



بررسی عوامل تاثیرگذار بر میزان کاهش مصرف انرژی بر اساس مصالح مصرفی در ساختمان های بلند مرتبه مسکونی در استان فارس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

فاروق درویشی

محمد امیر شرافتی*

کارشناسی ارشد مهندسی عمران

گروه عمران، دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، تقاضا برای ساخت ساختمان های بلندمرتبه مسکونی به طور چشم گیری افزایش یافته است. این روند، مصرف انرژی را به یکی از چالش های اساسی در صنعت ساختمان تبدیل کرده است. ساختمان ها به عنوان بزرگ ترین مصرف کنندگان انرژی در جهان، سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه ای و آلودگی محیط زیست دارند. استان فارس با اقلیم گرم و خشک خود، نیازمند راهکارهای مؤثری برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی است. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه مسکونی استان فارس، با تمرکز بر انتخاب متريال های مناسب، انجام شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

مواد و روش ها: این پژوهش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ترکیبی از مطالعات کتابخانه ای و پیمایشی انجام شد. داده ها از طریق پرسشنامه های استاندارد جمع آوری شدند که توسط انبوه سازان و متخصصان نظام مهندسی استان فارس تکمیل گردید. معیارهای اصلی شامل مصالح ساختمانی، شیوه های ساخت، زمان بازگشت سرمایه، پذیرش و فرهنگ مردم و قوانین و ضوابط معماری و شهرسازی بودند. داده ها با نرم افزارهای Excel و MATLAB پردازش و وزن هر معیار با انجام مقایسات زوجی محاسبه شد. نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ نشان دهنده قابلیت اعتماد نتایج بود.

نتایج و بحث: نتایج پژوهش نشان داد که معیارهای اصلی به ترتیب اولویت شامل زمان بازگشت سرمایه (وزن ۰/۳۸۵)، مصالح ساختمانی (وزن ۰/۲۴۵) و شیوه های ساخت (وزن ۰/۱۴۵) بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی دارند. در بخش مصالح ساختمانی، ظرفیت حرارتی (وزن ۰/۳۵۹) و مقاومت حرارتی (وزن ۰/۲۵۴) به عنوان مهم ترین زیرمعیارها شناسایی شدند. طراحی غیرفعال و استفاده از تهویه طبیعی نیز در بخش قوانین معماری بالاترین وزن را به خود اختصاص دادند. همچنین، عوامل اقتصادی مانند دستمزد اجرا و هزینه های نهایی در زمان بازگشت سرمایه نقش کلیدی داشتند.

واژه های کلیدی:

کاهش مصرف انرژی، تحلیل سلسله مراتبی، مصالح ساختمانی

نتیجه گیری: این پژوهش نشان می دهد که ترکیب مصالح ساختمانی با ویژگی های حرارتی مطلوب، طراحی هوشمند و غیرفعال و سیاست گذاری های اقتصادی می تواند به کاهش مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه مسکونی استان فارس منجر شود. پیشنهاد های عملی شامل تدوین آیین نامه های الزام آور برای استفاده از مصالح بهینه، ارائه تسهیلات مالی و آموزش و فرهنگ سازی برای افزایش آگاهی عمومی است. نتایج این مطالعه می تواند به عنوان چارچوبی برای تصمیم گیری مهندسان، طراحان و سیاست گذاران در جهت ساخت ساختمان های پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

نویسنده مسئول: محمد امیر شرافتی

نشانی: گروه عمران واحد شیراز، دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تلفن: ۰۹۱۷۳۸۷۰۰۱۴ پست الکترونیکی: ma.sherafati@iaua.ac.ir

استناد: درویشی فاروق، شرافتی محمد امیر. بررسی عوامل تاثیرگذار بر میزان کاهش مصرف انرژی بر اساس مصالح مصرفی در ساختمان های بلند مرتبه مسکونی در استان فارس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۴؛ ۱۱(۳): ۴۹-۶۲.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

در این پژوهش، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱، عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی استان فارس مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش به دلیل توانایی در ترکیب معیارهای کیفی و کمی، امکان مقایسه‌های زوجی و سنجش سازگاری قضاوت‌های خبرگان را فراهم می‌کند. جامعه آماری این تحقیق را انبوه‌سازان و متخصصان نظام مهندسی استان فارس تشکیل می‌دهند که با تکمیل پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده، داده‌های لازم برای تحلیل را ارائه می‌کنند.

امروزه بخش ساختمان‌وساز به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان شناخته می‌شود که بیش از یک‌سوم انرژی جهانی را به خود اختصاص داده است (براردی ۲۰۱۷). در ایران نیز با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه شهرنشینی، ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند شیراز در استان فارس افزایش یافته است. این روند، مصرف انرژی را به چالشی اساسی تبدیل کرده که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل توجهی در پی دارد (جنوبی و ماجدی ۱۴۰۴). مطالعات نشان می‌دهد که در ساختمان‌های بلندمرتبه، سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC)^۲ و روشنایی سهم عمده‌ای در مصرف انرژی دارند و حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد از این انرژی به‌دلیل طراحی نامناسب، نگهداری ضعیف و کنترل نادرست تجهیزات هدر می‌رود (باقسی ۲۰۰۹). در استان فارس با اقلیم گرم و خشک، این چالش‌ها به‌دلیل نیاز بالای سرمایشی در فصول گرم تشدید می‌شود. از سوی دیگر، استفاده از مصالح نامناسب و عدم توجه به اصول طراحی اقلیمی موجب افزایش بار حرارتی ساختمان‌ها و در نتیجه مصرف بیشتر انرژی شده است. راهکارهای متداول برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها اغلب بر استفاده از فناوری‌های پیچیده و پرهزینه مانند سیستم‌های HVAC با بازده بالا یا انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکز شده‌اند. اگرچه این روش‌ها مؤثر هستند، اما هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری آن‌ها برای بسیاری از پروژه‌های مسکونی مقرون به‌صرفه نیست. در مقابل، راهکارهای مبتنی بر طراحی غیرفعال^۳ مانند بهینه‌سازی پوسته ساختمان، استفاده از مصالح با جرم حرارتی مناسب و جهت‌گیری صحیح ساختمان، می‌تواند بدون هزینه‌های اضافی، تأثیر چشمگیری در کاهش مصرف انرژی داشته باشند (گندال و خرم ۲۰۲۱).

