انتخاب مناسب‌ترین دیوار خارجی ساختمان جهت صرفه‌جویی در انرژی با تکنیک AHP

محمدرحیم رمضانیان*[۱]، مانی بحرکاظمی[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۰/۵/۴
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۶/۷

چکیده:

امروزه با توجه به کاهش منابع زیرزمینی و قیمت بالای این منابع در جهان، لزوم صرفه‌جویی در مصرف این منابع و به طور عام‌تر منابع انرژی کاملاً آشکار و مشهود است. اگرچه کشورهای توسعه‌یافته و حتی برخی از کشورهای در حال توسعه از جمله کشور ما اقدام به استفاده از منابع دیگر انرژی همانند آب، باد، خورشید و انرژی هسته‌ای نموده‌اند، به دلیل عدم کفایت این منابع در مرتفع کردن کل نیازهای انرژی کشور، همچنان منابع زیرزمینیِ انرژی دارای اهمیت فراوان هستند. لذا تلاش برای صرفه‌جویی در مصرف این منابع انرژی تجدیدناپذیر بهترین اقدام برای به تأخیر انداختن اتمام این منابع در کنار بهره‌مندی از فناوری‌های جدید علمی برای استفاده بهتر و بیشتر از سایر اشکال انرژی است. یکی از مکان‌هایی که بخش بزرگی از انرژی در آنها مصرف می‌شود، خانه‌های مسکونی است. ساختمان‌های مسکونی از سقف،کف، دیوار و... تشکیل شده‌اند که برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها باید آنها را عایق‌کاری حرارتی نمود. در این مقاله، بخش دیوارهای بیرونی ساختمان مبنای مطالعه قرار گرفته است. از طرفی، عایق‌های حرارتی نیز انواع مختلفی دارند. لذا در این مقاله ابتدا چهار نوع دیوار بیرونی ساختمان مدنظر قرار گرفته که عایق های حرارتی در درون این دیوارها تعبیه شده‌اند. به عبارت دیگر، از ترکیب انواع دیوارهای بیرونی با انواع عایق‌های حرارتی، چهار جانشین دیوار بیرونی انتخاب شده و سپس معیارهایی برای ارزیابی این جانشین‌ها از طریق مطالعه ادبیات مربوطه انتخاب گردیده است. در مرحله بعد از طریق پرسشنامه‌های مقایسات زوجی که بین ۱۰ نفر از مهندسین ساختمان توزیع شده و استخراج نتایج حاصل از این پرسشنامه‌ها، بهترین جانشین دیوار بیرونی از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی انتخاب شده است.

کلمات کلیدی:
دیوار بیرونی ساختمان، عایق حرارتی، تکنیک فرآیند تحلیل سلسه مراتبی، صرفه‌جویی در انرژی

۱) دانشگاه گیلان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، استادیار گروه مدیریت
۲) دانشگاه گیلان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی
* نویسندهٔ مسئول
Manie.kazemi@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مقدمه

رشد سریع جمعیت جهانی منجر به افزایش سریع تقاضای جهانی برای انرژی شده است. برای حفظ استاندارد زندگی در کشورهای صنعتی و بهبود موقعیت در کشورهای در حال توسعه ، نمی‌توان جلوی مصرف کردن انرژی را گرفت، بلکه باید منابع انرژی موجود خیلی کارآتر مورد استفاده قرار گیرند و منابع تجدیدپذیر انرژی سهم بیشتری از انرژی مورد استفاده را تشکیل دهند[۶،۲۱]. مهمترین بخش از استراتژی انرژی هر کشوری صرفه‌جویی در مصرف انرژی است و به دلیل منابع محدود انرژی و افزایش آلودگی محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی در انرژی اجباری شده است[۱۱]. به طور عام، انرژی می‌تواند در چهار بخش عمده صنعت، ساختمان (مسکونی)، حمل و نقل و کشاورزی مصرف شود[۱۳]. یکی از روش‌های استفاده کارآ از منابع انرژی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بخش ساختمان، عایق‌کاری حرارتی است. عایق‌کاری نقش بسیار مهمی در گرم نگاه داشتن ساختمان در فصل زمستان و خنک نگاه داشتن آن در فصل تابستان دارد. به کمک عایق‌کاری می‌توان یک خانه را در زمستان ۵ درجه گرمتر و در تابستان ۱۰ درجه خنک‌تر نگاه داشت. به این ترتیب، علاوه بر کم شدن مصرف انرژی، از آلودگی محیط زیست نیز کاسته می‌شود و منابع انرژی برای استفاده آیندگان حفظ می گردد[۲]. در همین راستا، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور پروژه‌ای با عنوان " ارائه دستورالعمل تعیین مشخصات فنی و روش گونه‌بندی عایق‌های حرارتی" به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن محول نمود که در سال ۱۳۸۲ خاتمه یافت. در این پروژه تحقیقاتی، انواع اصلی عایق های موجود در کشور تعیین شدند و سپس بر اساس استاندارد اروپا، این عایق‌ها به ۱۰ گونه رتبه‌بندی شدند و در نهایت، این عایق‌های حرارتی برچسب‌گذاری شدند. یکی از مهمترین جنبه‌های کاربرد فرآورده‌های عایق‌کاری حرارتی، نشانه‌گذاری و یا به عبارت دیگر، برچسب‌گذاری آنهاست. با استفاده از برچسب محصول، طراح ساختمان قادر است فرآورده مناسب را با توجه به محل مورد نظر در ساختمان انتخاب کند. بدین وسیله می‌توان از عایقی با مشخصات مورد نظر برای دستیابی به مقادیر طرح استفاده کرد[۴]. در جانشین‌های دیوار بیرونی، دو عایق حرارتی پشم معدنی و فوم پلی استایرن از این دسته‌بندی انتخاب گردیده و با مصالح ساختمانی آجر، گچ و بلوک سیمانی ترکیب شده و چهار نوع پوشش را ایجاد کرده است. در باب اهمیت عایق‌کاری همین بس که در برخی از کشورها انجمن عایق‌کاری حرارتی ایجاد گردیده است؛ در کانادا، انجمنی به نام "انجمن عایق‌کاری حرارتی کانادا[۱] " ، در بریتانیا، "انجمن تأمین کنندگان و تولید کنندگان عایق‌های حرارتی [۲] " و البته در ایران، "مرکز اطلاعات عایق‌های حرارتی ایران[۳] " که دارای سایت اینترنتی نیز می‌باشد وجود دارد. علم اقتصاد و مدیریت با سرعت بسیار در جهت های علمی دیگر گسترش می یابد[۱۴]. همه توسعه‌ها وگسترش‌ها مستلزم روش‌هایی برای ارزیابی خود می‌باشند. همه ایده‌های جدید و متغیرهای ممکن تصمیم ها باید مطابق با معیارهای زیادی مقایسه شوند. هر تصمیم گیرنده‌ای علایق شخصی دارد و همواره در حالت‌هایی از فاکتور محیط مجذوب می‌گردد [۹]. بسیاری از محققین متذکر

