مقاله پژوهشی

بررسی و انطباق مؤلفه‌ها و شاخص‌های کاهش‌دهندهٔ مؤثر بر مصرف انرژی در فضای آموزشی[۱]

Doi: 10.30508/kdip.2025.481406.1118

فاطمه نیکنام[۱] | سیده مریم مجتبوی[۲]

۱- کارشناس ارشد معماری داخلی، مؤسسه آموزش عالی فردوس، مشهد، ایران.
۲- استادیار گروه معماری، مؤسسه آموزش عالی فردوس، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴
صفحه: ۱۹ - ۸

چکیده

کاهش منابع انرژي فسيلي، اثرات مخرب زيست محيطي ناشي از مصرف زياد انرژي به خصوص در بخش ساختمان، ضرورت توجه به مصرف انرژي در كشور را بيشتر كرده است. بررسی‌ها و محاسبات انجام شده در خصوص مصرف انرژی در ایران نشان می‌دهد که تقریبا ۳۰ الی ۳۵ درصد از کل انرژی مصرفی در کشور در حوزهٔ مصارف ساختمانی به خصوص ساختمان‌های عمومی همچون مکان‌های آموزشی است. بنابراین، جهت مدیریت مصرف انرژی در فضاهای آموزشی، شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در پژوهش امری ضروری است. روش پژوهش از نظر هدف کاربردی و از منظر جمع‌آوری داده‌ها در میان مطالعات توصیفی، از نوع همبستگی و دارای روش تحقیق ترکیبی اکتشافی است. جامعهٔ آماری در بخش کیفی شامل پژوهش‌های پیشین بوده که با استفاده از روش فراترکیب و از طریق هفت مرحلهٔ سندلوسکی و باروسو، به ترکیب داده‌ها پرداخته شد. در بخش کمی، جامعهٔ آماری شامل ۳۰ نفر از اساتید معماری، طراحان و رشتهٔ انرژی بوده‌اند. ابزار اندازه‌گیری در بخش کمی، پرسشنامهٔ محقق ساخته است که به درستی آزمایی آن از روش تحلیل عاملی با استفاده از نرم‌افزار پی.ال.اس. انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مؤلفهٔ کالبدی با ضریب مسیر ۰٫۶۵۳، مؤلفهٔ اقلیم با ضریب مسیر ۰٫۵۶۹، مؤلفهٔ هوشمندسازی با ضریب مسیر ۰٫۴۲۷ و مؤلفهٔ مدیریت دولتی با ضریب مسیر ۰٫۴۱۳ به ترتیب اثرگذاری الویت‌بندی شدند. شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی با بیشترین میزان تأثیر به ترتیب فرم و هندسه، موقعیت قرارگیری، مصالح، نورپردازی، عناصر طبیعی، قرارگیری فضاها، فضای باز و نیمه‌باز، رنگ بر روی کاهش مصرف انرژی اولویت دارند.

کلمات کلیدی: کیفیت محیط، فضای آموزشی، مصرف انرژی، مدیریت.

۱- این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد «فاطمه نیکنام» با عنوان «طراحی داخلی مدرسه دخترانه شهید محبوب سرخس با هدف ارتقای کیفیت محیط آموزشی در راستای کاهش مصرف انرژی» است که به راهنمایی دکتر «سیده مریم مجتبوی» در «موسسه آموزش عالی فردوس» انجام شده است.

۱- مقدمه

بحران جهانی در مصرف انرژی، طی سالیان اخیر، به عبارتی پرتکرار در رسانه‌ها، محافل سیاسی و تصمیم‌گیری‌های دولتی تبدیل شده است. افزایش جمعیت، افزایش سرانهٔ مصرف انرژی و انباشت آلودگی‌های زیست‌محیطی و گازهای گلخانه‌ای، عواملی هستند که مدیریت مصرف انرژی را دچار بحران کرده‌اند. سرانهٔ بهره‌گیری از انرژی در جهان در طی زمان به طور پیوسته روند رو به رشد داشته است (رائی نائینی و جلیلی و باستانی و خمسه، ۱۴۰۲). تحقیقات نشان می‌دهد، حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد از کل انرژی مصرفی در کشور ایران، به حوزهٔ ساختمانی اختصاص دارد. از طرفی بخش عظیمی از مصارف انرژی در ساختمان، مربوط به ساختمان‌های عمومی می‌باشد که مدارس، نمونه‌ای از ساختمان‌های عمومی با مصرف بالای انرژی هستند (غفاری، کرباسی، و رجبی[1]، ۲۰۱۷). مطالعات مختلفی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در ساختمان‌های مدارس در سال‌های گذشته انجام شده است. گاهی اوقات، موانعی در مورد اجرای چنین بهبودهایی وجود دارد که شامل برخی از عوامل فرهنگی است که همیشه نمی‌توان با موفقیت بر آنها غلبه کرد. با این حال، داده‌های مربوط به مصرف انرژی جهانی در ساختمان‌های مدارس به طور گسترده در جهان مطرح است (دلوس، کونتاداکسی، مدیاس، و سنگراسولیس[2]، ۲۰۱۹).

نقش مهمی که ساختمان‌ها در پایداری محیط زیست جهانی ایفا می‌کنند منجر به افزایش مسئولیت‌پذیری از نظر عملکرد آنها شده است. چنین شواهدی رفتار کاربر را به عملکرد محیطی ساختمان‌ها مرتبط می‌کند، زیرا اینها تأثیر متقابلی بر یکدیگر دارند. در پایان قرن بیستم، نیاز به ارتقای شرایط محیطی و عملکردی ساختمان‌های مدارس به یک ویژگی مشترک در اکثر کشورهای اروپایی تبدیل شده بود (لورنکو، پینهریو و هیتور[3]، ۲۰۱۹). از این رو، مدیریت مصرف انرژی همواره در فضاهای آموزشی مرکز توجه بوده تا بتوانند علاوه بر کاهش مصرف انرژی، محیطی سالم با شرایط دمای مناسب، نور کافی، تهویهٔ مناسب و ... که همگی باعث ارتقاء عملکرد دانش‌آموزان می‌شوند را تأمین کنند (گودرزی، و رضویان امیری[4]، ۲۰۱۴). اولویت‌بندی و تعیین میزان تأثیر مؤلفه‌های کاهش مصرف انرژی از اهداف اصلی پژوهش است به همین علت در این راستا به یافتن مؤلفه‌های مصرف انرژی نیز می‌پردازیم.