امروزه با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، تقاضا برای ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این روند، مصرف انرژی را به یکی از چالش‌های اساسی در صنعت ساختمان تبدیل کرده است (گیاسو ۲۰۱۸). ساختمان‌ها به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان، سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست دارند (لی و همکاران ۲۰۱۹). در این میان، استان فارس با اقلیم گرم و خشک خود، نیازمند راهکارهای مؤثری برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها نه تنها موجب کاهش هزینه‌های اقتصادی می‌شود، بلکه نقش مهمی در حفظ محیط‌زیست و دستیابی به توسعه پایدار ایفا می‌کند (پروین و همکاران ۲۰۲۱). یکی از عوامل کلیدی در این زمینه، انتخاب مصالحی مناسب است که با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و فنی، می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشند. با این حال، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و انتخاب بهینه‌ترین مصالح، نیازمند روش‌های علمی و دقیق است (لیو و گائو ۲۰۲۱).

با توجه به اقلیم گرم و خشک استان، استفاده از سیستم‌های سرمایشی به‌طور گسترده‌ای رواج دارد که منجر به مصرف بالای انرژی و در نتیجه انتشار حجم قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای می‌شود. به‌کارگیری مصالح ساختمانی بهینه با ویژگی‌های عایق‌کاری مناسب و طراحی غیرفعال، می‌تواند بار حرارتی ساختمان‌ها را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. این امر نه تنها نیاز به استفاده از سیستم‌های مکانیکی پرمصرف را کم می‌کند، بلکه از طریق کاهش سوخت‌های فسیلی مصرفی، انتشار آلاینده‌هایی نظیر دی‌اکسید کربن را نیز محدود می‌سازد (امیدوار و ابراهیمی ۱۳۹۴). علاوه بر این، انتخاب مصالح سازگار با محیط‌زیست و با دوام، باعث کاهش پسماندهای ساختمانی و مصرف منابع طبیعی در بلندمدت می‌شود. کاهش مصرف انرژی همچنین نقش مهمی در حفظ منابع آب و خاک ایفا می‌کند، چرا که بسیاری از نیروگاه‌های تولید برق مصرف‌کننده مقادیر زیادی آب هستند. بنابراین، اجرای راهکارهای ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان گامی مؤثر در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار و بهبود کیفیت محیط‌زیست در استان فارس عمل کند (بهرامی کیا و همکاران، ۱۴۰۳).

1- Analytical Hierarchy Process

2- Heating, Ventilation, and Air Conditioning

3- Passive Design

اجتماعی-فرهنگی را به‌عنوان مؤثرترین عامل در پایداری معماری شناسایی کردند و بر لزوم استفاده از مصالح بومی و طراحی فضاهای سبز تأکید نمودند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر ویژگی‌های فنی مصالح، عوامل فرهنگی و اجتماعی نیز در پذیرش و کارایی آن‌ها نقش دارند.

در مطالعات بین‌المللی نیز روش‌های تحلیل چندمعیاره مانند فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP) به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی معیارهای مؤثر در کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، الحاراسیس و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از AHP به ارزیابی جامع تأثیر مصالح ساختمانی بر ۵ منبع اصلی بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها پرداختند که شامل طراحی انرژی‌محور، اتوماسیون هوشمند، ادغام سیستم‌ها، ذخیره‌سازی انرژی و مدیریت انرژی می‌شود. یافته‌های آن‌ها نشان داد که ذخیره‌سازی انرژی، به‌ویژه در سیستم‌های آب و هیدروژن، مهم‌ترین عامل در بهینه‌سازی انرژی است.

الشفاعی و همکاران (۲۰۲۲) در یک مقاله مروری به بررسی فرصت‌های استفاده از روش AHP در بهینه‌سازی ساختمان‌های سبز پرداختند. در این مقاله به مطالعاتی اشاره شده است که از AHP برای ارزیابی معیارهایی مانند طراحی پوسته ساختمان و عایق‌کاری دیوارها برای بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که AHP ابزاری مناسب برای انتخاب مصالح ساختمانی با هدف کاهش مصرف انرژی است. علاوه بر این ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) برای بهبود کارایی انرژی در سیستم‌های تهویه، گرمایش و تهویه مطبوع (HVAC) از یک روش منطق فازی مبتنی بر AHP استفاده کردند. آن‌ها این روش را بر روی داده‌های عملیاتی یک‌ساله تأسیسات ساختمان ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی آن‌ها در استخراج قوانین ارزشمند با هدف ارتقاء بهره‌وری انرژی، عملکرد بسیار بهتری نسبت به روش‌های سنتی دارد.

عبدالعظیم و همکاران (۲۰۱۶) با توسعه یک سیستم رتبه‌بندی انرژی برای ساختمان‌های موجود در مصر، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و کارایی پوسته ساختمان را به‌عنوان معیارهای کلیدی معرفی کردند. ژو و همکاران (۲۰۱۵) برای بهینه‌سازی پایدار انرژی در ساختمان‌های موجود، به‌ویژه در یک ساختمان هتلی در چین، از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) که گسترش‌یافته‌ای از AHP است، بهره گرفتند. آن‌ها روابط متقابل بین ابعاد مختلف توسعه پایدار، معیارهای عملکرد و عوامل موفقیت پروژه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بهبود پوشش

علی‌رغم اهمیت این موضوع، پژوهش‌های محدودی به بررسی سیستماتیک عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی استان فارس با تمرکز بر انتخاب مصالح پرداخته‌اند. بیشتر مطالعات موجود یا به ساختمان‌های کم‌مرتبه اشاره کرده‌اند یا تأثیر عوامل اقلیمی و مصالح را به صورت مجزا تحلیل نموده‌اند. این شکاف تحقیقاتی، لزوم انجام پژوهشی جامع را نشان می‌دهد که با درنظر گرفتن تمامی ابعاد فنی، اقلیمی و اقتصادی، به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بپردازد.

این پژوهش با هدف پرکردن این خلأ علمی، به بررسی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی استان فارس با محوریت انتخاب مصالح می‌پردازد. سؤال اصلی این است که کدام عوامل و مصالح ساختمانی بیشترین تأثیر را بر کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها دارند و چگونه می‌توان آن‌ها را اولویت‌بندی کرد؟ پاسخ به این سؤال می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری مهندسان، طراحان و سیاست‌گذاران در راستای ساخت ساختمان‌های پایدار و کم‌مصرف باشد.

