صفحات ۱۱۶-۱۰۳

بررسی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی (مطالعه موردی: شهر لاهیجان)

مهندس آرمین گلشاهی*، دکتر وحید قبادیان**، دکتر مهرداد متین***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶

چکیده

هدف از تحقیق بررسی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی است. عواملی نظیر مصالح با کارایی انرژی بالا، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه و راهکارهای بازده انرژی بالا بررسی شدند. روش‌شناسی شامل مطالعه اسناد، مصاحبه‌های تخصصی و مشاهده میدانی است. برای تحلیل اطلاعات از روش FANP استفاده شـــد. نتایج نشـــان داد که شاخص فنی بیشترین نزدیکی را به جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی دارا می‌باشـــد و الویت نخست کاهش انرژی نهفته در آپارتمان‌های مسکونی می‌باشد. همچنین بوجود آوردن سیاست‌ها و تدابیر مؤثر در زمینه اســـتانداردهای ساختمانی کارآمد، تشویق به استفاده از فناوری‌های سبز و ارتقاء آگاهی ساکنان در مورد مصرف انرژی می‌تواند به بهبود کاهش انرژی نهفته کمک کند. اقداماتی برای کاهش انرژی نهفته در آپارتمان‌های مســـکونی از اهمیت بالایی برخوردار است و نیازمند توجه به عوامل مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

انرژی نهفته، آپارتمان مسکونی، ساخت و بازسازی، مدیریت پروژه.

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان: «تدوین مدل کاهش انرژی نهفته در ساخت آپارتمان های مسکونی (مطالعه موردی شهر لاهیجان)» است که با راهنمایی دکتر وحید قبادیان و مشاوره دکتر مهرداد متین در دانشگاه آزاد واحد امارات در حال انجام است.

* دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی معماری ، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد واحد امارات، تهران، ایران.
Email: armin_golshahi@yahoo.com

** دانشیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی، تهران، ایران. (مسئول مکاتبات)
Email: Vah.qobadiyan@iauctb.ac.ir

*** استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
Email: mehrdad.matin@ymail.com

مقدمه

وجود ابزارهای سنجش برای ارزیابی فناوری های اجرایی نوین در پروژه های ساختمانی، مساله ای اساسی در ارتقا و توسعه فنی و اقتصادی این صنعت است (Anderson et al., 2022). آپارتمان های مسکونی بدلیل ماهیت ویژه، زمینه مناسبی برای بکارگیری فناوری های نوین مانند سیستم‌های مدولار و پیش ساخته می باشند. این گونه فناوری ها روندی رو به توسعه در زمینه ساخت و ساز صنعتی در پیش گرفته است (Asdrubali et al., 2021). آمار پروژه های صنعتی که در سال های اخیر از این فناوری بهره گرفته اند، گواه این مساله می‌باشد. بهره‌گیری از فناوری های نوین مانند مدولاسیون و پیش ساختگی در این ساختمان‌ها، نیازمند تحلیل همه جانبه، لحاظ شرایط و ارزیابی نتایج حاصله می‌باشد تا از این طریق، امکان بهره مندی، جایگزینی و بومی سازی صحیح آنها فراهم آید (Dixit, 2009). یکی از اصلی ترین ابزارهای نوین ارزیابی در صنایع مختلف، بهره‌گیری از فناوری اطلاعات است. زمینه های بهره مندی ازاین ابزار در پروسه طراحی و ساخت در صنعت ساختمان نیز در حال توسعه است. امروزه متخصصان صنعت ساختمان با بهره‌گیری از مدل‌های مجازی، که اطلاعات لازم را هم ارز با واقعیات موجود شبیه سازی می‌کنند، به شناسایی و ارزیابی مراحل مختلف عملیات طراحی و ساخت پرداخته و از این طریق شرایط لازم جهت اتخاذ راه حل‌های مناسب را فراهم می‌آورند (Dove et al., 2019). این نمونه‌های مجازی اطلاعات لازم جهت اشراف به مشخصات پروژه قبل از شروع عملیات اجرایی را مهیا می‌کنند و با نمایش واقعیات در یک محیط مجازی امکان سنجش مزایا و معایب هر طرح، امکان محاسبه، تصحیح، تغییر و یافتن گزینه بهینه را تسهیل می نمایند (Fernandes & Ferrao, 2023).

موضوعات مورد بحث در این بخش شامل ضرورت ارزیابی روش‌های ساخت، اهمیت بهره‌گیری از فناوری نوین نمونه‌سازی داده‌های ساختمان در روش‌های ارزیابی و اهمیت روش‌های بهره‌وری در مدیریت آپارتمان‌های مسکونی می باشند (Gazquez et al., 2022). بعلاوه تاثیر روش‌های ارزیابی بر ارتقای صنعت ساخت و تاثیرات آن بر روند اجرای پروژه ها موضوعاتی است که در این بخش به آنها بعنوان موضوعات جانبی با اهمیت برای تحقق پرداخته می‌شود. اصطلاح "توسعه پایدار" به دنبال بحران‌های زیست محیطی حاصل از فعالیت‌های صنعتی در دهه ۱۹۶۰ میلادی، برای نخستین بار در گزارش کمیته جهانی محیط زیست و توسعه، با عنوان آینده مشترک ما در سال ۱۹۸۷ میلادی مطرح شد (Kertsmik et al, 2023). پرواضح است که مفهوم پایداری، مفهومی چندبُعدی با معانی متعدد است و یکی از موضوعات کلیدی مرتبط با پایداری و توسعه و در نتیجه پایدار شهری، چگونگی کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Koezjakov et al., 2018). خصوصاً که امروزه مسأله تغییرات آب و هوای جهانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب‌پذیری جوامع انسانی نسبت به این پدیده‌ها به شدت مطرح است (Kuusk et al., 2022) و انرژی کارایی در توسعه‌های شهری یک فاکتور کلیدی در پایداری شهرها محسوب می‌شود (Lu et al., 2019). این امر خصوصاً در کشور ایران اهمیت به سزایی دارد. چرا که درصد قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه ای را به خود اختصاص داده است؛ همچنین نرخ رشد این انتشارات در ایران نسبت به میانگین جهانی آن نیز بالاتر است (Omrany et al., 2021). لازم به ذکر است که در حال حاضر ۲ درصد سطح جهان را شهرها پوشانده اند، در حالی که ساکنین آنها ۶۰ تا ۸۰ درصد انرژی جهانی را مصرف می‌کنند (Mirabella et al., 2018) و مسئول بیش از ۷۰ درصد از انتشارات گلخانه ای هستند. از همین رو بسیاری از دولت ها در حال برنامه‌ریزی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از تمامی بخش‌های اقتصادی خود و همچنین تعریف و اجرای راهکارهای مدیریت انرژی شهری هستند (Montana et al., 2020). از جمله راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای که در دو دهه اخیر بیشتر مورد توجه محققان و سیاستمداران قرار گرفته، اصلاح فرم شهر می‌باشد (Ng et al., 2022). بر طبق گزارش سازمان ملل متحد، فرم شهر دارای تاثیر مستقیم بر مصرف انرژی و دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد (Schwartz et al., 2022) و بدین ترتیب اصطلاح «فرم پایدار شهری» مطرح شد. مطالعات متعدد رابطه بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی عملکردی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در حالی که پژوهش‌های محدودی روی میزان مصرف انرژی نهفته صورت گرفته است. شیوه ساخت و ساز متأثر از جغرافیا، ارزش‌های فرهنگی و دسترس‌پذیری مواد خام است. ساختمان‌ها معمولاً دوره حیات بالایی را دارا می باشند، لذا تاثیر آنها بر مردم و محیط زیست بلندمدت است و همین امر است که بخش ساختمان را به موضوعی مهم در دست یابی به توسعه پایدار بدل می‌کند (Shirazi & Ashuri, 2020). بر طبق گزارش IPCC در سال ۲۰۰۷ میلادی، ساختمان‌ها در بین سایر بخش‌ها بیشترین پتانسیل را برای کاهش انتشارات گلخانه ای دارند (برآوردی در حدود ۲۹ درصد تا سال ۲۰۳۰) لذا ضروری است که طراحی ساختمان‌ها و روش‌های ساخت و ساز مورد تجدید نظر واقع شوند.