در جهت دستیابی به اهداف، سؤالات زیر مطرح می‌شود:

- شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی کدامند؟
- شاخص‌ها و مؤلفه‌ها با چه ضریبی در میزان کاهش مصرف انرژی تأثیرگذارند؟

۲- مبانی نظری

انرژی: منابع انرژی‌های سنتی، سوخت‌های فسیلی و برق حاصل از شکافت هسته‌ای و انرژی حاصل از نیروگاه‌های برق آبی عملاً بر شکل عرضهٔ انرژی جهانی تسلط دارند. دیگر منابع انرژی هنوز به مقدار کافی توسعه پیدا نکرده‌اند .بررسی‌ها و نتایج حاصله از تلاش‌هایی که در چند دههٔ گذشته صورت پذیرفته، بیانگر این واقعیت است که منابع انرژی فسیلی در جهان محدود بوده و تلاش پژوهش‌گران در جهت کشف و جایگزین نمودن انرژی‌های تجدیدپذیر بنا به دلائلی همچون پراکندگی از نظر اقتصادی گران بودن و غیرقابل اعتماد بودن تا کنون چندان امیدوار کننده نبوده است، همچنین بعید به نظر می‌رسد حداقل در چند دههٔ آینده بشر قادر باشد جایگزین مناسبی را برای انرژی‌های فسیلی در دسترس داشته باشد (زارعی، ۱۳۹۵).

مصرف انرژی: رشد جمعیت و به دنبال آن، تقاضا برای مصرف انرژی، رو به اتمام گذاشتن سوخت‌های فسیلی، تخریب محیط‌زیست و افزایش آلودگی هوای ناشی از سوخت‌های فسیلی، تخریب لایهٔ ازون، تشدید پدیدهٔ گرم‌شدن کرهٔ زمین و پیامدهای آن مانند ذوب شدن یخچال‌ها و نیز سیلاب‌ها همگی باعث شدند تا جوامع مدرن توجه بیشتری به توسعهٔ پایدار معطوف نمایند (غفاری و کرباسی و رجبی، ۱۳۹۶).

1- Ghafaria & Karbassi & Rajabi
2- Doulos, Kontadakis, Madias, Sinou, & Tsangrassoulis
3- Lourenco & Pinheiro & heitor
4- Goodarzi & Razavian Amiri

مدیریت بحران: مدیریت بحران فرآیندی برای رویارویی با وضعیتی دشوار و پرفشار که همه برنامه‌ها- سازمان‌دهی‌ها - کنترل‌های گروهی از عملیات با کنش و واکنش متقابل را بسیج نموده و برای تصمیم‌گیری مناسب در اختیار مدیران می‌گذارند که باید سریع‌تر ولی بدون شتاب‌زدگی اقدام نمایند (شیرزاد کبریا، ۱۳۹۲). محدودیت‌های انرژی و ملی بودن منابع آن استراتژی‌های کاملی را در سطح ملی نیز طلب می‌کند، جامعهٔ مصرف کنندهٔ انرژی نیازمند برنامه‌ریزی و اقدام عملی سیستماتیک است. بدین ترتیب برخورد سیستماتیک با انرژی روز به روز مهم‌تر به نظر رسیده و ساختارسازی به عنوان قدم اولیه رخ می‌نمایاند، ساختار مورد نیاز در حال حاضر برای کشور، استانداردسازی سیستم مدیریت انرژی است (عباییان و حاجی محمدی، ۱۳۸۷). سیستم مدیریت انرژی در واقع اتخاذ یک استراتژیست است که زمینه را برای انجام فعالیت‌های مرتبط، باز می‌کند و زمینهٔ علمی و بستر مشترک را رشد می‌دهد. نهادهای زیربط، به جهت گسترش فرهنگ صرفه‌جویی در انرژی باید به سمت روش‌های سیستماتیک نظیر سیستم مدیریت انرژی روی بیاورند که علاوه بر ایجاد ساختار و فرهنگ، امکان اجرای آن نیز برای همه فراهم باشد (قمیشی، ۱۳۸۳).

مصرف انرژی در مدارس: بهره‌وری انرژی یک موضوع حیاتی برای ساختمان‌های آموزشی است. انرژی درصد بالایی از هزینه‌های جاری را تشکیل می‌دهد. تحولات اخیر در مورد فن‌آوری‌های انرژی این امکان را می‌دهد تا به طور جدی مصرف انرژی کاهش یابد. کیفیت هوای داخلی، بهره‌وری انرژی، شرایط آسایش حرارتی سه عامل اصلی مؤثر در محیط ساختمان مدرسه هستند. جهت بهبود مصرف انرژی و کیفیت محیطی ساختمان ایده‌هایی مانند مدرسه‌های سبز، مدارس هوشمند و طراحی محیطی مطرح شده است (سنتاموریس و همکاران[1]، ۲۰۰۷).

مؤلفه‌های کاهش مصرف انرژی: اتلاف انرژی در ساختمان‌های دولتی و عمومی در رتبهٔ بالایی قرار دارد می‌توان با استفاده مؤلفه‌های اقلیم، هوشمندسازی، کالبدی و مدیریت دولتی، مصرف انرژی را تا حد امکان پایین آورد.

عوامل کالبدی: صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق بهینه کردن طراحی معماری، شیوه‌ای اقتصادی و از لحاظ زیست محیطی پایدار است. لذا یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای صرفه‌جویی انرژی، استفاده از راهکارهای طراحی معماری و متناسب کردن طراحی با شرایط اقلیمی است (زارعی، ۱۳۹۵).