در سال‌های اخیر، توجه به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی به دلیل تأثیر آن بر پایداری محیط‌زیست و صرفه‌جویی اقتصادی افزایش یافته است. پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش مصالح ساختمانی در کاهش مصرف انرژی پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، جبر و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) نشان دادند که انتخاب مصالح مناسب مانند بلوک سیمانی فوم‌دار می‌تواند تا ۱۰٪ در مصرف انرژی حاصل از سوخت صرفه‌جویی ایجاد کند. این مطالعه بر اهمیت دقت در تحلیل‌های انرژی با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند مقاومت حرارتی و ضخامت مصالح تأکید دارد. همچنین، بهرامی‌کیا و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از چارچوب ارزیابی چرخه عمر مصالح، معیارهای زیست‌محیطی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در انتخاب مصالح معرفی کردند و کاهش مصرف انرژی پنهان و انتشار CO₂ را از جمله مزایای استفاده از مصالح تجدیدپذیر برشمردند.

در پژوهش دیگری، عباسی و همکاران (۱۴۰۰) نقش مصالح هوشمند مانند شیشه‌های فتوکرومیک را در کاهش مصرف انرژی تا ۴۰٪ مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که مصالح هوشمند نه تنها مصرف انرژی را بهینه می‌کنند، بلکه با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به اهداف معماری پایدار نزدیک‌تر می‌شوند. از سوی دیگر، آزادخانی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای بر روی مجتمع‌های مسکونی شهر ایلام، عوامل

پوسته ساختمان و عملکرد حرارتی

پوسته خارجی ساختمان به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تبادل حرارتی بین فضای داخلی و محیط خارج شناخته می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که حدود ۵۰-۶۰ درصد از مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه به سیستم‌های تهویه مطبوع اختصاص دارد که از این مقدار، ۴۰-۵۰ درصد ناشی از تبادل حرارت از طریق پوسته خارجی است. اجزای اصلی پوسته ساختمان شامل موارد زیر است (روستی و همکاران ۲۰۱۹).

- ۱- دیوارها: مقاومت حرارتی و جرم حرارتی مصالح دیوارها نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد انرژی ساختمان دارد.
- ۲- پنجره‌ها: پنجره‌های دو جداره با پوشش کم‌مصرف می‌توانند تا ۳۵ درصد از بار گرمایشی بکاهند.
- ۳- سقف: بام‌های سبز و سرد می‌توانند تأثیر قابل توجهی در کاهش بار سرمایشی داشته باشند.

راهکارهای طراحی غیرفعال

راهکارهای طراحی غیرفعال به‌عنوان مؤثرترین و مقرون به صرفه‌ترین روش‌های کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها شناخته می‌شوند (گندال و خرم ۲۰۲۱).

- ۱- دیوار ترومب: این سیستم با جذب و ذخیره انرژی خورشیدی می‌تواند نیاز به گرمایش را در زمستان کاهش دهد.
- ۲- نمای دوپوسته: این سیستم با ایجاد فضای هوایی بین دو جداره، به‌عنوان عایق حرارتی عمل کرده و تبادل حرارتی را کاهش می‌دهد.
- ۳- جرم حرارتی: استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا مانند بتن می‌تواند نوسانات دمایی داخل ساختمان را کاهش دهد.

نقش مصالح ساختمانی

انتخاب مصالح ساختمانی مناسب با توجه به ویژگی‌های زیر می‌تواند تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر مصرف انرژی ساختمان داشته باشد (بهرامی کیا ۱۴۰۳).

- ضریب هدایت حرارتی^۵
- ظرفیت حرارتی ویژه
- چگالی و جرم حرارتی
- میزان نفوذپذیری هوا

ساختمان و ارتقاء سیستم‌های مکانیکی از مهم‌ترین راه‌ها برای کاهش مصرف انرژی عملیاتی هستند. همچنین، بات و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای بر روی ساختمان‌های پایدار در هند، کارایی انرژی و آب را به‌عنوان مهم‌ترین معیارها شناسایی کردند و بر لزوم ادغام این معیارها در استانداردهای ملی تأکید نمودند.

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که انتخاب مصالح ساختمانی مناسب، استفاده از فناوری‌های نوین، و به‌کارگیری روش‌های تحلیلی مانند تحلیل سلسله مراتبی می‌توانند نقش قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه داشته باشند. با این حال، کمبود مطالعاتی که به طور خاص به بررسی این عوامل در استان فارس پرداخته باشند، احساس می‌شود.

هدف اصلی این مقاله، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی بر اساس مصالح ساختمانی و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های آینده در حوزه ساخت‌وساز پایدار و مدیریت انرژی در استان فارس مورد استفاده قرار گیرد.

معماری انرژی کارا و نقش آن در بهینه‌سازی مصرف انرژی

معماری انرژی کارا به‌عنوان رویکردی جامع در طراحی ساختمان‌ها مطرح می‌شود که با بهره‌گیری از اصول طراحی اقلیمی و فناوری‌های نوین، به کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی می‌انجامد. این رویکرد بر بهینه‌سازی عواملی مانند جهت‌گیری ساختمان، نسبت سطح پنجره به دیوار، سایبان‌ها و جرم حرارتی تأکید دارد. مطالعات نشان می‌دهند که طراحی انرژی کارا در اقلیم استان فارس می‌تواند تا ۴۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی ایجاد کند (جبر و همکاران ۱۴۰۰).

ارزیابی چرخه حیات ساختمان (LCA)^۵

ارزیابی چرخه حیات ساختمان به‌عنوان چارچوبی نظام‌مند، آثار زیست‌محیطی ساختمان را از مرحله تولید مصالح تا تخریب مورد بررسی قرار می‌دهد (ISO 14040, 2001). این ارزیابی نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد مصرف انرژی ساختمان‌ها در مرحله بهره‌برداری اتفاق می‌افتد. در این میان، انتخاب مصالح ساختمانی با انرژی نهان کمتر و عملکرد حرارتی بهتر می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کاهش مصرف انرژی در طول چرخه حیات ساختمان داشته باشد (بهرامی کیا ۱۴۰۳).

مواد و روش‌ها

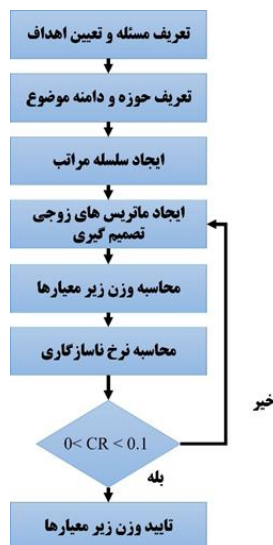
گردید. نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده قابلیت اعتماد نتایج بود.