---

۱) Thermal Insulation Association Of Canada(TIAC)

۲) Thermal Insulation Manufactures and suppliers Association(TISMA)

۳)Thermal Insulation Information Center Of Iran

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

شده‌اند که در علم اقتصاد و تصمیم‌گیری ضروری است ما قادر باشیم اثرات تغییر فرهنگی، اجتماعی، اخلاقی، قانونی، آماری، اقتصادی، محیطی، دولتی و فناوری و همچنین تغییرات در دنیای کسب و کار را بر روی بازارهای بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و محلی به حساب بیاوریم[۱۲،۲۰،۲۳]. بنابراین، بعد از تجزیه و تحلیل هزینه- منفعت[۱۸] و تکنیک‌های ارزیابی اقتصاد مهندسی مربوطه، تجزیه و تحلیل چند معیاره محبوبیت فزاینده‌ای دارد، زیرا قادر است به ابعاد چندگانه مسائل مورد ارزیابی بپردازد. این تکنیک‌ها به حل تعارضات اجتماعی، محیطی، سیاسی و اقتصادی موضوعات در تصمیم‌گیری مدرن کمک می‌کنند. لذا در این تحقیق از تکنیک AHP برای ارزیابی و انتخاب دیوار بیرونی مناسب استفاده شده است. چندین نویسنده از جمله زاوادسکاس (۱۹۹۰)، یوگوو(۲۰۰۶) و هسو و همکاران(۲۰۰۷) روش‌های تئوری مطلوبیت را برای انتخاب جانشین‌های عقلایی در ساختمان به کار بردند. زاوادسکاس (۱۹۸۶،۱۹۸۷)، زاوادسکاس و آنتوچویشن(۲۰۰۶)، زاوادسکاس و همکاران (۲۰۰۶)، جینویشس و پودوِزکو(۲۰۰۸)، جینویشس و همکاران(۲۰۰۸) و لین وهمکاران(۲۰۰۸) روش تاپسیس فازی را در ساختمان به کار بردند. تحقیق وانگ و همکاران(۲۰۰۸) برای کمک در تصمیمات و ارزیابی سیستم‌ها و مؤلفه-های ساختمان در ساختمان هوشمند هدایت شد. نویسندگان به شناسایی شاخص‌های هوشمند کلیدی کمک کردند و مدل-هایی برای ارزیابی هوشِ سیستم‌های ساختمانی هوشمند ترسیم نمودند. مجموعه‌ای از ۶۹ معیار کلیدی هوشمند را برای ۸ سیستم ساختمان هوشمند شناسایی کردند و برای ارزیابی کردن سطح هوشمندی سیستم‌های ساختمانی هوشمند از دو نگرش تصمیم گیری چند معیارهٔ AHP و ANP استفاده کردند[۲۲]. برخی از محققان همچون توسان و دینسر(۲۰۱۱) طی مقاله‌ای تحت عنوان" مدل‌سازی یک سیستم عایق حرارتی مبتنی بر سردترین شرایط دمایی جهت تعیین عملکرد انواع دیوارهای ساختمان در ترکیه" از تکنیک شبکه مصنوعی استفاده کردند[۱۹].

عایق‌کاری حرارتی

عایق‌کاری حرارتی، فرایند کاهش انتقال حرارت از میان یک سامانه است، یا برای توصیف یک فرآورده، ترکیب یا سامان‌هایی که آن وظیفه را انجام می‌دهند به کار می‌رود (استاندارد ملی۸۰۸۴ بند۳-۴-۱). مفهوم یک سامانه عایق شده در برابر یک سامانه عایق نشده، قابل تعریف نیست، ولی زمانی‌که یک کاهش اساسی انتقال حرارت به میزان قابل توجهی در مقایسه با سامانه عایق نشده وجود داشته باشد، قابل درک است (استاندارد ملی۸۰۸۴ پیوست الف). ایرانیان از دیرباز با عایق‌کاری آشنا بوده‌اند و با استفاده از مصالح ساختمانیِ در دسترس، خانه‌های خود را طوری می‌ساختند که کمترین نیاز را به گرمایش و سرمایش داشته باشند و این خود جلوه‌ای از تمدن دیرینه ایران و ایرانیان است. عایق در تابستان باعث می‌شود گرمای کمتری وارد ساختمان شود و در زمستان نیز جلوی خروج گرما از ساختمان و سرد شدن آن را می‌گیرد [۲].