عوامل اقلیمی: یکی دیگر از راه‌های جلوگیری از اتلاف انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی جزء بهترین کشورهای دنیا در زمینهٔ پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در جهان به شمار می‌آید (نورانی و رحیمی و میرباقری جم، ۱۴۰۰).

تدابیر دولت: از طرفی دولت، تدابیری نظیر طرح تشویقی، تدوین استاندارد و برچسب مصرف انرژی برای ساختمان، فرهنگ‌سازی در این زمینه ارائه داده است.

هوشمندسازی: همچنین تجهیزات و تکنولوژی‌های پیشرفته که به گونه‌ای باعث هوشمند شدن ساختمان می‌گردند نیز می‌توانند در بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک کنند (مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۹). هوشمندسازی در مراحل طراحی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

پژوهش‌هایی که در مورد مصرف انرژی صورت گرفته است به شرح زیر است:

در مقالهٔ «سلول‌های خورشیدی چاپی، چارهٔ غیرقابل انکار بحران جهانی انرژی» که توسط رائی نائینی و همکاران (۱۴۰۲) انجام شده است؛ روش‌های مواجهه با بحران انرژی را مطرح کرده و ظرفیت انواع سلول‌های خورشیدی بررسی شده است.

زینلی خراجی و نیک قدم و مفیدی شمیرانی (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان «راهکارهای معماری جهت کاهش انرژی نهفته در اجرای ساختمان مسکونی در بندرعباس» دریافتند که انتخاب مصالح و جزئیات و ابعاد فضاها، بیشترین تأثیر را در انرژی نهفته دارد و راهکارهایی در زمان اجرا ارائه داده شده است.

فتحلیان و شریف‌آباد (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی تأثیر راهکارهای مختلف بهینه‌سازی انرژی در رده‌بندی انرژی ساختمان به وسیلهٔ نرم‌افزار دیزاین بیلدر» به این نتیجه رسیدند که جایگزینی سایه‌بان‌های خارجی به

1- Santamouris & et al

جای سایه‌بان‌های داخلی کمترین مقدار صرفه‌جویی انرژی را دارد و تأثیری در تغییر رده‌بندی انرژی ندارد.

قدسی (۱۳۹۸) در پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خود با عنوان «ارائه راهکارهای طراحی جداره خارجی با هدف بهینه سازی مصرف انرژی، نمونه معماری مسکونی با ارتفاع متوسط) ۵ طبقه (در شهر اصفهان)» با شبیه‌سازی ۸ ساختمان به این نتیجه رسید ساختمانی که با مساحت بازشوی ۵۰٪، نسبت به مساحت نمای جنوب‌شرقی و دارای سایبان افقی می‌باشد مدل بهینهٔ بهتری نسبت به گزینه‌های دیگر بود.

خداکرمی و قبادی، (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان «بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند» نشان داد که با انجام برنامه‌ریزی مناسب در زمینهٔ مصرف و مدیریت انرژی در ساختمن‌های اداری هوشمند، امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه وجود داشته و بیشترین میزان صرفه‌جویی در بخش‌های سرمایش و روشنایی است.

گاجدزیک، ولیناک، ناگاج، زرومسکیت ناگاجگ، و گروبسکی[1] در پژوهشی (۲۰۲۴) با عنوان «تأثیر بحران جهانی انرژی بر بهره وری انرژی» انجام دادند بر این باورند مسئولیت قابل توجه صنایع به تلاش‌های صرفه‌جویی در انرژی و نقش فعال مصرف‌کنندگان در بازار، در کمک به بهره‌وری انرژی با فراخوانی برای رویکردی جامع که معیارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی را در آن ادغام می‌کند، برجسته شده است.

علم و دوجانی[2] (۲۰۲۱) در مقالهٔ «تحلیل الگوهای مصرف انرژی یک ساختمان آموزشی از طریق داده‌ها»، به این نتیجه رسیدند که مصرف انرژی در ساعات غیرکاری ۴۸ درصد کل انرژی مصرفی در دورهٔ یک ساله مورد مطالعه بوده که بسیار بالا است و یکی از منابع احتمالی ضایعات بوده است. در طول تعطیلات، سیستم مکانیکی و بارهای پریز طبق برنامهٔ کاری روزهای هفته در یک ساختمان خالی کار می‌کردند که منجر به اتلاف انرژی می‌شد.

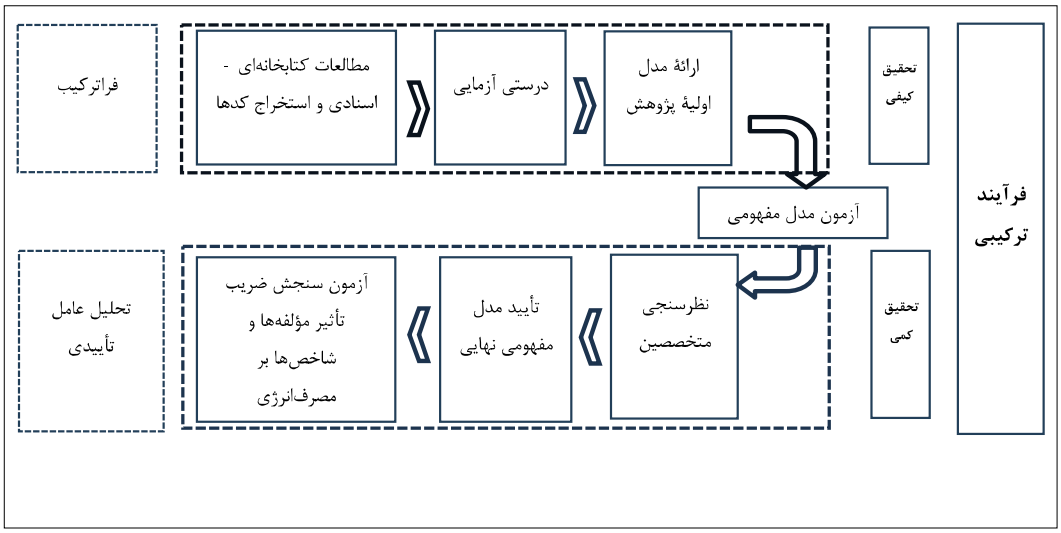
لورنکو و پنهیرو و هیتور[3] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان «الگوهای استفاده از نور در ساختمان های مدارس پرتغال درک راحتی کاربر، رفتار و تأثیرات آن بر مصرف انرژی»، به این نتیجه رسیدند که عوامل و معیارهای مختلفی بر الگوهای رفتاری در فضاهای عملکردی مختلف تأثیر می‌گذارند. علاوه بر پارامترهای راحتی بصری کاربران و نیازهای عملکردی، استفاده از نور در مدارس نیز به شدت تحت‌تأثیر عادات سازمانی است. این مطالعه منجر به توسعهٔ استراتژی‌های طراحی و مدیریت پایدارتر از نظر زیست‌محیطی در ساختمان‌های مدرسه شد. نورسنجی نشان داد که شرایط مساعدی برای تبدیل نور طبیعی به منبع اصلی نور در مدارس وجود دارد که بهبود در طراحی و مدیریت مناطق می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجهی در استفاده از نور مصنوعی (و انرژی) شود.

