اگر به‌جای تخریب ساختمان بازسازی انجام شود، انرژی نهفتهٔ کل ساختمان ۰/۷ گیگاژول در هر مترمربع کاهش می‌یابد.

۳. با توجه به انرژی نهفتهٔ ملات در ساختمان، تغییر در ابعاد ملات می‌تواند انرژی نهفتهٔ کل را طبق جدول شماره ۵ تا ۱۱۶ مگاژول کاهش دهد.

۴. استفاده از مصالح کاشی و سرامیک متناسب با ابعاد فضا طبق مطالعات ادبیات تحقیق ۱۱ از هدررفتن مصالح جلوگیری می‌کند که می‌تواند باعث کاهش انرژی نهفتهٔ کل ساختمان گردد.

۵. استفاده از مصالح پیش‌ساخته طبق جدول شماره ۵، یکی از راهکارهای توصیه‌شده برای کاهش انرژی نهفته است و با توجه به اینکه میله‌گرد سیمان و شن‌وماسه بیشترین هدررفت را در ساخت‌وساز و بیشترین مصرف انرژی نهفته را دارند، در مصالح پیش‌ساخته هدررفتن این مصالح کاهش می‌یابد.

ج۵. مقایسهٔ نتایج محققین با نتایج این تحقیق

ردیف	محقق	سال	متغیرهای مؤثر بر انرژی نهفته	تأثیر متغیرها بر انرژی نهفتهٔ کل	تأثیر متغیرها برانرژی نهفتهٔ کل در نتایج محقق
۱	Aktas	۲۰۱۲	انرژی تخریب سازه	افزایش ۰/۱ تا ۱٪	انجام‌نشده است
۲	Malmqvist	۲۰۱۸	مصالح بادوام، بازیافت زباله در پایان عمر، طول عمر ساختمان، ساخت سبک، بهینه‌سازی فرم ساختمان و طراحی نقشهٔ طرح‌بندی، استفاده از مواد / اجزای جدید و ابتکاری، ساخت سبک	کاهش	کاهش
۳	Nizam,	۲۰۱۷	تغییر ضخامت در فولاد جرم مصالح	کاهش	کاهش باضخامت مصالح
۴	Noman	۲۰۱۹	ضخامت صفحهٔ فلزی تغییر در	کاهش	کاهش باضخامت مصالح
۵	Omrany	۲۰۲۰	استفادهٔ مجدد و بازیافت مصالح ساختمانی	۲۲ درصد کاهش	کاهش ۶۳ درصد
۶	Ramesh	۲۰۱۲	استفادهٔ مجدد، بازیافت و بازسازی مصالح ساختمانی عمر مفید ساختمان، مصالح بومی تخریب ساختمان،	کاهش	کاهش
۷	Rasmussen	۲۰۱۹	استفاده از مواد بازیافتی، افزایش عمر طراحی ساختمان، کاهش تعمیر و نگهداری	کاهش	کاهش
۸	Rauf	۲۰۱۶	عمر مفید مصالح بادوام،	بین ۲۹ تا ۳۹ درصد کاهش	کاهش
۹	Reddy	۲۰۰۳	ملات تا :ملات ترکیبی	کاهش	کاهش۷/۸ درصد
۱۰	Shukla	۲۰۰۹	انتخاب مصالح	کاهش	کاهش۸۹ درصد
۱۱	Stephan	۲۰۱۳	طول عمر مصالح ساختمانی مصالح ساختمانی و رفتار کاربران انتخاب مصالح	کاهش	کاهش
۱۲	Taffese	۲۰۱۹	استفاده از مواد پیش‌ساخته	کاهش	انجام‌نشده است
۱۳	Tarabieh	۲۰۱۹	تعمیر و نگهداری و نوسازی	کاهش	کاهش
۱۴	Yeo	۲۰۱۱	مصالح سازه	کاهش	انجام‌نشده است
۱۵	Ramesh	۲۰۱۲	استفادهٔ مجدد، بازیافت و بازسازی مصالح ساختمانی	کاهش	کاهش
۱۶	Reztrie	۲۰۱۹	انتخاب مصالح مدولار- انواع و ابعاد مصالح	کاهش	کاهش