لازم به ذکر است که مطالعه انرژی نهفته در تجربیات جهانی نیز به دهه‌های اخیر بازمی‌گردد و در همین حوزه است که فقر مطالعاتی و پژوهشی در کشور ما مشهودتر می‌باشد. لذا این پژوهش در حکم مقدمه‌ای در این حوزه نوظهور می‌باشد که به بررسی پایداری انواع الگوهای سکونتی و توسعه مسکونی از منظر انرژی نهفته در شهر لاهیجان می پردازد.

بررسی مشخصات سیستم ساختمانی مورد تحقیق است. همانطور که عنوان شد این سیستم ساختمانی که دارای خصوصیات پیش ساختگی است از روش‌های جدید مورد استفاده در ساختمان‌های صنعتی با فناوری نوین است و امکان سنجی آن برای استفاده در بسیاری از محیط های ساخت هنوز ارزیابی نگردیده است و تحقیقاتی که در این زمینه انجام و انتشار یافته است، بیشتر شاخصه‌های سازه‌ای و مکانیکی آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. لذا روش تعریف شده علاوه بر تعریف یک روش جامع برای ارزیابی تصمیم‌گیری در مورد پیش‌ساختگی، به امکان سنجی این فناوری نوین در این محیط، از نقطه نظر پارامترهای مربوط به ساخت نیز می‌پردازد. مطابق با مطالب ارائه شده، هدف اصلی این پژوهش پاسخ به سوال اولویت های کاهش مصرف انرژی نهفته در آپارتمان‌های مسکونی کدامند؟ می‌باشد.

این مطالعه به دلایل زیر به‌صورت موردی در شهر لاهیجان مورد بررسی قرار گرفته است:

- لاهیجان یکی از مناطق زیبا و گردشگری شمال ایران است که در آن تعداد زیادی آپارتمان مسکونی وجود دارد. انجام بررسی در این منطقه می‌تواند به دلیل اهمیت بالای انرژی و حفظ محیط زیست در این منطقه، اطلاعات مفیدی ارائه کند.

- مناطق شمالی کشور به دلیل شرایط آب و هوایی و تقاضای بالای انرژی برای گرمایش و سرمایش، می‌تواند یک محیط مناسب برای بررسی عوامل مؤثر در کاهش انرژی نهفته باشد. لاهیجان به عنوان یکی از مناطق شمالی قابل توجه است.

- لاهیجان به دلیل داشتن زیرساخت‌های مناسب و تنوع آپارتمان‌های مسکونی، می‌تواند به‌عنوان یک مطالعه‌موردی مناسب برای بررسی عوامل مؤثر در کاهش انرژی نهفته انتخاب شود.

- لاهیجان به دلیل جذابیت گردشگری و تنوع جمعیتی می‌تواند یک نمونه مناسب برای بررسی تأثیرات مختلف اقتصادی اجتماعی و فرهنگی بر مصرف انرژی در آپارتمان‌های مسکونی باشد.

پیشینه پژوهش

در تحقیق مونتانا و همکاران (2020)، عنوان گردید که انتظار می‌رود استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساخت گسترش یابد و سازمان‌ها در حال درک این مساله هستند که فناوری اطلاعات می‌تواند برای دریافت و بهره‌گیری مزایای مهم برای رقابت دراین عرصه بکارگرفته شود (Montana et al., 2020). نتیجه تحقیق داو و همکاران (2019)، عنوان می‌کند که به‌کارگیری فناوری اطلاعات به یکی از اصلی ترین فاکتورها در شناسایی موفقیت یا شکست در تقریباً همه بخش‌های صنایع از جمله صنعت ساخت تبدیل شده‌است (Dove et al., 2019). بهره‌گیری از فناوری اطلاعات در صنعت ساخت توسط بسیاری از محققین با هدف نمایش مزایا و توانایی‌های فناوری اطلاعات در صنعت ساخت شرح داده شده‌است. تحقیق شوارتز و همکاران (2022)، یک چارچوب جدید برای اندازه‌گیری مزایای فناوری اطلاعات در صنعت ساخت معرفی می‌کند. این بررسی آشکار نموده است که صنعت ساختمان در این کشور به مقدار زیاد به نرم افزارCAD متکی است و همچنین استفاده از رایانه به صورت آشکار بر روی کارهای اداری، ارتباطات و فعالیت‌های حول تولید نقشه های ساختمانی متمرکز است (Schwartz et al., 2022). در تحقیق عمرانی و همکاران (2021)، نتایج بررسی یازده نمونه موردی از پروژه های مختلف از مناطق مختلف کانادا گردآوری گردید تا از طریق آنها خلاصه اولیه از بهترین کاربردهای استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساخت کانادا شناسایی شود. در نتیجه این تحقیق مشخص گردید که در این پروژه ها نرم افزارهای Custom Web 3D CAD، توسط مهندسان بکارگرفته می‌شوند و صنعت ساخت توانایی دریافت مزایای پایدار از تطبیق گسترده فناوری اطلاعات را دارد. در تحقیق گازکویز و همکاران (2022)، تاثیر فناوری اطلاعات روی عملیات اجرایی مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج بر اساس جمع آوری اطلاعات از ۴۱ شرکت ساختمانی اتخاذ گردید. نتیجه تحلیل‌ها یک گواه مستند بود بر اینکه فناوری اطلاعات به صورت مثبت و مؤثر با عملکرد شرکت، اعمال برنامه و اعمال هزینه مرتبط است (Omrany et al., 2021). در تحقیق لوو و همکاران (2019)، نمونه سه بعدی را با برنامه پروژه پیوند دادند تا یک نمونه چهار بعدی ایجاد کنند. در این تحقیق برای یک ساختمان تجاری، توسعه یک سیستم نمونه سازی چهاربعدی مورد ارزیابی قرار گرفت (Lu et al., 2019). در تحقیق آسدروبالی و همکاران (2021)، با این فرضیه که نمونه‌های چهار بُعدی یک روش برای ابزارهای برنامه‌ریزی پروژه مانند شبکه CPM است؛ به بررسی ویژگی‌های این قابلیت پرداخته شد.