متأسفانه سالانه مؤسس‌ها، جهت تأسیس مدرسه اکثراً منازل مسکونی قدیمی را اجاره می‌کنند که هیچ پیش‌بینی و تدبیری برای مدیریت مصرف انرژی در آنها در نظر نگرفته شده است و به دنبال آن کیفیت فضاهای آموزشی کاهش یافته است. پژوهش‌های زیادی در حوزهٔ مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن در صنعت‌های مختلف انجام شده است، اما تاکنون پژوهشی به شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی در مراکز آموزشی نپرداخته است همچنین میزان تأثیرگذاری هر یک از شاخص‌ها و مؤلفه‌ها بر کاهش مصرف انرژی بر اساس روش فراترکیب و تحلیل بارعاملی مورد سنجش و اولویت‌بندی قرار نگرفته است.

1- Gajdzik, Wolniak, Nagaj, uromskait-Nagaj, & Grebski
2- Alam & Devjani
3- Lourenço, Pinheiro & Heitor

۳- روش تحقیق

روش پژوهش از نظر هدف، کاربردی است زیرا با هدف سنجش میزان تأثیر شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی، ماهیت اکتشافی دارد. از نظر نوع داده‌ها، پژوهش ترکیبی (کیفی-کمی) و روش پژوهش ترکیبی از نوع اکتشافی متوالی (ابتدا کیفی و بعد کمی) بوده است. در مرحلهٔ کیفی با استفاده از روش فراترکیب و از طریق هفت مرحلهٔ سندلوسکی و باروسو، به ترکیب داده‌های به دست آمده از منابع مطالعاتی پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از آن از طریق پرسشنامه به درستی آزمایی صوری و محتوایی آن در بخش کیفی به تأیید ۳۰ نفر از اساتید صاحب‌نظر و متخصص در حوزهٔ معماری و انرژی رسید. جهت آزمون مدل اعتبار سازه، تحلیل عامل تأییدی انجام شد و قابلیت اعتماد پرسشنامه‌ها بر اساس آلفای کرونباخ برآورد شد. در این پژوهش برای تأیید و کاربرد الگوی مفهومی پژوهش از روش تحلیل عامل تأیید استفاده شده است. تحلیل داده‌ها از طریق حداقل مربعات جزئی با نرم‌افزار پی.ال.اس. انجام شد. در نهایت آزمون فریدمن جهت اولویت‌بندی میزان تأثیرگذاری شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی بر کاهش مصرف انرژی صورت گرفت. فرآیند تحقیق در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): فرآیند تحقیق

۴- یافته‌های تحقیق

با تهیهٔ جدول کدگذاری، مؤلفه‌های کیفیت فضا آموزشی از طریق منابعی چون مقالات، کتاب‌ها و سایت‌های اینترنتی معتبر مورد بررسی و شناسایی قرار گرفتند. از بین پژوهش‌های مرتبط با مصرف انرژی، به مهم‌ترین آنها در جدول شماره (۱) اشاره شده است.

جدول (۱): جدول کدگذاری مصرف انرژی

کدگذاری گزینشی (کشف مقولات)	کدگذاری محوری (کشف مؤلفه‌ها)	کدگذاری باز (کشف مفاهیم)	صاحب‌نظران
مصرف انرژی	کالبدی	فرم و هندسه	اسلامیه (۲۰۱۸)، ماهاجان (۱۳۷۸)
		جانمایی فضاها	بنجامین پاریس (۲۰۱۰)
		فضای باز و نیمه باز	بیسواجیت (۲۰۱۸)، حسینی‌زاده (۲۰۱۶)
		نورپردازی	اسلامیه (۲۰۱۸)، لامپارت (۲۰۰۷)، مارکو و فرانگ (۱۹۹۹)
		رنگ	اسلامیه (۲۰۱۸)، فورد ()
		آسایش حرارتی و صوتی و رطوبتی	اسمیت (۱۹۹۴)، آبراهارد (۲۰۱۳)، بیکر (۲۰۰۳)، بیسواجیت (۲۰۱۸)، پیریز (۲۰۰۹)، لامبارد (۲۰۰۷)، هاورین (۲۰۱۵)، فورد (۲۰۱۵)، قیابکلو (۱۳۸۹)، مظفری (۱۳۸۲)،مندل (۲۰۰۵)
		مصالح	طاهباز و همکاران (۱۳۹۹)، نخعی نیازی (۱۳۸۹)
		نحوهٔ قرارگیری بنا	دورر (۱۹۹۹)، هاماز (۲۰۰۸)، مک کلینتاک (۱۹۹۷)
		عناصر طبیعی	اسلامیه (۲۰۱۸)
	مدیریت دولتی	فرهنگ سازی	اسلامیه (۲۰۱۸)، تسکی (۲۰۱۵)، سیمس (۲۰۱۲)، کوپوچینسکی (۲۰۱۲)، لانیلو (۲۰۱۰)، محبی (۱۳۹۳)
		طرح تشویقی	بیات (۲۰۱۳)، چان (۲۰۱۳)
		تدوین استاندارد	اسمبرا (۲۰۱۸)، استاکس (۲۰۱۴)، دانشگاه مرکزی تحقیقات انرژی ساختمان سازی (۲۰۰۹)، مدرسه سبز هونگ کونگ (۲۰۱۸)، مرکز تحقیقات دانشگاهی ساخت و ساز چین (۲۰۰۵)
	مسائل اقلیمی	اقلیم	اسلامیه (۲۰۱۹)، بینگلر (۲۰۰۳)، ساخت و ساز سبز آمریکا (۲۰۱۸)گریبر (۲۰۱۵)، لاکر (۲۰۰۳)، لامبارد (۲۰۰۷)، یلمارجو (۲۰۰۴)
	هوشمندسازی و تجهیزات	امکانات	اریسکون (۲۰۰۲)، قنبران (۱۳۹۵)، یوسانی و همکاران (۲۰۱۵)
		سیستم هوشمند	واهلسرام (۲۰۰۲)، قنبران (۱۳۹۵)، مادیو (۲۰۱۸)
		تأسیسات	دنبرن (۲۰۱۸)، اریسکون (۲۰۰۲)، کوسار (۲۰۱۷)