تکنیک تحلیل سلسله مراتبی

تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از روش‌های قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای اولویت‌بندی و انتخاب بهترین گزینه در شرایط پیچیده به کار می‌رود. این روش با شکستن یک مسئله پیچیده به سطوح مختلف شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، یک سلسله‌مراتب ساختاریافته ایجاد می‌کند. سپس با انجام مقایسات زوجی بین عناصر هر سطح، اهمیت نسبی آن‌ها سنجیده می‌شود. این مقایسات که بر اساس قضاوت‌های خبرگان انجام می‌گیرد، به یک ماتریس مقایسه تبدیل شده و در نهایت با استفاده از محاسبات ماتریسی، وزن نهایی و اولویت هر گزینه تعیین می‌شود. این فرآیند به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا حتی در مواجهه با معیارهای کیفی و کمی متناقض، انتخاب منطقی و شفافی داشته باشد. در شکل ۱ مراحل این روش آورده شده است (وان و همکاران ۲۰۱۸)

این پژوهش با هدف بررسی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی استان فارس انجام شد. روش تحقیق ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایشی بود که با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت. در مرحله اول، مبانی نظری و پیشینه تحقیق از طریق مطالعه مقالات معتبر و منابع علمی گردآوری شد. سپس پرسشنامه‌ای استاندارد طراحی گردید که شامل معیارهای کلیدی مؤثر بر مصرف انرژی بود. این پرسشنامه میان متخصصان حوزه ساختمان، شامل انبوه‌سازان و اعضای نظام مهندسی استان فارس، توزیع شد تا نظرات آن‌ها در خصوص اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی انرژی ثبت گردد.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و MATLAB مورد پردازش قرار گرفتند. روش AHP به‌عنوان چارچوب اصلی تحلیل انتخاب شد، چرا که این روش امکان مقایسه سیستماتیک معیارهای چندگانه و رتبه‌بندی آن‌ها را فراهم می‌کند. در این فرآیند، ابتدا معیارهای اصلی و زیرمعیارها شناسایی و در قالب یک ساختار سلسله‌مراتبی سازماندهی شدند. سپس با انجام مقایسات زوجی توسط متخصصان، وزن هر معیار محاسبه



شکل ۱ - مراحل تحلیل سلسله مراتبی

که انتخاب مصالح ساختمانی با کیفیت و بهره‌گیری از طراحی‌های هوشمندانه بیشترین تأثیر را در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های آینده در حوزه ساخت‌وساز پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

یافته‌های تحقیق حاکی از آن بود که عواملی همچون مصالح ساختمانی، طراحی معماری، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و عایق‌کاری از مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه هستند. این عوامل در شش گروه اصلی و ۳۷ زیرمعیار دسته‌بندی شدند. نتایج نهایی نشان داد

نتایج و بحث

بهینه‌سازی انرژی است. مصالح ساختمانی با وزن ۰/۲۴۵ در رتبه دوم و شیوه‌های ساخت با وزن ۰/۱۴۵ در رتبه سوم قرار دارند. این نتایج بیانگر آن است که انتخاب مصالح مناسب و روش‌های ساخت بهینه نقش کلیدی در کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کنند.

اولویت‌بندی معیارهای اصلی

بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، معیارها به ترتیب اولویت زیر رتبه‌بندی شدند:

در این پژوهش، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان داد که معیارهای اصلی شامل مصالح ساختمانی، شیوه‌های ساخت و زمان بازگشت سرمایه بیشترین تأثیر را در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند. از میان این معیارها، زمان بازگشت سرمایه با وزن ۰/۳۸۵ در اولویت اول قرار گرفته است، که نشان‌دهنده اهمیت توجه به جنبه‌های اقتصادی در پروژه‌های

جدول ۱- معیارهای اصلی و زیرمعیارهای تحلیل سلسله مراتبی

معیارها	زیر معیارها
مصالح	مقاومت حرارتی، ظرفیت حرارتی، سهولت تامین مواد اولیه، سازگاری با محیط‌زیست، مقاومت در برابر ویژگی‌های اقلیمی، تنوع در شکل‌پذیری
شیوه‌های ساخت	قابلیت عایق‌بندی حرارتی در ساخت، کارایی در طراحی و اجرا انواع دیوارها (صنعتی‌سازی، فناوری‌های نوین)، قابلیت هوابندی پوسته ساختمان، کیفیت زیست‌محیطی داخل ساختمان، اینرسی حرارتی جداره‌های ساختمان، آیین‌نامه مناسب بهینه‌سازی مصرف ساختمان
زمان بازگشت سرمایه	قابلیت تخمین هزینه، هزینه نهایی اجرای سیستم، طول عمر مفید مصالح، سیاست‌گذاری دولت، دستمزد اجرا
پذیرش و فرهنگ مردم	قابلیت افزایش آگاهی و علاقه مردم، قابلیت تغییرات فرهنگی و ایدئولوژی افراد، قابلیت آموزش و توانمندسازی مدیران جهت‌گیری ساختمان، کشیدگی ساختمان، موقعیت، اندازه و میزان بازشو در جبهه‌های مختلف، نوع و اندازه سایبان‌ها، جانمایی و چیدمان فضای داخلی، میزان خاک پناهی ساختمان، فرم ساختمان (پیش آمدگی و عقب رفتگی، پلان‌های فشرده، طراحی معماری غیرفعال، استفاده بهینه از تهویه طبیعی، استفاده بهینه از نور طبیعی، نسبت فضای مفید به فضای کل
قوانین و ضوابط معماری	
قوانین و ضوابط شهرسازی	حالت بهینه بافت شهری، میزان بهینه تراکم و سطح اشتغال، جهت‌گیری، عرض و ارتفاع خیابان‌ها

که نتیجه این مقایسات در جدول ۲ و شکل ۱ نشان داده شده است.

برای تحلیل سلسله‌مراتبی متغیرهای اصلی در این تحقیق از مقایسات زوجی و نرم‌افزار Expert Choise استفاده شده

جدول ۲- تحلیل سلسله مراتبی متغیرهای اصلی تحقیق

شاخص	وزن	اولویت
زمان بازگشت سرمایه	۰/۳۸۵	اول
مصالح	۰/۲۴۵	دوم
شیوه‌های ساخت	۰/۱۴۵	سوم
قوانین و ضوابط معماری	۰/۰۹۳	چهارم
قوانین و ضوابط شهرسازی	۰/۰۷۶	پنجم
پذیرش و فرهنگ مردم	۰/۰۵۷	ششم



شکل ۱- تحلیل سلسله مراتبی متغیرهای اصلی تحقیق در نرم افزار Expert Choice

علاوه بر این وزن دهی به متغیرها مقایسه زوجی آن ها نیز در تعیین میزان اهمیت آن ها کاربرد دارد. در جدول ۴ این مقایسه زوجی آورده شده است.