۶. انتخاب مصالح می‌تواند باعث افزایش تا ۸۹درصد انرژی نهفتهٔ کل ساختمان گردد که برابر است با مصرف ۳۳ سال انرژی مصرفی ساختمان و همچنین طبق جدول شماره ۵ که در نتایج تحقیق مشخص است، بیشترین تأثیر را در انرژی نهفته دارد. پس معماران در صورت مشخص‌نبودن مصالح در نقشه، از مصالح با

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

انرژی نهفتهٔ کمتر در اجرای ساختمان استفاده کنند تا انرژی نهفتهٔ کل ساختمان کاهش یابد.

۷. انتظار می‌رود با سیاست‌های فعلی، بازیافت زباله افزایش یابد. این به آن معناست که باید در انتخاب مواد برای استفادهٔ مجدد و بازیافت در آینده بیشتر توجه شود. همچنین با تفکیک و بازیافت زباله‌های ساختمانی در زمان ساخت و ارائهٔ برنامهٔ زمان‌بندی برای اجرای ساختمان می‌توان از ضایعات مصالح جلوگیری کرد که همهٔ این عوامل باعث کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان می‌گردند. در جدول شماره ۶، محققانی که متغیر بازیافت زباله را مطرح کرده‌اند، آورده شده‌اند.

۸. انتظار می‌رود با سیاست‌های فعلی، بازیافت زباله افزایش یابد. این به آن معناست که باید در انتخاب مواد برای استفادهٔ مجدد و بازیافت در آینده بیشتر توجه شود. همچنین با تفکیک و بازیافت زباله‌های ساختمانی در زمان ساخت و ارائهٔ برنامهٔ زمان‌بندی برای اجرای ساختمان می‌توان از ضایعات مصالح جلوگیری کرد که همهٔ این عوامل باعث کاهش انرژی نهفتهٔ ساختمان می‌گردند. در جدول شماره ۵، محققانی که متغیر بازیافت زباله را مطرح کرده‌اند، آورده شده‌اند.

– با توجه به نتایج محققین که استفاده از مصالح مدولار در اجرا طبق جدول شماره ۵ باعث کاهش انرژی نهفته می‌گردد، پیشنهاد می‌گردد معماران در شهر بندرعباس از مصالح مدولار در اجرای ساختمان استفاده کنند.

پس با توجه به پرسش تحقیق (معماران با چه راهکارهایی در مرحلهٔ اجرا می‌توانند انرژی نهفتهٔ ساختمان را کاهش دهند؟)، فرضیه ثابت گردیده است و اهداف محقق گردیده‌اند. بنابراین با توجه به راهکارهای دیگر محققین که در جدول شماره ۶ آمده‌اند، در این مقاله راهکارهای اجرای زیر را می‌توان ارائه داد:

راه‌کار اول: انتخاب مصالح، شامل جلوگیری از هدررفتن مصالح، مدیریت تعمیر و نگهداری ساختمان، استفاده از مصالح ماندگار، مواد و مصالح بازیافتی، مواد و مصالح جایگزین، استفاده از مواد و مصالح محلی، استفاده از مصالح با انرژی نهفتهٔ کمتر، استفاده از مصالح جداسازی‌شونده.

راه‌کار دوم: ضایعات، شامل انعطاف‌پذیری طرح برای کاهش ضایعات، مدیریت ضایعات، مدیریت زمان برای کاهش ضایعات، طراحی ابعاد و اندازه برای کاهش ضایعات، ضایعات قابل‌استفاده.