انواع عایق‌های حرارتی

عایق‌ها انواع گوناگونی دارند که طبق تقسیم‌بندی مرکز اطلاعات عایق‌های حرارتی ایران عبارتند از:

۱-عایق‌های پایه معدنی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

تقسیم‌بندی عایق‌های حرارتی با این زیرگروه، امکان بررسی ویژگی‌های مشترک میان عناصر آن را فراهم می‌سازد. بارزترین نقطه مشترک این گروه، یافت شدن مواد اولیه آنها چه به صورت خالص و یا ناخالص در معادن بوده و فرآوری-های انجام شده بر روی این مواد، ساختار مولکولی آنها را دگرگون ننموده است. در اکثر انواع عایق‌های این گروه عنصر سلیسیم(si) یکی از مواد اصلی بوده که ساختار عایق بر پایه آن شکل گرفته است. برای مثال، فرآورده‌های پشم‌های معدنی که از قدیمی‌ترین و شناخته شده‌ترین انواع عایق‌هاست، یکی از زیر گروه‌های آن می‌باشد. مهم‌ترین تشابهات در این گروه عبارتند از:

- ❖تحمل حرارتی بالایی دارند (حتی بعضی از آنها را می‌توان جزو مواد دیرگداز نیز به حساب آورد.)
- ❖عموماً سلول باز بوده و جاذب رطوبت می باشند (در برابر نفوذ رطوبت ضعیف می باشند.)

٢- عایق‌های پایه شیمیایی

٣- عایق‌های مرکب یا چند لایه

- ❖عایق چندلایه: ترکیبی از ٢ یا چند لایه از یک ماده عایق مشخص که ضخامت لایه‌های منفرد آن ممکن است با هم متفاوت باشند. (استاندارد ملی٨٠٨۴ بند ٣-۴-١٠)
- ❖عایق مرکب: ترکیبی از لایه‌ها که حداقل از دو ماده عایق مختلف تشکیل شده است. خاصیت عایق مرکب، از خواص عایق‌کاری مواد منفرد می‌شود. (استاندارد ملی٨٠٨۴ بند٣-۴-١١)

گاهی استفاده از ساختار مرکب و چندلایه در عایق‌ها بسیار مؤثرتر از استفاده از یک لایه عایق با همان ضخامت می‌باشد. به کارگیری این روش امکان مناسبی نیز برای جبران انقباض و انبساط طولی لوله‌ها در نقاط با درجه حرارت و شوک حرارتی بالا را ایجاد می‌نماید. به کارگیری عایق‌های مرکب و چندلایه روی اتصالات و پل‌های حرارتی باعث کاهش تلفات حرارت و در نتیجه، ایجاد وضعیت بهتر و کارآتر و افزایش راندمان عایقی می‌گردد. همچنین یکی از کاربردهای مناسب این روش در محل‌هایی است که نیاز به کاهش ضخامت عایق‌کاری باشد. در مرحله بازسازی و تعویض عایق‌های موجود نیز این نوع عایق‌ها جایگزین مناسبی تلقی خواهند شد. هم اکنون کاربرد وسیع کامپوزیت‌ها در نمای ساختمان علاوه بر جلوه زیبائی، باعث ایجاد خواص عایقی بر روی جدار ساختمان و کاهش اتلاف انرژی در زمستان و جلوگیری از ورود انرژی تابشی خورشید به پوسته ساختمان در تابستان می‌گردد که نقش مؤثری در صرفه‌جویی در مصرف انرژی خواهند داشت. در صورتی که درزبندی کامل انجام شود، با کاهش اثرات ضریب جابجائی هوای خارج در جدار خارجی ساختمان نقش آن مؤثرتر خواهد بود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۴- عایق‌های سپر تابشی: بخشی از یک سیستم عموماً به شکل ورق با ضریب تابش کم که برای کاهش اثر تابش حرارتی به‌کار می‌رود. (استاندارد ملی ۸۰۸۴- بند۳-۴-۱۶)

۵- عایق‌های مصالح ساختمانی

۶- عایق‌های پایه گیاهی حیوانی

۷- عایق‌های خلأدار

۸ -عایق‌های مدرن[۳].

چه جاهایی باید عایق‌کاری شوند؟

جاهایی که باید عایق‌کاری شوند عبارتند از:

- ❖سقف‌ها: مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان را ۳۵٪ تا ۴۵٪ کاهش می‌دهد.
- ❖دیوارهای خارجی: مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان را حدود ۱۵٪ کاهش می‌دهد.
- ❖کف: مصرف انرژی را در زمستان ۵٪ کاهش می‌دهد.
- ❖لوله های آب گرم: برای عایق‌کاری لوله‌های آب‌گرم می‌توان از عایق‌های پتویی یا عایق‌هایی که به طور ویژه برای لوله‌ها ساخته شده و به راحتی قابل نصب هستند، استفاده کرد.

سقف و کف ساختمان‌های موجود را می‌توان به راحتی عایق‌کاری کرد. در صورت وجود جا، دیوارهای خارجی را نیز می‌توان عایق نمود.

بر اساس مقررات ملی ساختمان، تمامی ساختمان‌هایی که ساخته می‌شوند باید به اندازه کافی عایق‌کاری شوند. میزان عایق مورد نیاز نیز در همین مقررات تعیین شده است.

چند راهنمایی کلی برای نصب عایق‌ها

عایق‌ها در صورتی کار خود را خوب انجام می‌دهند که به طور صحیح نصب شده باشند. موارد زیرکمک می‌کند تا بهترین کارآیی از عایق‌های نصب شده به دست آید:

۱. هرگز عایق را فشرده نکنید. عایق باید پس از نصب همان ضخامت اولیه خود را داشته باشد. در غیر این صورت، مقدار مقاومت حرارتی آن کاهش می‌یابد و نمی‌تواند آن‌طور که انتظار می‌رود، جلوی انتقال حرارت را بگیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

٢. عایق‌کاری را به طور کامل روی تمام سطح انجام دهید، چرا که اگر تنها ۵٪ از سطح خالی بماند، ممکن است تا ۵۰٪ از کارآیی عایق‌کاری کاسته شود.