جدول ۳ - ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی با توجه به هدف بهینه سازی مصرف انرژی

معیار	مصالح	شیوه های ساخت	زمان بازگشت سرمایه	پذیرش و فرهنگ مردم	ضوابط و قوانین معماری	ضوابط و قوانین شهرسازی
مصالح	۳/۳۴	۲/۹۹	۳/۶	۲/۸۹	۳/۱۵	
شیوه های ساخت		۳/۳۴	۳/۱۷	۲/۲۹	۲/۵	
زمان بازگشت سرمایه			۳/۷	۳/۵۷	۳/۸۹	
پذیرش و فرهنگ مردم				۲	۲	
ضوابط و قوانین معماری						۱/۶۷

علاوه بر اولویت بندی شاخص های اصلی زیرمعیارهای مربوط به هرکدام از این شاخص ها نیز رتبه بندی گردید. در جدول های ۴ الی ۱۵ رتبه بندی زیرمعیارهای شش شاخص اصلی و همچنین مقایسه زوجی این زیرمعیارها آورده شده است.

اولویت بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای مصالح

جدول ۴ به رتبه بندی زیرمعیارهای شاخص اصلی مصالح نسبت به بهینه سازی مصرف انرژی می پردازد. بر اساس این جدول،

ظرفیت حرارتی با وزن ۰/۳۵۹ در اولویت اول قرار دارد و پس از آن مقاومت حرارتی با وزن ۰/۲۵۴ در رتبه دوم است. سازگاری با محیط زیست با وزن ۰/۱۵۵، سهولت تامین مواد اولیه با وزن ۰/۱۰۶، مقاومت در برابر شرایط اقلیمی با وزن ۰/۰۸۱، و تنوع در شکل پذیری با وزن ۰/۰۴۶ به ترتیب در رتبه های سوم تا ششم جای گرفته اند. جدول ۵ ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص مصالح را نشان می دهد که در آن مقادیر مقایسه ای بین معیارها ارائه شده است.

جدول ۴ - رتبه بندی زیر معیارهای شاخص اصلی مصالح نسبت به بهینه سازی مصرف انرژی

اولویت	وزن	شاخص
اول	۰/۳۵۹	ظرفیت حرارتی
دوم	۰/۲۵۴	مقاومت حرارتی
سوم	۰/۱۵۵	سازگاری با محیط زیست
چهارم	۰/۱۰۶	سهولت تامین مواد اولیه
پنجم	۰/۰۸۱	مقاومت در برابر شرایط اقلیمی
ششم	۰/۰۴۶	تنوع در شکل پذیری

جدول ۵ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص مصالح

زیر معیار	مقاومت حرارتی	ظرفیت حرارتی	سهولت تامین مواد اولیه	سازگاری با محیط زیست	مقاومت در برابر شرایط اقلیمی	تنوع در شکل پذیری
مقاومت حرارتی	۲/۴۷	۳/۳۴	۳/۱۵	۲/۷۱	۳/۹۵	
ظرفیت حرارتی		۳/۵۴	۳/۴	۲/۹۶	۴/۲۳	
سهولت تامین مواد اولیه			۲/۴۵	۲/۲۵	۳/۴	
سازگاری با محیط زیست				۲/۷	۳/۹۶	
مقاومت در برابر شرایط اقلیمی					۲/۷	

اولویت‌بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای شیوه‌های ساخت

جدول ۶ رتبه‌بندی زیرمعیارهای شاخص اصلی شیوه ساخت نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی را نشان می‌دهد که در آن آیین‌نامه مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی با وزن ۰/۳۱۴ در اولویت اول قرار دارد و پس از آن کیفیت زیست‌محیطی داخل ساختمان با وزن ۰/۲۲۴ در رتبه دوم و اینرسی حرارتی جداره‌های ساختمان با وزن ۰/۱۸۳ در رتبه سوم دیده می‌شود. قابلیت عایق‌بندی حرارتی

در ساخت با وزن ۰/۱۲۶ در رتبه چهارم، قابلیت هوابندی پوسته ساختمان با وزن ۰/۰۸۸ در رتبه پنجم و کارایی در طراحی و اجرای انواع دیوارها با وزن ۰/۰۶۵ در رتبه ششم قرار گرفته‌اند. جدول ۷ ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص شیوه‌های ساخت را ارائه می‌کند که مقادیر مقایسه‌ای بین هر دو زیرمعیار را نشان می‌دهد. این ماتریس به درک روابط و اهمیت نسبی هر زیرمعیار کمک می‌کند.

جدول ۶ - رتبه‌بندی زیر معیارهای شاخص اصلی شیوه ساخت نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی

شاخص	وزن	اولویت
آیین‌نامه مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی	۰/۳۱۴	اول
کیفیت زیست محیطی داخل ساختمان	۰/۲۲۴	دوم
اینرسی حرارتی جداره‌های ساختمان	۰/۱۸۳	سوم
قابلیت عایق‌بندی حرارتی در ساخت	۰/۱۲۶	چهارم
قابلیت هوابندی پوسته ساختمان	۰/۰۸۸	پنجم
کارایی در طراحی و اجرا انواع دیوارها (صنعتی‌سازی، فناوری‌های نوین)	۰/۰۶۵	ششم

جدول ۷ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص شیوه‌های ساخت

زیر معیار	قابلیت عایق‌بندی	کارایی در طراحی	قابلیت هوابندی	کیفیت زیست محیطی	اینرسی حرارتی	آیین نامه مناسب
قابلیت عایق‌بندی	۲/۶۵	۲/۵۷	۲/۷۳	۲/۴۷	۲/۵۲	
کارایی در طراحی		۲/۵۱	۲/۵۱	۲/۵۷	۲/۹۵	
قابلیت هوابندی			۲/۸۵	۲/۶۹	۲/۷۳	
کیفیت زیست‌محیطی				۱/۶۵	۲/۲۳	
اینرسی حرارتی					۲/۴۰	

اولویت‌بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای بازگشت سرمایه

جدول ۸ رتبه‌بندی زیرمعیارهای شاخص اصلی بازگشت سرمایه نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی را نشان می‌دهد که در آن معیارهای مختلف با وزن‌های متفاوت اولویت‌بندی شده‌اند. دستمزد اجرا با وزن ۰/۳۵۷ در اولویت اول قرار دارد، پس از آن

هزینه نهایی اجرای سیستم با وزن ۰/۲۶۱ در رتبه دوم، طول عمر مفید مصالح با وزن ۰/۱۷۶ در رتبه سوم، سیاست‌گذاری‌های دولت با وزن ۰/۱۳۱ در رتبه چهارم، و قابلیت تخمین هزینه با وزن ۰/۰۷۵ در رتبه پنجم قرار گرفته‌اند. جدول ۹ ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص زمان بازگشت سرمایه را ارائه می‌کند که در آن مقادیر مقایسه‌ای بین معیارها نشان داده شده است.