نتیجه تحقیق عنوان می‌کند که اگرچه نمونه‌های چهاربُعدی نمی‌توانند بصورت کامل جایگزین برنامه‌ریزی روش CPM شوند؛ اما با امکان تجسم مراحل پیشرفت پروژه به مردم کمک می‌کنند که بتوانند برنامه زمان‌بندی پروژه را درک کنند. به‌علاوه با بهره‌گیری از توانایی های چهاربُعدی نتایج این نمونه‌های چهاربُعدی به گونه‌ای بود که توانست کاربری زیادی را برای نمایش در زمینه آنالیز تداخل ها و شناسایی ناسازگاری‌های در فضای پروژه شناسایی کرده و به نمایش بگذارد (Asdrubali et al., 2021).

آندرسون و همکاران (2022)، به تشریح یک روش برای برنامه‌ریزی خودکار عملیات ساخت پرداخت که برمبنای یک الگوریتم پایه‌ریزی شده بود که از طریق آن امکان استخراج مراحل ساخت پروژه از عناصر شبیه سازی شده در نمونه مجازی امکان پذیر می گردید (Anderson et al., 2022).

تحقیق اسلابیک و همکاران (2023)، در دانشگاه استانفورد انجام گرفت و هدف از آن نمایش فرمولیزه شده فهرستی از وجوه مختلف و با اهمیت نمونه سازی ساختمان برای افرادی بود که هزینه ساخت را برآورد می‌کنند. این فناوری‌ها در عملیات بتن‌ریزی علاوه بر برآورد میزان بتن مورد نیاز و مصالح لازم میزان تجهیزات لازم مانند میزان قالب مورد نیاز، شمع های لازم جهت قالب بندی و دیگر تجهیزات لازم مانند جرثقیل و پمپ را ارزیابی می‌کند (Slabik et al., 2023).

واهی و همکاران (2023)، به بررسی روش‌های موفقیت آمیز طراحی پایدار ساختمان با استفاده از نمونه سازی داده‌های ساختمان پرداختند. فرصت های قابل توجه برای تاثیرگذاری بیشتر مزایای نمونه سازی داده‌های ساختمان در پروژه‌های پایدار وجود دارد. به عنوان مثال نمونه سازی داده‌های ساختمان می‌تواند برای اجرای لیید (LEED) کاربرد داشته باشد. از آنجا که توسعه این ابزار در حال ادامه است، بنابر این توسعه دهندگان تکنولوژی به ارتقای توانایی‌های نمونه سازی داده‌های ساختمان برای دستیابی به خواسته های طراحی و ساخت پایدار در صنعت، نیازمند هستند (Wahi et al., 2023).

شکاف تحقیقاتی در موضوع بررسی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی، به معنای عدم وجود تحقیقات کافی و جامع در این زمینه است. این موضوع ممکن است به دلیل عدم توجه به مسئله کاهش مصرف انرژی در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی و یا عدم اولویت دادن به این موضوع در شهرها و مناطق مختلف باشد.

به طور کلی، بررسی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی شامل موارد زیر می‌تواند باشد:

- تحلیل و بررسی استانداردها و راهنماها: بررسی استانداردها و راهنماهای مربوط به انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی و ارزیابی اجرای صحیح آنها؛
- ارزیابی تکنولوژی‌های نوین: بررسی تکنولوژی‌های جدید و نوآورانه در زمینه ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی که به کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره وری انرژی منجر می‌شوند؛
- تحلیل رفتار انرژی زا: بررسی رفتار انرژی زا و عوامل مؤثر بر آن در آپارتمان‌های مسکونی و شناسایی راهکارهایی برای بهبود رفتار انرژی‌زا و کاهش انرژی نهفته؛
- ارزیابی سیستم‌های انرژی مسکونی: بررسی و ارزیابی سیستم‌های انرژی مسکونی موجود در آپارتمان‌ها و تحلیل اثربخشی آنها در کاهش مصرف انرژی؛
- تحقیق در مورد اقتصادی بودن اقدامات کاهش انرژی: بررسی اقتصادی بودن اقدامات کاهش انرژی در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی و ارزیابی سودآوری آنها به طور مالی و اقتصادی؛ و
- تحلیل سیاست‌ها و استراتژی‌ها: بررسی سیاست‌ها و استراتژی‌های دولتی و شهری در حمایت از کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی و ارزیابی اثربخشی آنها.

روش پژوهش

در این تحقیق به‌منظور تجزیه و تحلیل از روش‌های دلفی- فازی جهت غربالگری و شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی در شهر لاهیجان، روش AHP جهت تعیین وزن شاخص‌های مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی، و همچنین روش ANP فازی جهت تعیین شاخص‌های بهینه در در شرایط عدم قطعیت اطلاعات بهره گرفته می‌شود. به منظور حل روش ANP فازی و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه از نرم‌افزار متلب بهره گرفته شد.

جامعه آماری تحقیق ۳۶ نفر از اساتید معماری می‌باشد، که بر این اساس حجم نمونه برابر با ۱۲ نفر تعیین شد که ۶ نفر از اساتید دانشگاهی و ۶ نفر در پروژه ساخت و بازسازی در زمینه‌های مرتبط به معماری انجام و مصاحبه‌ها همچنین با استفاده از ضبط‌صوت انجام گرفت. فایل صوتی پاسخ دهندگان با استفاده از نرم‌افزار تحلیل داده‌های کیفی «مکس‌کیودا » نسخه ۲۰۲۲ کدبندی شد. دلیل استفاده از این نرم‌افزار آن بوده است که نسبت به سایر نرم‌افزارهای مشابه خود سازگاری بیشتری با زبان فارسی دارد. به طوری که در تایپ اسناد، ویرایش اسناد و درکدگذاری، مراحل مختلف کدگذاری

و تحلیل می‌توان از قابلیت سازگاری با زبان فارسی استفاده کرد (Weiler et al., 2017).