٣. مواد عایق را باید همیشه خشک نگاه داشت زیرا به استثنای پلی‌استایرن که نسبت به آب مقاوم است، بقیه عایق‌ها بر اثر رطوبت کارآیی‌شان پایین می‌آید. در برخی عایق‌های آزاد مقدار مقاومت حرارتی متناسب با تراکم عایق است نه ضخامت آن. در این عایق‌ها، مقدار مقاومت ممکن است بعد از مدتی تا ۲۰٪ کاهش یابد. از این رو، باید از نصب‌کننده عایق تضمین گرفت.

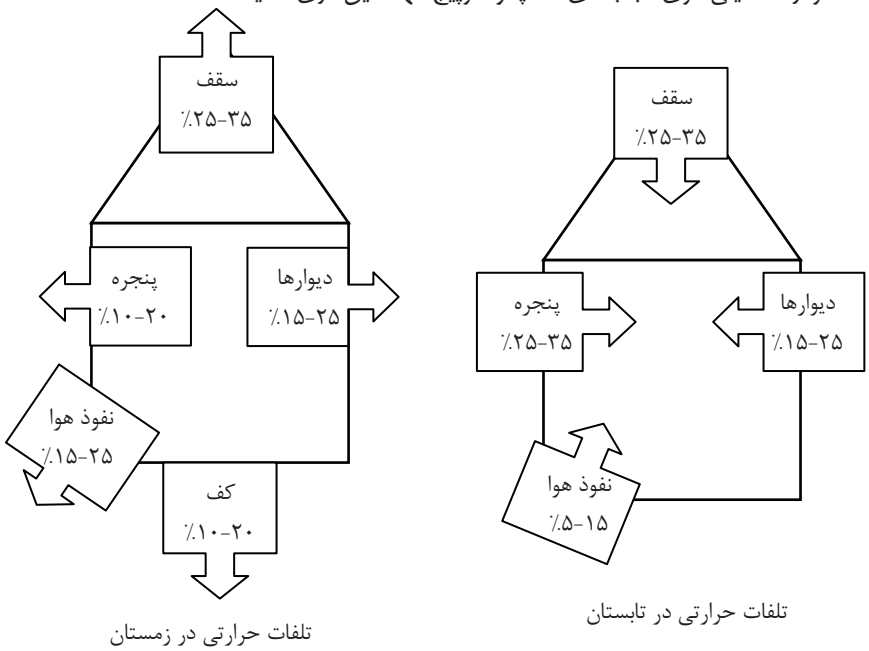
۴. از عایق‌های آزاد در سقف‌های با شیب زیاد استفاده نکنید.

۵. در صورت استفاده از عایق‌های بازتابنده، باید حتماً پشت آنها یک لایه هوای ساکن به ضخامت۲۰ میلی‌متر وجود داشته باشد .تمام سوراخ‌ها و پارگی‌ها و درزها باید با نوار چسب پوشیده شوند.

۶. اطراف کابل‌های برق و لوازم الکتریکی را هرگز عایق‌کاری نکنید. ایمن بودن عایق‌کاری باید توسط یک فرد متخصص بررسی شود.

۷. در فاصله کمتر از ۹۰ میلی‌متری فن‌های خروجی عایق نصب نکنید.

۸. در فاصله کمتر از ۲۵ میلی‌متری حباب‌های لامپ و سرپیچ آنها عایق‌کاری نکنید.

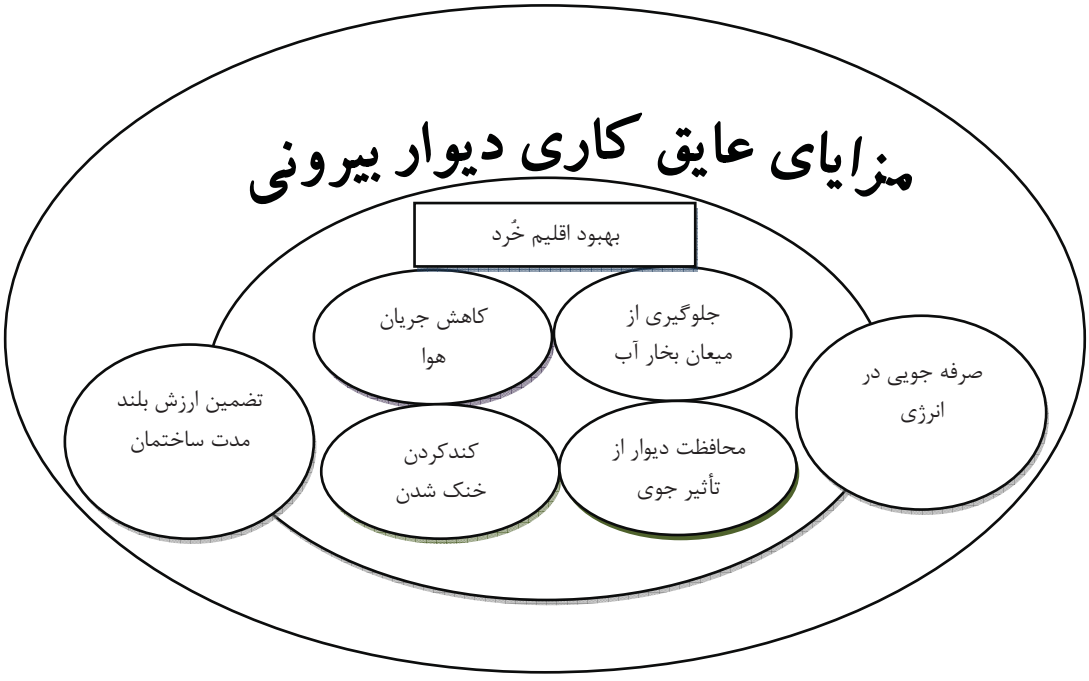


شکل۱) تلفات حرارتی در زمستان و نفوذ گرما در تابستان در یک خانه معمولی[۳]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مزایای عایق کاری حرارتی