ج۶. راهکارهای معماری کاهش انرژی نهفتهٔ تحقیق و راهکارهای کاهش انرژی نهفته در ادبیات تحقیق

ردیف	محقق	سال	راهکارهای کاهش انرژی نهفته
۱	Rauf	۲۰۱۵	انتخاب مناسب مواد – تعمیر و نگهداری
۲	Whitworth	۲۰۲۰	به‌حداکثررساندن طول دهانه- به‌حداقل‌رساندن سطح مقطع پرتو – به‌حداقل‌رساندن عمق دال – به‌حداقل‌رساندن وزن
۳	Malmqvist	۲۰۱۸	افزایش دوام مصالح – طراحان باید تغییرات آینده را در نظر بگیرند-کاهش ضایعات ساختمان-کاهش فواصل حمل‌ونقل مصالح- استفاده از پسماندها – استفاده از مصالح بادوام
۴	Rasmussen	۲۰۱۹	استفاده از مواد بازیافتی – افزایش عمر طراحی ساختمان – کاهش تعمیر و نگهداری، طراحی اجزای پیش‌ساخته
۵	Reztrie	۲۰۱۹	سیمان- سرامیک و انتخاب مواد مدولار
۶	Dascalaki	۲۰۲۰	نگهداری – تعمیر – ترمیم – نوسازی یا جایگزینی مواد
۷	Ajayi	۲۰۱۹	بازیافت مصالح ساختمانی
۸	Almeida	۲۰۲۰	استفاده از طراحی مدولار
۹	Hu	۲۰۲۰	دیوار بیرونی کاهش دیوار بیرونی
۱۰	Lolli	۲۰۱۷	عدم استفاده از نمای دوپوسته

فهرست منابع

- Abdagiri, P. V. (2017). Relationship Between Embodied Energy and Cost of Building Materials: A Case Study (Doctoral dissertation).51

- Ajayi, S. O. Oyedele, L. O. Ilori, O. M. (2019). Changing significance of embodied energy: A comparative study of material specifications and building energy sources. Journal of Building Engineering, 23, 324-333.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