نتایج و بحث

معیارهای موردبررسی در این پژوهش مطابق با جدول ۱ نهایی‌شده‌است. برای حساسیت موضوع مورد نظر از اعداد فازی ذوزنقه‌ای (اعداد فازی ذوزنقه ای محدوده بیشتری از داده‌ها را به منظور مدلسازی دقیق تر در نظر می گیرد) استفاده شده‌است. دلیل استفاده از اعداد ذوزنقه‌ای، دقیق‌تر بودن آن نسبت به اعداد مثلثی است.

در نهایت، داده‌های فازی با استفاده از رابطه ۱ به اعداد قطعی تبدیل شدند.

رابطه (۱)

$$C=(a1+a2+a3+a4)/4$$

• نتایج مرحله اول توزیع پرسشنامه

در این مرحله برای اولین بار، پرسشنامه برای اتفاق نظر درباره معیارهای مؤثر در عوامل کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی توزیع شد. نتیجه نظر خبرگان در مرحله اول توزیع پرسشنامه در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول ۱. معیارهای مورد بررسی در تحقیق

ردیف	نماد	معیارها	مصاحبه با خبرگان	مرجع
۱	S1	موقعیت جغرافیایی	*	[۱]، [۳]
۲	S2	جهت‌گیری آپارتمان‌های مسکونی	*	[۳]، [۲۱]
۳	S3	تعداد دیوار خارجی آپارتمان		[۵]، [۱۱]
۴	S4	مساحت دیوار خارجی آپارتمان ها	*	[۲]، [۵]
۵	S5	ضخامت دیوار خارجی	*	[۱۱]
۶	S6	مصالح و ضخامت عایق		[۹]،
۷	S7	رنگ دیوار خارجی	*	[۵]، [۲۱]
۸	S8	مساحت پنجره		[۱۲]
۹	S9	نوع ساخت	*	[۳]، [۵]
۱۰	S10	پیچیدگی بخش‌هایی از طرح و عدم تسلط طراح	*	[۷]، [۱۱]
۱۱	S11	ضخامت سقف	*	[۲۱]
۱۲	S12	جاگذاری نامناسب محل کارگاه در سایت پروژه		[۱۹]، [۲۱]
۱۳	S13	عدم آشنایی طراح با ضوابط و مشخصات طراحی انبار و دپو	*	[۱]، [۱۱]
۱۴	S14	مشخصات و ویژگی های مصالح	*	[۷]، [۵]
۱۵	S15	وجود عوامل اجرایی غیر متخصص در این حوزه		[۸]
۱۶	S16	زمان بندی نادرست انتقال مصالح به سایت پروژه	*	[۲۰]، [۲۱]
۱۷	S17	ترکیب دیوار داخلی	*	[۱۶]
۱۸	S18	فراهم نبودن امکانات لازم برای انتقال مصالح	*	[۳]، [۱۱]
۱۹	S19	ساختمان‌های مجاور		[۱۲]، [۵]
۲۰	S20	عدم ارتباط متقابل واحد خرید با سایر ارکان پروژه	*	[۱۷]
۲۱	S21	نداشتن آلترناتیوهای مناسب برای جایگزینی مصالح و تغییر مراکز خرید	*	[۱۹]
۲۲	S22	رعایت نکردن زمان بندی		[۶]، [۲۱]
۲۳	S23	نبود استاندارد و معیارهای مناسب برای بررسی و سنجش پیشنهادهای دریافتی	*	[۷]
۲۴	S24	نداشتن برنامه مناسب به منظور حفظ و نگهداری بخش‌های حساس و آسیب‌پذیر		[۱]، [۱۱]
۲۵	S25	توجه بیشتر به قیمت تمام شده و عدم توجه به کارایی و اثربخشی در دوره عمر پروژه	*	[۲۱]
۲۶	S26	فرآوری و تولید مصالح ساخت	*	[۳]، [۲۱]

جدول ۲. نتیجه مرحله نخست نظرخواهی از خبرگان

معیار	میانگین گیری کلی				عدد قطعی	معیار	میانگین گیری کلی				عدد قطعی
	a_1	a_2	a_3	a_4	میانگین کل		a_1	a_2	a_3	a_4	میانگین کل
S1	۷/۸۲	۸/۸۲	۹/۸۲	۹/۹۱	۹/۰۹	S14	۵/۳۶	۶/۴۵	۷/۴۵	۸/۴۵	۶/۹۳
S2	۵/۴۵	۶/۴۵	۷/۴۵	۸/۴۵	۶/۹۵	S15	۵/۲۷	۶/۲۷	۷/۲۷	۸/۱۸	۶/۷۵
S3	۷/۸۲	۸/۸۲	۹/۸۲	۹/۹۱	۹/۰۹	S16	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸/۰۹	۶/۵۹
S4	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷	S17	۶/۵۵	۷/۵۵	۸/۵۵	۹/۲۷	۷/۹۸
S5	۴/۰۹	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۶	S18	۴/۳۶	۵/۵۵	۶/۵۵	۷/۵۵	۶
S6	۶/۹۱	۷/۹۱	۸/۹۱	۹/۴۵	۸/۳۰	S19	۷/۲۷	۸/۲۷	۹/۲۷	۹/۶۴	۸/۶۱
S7	۴/۰۹	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۱۸	۵/۶۱	S20	۳/۲۷	۴/۶۴	۵/۴۵	۶/۶۴	۵/۰۵
S8	۶/۹۱	۷/۹۱	۸/۹۱	۹/۴۵	۸/۳۰	S21	۳/۷۳	۴/۷۳	۵/۷۳	۶/۸۲	۵/۲۵
S9	۶/۳۶	۷/۳۶	۸/۳۶	۹/۱۸	۷/۸۲	S22	۴	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۴
S10	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷	S23	۳/۳۶	۴/۵۵	۵/۵۵	۶/۶۴	۵/۰۲
S11	۴/۹۱	۵/۹۱	۶/۹۱	۷/۸۲	۶/۳۹	S24	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷
S12	۳/۸۲	۵	۶	۷	۵/۴۵	S25	۶/۵۵	۷/۵۵	۸/۵۵	۹/۲۷	۷/۹۸
S13	۷/۲۷	۸/۲۷	۹/۲۷	۹/۶۴	۸/۶۱	S26	۴/۰۹	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۶

• مرحله دوم توزیع پرسشنامه

مرحله دوم پرسشنامه به منظور اتفاق نظر درباره معیارهای ارائه شده توسط پژوهشگر صورت پذیرفت، در مرحله دوم تا پنجم توزیع پرسشنامه، پرسشنامه‌ای طراحی شد که درآن اختلاف نظر خبره با میانگین نظر تمامی خبرگان (که طبق رابطه ۲ قابل محاسبه است) نمایش داده شد و از خبره خواسته شد که نظر قبلی خود را تعدیل یا تأیید کند.