با توجه به جدول کدگذاری (جدول ۱)، چهار مؤلفهٔ کالبدی، مدیریت دولتی، مسائل اقلیمی و هومشمندسازی و تجهیزات بر کاهش مصرف انرژی تأثیرگذارند. شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی عبارتند از فرم و هندسه، جانمایی فضاها، فضای باز و نیمه‌باز، نورپردازی، رنگ، آسایش حرارتی و صوتی و رطوبتی، مصالح، نحوهٔ قرارگیری بنا و عناصر طبیعی می‌باشد. مؤلفهٔ مدیریت دولتی شامل فرهنگ‌سازی، طرح تشویقی و تدوین استاندارد، مؤلفهٔ اقلیم شامل انرژی باد، خورشید، زمین گرمایی، جزر و مد، آب و زیست‌توده، مؤلفهٔ هوشمندسازی تجهیزات شامل امکانات و تجهیزات، سیستم‌های هوشمند و تأسیسات می‌باشد. جهت اعتبارسنجی و آزمون مدل مفهومی از روش حداقل مربعات جزئی استفاده شد. این تحلیل در دو سطح مدل بیرونی (بخش اندازه‌گیری) و مدل درونی (بخش ساختاری) ارائه شده است. مدل بیرونی روایی و پایایی مدل را براساس پنج شاخص روایی همگرا، روایی واگرا، پایایی ترکیبی، ضریب رو و آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار می‌دهد. خلاصه نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول (۲): روایی و پایایی مدل بیرونی مصرف انرژی

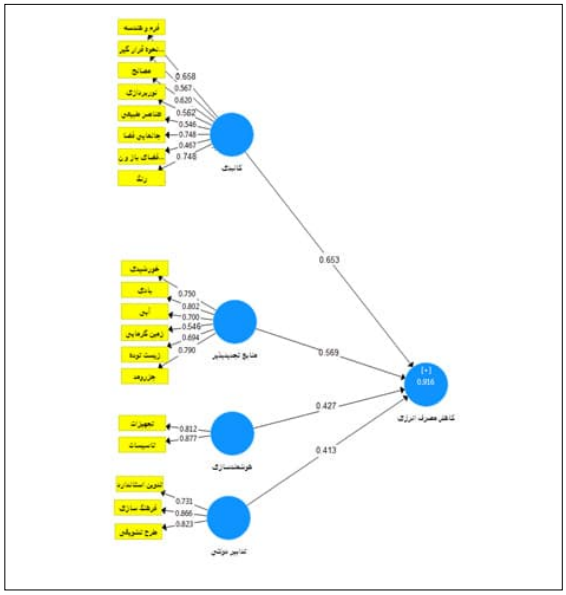
ابعاد	گویه ها	بار عاملی	آماره تی	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی (CR)	ضریب رو Rho	AVE
کالبدی	فرم و هندسه	۰/۶۵۸	۱۱/۰۴۲	۰/۷۳۳	۰/۸۵	۰/۷۴۶	۰/۶۵۴
	جانمایی فضاها	۰/۷۴۸	۲۶/۵۲۷				
	نورپردازی	۰/۵۶۲	۲/۰۹۲				
	رنگ	۰/۷۴۸	۴/۹۲۹				
	مبلمان	۰/۶۰۸	۱۷/۰۹۷				
	دید و منظر	۰/۶۵	۲۰/۷۴۹				
	فضای باز و نیمه باز	۰/۴۶۷	۶/۹۲۸				
	مصالح	۰/۶۲	۱۸/۸۳۹				
	عناصر طبیعی	۰/۵۴۶	۱۰/۴۱۲				
	سیرکولاسیون	۰/۸۰۴	۳۸/۴۰۷				
	نحوه قرار گیری بناها	۰/۵۶۷	۱۱/۳۸				
اقلیم	خورشیدی	۰/۷۵	۳۴/۸۹۴	۰/۷۶۱	۰/۸۳۹	۰/۷۹۲	۰/۸۴۱
	بادی	۰/۸۰۲	۴۰/۹۱				
	آبی	۰/۷	۲۰/۰۳۷				
	زمین گرمایی	۰/۵۴۶	۴/۵۲۸				
	زیست توده	۰/۶۹۴	۲۰/۲۰۳				
	جزرومد	۰/۷۹	۳۹/۴۰۱				
هوشمندسازی	تاسیسات	۰/۸۱۲	۳۱/۰۹۴	۰/۷۰۳	۰/۸۳۳	۰/۷۱۸	۰/۷۱۴
	تجهیزات	۰/۸۷۷	۶۷۵/۵۳				
مدیریت دولتی	تدوین استاندارد	۰/۷۳۱	۲۴/۴۴۳	۰/۷۱۷	۰/۷۹۸	۰/۸۲۲	۰/۵۳۲
	فرهنگ سازی	۰/۸۶۶	۵۴/۰۱۲				
	طرح تشویقی	۰/۸۲۳	۴۷/۶۸۴				