جدول ۸ - رتبه‌بندی زیر معیارهای شاخص اصلی بازگشت سرمایه نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی

اولویت	وزن	شاخص
اول	۰/۳۵۷	دستمزد اجرا
دوم	۰/۲۶۱	هزینه نهایی اجرای سیستم
سوم	۰/۱۷۶	طول عمر مفید مصالح
چهارم	۰/۱۳۱	سیاست‌گذاری‌های دولت
پنجم	۰/۰۷۵	قابلیت تخمین هزینه

جدول ۹ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص زمان بازگشت سرمایه

زیر معیار	قابلیت تخمین هزینه	هزینه نهایی اجرای سیستم	طول عمر مفید مصالح	سیاست گذاری دولت	دستمزد اجرا
قابلیت تخمین هزینه		۳/۱۶	۲/۷۶	۳/۳۴	۲/۵۹
هزینه نهایی اجرای سیستم			۲/۱۹	۲/۴۵	۱/۹۷
طول عمر مفید مصالح				۲/۳۴	۲/۷۶
سیاست‌گذاری دولت					۲/۶۵

اولویت‌بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای پذیرش و فرهنگ مردم

در جدول ۱۰، زیرمعیارهای شاخص اصلی پذیرش و فرهنگ مردم نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی رتبه‌بندی شده‌اند. قابلیت تغییرات فرهنگی و ایدئولوژی افراد با وزن ۰/۵۸۴ در اولویت اول قرار دارد، پس از آن قابلیت آموزش و توانمندسازی با وزن ۰/۲۷۰ در رتبه دوم و قابلیت افزایش آگاهی و علاقه مردم با وزن ۰/۱۴۶

در رتبه سوم قرار گرفته‌اند. در جدول ۱۱، ماتریس مقایسه زوجی این زیرمعیارها نشان داده شده است که در آن قابلیت تغییرات فرهنگی نسبت به قابلیت آموزش مدیران ۲/۶ و نسبت به قابلیت افزایش آگاهی و علاقه ۳/۳۴ امتیاز دارد. همچنین، قابلیت آموزش مدیران نسبت به قابلیت افزایش آگاهی و علاقه ۲/۲۳ امتیاز کسب کرده است.

جدول ۱۰ - رتبه‌بندی زیر معیارهای شاخص اصلی پذیرش و فرهنگ مردم نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی

اولویت	وزن	شاخص
اول	۰/۵۸۴	قابلیت تغییرات فرهنگی و ایدئولوژی افراد
دوم	۰/۲۷۰	قابلیت آموزش و توانمندسازی
سوم	۰/۱۴۶	قابلیت افزایش آگاهی و علاقه مردم

جدول ۱۱ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص پذیرش و فرهنگ مردم

زیر معیار	قابلیت تغییرات فرهنگی	قابلیت آموزش مدیران	قابلیت افزایش آگاهی و علاقه
قابلیت تغییرات فرهنگی		۲/۶	۳/۳۴
قابلیت آموزش مدیران			۲/۲۳

اولویت‌بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای قوانین و ضوابط شهرداری

جدول ۱۲ رتبه‌بندی زیرمعیارهای شاخص اصلی قوانین و ضوابط شهرداری را نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی نشان می‌دهد که در آن میزان بهینه تراکم و سطح اشتغال با وزن ۰/۵۴۸ در اولویت اول قرار دارد، پس از آن جهت‌گیری، عرض و ارتفاع

خیابان‌ها با وزن ۰/۳۱۳ در رتبه دوم، و حالت بهینه بافت شهری با وزن ۰/۱۳۹ در رتبه سوم قرار گرفته‌اند. جدول ۱۳ نیز ماتریس مقایسه زوجی این زیرمعیارها را ارائه می‌کند که بر اساس آن، حالت بهینه بافت شهری نسبت به میزان بهینه تراکم و جهت‌گیری، عرض و ارتفاع خیابان‌ها به ترتیب اعداد ۳/۱۱ و ۲/۸۷ را نشان می‌دهد، در حالی که میزان بهینه تراکم و سطح

اشتغال نسبت به جهت‌گیری، عرض و ارتفاع خیابان‌ها عدد ۲/۲۳ را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱۲ - رتبه‌بندی زیر معیارهای شاخص اصلی قوانین و ضوابط شهرسازی نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی

اولویت	وزن	شاخص
اول	۰/۵۴۸	میزان بهینه تراکم و سطح اشتغال
دوم	۰/۳۱۳	جهت‌گیری، عرض و ارتفاع خیابان‌ها
سوم	۰/۱۳۹	حالت بهینه بافت شهری

جدول ۱۳ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص قوانین و ضوابط شهرسازی

زیر معیار	حالت بهینه بافت شهری	میزان بهینه تراکم	جهت‌گیری، عرض و ارتفاع خیابان‌ها
حالت بهینه بافت شهری		۳/۱۱	۲/۸۷
میزان بهینه تراکم و سطح اشتغال			۲/۲۳

اولویت‌بندی و مقایسه زوجی زیرمعیارهای قوانین و ضوابط معماری

در جدول ۱۴، زیرمعیارهای شاخص اصلی قوانین و ضوابط معماری با توجه به بهینه‌سازی مصرف انرژی رتبه‌بندی شده‌اند. طراحی معماری غیرفعال با وزن ۰/۱۹۲ در اولویت اول قرار دارد و پس از آن استفاده بهینه از تهویه طبیعی با وزن ۰/۱۶۲ و استفاده

بهینه از نور طبیعی با وزن ۰/۱۲۶ به ترتیب در رده‌های دوم و سوم جای گرفته‌اند. سایر معیارها مانند نسبت فضای مفید به کل فضا، فرم ساختمان و جهت‌گیری ساختمان نیز با وزن‌های کم‌تر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. جدول ۱۵ نیز ماتریس مقایسه زوجی این زیرمعیارها را نشان می‌دهد که در آن مقادیر مقایسه‌ای بین هر دو معیار به صورت عددی ارائه شده‌اند.