رابطه (۲) $(bm1-b1(i),bm2-b2(i),bm3-b3(i),bm4-b4(i))=(1n\Sigma b1(i)ni=1-b1(i),1n\Sigma b2(i)ni=1-b2(i),1n\Sigma b3(i)ni=1-b3(i),1n\Sigma b4(i)ni=1-b4(i))$

با استفاده از رابطه ۳ اختلاف نظر در دو مرحله اول و دوم مورد محاسبه قرارگرفت.

رابطه (۳) $S(Am2,Am1)=|14[(am21+ am22+am23+am24) - (am11+ am12+am13+am14)]|$

فرایند تأیید شاخص‌ها تا ۵ مرحله ادامه یافت تا اینکه وزن کلیه شاخص‌ها مور تأیید قرار گرفت.

• انتخاب معیارهای مؤثر در ارزیابی کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی

تکنیک دلفی فازی که در قبل توضیح داده شد، اتفاق نظر بین خبرگان درباره ۲۶ معیار پیشنهادی را ثابت کرد. نتایج تکنیک دلفی، به طور کلی ۶۷ درصد امتیاز داده شده به معیارها را عاملی برای انتخاب معیارها معرفی می‌کند. در این تحقیق، عامل انتخاب معیارها و ارسال آنها به مراحل بعدی تحلیل (شرایط رد یا پذیرش معیار انتخابی)، کسب حداقل ۹۵ درصد امتیاز بوده است که توسط رابطه ۴ بیان شده‌است. در جدول ۳ حد قابل قبول برای انتخاب معیارها ارائه شده‌است.

رابطه (۴) $Nw_k=Nw_i\times Nw_{ip}$

سهم دامنه امتیاز ۷/۸۳ است که با جمع آن با کمترین مقدار (۱) میزان قابل قبول ۸/۸۳ حاصل شده‌است. در ادامه، وضعیت انتخاب یا رد معیارها در جدول ۴ محاسبه شده‌است. اعدادی که در محدوده تعیین شده قرار می‌گیرند تأیید و در اعدادی که خارج از محدوده می‌باشند، رد می‌شود. وزن دهی به معیارهای انتخاب شده توسط تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی صورت گرفت. جهت اجرای بخش دوم، پرسشنامه ای تدوین گشت که در آن معیارها با هم مقایسه زوجی شدند. برای امتیازدهی به مقایسات زوجی، طیفی از ۱ تا ۹ به پاسخ دهندگان ارائه شد که در آن امتیاز ۱نشان دهنده اهمیت برابر

جدول ۳. تعریف حد قابل قبول برای انتخاب معیارها

امتیاز بیشترین مقدار معیار	امتیاز کمترین مقدار معیار	دامنه امتیازی هر معیار	عامل انتخاب معیار	سهم دامنه	تعیین حد امتیاز قابل قبول
۹/۲۵	۱	۸/۲۵	۰/۹۵	۷/۸۳	۸/۸۳

جدول ۴. میانگین نهایی معیارها

معیار (گزینه)	میانگین نهایی	وضعیت	معیار (گزینه)	میانگین نهایی	وضعیت
S۱	۹/۲۵	تأیید	S۱۴	۵/۵	رد
S۲	۹/۲۵	تأیید	S۱۵	۵/۵	رد
S۳	۹/۲۵	تأیید	S۱۶	۵/۵	رد
S۴	۵/۵	رد	S۱۷	۹/۲۵	تأیید
S۵	۵/۵	رد	S۱۸	۳/۶۶	رد
S۶	۹/۲۵	تأیید	S۱۹	۹/۲۵	تأیید
S۷	۵/۵	رد	S۲۰	۴/۶۶	رد
S۸	۹/۲۵	تأیید	S۲۱	۳/۲۵	رد
S۹	۹/۲۵	تأیید	S۲۲	۵/۵	رد
S۱۰	۵/۵	رد	S۲۳	۵/۵	رد
S۱۱	۵/۵	رد	S۲۴	۳/۲۵	رد
S۱۲	۵/۵	رد	S۲۵	۹/۲۵	تأیید
S۱۳	۹/۲۵	تأیید	S26	۵/۴۸	رد

و امتیاز ۹ نشان دهنده اهمیت نسبتاً شدید معیار اول نسبت به معیار دوم است.

برای فازی سازی داده‌ها از اعداد فازی مثلثی استفاده شد و بدین ترتیب که نظر تمامی خبرگان در یک ماتریس کلی جمع شد، در این ماتریس، عدد فازی اول، کمترین مقدار نظر، عدد فازی سوم، بیشترین مقدار نظر و عدد فازی دوم، میانگین هندسی نظرات خبرگان است.

جمع مقادیر z توسط رابطه ۵ و معکوس آن توسط رابطه ۶ به صورت زیر در آمد که در جدول ۵ ارائه شده‌است.

رابطه (۵) $\tilde{a}_1 \oplus \tilde{a}_2 \cong (\alpha_1+\alpha_2, \beta_1+\beta_2, \delta_1+\delta_2)$

رابطه (۶) $Z_1^{(-1)} = (\delta_1^{(-1)}, \beta_1^{(-1)}, \alpha_1^{(-1)})$

در ادامه توسط رابطه ۷ وزن نهایی هر معیار (که به صورت فازی است) محاسبه و توسط رابطه ۸ فازی زدایی شد که در جدول ۶ نشان داده شده‌است.

رابطه (۷) $\bar{W_i} = Z_i \otimes (Z_1 \oplus Z_2 \oplus \ldots + Z_n)^{(-1)}$

رابطه (۸) $W_i = (W_{\alpha i} + W_{\beta i} + W_{\delta i})/3$

سپس مقادیر وزن فازی زدایی شده، بی مقیاس شدند و در جدول ۷ منعکس گردیدند به منظور ارزیابی کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان های مسکونی، اقدام به تشکیل ماتریس در تکنیک دلفی فازی شد. در این ماتریس مقادیر ارائه شده، مقادیر قطعی می باشند؛ اما مقادیر عملکرد معیارهای کیفی با استفاده از نظر خبرگان و با به کارگیری روش طیف ۷ نقطه ای است. در این مرحله پرسشنامه طراحی گردید و بین خبرگان توزیع گردید و آنان اولویت ها را براساس معیارهای موردنظر، ارزیابی کردند که میانگین را براساس

معیارهای موردنظر، ارزیابی کردند که میانگین نظر خبرگان در جدول ۸ آورده شده‌است. لازم به ذکر است در این ماتریس ۵ شاخص با گزینه های A1 تا A5 معرفی شدند که عبارت بودند از:

A1: اقتصادی A2: کالبدی A3: فنی A4: زیست محیطی A5: مدیریتی - نهادی

برای انتخاب تابع ترجیحی، طی جلسات و مذاکراتی که با خبرگان به عمل آمد، به علت آشنایی بیشتر و توجیه منطقی‌تر موضوع از تابع ترجیحی خطی استفاده شد، این تابع با تغییر امتیازات در فاصله صفر تا p، میزان اولویت را به صورت خطی تغییر می‌دهد و اگر تفاوت بیشتر از P باشد گزینه مورد نظر کاملاً اولویت دارد. مقدار P به

جدول ۵. محاسبه مقادیر کلی Z برای معیارها

	عدد فازی		
	اول	دوم	سوم
محاسبه جمع مقادیر Z به صورت کلی	۵/۲۹	۱۳/۰۱	۵۸/۰۰
محاسبه معکوس ماتریس Z به صورت کلی	۰/۰۲	۰۸,۰	۰/۱۹

جدول ۶. وزن نهایی معیار

معیار	اعداد فازی			وزن فازی‌زدایی شده هر معیار	معیار	اعداد فازی			وزن فازی‌زدایی شده هر معیار
	اول	دوم	سوم			اول	دوم	سوم	
C1	۰	۰/۱۳	۰/۵۵	۵۵/۰	C7	۰	۰/۱۴	۱/۷	۰/۶۲
C2	۰	۰/۱۰	۰/۴۱	۴۱/۰	C8	۰	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۲۱
C3	۰	۰/۰۶	۰/۳۳	۳۳/۰	C9	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۹۵	۰/۳۶
C4	۰	۰/۰۴	۰/۳۳	۳۳/۰	C10	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۹
C5	۰	۰/۰۴	۰/۴۵	۴۵/۰	C11	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۹
C6	۰	۰/۰۸	۰/۴۷	۴۷/۰					

جدول ۷. وزن نرمال هر معیار

معیار	وزن نرمال شده هر معیار	معیار	وزن نرمال شده هر معیار
C1	۰/۱۴	C7	۰/۱۵
C2	۰/۱۰	C8	۰/۰۵
C3	۰/۰۸	C9	۰/۰۹
C4	۰/۰۸	C10	۰/۰۲
C5	۰/۱۱	C11	۰/۰۲
C6	۰/۱۲		

جدول ۸. میانگین نظرات خبرگان

میانگین نظر خبرگان					میانگین نظر خبرگان				
اعداد قطعی	عدد فازی سوم	عدد فازی دوم	عدد فازی اول	بعد	معیار	اعداد قطعی	عدد فازی سوم	عدد فازی دوم	عدد فازی اول	بعد	معیار
۵/۵۲	۰/۹	۰/۷۳	۰/۵۸	A1	(C7)	۱/۲۹	۰/۱۹	۰	۰	A1	(C1)
۵/۵۲	۰/۹	۰/۷۳	۰/۵۸	A2		۱/۲۹	۰/۱۹	۰	۰	A2	
۵/۵۲	۰/۹	۰/۷۳	۰/۵۸	A3		۱/۲۹	۰/۱۹	۰	۰	A3	
۴/۵۹	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۴۱	A4		۱/۲۹	۰/۱۹	۰	۰	A4	
۵/۵۲	۰/۹	۰/۷۳	۰/۵۸	A5		۱/۲۹	۰/۱۹	۰	۰	A5	
۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۶	A1	(C8)	۴/۹۴	۰/۸	۰/۶۴	۰/۴۷	A1	(C2)
۴/۷۷	۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۴۴	A2		۳/۹۳	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۲۹	A2	
۵/۶۹	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۶	A3		۴/۹۴	۰/۸	۰/۶۴	۰/۴۷	A3	
۳/۸۵	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۲۷	A4		۵/۷۹	۰/۹۴	۰/۷۷	۰/۶۲	A4	
۵/۶۹	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۶	A5		۳/۹۳	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۲۹	A5	
۳/۹۰	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۲۸	A1	(C9)	۲/۱۵	۰/۳۳	۰/۱۷	۰	A1	(C3)
۲/۸۹	۰/۴۸	۰/۲۸	۰	A2		۳/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۱۷	A2	
۳/۹۰	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۲۸	A3		۲/۱۵	۰/۳۳	۰/۱۷	۰	A3	
۴/۹۰	۰/۷۹	۰/۶۳	۰/۴۸	A4		۳/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۱۷	A4	
۱/۹۵	۳/۰	۰	۰	A5		۴/۱۷	۰/۶۸	۰/۵۲	۰/۳۳	A5	
۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۹	A1		۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A1	(C4)
۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۹	A2		۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۹	A2	
۶/۶۲	۱	۰/۹۲	۰/۷۴	A3		۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A3	
۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۹	A4		۵/۶۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۵۹	A4	
۶/۶۲	۱	۰/۹۲	۰/۷۴	A5		۴/۶۱	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۴۲	A5	
۳/۶۰	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۲۳	A1		۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	A1	(C5)
۴/۶۱	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۴۲	A2		۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	A2	
۴/۶۱	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۴۲	A3		۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	A3	
۳/۶۰	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۲۳	A4		۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	A4	
۳/۶۰	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۲۳	A5		۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	A5	
						۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A1	(C6)
						۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A2	
						۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A3	
						۶/۵۳	۱	۰/۹	۰/۷۳	A4	
						۵/۵۲	۰/۹	۰/۷۳	۰/۵۸	A5	

عنوان آســـتانه برتری طبق جدول ۹ در محاسبات لحاظ گردیده است.

• محاسبه شاخص ترجیحی تجمعی گزینه ها π (b,a) و π (a,b) با اســـتفاده از رابطه ۹ شـــاخص ترجیحی گزینه ها محاسبه شد و در جدول ۱۰ منعکس گردید.

رابطه (۹)

$$dj(a,b)=gj(a)-gj(b)$$

• محاســـبه جریان هـــای رتبه‌بندی مثبت و منفـــی $\Phi+$ و $\Phi-$ با اســـتفاده از معادلات ۱۰ و ۱۱ مقدار $\Phi+$ و $\Phi-$ محاســـبه شد و در جدول ۱۱ منعکس گردید.

رابطه (۱۰)

$$P_j(a,b)=F_j[d_j(a,b)]\ \forall a,b\in A,\ d_j(a,b)=g_j(a)-g_j(b).$$
$$0\le(a,b)\le 1.$$

جدول ۹. اطلاعات معیارها

معیار	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
وزن	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲
نوع شاخص	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
نوع تابع	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
آستانه برتری	p	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶

جدول ۱۰. شاخص ترجیحی تجمعی گزینه ها

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	*	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۳۹
A2	۰/۱۴	*	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۱
A3	۰/۰۴	۰/۳۴	*	۰/۳۴	۰/۴۱
A4	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۳۸	*	۰/۳۹
A5	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۴۳	*

جدول ۱۱. جریان رتبهبندی مثبت و منفی گزینه ها

	A1	A2	A3	A4	A5
Φ^+	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۲۸
Φ^-	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۳۶

جدول ۱۲. جریان خالص رتبه بندی

	A1	A2	A3	A4	A5
Φ	۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۲	-۰/۰۸

رابطه (۱۱)

$$\phi+(a)=1n-1\Sigma\pi(a,x)$$

• ارزیابی کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی

با استفاده از رابطه ۱۲ مقدار جریان خالص رتبه‌بندی محاسبه شد و در جدول ۱۲ منعکس گردید.