در سال‌های اخیر، تعداد ساختمان‌های مسکونی در حال افزایش بوده است و معرفی سیستم‌های گوناگون عایق‌سازی گرما در شیوه مهندسی ساختمان به علت افزایش قابل‌توجه در قیمت منابع انرژی در بازار جهانی می‌باشد. در نتیجه، نیاز رو به رشدی برای کاهش معنی‌دار اتلاف گرما در طول عمر ساختارهای مهندسی ساختمان وجود دارد که می‌تواند با استفاده از سیستم‌های ساختمانی مؤثر برای جلوگیری از اتلاف گرما از طریق دیوارهای بیرونی حاصل شود. مطابق با آمار وزارت محیط زیست جمهوری لیتوانی، تقریباً نیمی از کل اتلاف‌های گرما از طریق کیفیت پایین دیوارها می‌باشد. بنابراین، انتخاب با دقت و حرفه‌ای یک سیستم بهینه عایق‌کاریِ گرمای ساختمان یکی از مهمترین اهداف تکنیکی و اقتصادی را برای هم طراح و هم سرمایه‌گذار نشان می‌دهد. مزیت حاصل شده از عایق‌کاری گرماییِ مؤثر دیوارهای بیرونی می‌تواند به وسیلهٔ شاخص‌های ارایه شده در شکل۲ تعریف شود.



شکل۲) مزایای عایق‌کاری دیوار بیرونی

عایق‌ها و جانشین های دیوار بیرونی مورد استفاده در این مطالعه

عایق‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: پشم معدنی و فوم پلی‌استایرن که در درون چهار جانشینی که برای دیوارهای بیرونی انتخاب شده‌اند و در ادامه به آنها اشاره می‌شود، تعبیه شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

پشم معدنی

این عایق جزو عایق‌های حرارتی بر پایه مواد معدنی[1] است. در بخش عایق‌های پایه معدنی در مورد این عایق توضیحاتی داده شد.

فوم پلی استایرن[2]

پلی‌استایرن، پلیمری است که از مونومر استایرن درست می‌شود. مونرمر استایرن خود از هیدروکربن مایع طی فرایندی در پالایشگاه‌ها از نفت خام تولید می‌شود. در دمای اتاق پلی‌استایرن به طور معمول جامد می‌باشد که توسط حرارت قابلیت ارتجاع یا نرمش‌پذیری پیدا می‌کند، اما در دماهای بالا می‌توان آنها را ذوب و دوباره قالب‌ریزی کرد. استایرن یک مونومر معطر است. فوم پلی‌استایرن یک ماده پلاستیک صلب با محدوده وسیعی از چگالی‌ها وکاربردهاست. آن را به سه نوع اصلی تولید می‌کنند؛ تخته یا ورق اکسترود شده، پلی استایرن منبسط شده فله‌ای و پلی استایرن منبسط شده قالبی[۳].

در این مطالعه، مقصود از فوم پلی استایرن، نوع منبسط شده آن است.

انواع جانشین ها برای دیوار بیرونی

ساختارهای نمای ساختمان‌های مسکونی و اداری باید الزامات زیر را رعایت کنند:

۱-توانایی برای عملکرد به عنوان دیوارهای تکیه‌گاه یا خود تکیه‌گاه
۲-امکانات بالای عایق‌سازی گرمایی
۳-صدابندی خوب
۴-مقاوم در برابر رطوبت
۵-مقاوم در برابر سرما
۶-نفوذپذیری هوا
۷-نفوذپذیری بخار
۸-اهمیت نور کافی
۹-نظافت اکولوژیکی

---

۱) Mineral Insulation
۲) Polystyrene Foam

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱۰- نسوز بودن رضایت بخش

۱۱- دوام

توجهات معمولاً به این حقیقت جلب شده که ساختارهای نمای چند لایه به عنوان بخش‌هایی ترکیبی از مواد همگن با امکانات فیزیکی- مکانیکی مختلف ساخته می‌شود، مانند:

- ضریب انقباض و انبساط
- ضریب کشش و فشردگی
- خواص چسبندگی
- رفتار تحت انواع مختلف فشار باد
- رفتار تحت پرتودهی نسبت به اشعه فرابنفش
- تفاوت بین مقادیر انبساط در دیوارهای مجاور با دمای نسبتاً بالا
- تغییر به سبب نوردهی پرتوهای مختلف خورشید و رنگ نهایی نما
- تفاوت در خواص طول عمر هر مخلوط در استفاده
- مقادیر نفوذ پذیری هوا و بخار آب

انواع مختلفی از دیوار بیرونی به وسیله استفاده از مواد گوناگون با عایق‌سازی حرارتی، همچنین انواع مختلفی از بنایی زینتی و نازک‌کاری شکل داده می‌شوند. چهار نوع جانشین دیوار بیرونی در نظر گرفته شده در این تحقیق عبارتند از:

۱- بلوک سیمانی ـ پشم معدنی ـ آجر

۲- بلوک سیمانی ـ فوم پلی استایرن ـ آجر

۳- بلوک سیمانی ـ پشم معدنی ـ لایه نازک گچ

۴- بلوک سیمانی ـ فوم پلی استایرن ـ لایه نازک گچ

برای ارزیابی این دیوارها جهت انتخاب مناسب‌ترین دیوار بیرونی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی معیارهایی با توجه به مطالعه ادبیات مربوطه در نظر گرفته شد که این معیارها عبارتند از:

۱- هزینه ساخت دیوار

۲- عایق حرارتی بودن دیوار

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

٣- وزن دیوار

۴- دوام دیوار

۵- نفوذپذیری کم بخارآب

برای مقایسه و کسب اهمیت این معیارها و انتخاب مناسب‌ترین دیوار از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده گردید که در زیر شرح داده می‌شود.

کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در مطالعه اخیر

در اولین اقدام برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی با ایجاد چهار سطح سلسله مراتبی شامل هدف‌ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها مواجه هستیم[٧]. تبدیل موضوع یا مسأله مورد بررسی به ساختار سلسله مراتبی، مهم‌ترین قسمت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی محسوب می شود[١٠]. زیرا در این قسمت با تجزیه مسایل مشکل و پیچیده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی آنها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مسایل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلیِ مسأله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی را مشخص می‌کند، به شکل ساده‌تری در می‌آورد[١٧].

بر اساس رویکرد AHP، هر موضوع تصمیم‌گیری را می‌توان در یک ساختار سلسله‌مراتبی تبیین نمود که از آن تحت عنوان درخت سلسله مراتب تصمیم یاد می‌شود. در این درخت در سطح یک هدف، سطح آخر گزینه‌های رقیب و در سطح یا سطوح میانی شاخص‌های تصمیم قرار می‌گیرند. مدل‌سازی تصمیم‌گیری به روش AHP با تشکیل درخت سلسله‌مراتب تصمیم آغاز می‌شود[١]. از این رو، انتخاب مناسب‌ترین دیوار بیرونی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، هدفِ مسأله تحقیق حاضر می‌باشد. در سطح دوم، شاخص‌های تحقیق را هزینه ساخت، عایق حرارتی بودن دیوار، وزن دیوار، دوام دیوار و نفوذپذیری کم بخار آب درنظر گرفتیم که با مطالعه ادبیات و نظر کارشناسان صورت گرفت و در سطح آخر، چهار جانشین یا راه حل در نظر گرفته شد که در بالا به آنها اشاره شد.

تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

برای تعیین اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها چند روش وجود دارد که معمول‌ترین آنها، مقایسه دو دویی است. در این روش، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود. برای این کار، می‌توان از یک روش استاندارد (ارایه شده توسط ساعتی) استفاده کرد. روش کار به این صورت است که به هر مقایسه دو دویی، یک عدد ١ تا ٩ نسبت داده می‌شود. معنی هر عدد در جدول شماره١، مشخص شده است. پس از وزن‌دهی، باید

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

وزن‌ها را نرمالیزه کرد که برای این منظور می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد. در این مدل، از تقسیم هر وزن بر مجموع وزن‌های همان ستون استفاده شده است[١٠].

جدول١) مقایسهٔ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها[٥]

امتیاز (شدت اهمیت)	تعریف	توضیح
١	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.
٣	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت i اندکی بیشتر از j است.
٥	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت i بیشتر از j است.
٧	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت i خیلی بیشتر از j است.
٩	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
٢،۴،٨	----------	هنگامی که حالت های میانه وجود دارد.

تعیین ضریب اهمیت گزینه ها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها باید تعیین شود. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد. فرایند به دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دوحالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دو دویی معیارها یا گزینه‌ها و بر اساس مقیاس ٩ کمیتی ساعتی صورت می‌پذیرد و نتیجه در ماتریس مقایسه دو دویی معیارها، یا گزینه‌ها ثبت می‌شود و از طریق نرمالیزه کردن ردیف‌های این ماتریس‌ها،ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید. با این حال، باید به تفاوتی عمده در این مقایسه‌ها اشاره شود[٧]. مقایسه گزینه‌های مختلف، نسبت به زیرمعیارها، و یا معیارها (اگر زیرمعیاری وجود نداشته باشد) صورت می‌پذیرد در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می‌پذیرفت. بنابراین، به جای اینکه سؤال شود معیار i، در دستیابی به هدف، چقدر از معیار j مهم‌تر است؟، در مقایسه گزینه‌ها به این ترتیب سؤال می‌شود که گزینه i در ارتباط با زیر معیار x چقدر بر گزینه j ارجحیت دارد؟[٥]. زیر معیارها هم کمی و هم کیفی‌اندو این مطلب نشان دهنده مزیت دیگر فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است که با ترکیبی از معیارهای کمی و کیفی سر و کار دارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه ها

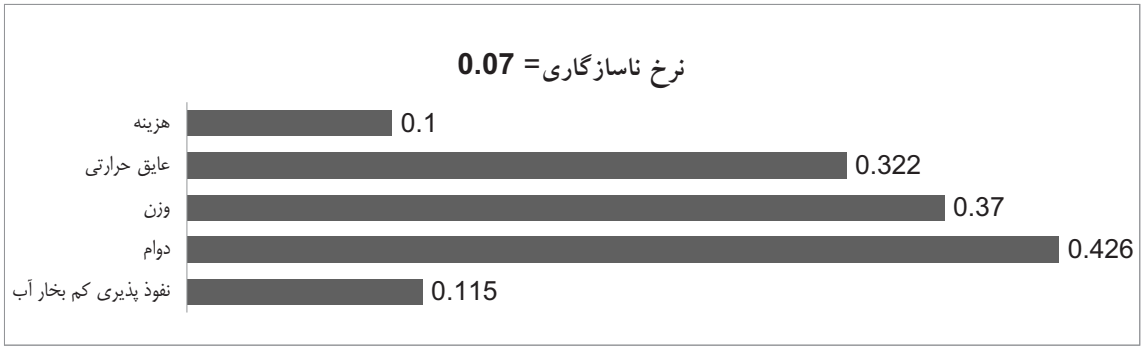
در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، «امتیاز نهایی» هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از «اصل ترکیب سلسله مراتبی» ساعتی که منجر به «بردار اولویت» با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده می‌گردد[۵،۱۶].