بر اساس نتایج جدول شماره (۲)، مقدار بار عاملی همهٔ گویه‌ها بیشتر از ۰/۴ و مقدار معنی‌داری (تی) بیشتر از ۱/۹۶ بود. بنابراین هر گویه سازهٔ خود را تایید می‌کند. ضریب آلفای کرونباخ و ضریب پایایی ترکیبی برای همهٔ عوامل بیشتر از ۰/۷ بود بنابراین پایایی مدل مورد تایید بود. همهٔ شاخص‌ها وابسته به متغیر خود هستند و هر کدام به گونه‌ای بر کاهش مصرف انرژی تأثیرگذارند. برای بررسی مقدار همبستگی هر یک از مؤلفه‌ها نسبت به متغیر خود از روایی هم‌گرا استفاده می‌شود تا بتوان آن‌ها را با توجه به میزان تأثیرگذاری، اولویت‌بندی کرد. فورنل و لارکر معیار میانگین واریانس استخراج شده را برای سنجش روایی همگرا معرفی کرده و مقدار قابل قبول برای آن ۰/۵ می باشد (حسن خوئی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول (۳): نتایج روایی واگرا (فورنل و لارکر) مصرف انرژی

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵
کاهش مصرف انرژی	۱				
مدیریت دولتی(۱)	۰/۸۰۹	۰/۹۰۹			
اقلیمی(۲)	۰/۵۸۱	۰/۵۲۵	۰/۸۴۵		
هوشمندسازی(۳)	۰/۵۲۳	۰/۶۹۴	۰/۴۵۰	۰/۹۰۱	
کالبدی(۴)	۰/۶۴۰	۰/۶۵۲	۰/۶۱۳	۰/۵۵۰	۰/۸۰۹

مدل در صورتی روایی واگرای قابل قبولی دارد که اعداد مندرج در قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر باشند. نتایج حاصل از تحلیل پایایی و مقادیر به دست آمده بر روی قطر اصلی جدول شماره (۳) مدل مفهومی به دست آمده از پرسشنامه را تأیید می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل فراترکیب و استباط روایی و پایی، مدل مفهومی مصرف انرژی استخراج شد.



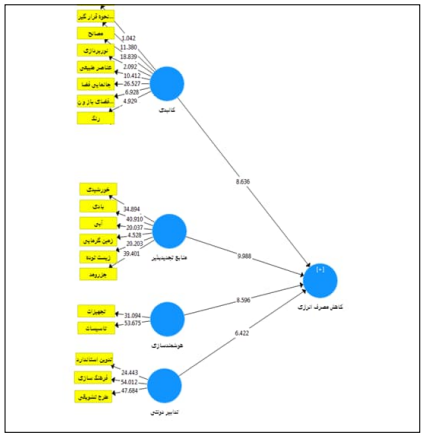
نمودار (۱): برازش مدل ساختاری کاهش مصرف انرژی در حالت ضرایب مسیر

مؤلفهٔ کالبدی، نه تنها بر کاهش مصرف انرژی مؤثر است بلکه یکی از عوامل تأثیرگذار بر ارتقاء کیفیت محیط آموزشی نیز محسوب می‌گردد زیرا هم‌زمان، تأثیر مطلوبی بر عملکرد، ادراک و شخصیت دانش‌آموزان می‌گذارد. با ارتقا، کیفیت محیط، مخاطب با درک درستی از فضای اطراف خود، احساس تعلق بیشتر، درگیری غنای حسی، امنیت، راحتی، درک زیبایی و ... پیدا می‌کند که منجر به عملکرد و فعالیت‌های مناسب آموزش و یادگیری در محیط‌های آموزشی می‌گردد. شاخص‌هایی کالبدی، تدابیر درست مدیریتی، مسائل اقلیمی و تجهیزات و هوشمندسازی، تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی دارند. جهت تعیین ضریب تأثیرگذاری مؤلفه‌ها و شاخص‌های مؤثر بر کاهش مصرف انرژی از تحلیل بارعاملی استفاده شده است.

برای تفسیر نتایج تحلیل عاملی تأییدی باید دو مقولهٔ مهم زیر در نظر گرفته شود:

بارعاملی[1]

قدرت رابطهٔ بین عامل (متغیر پنهان) و متغیر قابل مشاهده بوسیلهٔ بارعاملی نشان داده می‌شود. در نمودار شماره (۲) بارعاملی مقداری بین صفر و یک است. اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳باشد رابطه ضعیف درنظر گرفته شده و از آن صرف‌نظر می‌شود. بارعاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل قبول است و اگر بزرگتر از ۰/۶باشد خیلی مطلوب است. بنابراین، در نمودار شماره (۲) تمامی سوالات دارای بارعاملی بیشتر از ۰/۳بوده و تحلیل عاملی تأییدی مدل برقرار است.



نمودار (۲): برازش مدل ساختاری کاهش مصرف انرژی در حالت معناداری

شاخص‌های برازش مدل

شاخص‌های برازش حداقل مربعات جزئی: در تکنیک حداقل مجذورات جزیی بطور معمول از شاخص ضریب تعیین R۲، شاخص Q۲ و آماره GOF استفاده می‌شود.

شاخص Q۲ و شاخص ضریب تعیین R۲ (R Squares): این معیار قدرت پیش بینی مدل در متغیرهای وابسته را مشخص می‌کند. مقدار این شاخص در مورد تمامی سازه‌های درون‌زا سه مقدار ۰/۰۲ ، ۰/۱۵و ۰/۳۵را به عنوان قدرت پیش‌بینی کم، متوسط و قوی تعیین نموده‌اند. ضریب تعیین یکی دیگر از معیارهای اصلی برازش مدل در روش حداقل مربعات جزئی است. این شاخص بیانگر میزان تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته مدل است که به وسیله متغیرهای مستقل تبیین می‌شود. سه مقدار۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ را به عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی بودن برازش بخش ساختاری مدل به وسیله معیار R۲ تعریف کرده است.