رابطه (۱۲)

$$\phi(a)= \phi^{+}(a) - \phi^{-}(a)$$

ارزیابی کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی با روش دلفی کـه رتبه‌بندی کاملی را ارائه می‌دهد با توجه به رابطه ۱۳ به صورت زیر است.

رابطه (۱۳) A3>A1>A4>A2>A5

نتیجه‌گیری

بررسی عوامل مؤثر بر کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی نشان داد که کاهش مصرف انرژی در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی اهمیت بالایی دارد، زیرا این اقدام به کاهش هزینه‌های انرژی، حفظ محیط زیست و افزایش کیفیت زندگی ساکنان کمک می‌کند. همچنین عواملی مانند استفاده از مواد ساختمانی با کارایی انرژی بالا، استفاده از سیستم‌های گرمایش و سرمایش با کارایی بالا، بهینه‌سازی طراحی ساختمان و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند به کاهش انرژی نهفته کمک کنند.

از سوی دیگر، نتایج نشان داد که بوجود آوردن سیاست‌ها و تدابیر مؤثر در زمینه استانداردهای ساختمانی کارآمد، تشویق به استفاده از فناوری‌های سبز و ارتقاء آگاهی ساکنان در مورد مصرف انرژی می‌تواند به بهبود کاهش انرژی نهفته کمک کند.

در مرحله بعد، با توجه به میزان فاصله نزدیکی (شاخص شباهت)، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند؛ به گونه ای که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر، در الویت قرار دارند. در مرحله آخر، گزینه‌ها به ترتیب از بزرگ‌ترین به کوچکترین شاخص رتبه‌بندی شدند. A3>A1>A4>A2>A5.

نتایج نشان دهنده آن است که شاخص فنی (A۳) بیشترین نزدیکی را به جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارا می‌باشد و الویت نخست کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی از لحاظ معیارهای موردنظر برای کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی می‌باشد. این بدین معناست که سرمایه‌گذاری بر روی شاخص فنی می‌تواند بالاترین مطلوبیت را برای منطقه از لحاظ شاخص‌های تعریف شده ایجاد نماید.

در همین راستا برای اجرای سیاست‌های مؤثر در خصوص کاهش انرژی نهفته در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی در شهر لاهیجان، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

• تشویق استفاده از مصالح ساختمانی با کارایی انرژی بالا: ایجاد سیاست‌ها و تشویق‌ها برای استفاده از مصالح ساختمانی با کارایی انرژی بالا در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی. این می‌تواند شامل تخفیفات مالی، تسهیلات و تسهیلات مالی با شرایط ویژه برای ساختمانداران و مالکان ملک باشد.

• ارائه راهنماها و استانداردها: ارائه راهنماها و استانداردهای دقیق برای ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی با رویکرد کاهش انرژی نهفته. این شامل راهنماها برای طراحی ساختمان، استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه، روش‌های ساخت و بازسازی بازده انرژی بالا و غیره است.

• تشویق به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر: ایجاد تشویق‌ها و تسهیلات برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های گرمایش و سرمایش جغرافیایی، سیستم‌های تولید گازهای گلخانه‌ای کم و غیره در ساخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی.

• ترویج آموزش و آگاهی عمومی: برگزاری برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی برای مالکان و ساختمانداران آپارتمان‌های مسکونی در خصوص روش‌ها و فناوری‌های کاهش انرژی نهفته و ارائه اطلاعات درباره سودآوری و مزایای مالی استفاده از این روش‌ها.

• ارائـه تسـهیلات مالـی: ارائه تسـهیلات مالی و تسـهیلات بازپرداخت بـرای مالـکان آپارتمان‌های مسـکونی برای انجام اقدامـات کاهش انـرژی نهفته. ایـن می‌تواند شـامل وام‌های بازپرداختـی بـا نـرخ بهـره پاییـن، تسـهیلات مالـی برای سـاختمان‌های با کارایی انرژی بالا و غیره باشد.

• ارتقاء ظرفیت محلی: ارتقاء ظرفیت محلی در زمینه طراحی و اجرای ساختمان‌های با کارایی انرژی بالا و استفاده از فناوری‌های نوین در سـاخت و بازسازی آپارتمان‌های مسکونی. این می‌تواند شـامل برگزاری دوره‌های آموزشی، کارگاه‌ها و همایش‌ها باشد.

منظـور اجـرای مؤثر ایـن سیاسـت‌ها، نیاز به همـکاری بین دسـتگاه‌های مسـئول، سـازمان‌های مربوطه، صنعت ساختمان و جامعـه محلـی اسـت. همچنین، نظارت و ارزیابـی مداوم بر اجرای این سیاسـت‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

بـا توجه به ایـن نتایج، انجـام اقداماتی بـرای کاهش انرژی نهفته در سـاخت و بازسازی آپارتمان‌های مسـکونی از اهمیت بالایـی برخوردار اسـت و نیاز به توجه به عوامـل مؤثر و ایجاد هماهنگـی بیـن اقشـار مختلف جامعـه برای این امر اسـت.

پی نوشت ها

1.Montana
2.Dove
3.Schwartz
4.Gazquez
5.Lu
6.Asdrubali
7.Anderson
8.Slabik
9.Wahi
10.Maxqda

نقش نویسندگان

بررسی ادبیات، طراحی تجربی، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها و تهیه متن دست‌نوشته توسط آرمین گلشاهی انجام گرفته است. ویرایش دست‌نوشته توسط وحید قبادیان و بررسی ادبیات، جمع‌آوری داده‌ها توسط مهرداد متین انجام گرفته است.

تقدیر و تشکر

این پژوهش منتج از رسالهٔ دکتری با عنوان تدوین مدل کاهش انرژی نهفته در ساخت آپارتمان های مسکونی (مطالعه موردی شهر لاهیجان و با حمایت دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امارات انجام گرفته است.

تعارض منافع نویسندگان

نویسندگان به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از هرگونه سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد و نویسندگان در قبال ارائه اثر خود وجهی دریافت ننموده‌اند.