بررسی سازگاری در قضاوت ها

یکی ازمزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. سازوکارهایی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها درنظرگرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (IR)[1] است. در صورتی‌که این معیار کمتر از ۰/۱ باشد، تجزیه و تحلیل سازگار است و در صورتی که معیار سازگاری از ۰/۱ بیشتر شود، نرم افزار با دادن اخطار ناسازگاری، کاربر را باخبر می‌سازد[۸].

یافته‌های تحقیق

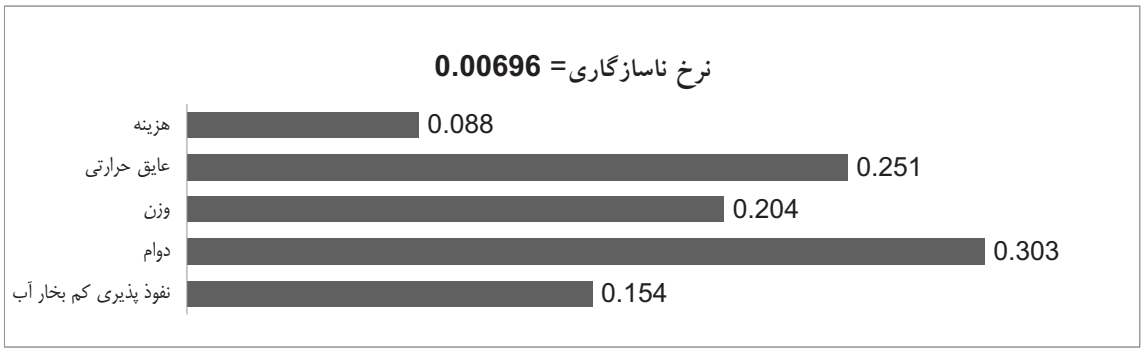
پس از بررسی پرسشنامه‌های پاسخگویان توسط نرم‌افزار اکسپرت چویس، تنها پرسشنامه ۶ نفر سازگار بود، لذا کلیه محاسبات بعدی بر اساس داده‌های حاصل از پرسشنامه این ۶ پاسخ‌دهنده قرار گرفت. در مرحله اول، وزن بین معیارها تعیین می‌شود. این وزن‌ها باتوجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف (انتخاب مناسب ترین دیوار بیرونی برای صرفه جویی در مصرف انرژی) تعیین می‌شوند. نمودار زیر نتایج حاصل از مقایسات زوجی معیارها را برای پاسخگوی شماره۲ نشان می دهد که از نرم‌افزار اکسپرت چویس به دست آمده است.



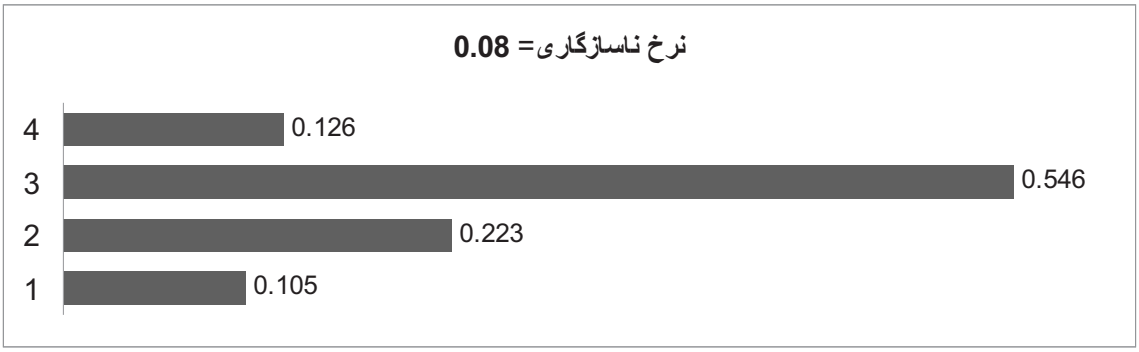
۱) Incompability Ratio

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

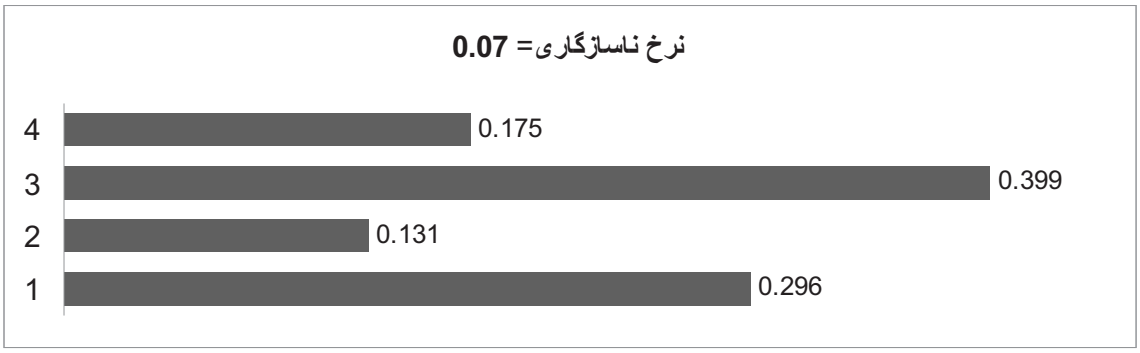
برای هر یک از پاسخگوها نموداری مانند نمودار فوق با توجه به قضاوت‌هایشان ایجاد می‌گردد. در نهایت، از ترکیب این قضاوت‌ها نمودار زیر برای وزن معیارها به دست آمد.



در مورد جانشین‌ها یا گزینه‌ها نیز هر پاسخگو آنها را با توجه به هر معیار به صورت جداگانه مورد قضاوت قرار می‌دهد. مثلاً نرم‌افزار برای پاسخگوی۲ با توجه به معیار هزینه، نمودار خروجی زیر را برای قضاوت‌هایش ترسیم کرد.