جدول ۱۴ - رتبه‌بندی زیر معیارهای شاخص اصلی قوانین و ضوابط معماری نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی

اولویت	وزن	شاخص
اول	۰/۱۹۲	طراحی معماری غیرفعال
دوم	۰/۱۶۲	استفاده بهینه از تهویه طبیعی
سوم	۰/۱۲۶	استفاده بهینه از نور طبیعی
چهارم	۰/۰۹۷	نسبت فضای مفید به کل فضا
پنجم	۰/۰۸۸	فرم ساختمان
ششم	۰/۰۷۱	کشیدگی ساختمان
هفتم	۰/۰۵۹	جهت‌گیری ساختمان
هشتم	۰/۰۵۷	موقعیت اندازه و باز شو در موقعیت‌های مختلف
نهم	۰/۰۴۵	جانمایی و چیدمان فضای داخل
دهم	۰/۰۴۳	میزان خاک پناهی ساختمان
یازدهم	۰/۰۳۳	پلان‌های فشرده
دوازدهم	۰/۰۲۷	نوع و اندازه سایبان

جدول ۱۵ - ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای شاخص قوانین و ضوابط معماری

زیر معیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
A1		۲/۴۰	۲/۲۵	۲/۴۷	۱/۸۸	۲/۳۹	۲/۷۷	۲/۲۳	۲/۹۹	۲/۸۹	۲/۷۸	۲/۳۲
A2			۲/۴۵	۲/۵۶	۱/۹۵	۲/۴۷	۲/۵۵	۲/۳۴	۲/۷۸	۲/۸۰	۲/۶۸	۲/۲۹
A3				۲/۹۶	۲/۱۵	۲/۲۸	۲/۱۹	۲/۸۱	۲/۳۲	۲/۴۸	۲/۷۱	۲/۳۳
A4					۲/۴۲	۲/۳۸	۳/۰۴	۲/۴۲	۳/۵۵	۳/۱۱	۲/۶۲	۲/۵۹
A5						۲/۱۰	۲/۶۷	۲/۳۵	۳/۵۱	۳/۱۱	۲/۶۲	۲/۵۹
A6							۲/۶۷	۲/۷۴	۱/۸۵	۲/۷۲	۲/۹۰	۲/۵۶
A7								۲/۶۱	۳/۱۲	۳/۰۴	۲/۴۲	۲/۵۷
A8									۳/۵۸	۳/۲۹	۲/۹۶	۲/۲۱
A9										۲/۷۰	۳/۰۴	۳/۱۵
A10											۳/۴۴	۲/۷۰
A11												۳/۱۰

ساختمان (A6)، فرم ساختمان (A7)، پلان فشرده (A8)، طراحی معماری غیر فعال (A9)، استفاده بهینه از تهویه طبیعی (A10)، استفاده بهینه از نور طبیعی (A11)، نسبت فضای مفید به کل فضا (A12)

* علامت گذاری جدول: جهت گیری ساختمان (A1)، کشیدگی ساختمان (A2)، موقعیت اندازه و میزان بازشو در جبهه های مختلف (A3)، نوع و اندازه سایبان (A4)، میزان خاک پناهی

نتیجه گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف بررسی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه مسکونی استان فارس و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل داده ها نشان داد که مصالح ساختمانی با وزن نسبی ۰/۴۳۶، شیوه های ساخت با وزن نسبی ۰/۳۳۳ و زمان بازگشت سرمایه با وزن نسبی ۰/۲۳۱ به ترتیب بیشترین تأثیر را در بهینه سازی مصرف انرژی دارند.

مصالح ساختمانی به عنوان مهم ترین عامل شناسایی شدند. مصالح با جرم حرارتی بالا و ضریب هدایت حرارتی پایین، مانند بتن سبک و بلوک سیمانی فوم دار، به عنوان گزینه های بهینه برای اقلیم گرم و خشک استان فارس شناخته شدند. زیرمعیارهای ظرفیت حرارتی، مقاومت حرارتی و سازگاری با محیط زیست بیشترین وزن را در این معیار به خود اختصاص دادند. شیوه های ساخت نیز تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی دارند. طراحی غیرفعال (مانند دیوار ترومب و نمای دپوسته) و جهت گیری صحیح ساختمان نقش کلیدی در این زمینه ایفا می کنند. همچنین، ساختمان های ۶ تا ۱۰ طبقه به عنوان بهینه ترین گزینه از نظر مصرف انرژی شناخته شدند.

زمان بازگشت سرمایه به عنوان سومین عامل مهم مطرح شد. عوامل اقتصادی مانند کاهش دستمزد اجرا و هزینه های نهایی، همراه با سیاست گذاری های دولتی (مانند اعطای تسهیلات)، از

جمله راهکارهای مؤثر برای توجیه اقتصادی استفاده از مصالح و فناوری های بهینه سازی انرژی هستند. علاوه بر این، عوامل فرهنگی و قانونی نیز در کاهش مصرف انرژی مؤثرند. آموزش و فرهنگ سازی جامعه، همراه با تقویت قوانین شهرسازی و معماری (مانند رعایت تراکم های ساختمانی و استفاده از طراحی های غیرفعال)، از دیگر عوامل تأثیرگذار در این زمینه شناسایی شدند. پیشنهاد های این پژوهش شامل سه حوزه سیاست گذاری، فرهنگ سازی و پژوهش های آینده است. در حوزه سیاست گذاری، تدوین آیین نامه های الزام آور برای استفاده از مصالح بهینه و طراحی های غیرفعال در ساختمان های مسکونی و ارائه تسهیلات مالی و تخفیف های مالیاتی برای پروژه هایی که از فناوری های کم مصرف استفاده می کنند، توصیه می شود. در بخش فرهنگ سازی، برگزاری دوره های آموزشی برای مهندسان و انبوه سازان به منظور افزایش آگاهی از مزایای مصالح و شیوه های ساخت بهینه و اطلاع رسانی عمومی درباره اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی از طریق رسانه ها و نهادهای مرتبط پیشنهاد شده است.

در زمینه پژوهش های آینده، امکان سنجی تطبیق استانداردهای ملی ساختمان با شرایط اقلیمی مناطق مختلف ایران و اجرای پروژه های پایلوت برای ارزیابی کارایی فناوری های نوین در کاهش مصرف انرژی مورد تأکید قرار گرفته است.