جدول ۴: مقادیر ضریب تعیین و شاخص پیش بینی

متغیر	R^2	Q^2
کاهش مصرف انرژی	۰/۹۱۶	۰/۸۹۲

بر اساس نتایج جدول شماره (۴) مقادیر ضریب تعیین کاهش مصرف انرژی ۰/۹۱۶ بیشتر از ۰/۶۷ و همچنین شاخص پیش بین مثبت و ۰/۸۹۲ بیشتر از ۰/۳۶ بنابراین مدل پیش‌بینی کنندگی قوی دارد.

1- Factor Loading

جدول (۵): مقادیر ضرایب مسیر و معناداری تی مدل مفهومی مصرف انرژی		
مولفه	ضرایب مسیر	T
کالبدی	۰/۶۵۳	۸/۶۳۶
منابع تجدیدپذیر	۰/۵۶۹	۹/۹۸۸
هوشمندسازی	۰/۴۲۷	۸/۵۹۶
تدابیر دولتی	۰/۴۱۳	۶/۴۲۲

ضریب مسیر بیان کننده وجود رابطهٔ علی خطی و شدت و جهت این رابطه بین دو متغیر مکنون است. در حقیقت همان ضریب رگرسیون در حالت استاندارد است که ما در مدل‌های ساده‌تر رگرسیون ساده و چندگانه مشاهده می‌کردیم. عددی بین ۱- تا +۱ است که اگر برابر با صفر شوند، نشان دهندهٔ نبود رابطهٔ علی خطی بین دو متغیر پنهان است. نتایج جدول شماره (۵)، نشان می‌دهد که مسیر مؤلفهٔ کالبدی دارای ضریب بالایی است و بر کاهش مصرف انرژی تأثیر مثبت و معنادار دارد چون مقادیر تی بیشتر از ۱/۹۶ می‌باشد. در طراحی با رعایت اصولی در عوامل کالبدی نظیر ابعاد و اندازه‌های استاندارد، ایجاد سایه‌بان‌های متحرک و قابل کنترل، به کارگیری مصالح سازگار و بومی، فرم و هندسهٔ متناسب با اقلیم، جانمایی فضاها با توجه به تابش آفتاب و بادها و... می‌توان بر کاهش مصرف انرژی تأثیر زیادی گذاشت.

جدول (۶): اولویت بندی مؤلفه‌های کاهش مصرف انرژی بر اساس رتبه‌بندی آزمون فریدمن		
مولفه	میانگین رتبه	رتبه
کالبدی	۵	۱
مسائل اقلیمی	۴/۵	۲
هوشمندسازی	۳	۳
مدیریت دولتی	۲	۴

بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده مؤلفه‌های مصرف انرژی در جدول شمارهٔ (۶) به ترتیب کالبدی، مسائل اقلیمی، هوشمندسازی و مدیریت دولتی الویت‌بندی شدند.

جدول (۷): آزمون فریدمن	
آزمون فریدمن مصرف انرژی	
تعداد	۵۰
ازمون کای دو	۱۴۷/۲۵۸
درجه ازادی	۳
.Asymp. Sig	۰/۰۰۱

نتایج آزمون فریدمن در جدول شماره (۸)، آماره آزمون کی دو (χ)درجات آزادی (df)و معنی‌داری آماری (Sig. Asymp) یا همان p-value را نشان می‌دهد. در مصرف انرژی مقدار p-value برابر با ۰/۰۰۱ شده که کوچکتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است. اینطور استنباط می‌شود که مؤلفهٔ کالبدی اهمیت معنی‌داری در مصرف انرژی دارد. نشان‌دهندهٔ این است که از دیدگاه پاسخگویان، شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی دارای ارزش و اهمیت یکسان نیستند.

۵- نتیجه‌گیری

صنعت ساختمان، بخش بزرگی از مصرف انرژی در ایران را به خود اختصاص داده است. رعایت اصول در ساخت و طراحی ساختمان می‌تواند از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و موجب کاهش هزینه شود. در ساختمان‌های عمومی علاوه بر مصارف سرمایش و گرمایش که در تمامی ساختمان‌ها جزء پر مصرف‌ترین بخش محسوب می‌شوند، عواملی نظیر روشنایی، تجهیزات و تعداد افراد حاضر در مجموعه نیز در مصرف انرژی تأثیر می‌گذارند، لذا کنترل و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های عمومی چون مدارس ضروری است. روش و محتوای آموزش از یک سو و فضای آموزشی از سوی دیگر دو عامل مهم و مؤثر در پرورش و رشد دانش‌آموزان محسوب می‌گردند. مدیریت و اجرای صحیح انرژی می‌تواند منجر به ایجاد محیطی با شرایط کالبدی مطلوب، جهت آموزش و پرورش بهتر گردد. با توجه به بررسی مقالات و پژوهش‌های انجام شده و استخراج مدل مفهومی در حوزهٔ عوامل مؤثر بر مصرف انرژی، نتیجه می‌گیریم که مؤلفهٔ کالبدی، هوشمندسازی، مسائل اقلیمی و مدیریت دولتی بر کاهش مصرف انرژی مؤثر هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل بارعاملی، شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی بر کاهش مصرف انرژی نسبت به سایر مؤلفه‌ها از اهمیت و تأثیر بیشتری برخوردار بودند. شاخص‌های مؤلفهٔ کالبدی به ترتیب فرم و هندسه، نحوهٔ قرارگیری، مصالح، نورپردازی، عناصر طبیعی، جانمایی فضاها، فضای باز و نیمه باز و رنگ الویت‌بندی شدند. از آنجایی که طراحی معماری با عوامل کالبدی ارتباط مستقیمی دارد؛ طراحی مناسب هندسه، فرم و جانمایی فضاها از لحاظ قرارگیری نسبت به جهت تابش و وزش بادها، ایجاد فضاهای باز و نیمه‌باز جهت تأمین نور و تهویهٔ مطلوب مانند آتریوم‌ها، استفاده از رنگ‌های گرم و سرد متناسب با فعالیت‌ها با توجه به میزان جذب گرما، به کارگیری مصالح با مشخصات بومی نظیر ظرفیت حرارتی متناسب با اقلیم، استفاده از عناصر طبیعی چون گیاهان سازگار و آبنماها جهت تعدیل هوا و جلوگیری از تابش مستقیم و وزش بادهای شدید در حوزهٔ کالبدی می‌تواند در کاهش مصرف انرژی بسیار مؤثر واقع شوند.