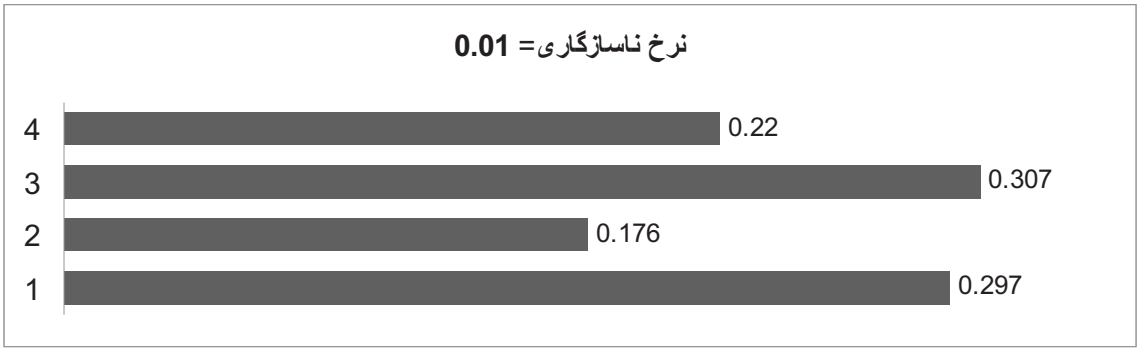


برای این پاسخگو با توجه به هر معیار چنین نموداری ترسیم و در نهایت، وزن گزینه‌ها با توجه به تمامی معیارها برای پاسخگوی۲ به صورت نمودار زیر ترسیم شد.



[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

برای تمامی ۶ پاسخگو فرایند فوق تکرار و در نهایت، نتیجه نهایی زیر توسط نرم‌افزار ترسیم گردید.



بر اساس این نمودار، جانشین شماره ۲ یعنی «بلوک–فوم–آجر» به عنوان مناسب‌ترین دیوار از لحاظ ۵ معیار فوق برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی انتخاب گردید.

نتیجه گیری

با توجه به داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها و خروجی آنها از نرم‌افزار نتایج زیر حاصل گردید:

۱–مناسب‌ترین دیوار از بین چهار دیوار فوق و با توجه به ۵ معیار در نظرگرفته شده، دیوار ساخته شده با مواد به ترتیب «بلوک–فوم–آجر» می‌باشد.

۲– دیوار رتبه دوم عبارت است از«بلوک–فوم–گچ»

۳–دیوار رتبه سوم عبارت است از«بلوک سیمان–پشم معدنی–آجر»

و در نهایت، بدترین نوع دیوار از لحاظ عایق سازی عبارت است از«بلوک سیمانی–پشم معدنی– گچ»

منابع

[۱] آذر عادل، زارعی عظیم، ۱۳۸۱، تبیین عوامل مؤثر بر بهره وری سازمان با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند شاخصه، دانشور، سال دهم، شماره ۴۲، ص۱۶–۱.

[۲] سایت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت www.ifco.ir

[۳] سایت مرکز اطلاعات عایق های حرارتی ایرانwww.ticir.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

[۴] ویسه،سهراب، خدابنده، ناهید، گروه بندی و برچسب گذاری عایق‌های حرارتی ساختمان، مقاله شماره۱۷،انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

[5] Bertolini,M., M.,Braglia .2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, 17 January.

[6] Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. Energy Build 2008; 43:1055–64.

[7] Bowen,W.M.1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 14, pp.133-144.

[8] Changa,K.F., C.M.,Chiangb, P.C.Chouc.2007. Adapting aspects of GB Tool 200`—searching for suitability in Taiwan, Building and Environment 42 310–316.

[9] Christauskas, Č., Stungurienė, S. Motivation Factors of Decision Making Person // Engineering economics, 2007, No 3 (53), p. 51 – 56.

[10] Çimren,E., B.,Çatay, E.,Budak .2007. Development of a machine tool selection system using AHP,International Journal of Advanced Manufacturing Technology35 363–376.

[11] Dombayci A, Glcü M, Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. Appl Energy 2006;83: 921–8.

[12]) Kalibatas, D., Turskis, Z. Multicriteria Evaluation of Inner Climate by Using MOORA Method //Information Technology And Control,2008, Vol. 37, No 1, p. 79 – 83.

[13] Kaynakli O. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. Renew Energy 2008;33:1164–72.

[14] Martinkus, B. “Engineering Economics” as the Source of Knowlwedge // Engineering economics, 2006, No 5 (50), p. 7 – 12.

[15] Mau,J., and et al.2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS, Biomass and Bioenergy 28 591–600.

[16] Moreno-Jimenez,J.M., et al.2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making, Group Decision and Negotiation 14 89–108.

[17] Omkarprasad, V. and K.,Sushil .2004. Analytic hierarchy process: An overview of applications, April.

[18] Susnienė, D., Vanagas, P. Means for Satisfaction of Stakeholders’Needs and Interests. // Engineering economics, 2007, No 5 (55), p.24 – 28.

[19] Tosun.M ,Dincer, K. Modelling of a thermal insulation system based on the coldest temperature conditions by using artificial neural networks to determine performance of building for wall types in Turkey, international journal of refrigeration 34(2011),p 362-373.

[20] Turskis, Z. Multi-attribute contractors ranking method by applying ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique // Technological and economic development, 2008, Vol. 14, No 2, p. 224 – 239.

[21] Ucar A, Balo F. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. Appl Energy 2009; 86:730–6.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

[22] Wong, J., Li, H., Lai, J. Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems Part 1: Development of key intelligent indicators and conceptual analytical framework, Automation in Construction, 17 (2008) 284 – 302.

[23] Zavadskas, E. K., Vilutiene, T. A multiple criteria evaluation of multifamily apartment block's maintenance contractors: I –Model for maintenance contractor evaluation and the determination of its selection criteria // Building and Environment, 2006, Vol. 41, p. 621 –632.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]