در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب مصالح مناسب، طراحی هوشمند و سیاست‌گذاری‌های اقتصادی می‌تواند به صورت همزمان به کاهش مصرف انرژی، حفظ محیط زیست و توسعه پایدار در صنعت ساختمان سازی استان فارس منجر شود. نتایج این

مطالعه می‌تواند به عنوان چارچوبی برای تصمیم‌گیری مهندسان، طراحان، و سیاست‌گذاران در جهت ساخت ساختمان‌های پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. BahramiKia M, Sherafati MA, ValiPoor A. Life Cycle Assessment Methods for Building Materials Using the Circular Assessment Framework and Renewable Alternatives. *JNREE*, 2025; 2(8): 53-63. DOI: <https://doi.org/10.82433/jnree.2025.1205644>
2. Abbasi S, Sadeghpour S, EntezarReihani N. The impact of modern and smart materials in reducing energy consumption and improving the performance of sustainable architecture. *Caujr*, 2021; 2(5)
3. Azadkhani P, Fattahi K, Abbaspoor A. The Role of Architecture in Reducing Environmental Impacts in Residential Complexes of Ilam City with Sustainable Architecture Approach. *behs.bhrc*, 2020; 13(24)
4. Jabur H, Bemanian MR, Yeganeh M. Energy efficient patterns of the outer wall of a tall residential building using building information modeling. *Sysislamicartjournal*, 2025; 53(21): 101-117. DOI: 10.22034/ias.2022.331412.1889
5. A. AbdelAzim and A. Ibrahim, "Development of an energy efficiency rating system for existing buildings using Analytic Hierarchy Process-The case of Egypt.," AbdelAzim, A. I., Ibrahim, A. M., & Aboul-Zahab, E. M. (2017). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 414-425 .
6. B. Bağcı, "Energy saving potential for a high-rise office building.," *Intelligent Buildings International*, vol. 1, no. 2, pp. 156-163, 2009 .
7. B. Gıyasov and I. Gıyasova,(2018) "The impact of high-rise buildings on the living environment," In *E3S Web of Conferences*, vol. 33, p. 1045
8. B. Rosti, A. Omidvar and N. Monghasemi , "Optimum position and distribution of insulation layers for exterior walls of a building conditioned by earth-air heat exchanger," *Applied Thermal Engineering*, vol. 163, p. 114362, 2019.
9. I. Gondal, M. Syed Athar and M. Khurram, "Role of passive design and alternative energy in building energy optimization," *Indoor and Built Environment*, vol. 30, no. 2, pp. 278-289, 2021 .
10. K. Parvin, M. Lipu and M. A. Hannan, "Intelligent controllers and optimization algorithms for building energy management towards achieving sustainable development: challenges and prospects.," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 41577-41602, 2021 .
11. R. Bhatt and J. E. Macwan, "Analytic hierarchy process approach for criteria ranking of sustainable building assessment: A case study.," *World Applied Sciences Journal*, vol. 8, no. 7, pp. 881-888, 2010 .
12. U. Berardi, "A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 123, pp. 230-241, 2017 .
13. Y. Li, M. Han and S. Liu,(2019) "Energy consumption and greenhouse gas emissions by buildings: A multi-scale perspective," *Building and Environment*, vol. 151, pp. 240-250 . ,
14. Z. Liu and A. Guo, "Application of Green Building Materials and Multi-objective Energy-Saving Optimization Design," *International Journal of Heat & Technology*, vol. 39, no. 1, 2021 .
15. Xu, P., Chan, E. H., Visscher, H. J., Zhang, X., & Wu, Z. (2015). Sustainable building energy efficiency retrofit for hotel buildings using EPC mechanism in China: analytic Network Process (ANP) approach. *Journal of Cleaner Production*, 107, 378-388.
16. Alharasees, O., Kale, U., Rohacs, J., Rohacs, D., Eva, M. A., & Boros, A. (2024). Green building energy: Patents analysis and analytical hierarchy process evaluation. *Heliyon*, 10(8).
17. Elshafei, G., Katunský, D., Zelenáková, M., & Negm, A. (2022). Opportunities for using analytical hierarchy process in green building optimization. *Energies*, 15(12), 4490.
18. Zhang, C., Zhao, Y., Lu, J., Li, T., & Zhang, X. (2021). Analytic hierarchy process-based fuzzy post mining method for operation anomaly detection of building energy systems. *Energy and Buildings*, 252, 111426.
19. Chin, Wan & Ch'ng, Chee Keong & Mohd Jamil, Jastini. (2018). A Study of Graduate on Time (Got) For Ph.D Students Using Analytical Hierarchical Process. *The Journal of Social Sciences Research*. 1186-1193. 10.32861/jssr.spi6.1186.1193.



Investigating the factors affecting the reduction of energy consumption based on the materials used in high-rise residential buildings in Fars Province using the Analytic Hierarchy Process

Faroogh Darvishi
Mohammad Amir
Sherafati*

Master of Civil Engineering
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Shiraz

Received: 05 Aug 2025

Accepted: 20 Sep 2025

Keywords:

energy consumption
reduction, analytical
hierarchy process,
building materials

Extended Abstract

Introduction: Today, with the increase in population and urbanization, the demand for the construction of high-rise residential buildings has increased significantly. This trend has made energy consumption one of the main challenges in the construction industry. As the largest energy consumers in the world, buildings have a significant contribution to greenhouse gas emissions and environmental pollution. Fars Province, with its hot and dry climate, needs effective solutions to reduce energy consumption in residential buildings. This research aims to identify and prioritize the factors affecting the reduction of energy consumption in high-rise residential buildings in Fars Province, focusing on the selection of appropriate materials.

Materials and Methods: This research was conducted using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method and a combination of library and survey studies. Data were collected through standard questionnaires that were completed by mass builders and experts in the engineering system of Fars province. The main criteria included building materials, construction methods, payback time, public acceptance and culture, and architectural and urban planning laws and regulations. The data were processed with Excel and MATLAB software, and the weight of each criterion was calculated by performing pairwise comparisons. A discrepancy rate of less than 0.1 indicated the reliability of the results.

Results and Discussion: The results of the research showed that the main criteria, in order of priority, included payback time (weight 0.385), building materials (weight 0.245), and construction methods (weight 0.145) have the greatest impact on reducing energy consumption. In the building materials section, thermal capacity (weight 0.359) and thermal resistance (weight 0.254) were identified as the most important sub-criteria. Passive design and the use of natural ventilation also received the highest weight in the architectural regulations section. Also, economic factors such as construction fees and final costs at the time of return on investment played a key role.

Conclusion: This study shows that the combination of building materials with favorable thermal properties, smart and passive design, and economic policies can lead to reduced energy consumption in high-rise residential buildings in Fars province. Practical suggestions include the development of mandatory regulations for the use of optimal materials, providing financial facilities, and education and culture to increase public awareness. The results of this study can be used as a framework for decision-making by engineers, designers, and policymakers towards the construction of sustainable buildings.

Corresponding author: Mohammad Amir Sherafati

Address: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Shiraz

Tel: +989173870014 **Email:** ma.sherafati@iau.ac.ir

Citation: Darvishi F, Sherafati MA. U Investigating the factors affecting the reduction of energy consumption based on the materials used in high-rise residential buildings in Fars Province using the Analytic Hierarchy Process. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2025; 3(11): 49-62.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.