منابع:

۱-حسن خوئی، الهه، رضوانی، علیرضا، احمدی، وحید، حاج اربابی، فاطمه. (۱۴۰۱)، بررسی و انطباق مؤلفه‌ها و شاخص‌های سنجش میزان خلاقیت در اثر معماری، *ماهنامهٔ علوم روانشناختی*، ۲۱(۱۱۱)، ۶۱۰-۵۹۳.

۲-خداکرمی، جمال، قبادی، پریسا، (۱۳۹۵)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند، *نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی*، ۶(۲) ۲۳-۱۲.

۳-رائی نائینی، محسن محمد، جلیلی، مجتبی، باستانی، سعید، خمسه، سارا. (۱۴۰۲)، سلول‌های خورشیدی چاپی، چاره غیرقابل انکار بحران جهانی انرژی، *نشریهٔ علمی مطالعات در دنیای رنگ*، ۴۰۶-۳۷۷.

۴-زارعی، رضا، (۱۳۹۵)، *ارزیابی و بهینه‌سازی مصرف انرژی مجتمع اطلس کلینیک کرمان(بخش تجاری، طبقات همکف، اول و دوم)، بر مبنای اصول و پارامترهای طراحی انرژی کارا با تکیه بر شبیه‌سازی و تحلیل انرژی ساختمان*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علم و هنر.

۵-زینلی خراجی، آذر، نیک قدم، نیلوفر، مفیدی شمیرانی، سید مجید، (۱۴۰۰)، راهکارهای معماری جهت کاهش انرژی نهفته در اجرای ساختمان مسکونی در بندرعباس، *فصلنامه مسکن و محیط روستا*، ۱۷۶، ۱۱۴-۱۰۳.

۶-شیرزاد کبریا، (۱۳۹۲)، «بررسی ابعاد و مؤلفه‌های مدیریت بحران به منظور ارائهٔ راهکار مناسب برای مدارس متوسطه تهران»، *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مدیریت آموزشی*، ۴(۴)، ۱۱۸-۸۴.
۷-عباییان، عبدالحمید، حاجی محمدی، محمود. (۱۳۸۷)، مدیریت انرژی، *اولین کنفرانس پتروشیمی ایران*.
۸-غفاری،حسن علی. کرباسی، عبدالرضا. رجبی، علی اصغر. (۱۳۹۶). مدیریت سبز براساس استراتژی محیط زیست، بهداشت، *ایمنی وانرژی*.
۹-فتحلیان، افشین، کارگر شریف آباد، هادی، (۱۳۹۸)، بررسی تأثیر راهکارهای مختلف بهینه‌سازی انرژی در رده‌بندی انرژی ساختمان به وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر) مطالعه موردی: ساختمان اداری)، نشریه *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۷)، ۲۱۴-۱۱۹.
۱۰-قدسی، فاطمه، (۱۳۹۸)، *ارائه راهکارهای طراحی جداره خارجی با هدف بهینه سازی مصرف انرژی، نمونه معماری مسکونی با ارتفاع متوسط (۵ طبقه) در شهر اصفهان)*، پایان نامه ارشد، دانشکدهٔ هنر و معماری یزد.
۱۱-قمیشی، آرش، (۱۳۸۳)، سیستم مدیریت انرژی ایران، *همایش ملی توسعهٔ فناوری در صنعت نفت*.
۱۲-مهدوی‌نژاد، محمدجواد. (۱۳۹۹)، رویکرد طراحی-مبنا به مصرف هوشمندانهٔ انرژی در نظریهٔ معماری سرآمد، *فصلنامهٔ علمی پژوهشی نقش جهان*، ۱۰(۲)، ۸۳-۷۵.
۱۳-نورانی، اکرم، رحیمی، محمود، میرباقری جم، محمد. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر رفاه اقتصادی در ایران، *فصلنامهٔ علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، ۱(۹)، ۶۸-۶۱.

14-Alam, M., & Devjani, M. R. (2021). Analyzing energy consumption patterns of an educational building through data mining. *Journal of Building Engineering*, *44*, 103385.
15-Doulos, L. T., Kontadakis, A., Madias, E. N., Sinou, M., & Tsangrassoulis, A. (2019). Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. *Energy and Buildings*, 194, 201-217.
16-Gajdzik, B., Wolniak, R., Nagaj, R., uromskait-Nagaj, B., & Grebski, W. W. (2024). The influence of the global energy crisis on energy efficiency: A comprehensive analysis. *Energies*, 17(4), 947.
17-Ghafaria HA, Karbassi A, Rajabi AA. (2017). Green Schools based on Environmental, Health, Safety and Energy Strategy. *Environmental Energy and Economic Research*. 1(2):239-48.
18-Goodarzi G, Razavian Amiri S. The Role of Renovation in Environmental Quality of Urban Places with Emphasis on Eco-Schools. *International Journal of Urban Management and Energy Sustainability*. 2017;1(4):73-84.
19-Lourenço, P., Pinheiro, M. D., & Heitor, T. (2019). Light use patterns in Portuguese school buildings: User comfort perception, behaviour and impacts on energy consumption .*Journal of Cleaner Production*, 228, 990-1010.
20-Santamouris, M., Mihalakakou, G., Patargias, P., Gaitani, N., Sfakianaki, K., Papaglastra, M., ... & Zerefos, S. (2007). Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings. *Energy and buildings*, 39(1), 45-51.

©Authors, Published by Journal of Intelligent Knowledge Exploration and Processing. This is an open-access paper distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).