فهرست مراجع

1. Anderson, N., Wedawatta, G., Rathnayake, I., Domingo, N., & Azizi, Z. (2022). Embodied Energy Consumption in the Residential Sector: A Case Study of Affordable Housing. *Sustainability*, 14, 5051.
2. Asdrubali, F., Roncone, M., & Grazieschi, G. (2021). Embodied energy and embodied GWP of windows: A critical review. *Energies*, 14(13), 37-88.
3. Dixit, M. K. (2019). Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 731-754.
4. Dove, C. A., Bradley, F. F., & Patwardhan, S. V. (2019). A material characterization and embodied energy study of novel clay-alginate composite aerogels. *Energy and Buildings*, 184, 88-98.
5. Fernandes, J., & Ferrão, P. (2023). A New Framework for Circular Refurbishment of Buildings to Operationalize Circular Economy Policies. *Environments*, 10(3), 51.
6. Gazquez, L. A. M., Hernández, F. F., & López,

J. M. C. (2022). A Comparison of Traditional and Contemporary Social Houses in Catarmarca (Argentina). Comfort Conditions and Life Cycle
7. Assessment. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103891.
8. Kertsmik, K. A., Kuusk, K., Lylykangas, K., & Kalamees, T. (2023). Evaluation of renovation
9. strategies: cost-optimal, CO_2e optimal, or total energy optimal?. *Energy and Buildings*, 287, 112995.
10. Koezjakov, A., Urge-Vorsatz, D., Crijns-Graus, W., & Van den Broek, M. (2018). The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings. *Energy and Buildings*, 165, 233-245.
11. Kuusk, K., Ritzen, M., Daly, P., Papadaki, D., Mazzoli, C., Aslankaya, G., & Kalamees, T. (2022, May). The circularity of renovation solutions for residential buildings. In CLIMA 2022 conference.
12. Lu, Z. H., & Omar, W. M. S. W. (2019, September). Environmental impact assessment of tall building structural design with precast and conventional building system on embodied energy and carbon emission. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 2157, No. 1, p. 020039). AIP Publishing LLC.
13. Mirabella, N., Roeck, M., Ruschi Mendes SAADE, M., Spirinckx, C., Bosmans, M., Allacker, K., & Passer, A. (2018). Strategies to improve the energy performance of buildings: A review of their life cycle impact. *Buildings*, 8(8), 105.
14. Montana, F., Kanafani, K., Wittchen, K. B., Birgisdottir, H., Longo, S., Cellura, M., & Riva Sanseverino, E. (2020). Multi-objective optimization of building life cycle performance. A housing renovation case study in Northern *Europe. Sustainability*, 12(18), 7807.
15. Ng, W. L., Chin, M. Y., Zhou, J., Woon, K. S., & Ching, A. Y. (2022). The overlooked criteria in green building certification system:
16. Embodied energy and thermal insulation on non-residential building with a case study in Malaysia. *Energy*, 259, 124912.
17. Omrany, H., Soebarto, V., Zuo, J., Sharifi, E., & Chang, R. (2021). What leads to variations in the
18. results of life-cycle energy assessment? An evidence-based framework for residential buildings. *Energy and Built Environment*, 2(4), 392-405.
19. Schwartz, Y., Raslan, R., & Mumovic, D. (2022). Refurbish or replace? The Life Cycle Carbon Footprint and Life Cycle Cost of Refurbished and New Residential Archetype Buildings in London. Energy, 248, 123585.
20. Shirazi, A., & Ashuri, B. (2020). Embodied Life Cycle Assessment (LCA) comparison of residential building retrofit measures in Atlanta. *Building and Environment*, 171, 106644.
21. Slabik, S., Storck, M., Zernicke, C., & Hafner, A. (2023). Proposing an LCA methodology for the assessment of neighbourhood refurbishment measures. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 3(1), 015009.
22. Venkatraj, V., & Dixit, M. K. (2021). Life cycle embodied energy analysis of higher education buildings: A comparison between different LCI methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110957.
23. Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montanes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286-301.

24. Wahi, P., Konstantinou, T., Tenpierik, M. J., & Visscher, H. (2023). Lower temperature heating integration in the residential building stock: A review of decision-making parameters for lower-temperature-ready energy renovations. *Journal of Building Engineering*, 105811.
25. Weiler, V., Harter, H., & Eicker, U. (2017). Life
26. cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and buildings*, 134, 319-328.

© 2024 by author(s); Published by Science and Research Branch Islamic Azad University, This work for open access publication is under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ISSN 17359562

Investigating Factors Affecting the Reduction of Latent Energy in the Construction and Renovation of Residential Apartments (Case Study; Lahijan)

Armin Golshahi, *Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, Faculty of Architecture,Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

Vahid Ghobadian*, *Associate Professor, Architectural Engineering Department, Faculty of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

Mehrdad Matin, *Assistant Professor, Architectural Engineering Department, Faculty of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

Abstract

One of the ways to achieve sustainable development is reducing energy consumption and greenhouse gas emissions, which has received more attention from researchers and politicians in the last two decades, is the modification of the city form. The study of latent energy in global experiences also goes back to recent decades, and it is in this field that the poverty of studies and research in Iran is more evident. This study examines the factors affecting the reduction of latent energy in the construction and renovation of residential apartments. A case study is conducted in Lahijan city. The purpose of this study is to identify and analyze factors that are effective in reducing energy consumption in residential apartments. For this purpose, various factors including the use of materials with high energy efficiency, the use of renewable energy sources, optimization of ventilation systems, and high energy efficiency construction and renovation solutions are investigated. The research method in this study includes the study of related documents and sources, expert interviews and field observation. The results of this study will lead to the presentation of executive policies and practical recommendations to reduce latent energy in residential apartments in Lahijan city. This study can help decision makers and related organizations in the field of policy and planning related to reducing energy consumption in residential buildings. Therefore, the aim of this article is to investigate the factors affecting the reduction of latent energy in the construction and renovation of residential apartments by using the building data prototyping tool. In order to analyze the information, the fuzzy ANP method is used. The results show that the technical index (A3) is the closest to the positive ideal answer and the greatest distance from the negative ideal answer, and the first priority is to reduce the latent energy in the construction and renovation of residential apartments. Also, the results showed that creating effective policies and measures in the field of efficient building standards, encouraging the use of green technologies and raising the awareness of residents about energy consumption can help improve the reduction of latent energy. According to the results, taking measures to reduce latent energy in the construction and renovation of residential apartments is of great importance, and there is a need to pay attention to the effective factors and create coordination between different layers of society for this. The conclusion of the investigation of factors affecting the reduction of latent energy in the construction and renovation of residential apartments showed that reducing energy consumption in the construction and renovation of residential apartments is very important, because this action helps to reduce energy costs, preserve the environment, and increase the quality of life of residents. Also, factors such as the use of building materials with high energy efficiency, the use of high efficiency heating and cooling systems, optimization of building design and the use of renewable energy sources can help reduce latent energy.

Keywords: Latent energy, Residential apartment, Construction and renovation, Project managemen

* Corresponding Author Email: Vah.qobadiyan@iauctb.ac.ir