construction strategies for reducing embodied impacts from buildings–Case study analysis." Energy and Buildings 166: 35-47.
- Menzies, G. F. (2011). Embodied energy considerations for existing buildings. Historic Scotland Technical Paper, 13, 2011.
- Nizam, R. S. et al. (2018). A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings. Energy and Buildings, 170, 1-14.
- Noman, A. et al. (2019). Sustainable Design of Reinforced Concrete Flat- Plate Buildings Based on Cost, Embodied Energy, and Carbon Footprint.
- Omrany, Hossein, et al. (2020) "Application of life cycle energy assessment in residential buildings: a critical review of recent trends." Sustainability 12.1: 351.
- Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S. (2011). Nanotechnology: advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. Construction and building materials, 25(2), 582-590.
- Praseeda, K. I. et al. (2016). Embodied and operational energy of urban residential buildings in India. Energy and buildings, 110, 211-219.
- Ramesh, S. (2012). Appraisal of vernacular building materials and alternative technoligies for roofing and terracing options of embodied energy in buildings. Energy Procedia, 14, 1843-1848.
- Rasmussen, F. et al. (2018). Analysing methodological choices in calculations of embodied energy and GHG emissions from buildings. Energy and buildings, 158, 1487-1498.
- Rauf, A. (2015). The effect of building and material service life on building life cycle embodied energy (Doctoral dissertation). Faculty of Architecture, Building Planning ،The University of Melbourne،189
- Reddy, B. V. Kumar, P. P. (2010). Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. Energy and Buildings, 42(3), 380-385
- Reztrie, N. D. Larasati, D. (2019, July). Factors Influence Embodied Energy and Embodied Carbon Value at Design Phase of Low Middle Class Apartment in Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 294, No. 1, p. 012095). IOP Publishing.
- Salehian, S et al. (2020). Assessment on Embodied Energy of Non-Load Bearing Walls for Office Buildings. Buildings, 10(4), 79.
- Shukla, A. Tiwari, G. N. & Sodha, M. S. (2009). Embodied energy analysis of adobe house. Renewable Energy, 34(3), 755-761.
- Stephan, A. (2013). Towards a comprehensive energy assessment of residential buildings: a multi-scale life cycle energy analysis framework (Doctoral dissertation).
- Taffese, W. Z. Abegaz, K. A. (2019). Embodied energy and CO2 emissions of widely used building materials: The Ethiopian context. Buildings, 9(6), 136.
- Takano, A. Pal, S. K. Kuittinen, M. & Alanne, K. (2015). Life cycle energy balance of residential buildings: A case study on hypothetical
- Aktas, C. B. & Bilec, M. M. (2012). Impact of lifetime on US residential building LCA results. The International Journal of Life Cycle Assessment, 17(3), 337-349.
- Almeida, M. Barbosa, R. Malheiro, R. (2020). Effect of Embodied Energy on Cost-Effectiveness of a Prefabricated Modular Solution on Renovation Scenarios in Social Housing in Porto, Portugal. Sustainability, 12(4), 1631
- Bardhan, S. (2011). Embodied energy analysis of multi storied residential buildings in urban India. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 143, 411-421
- Chen, S. Tan, Y. & Liu, Z. (2019). Direct and embodied energy-water-carbon nexus at an inter-regional scale. Applied Energy, 251, 113401.
- Crawford, R. et al. (2010). A comprehensive framework for assessing the life-cycle energy of building construction assemblies. Architectural science review, 53(3), 288-296
- Crishna, N. Banfill, P. F. G. & Goodsir, S. (2011). Embodied energy and CO2 in UK dimension stone. Resources, Conservation and Recycling, 55(12), 1265-1273.
- Dascalaki, E, et al. (2020). "On the share of embodied energy in the lifetime energy use of typical Hellenic residential buildings." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 410. No. 1. IOP Publishing.
- Ding, G. 2004. The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities. PhD Thesis, University of technology, Sydney.
- Dixit, M. K. et al. (2014). Recurrent embodied energy and its relationship with service life and life cycle energy: a review paper. Facilities, 32(3-4), 160-181.
- Hammond, Geoff, et al. (2008) Inventory of carbon energy: ICE. Vol. 5. Bath: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
- Haynes, R. (2010). Embodied energy calculations within life cycle analysis of residential buildings. Etet1812. Staging-Cloud. Netregistry, 1-16.
- Hu, M. (2020). A Building Life-Cycle Embodied Performance Index—The Relationship between Embodied Energy, Embodied Carbon and Environmental Impact. Energies, 13(8), 1905.
- Koezjakov, A. et al. (2018) "The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings." Energy and Buildings 165: 233-245.
- Lolli, N. Fufa, S. M. & Wiik, M. R. K. (2017). A parametric tool for the assessment of operational energy use, embodied energy and embodied material emissions in building.
- Maassarani, S. et al. (2017). Developing a Calculation Tool for Embodied Energy in the Conceptual Design Phase. International Journal of Computer Applications, 975, 8887.
- Malmqvist, Tove, et al. (2018)"Design and

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]
[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]

building models in Finland. Energy and Buildings, 105, 154-164.
- Tarabieh, K. Khorshed, M. (2019). Optimizing Evaluation Methods for the Embodied Energy and Carbon Management of Existing Buildings in Egypt. Buildings, 9(4), 90.
- Treloar, G. J. (1998). Comprehensive embodied energy analysis framework (No. Ph. D.). Deakin University.Deakin University, Victoria; 311
- UNEP. 2018 Global Status Report: Towards a Zero-Emission, E cient and Resilient Buildings and Construction Sector. 2018. Available online: https://www.globalabc.org/uploads/media/default/0001/
- Whitworth, A. H. Tsavdaridis, K. D. (2020). Genetic Algorithm for Embodied Energy Optimisation of Single Grid Steel and Concrete Composite Structures. Procedia Manufacturing
- Yeo, D. Gabbai, R. D. (2011). Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization. Energy and buildings, 43(8), 2028-2033.
- Zhu, Han, et al. "The exploration of the life-cycle energy saving potential for using prefabrication in residential buildings in China." Energy and Buildings 166 (2018): 561-570.
- https://doi.org/ 10.22034/40.176.103

[Downloaded from jhre.ir on 2025-07-04]

[DOI: DOI: 10.22034/40.176.103]