

همبستگی شاخص‌های تکنولوژی با ارتقاء بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در مسکن‌های اقلیمی

زهرا مهربان سه گنبد^۱، مهرداد جاویدی نژاد^{۲*}، سعید تیز قلم زنوزی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

چکیده

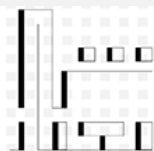
هدف اصلی بکارگیری این مسکن‌ها کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش و سطح کارایی آن می‌باشد. اما نکته حائز اهمیت، دانش و تکنولوژی بهره برداری و نگهداری این سیستم در مسکن‌های اقلیمی است. با توجه به این که هزینه‌ها و مسائل مالی تنها یکی از عوامل موثر بر تصمیم‌گیری بکارگیری سیستم‌های مدیریت و کنترل هوشمند ساختمان می‌باشد، لزوم شناسایی عوامل و پیش‌رانه‌های دیگر نیز برای تصمیم‌گیری در این زمینه امری بدیهی است. این در حالی است که مطالعات کمتری به درک و شناخت عوامل و معیارهای کارایی سیستم مدیریت ساختمان در رابطه با توسعه یک مدل ارزیابی کامل و جامع پرداخته‌اند. در این راستا هدف اصلی تحقیق حاضر همبستگی شاخص‌های تکنولوژی در ارتقا بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در خانه‌های مسکونی است. تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی، از نظر روش انجام پژوهش توصیفی پیمایشی مبتنی بر داده‌های آمیخته (کمی-کیفی) می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش دارای دو بخش بوده است که در بخش اول به اولویت بندی بر صحت سنجی شاخص‌ها توسط افراد متخصص و خیره پرداخته می‌شود که در این بخش از مدل دلفی فازی برای صحت سنجی و تاپسیس برای اولویت بندی استفاده شد و نهایتاً برای بررسی رابطه بین متغیرها و تبیین مدل از رگرسیون چندگانه استفاده شد. نتایج تاپسیس نشان می‌دهد که هوشمندسازی انرژی گرمایشی و سرمایشی دارای اولویت اول، هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان رتبه دوم و هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی دارای اولویت سوم می‌باشد. داده‌های ضریب همبستگی چندگانه ۰/۸۱۵ است و ضریب تعیین اصلاح شده به دست آمده برابر با ۰/۸۱۵ است و این مقدار نشان می‌دهد که ۸۱/۴ درصد تغییرات مصرف انرژی کل از طریق شاخص‌های تکنولوژی قابل پیش بینی است. بر اساس داده‌ها مقدار F محاسبه شده ۵۸۸/۳۸۳ بزرگتر از مقدار بحرانی F می‌باشد؛ در نتیجه با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت شاخص‌های تکنولوژی و مصرف انرژی کل رابطه معناداری وجود دارد.

کلمات کلیدی: تکنولوژی، ارتقا بهره‌وری، کاهش مصرف انرژی، مسکن‌های اقلیم

^۱ دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

^۲ استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

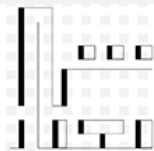
^۳ استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران



مقدمه

رشد سریع مصرف انرژی در جهان در دهه‌های اخیر، نگرانی‌هایی را درخصوص دشواری تامین انرژی، اتمام منابع آن و اثرات زیست محیطی همچون تخریب لایه اوزون، گرمایش کره زمین و تغییرات اقلیمی به همراه داشته است. پیش بینی‌ها نشان می‌دهند این رشد افزایش است (تومینیا و همکاران، ۲۰۲۰). این مسئله در کشور ما نیز مشهود به طوری که افزایش مصرف انرژی در کشور به مسئله‌ای جدی تبدیل شده است (ردا و همکاران، ۲۰۱۹). بسته‌های تشویق و تدوین سیاست‌ها و مقررات توسط دولت، تغییر ساعت کاری اداره‌ها و سازمان‌ها متناسب با تغییرات دما مؤید این موضوع است (چاستاس و همکاران، ۲۰۱۶). در این میان، ساختمان‌ها بزرگترین مصرف کنندگان انرژی‌اند به طوری که میزان مصرف انرژی فقط در بخش ساختمان‌های خانگی، تجاری و عمومی ۳۶٪ از کل انرژی مصرفی کشور است. ساختمان‌های مسکونی که در یک قرن گذشته ساخته شده‌اند می‌توانند جزو مصرف کنندگان بیش از حد منابع انرژی باشند (حسین زاده و همکاران، ۲۰۱۹). مصرف انرژی در این ساختمان‌ها، شامل مجموع انرژی لازم برای تامین نیازهای مربوط به فعالیت‌های انسانی از نظر شرایط آسایش از لحاظ گرما، سرما، تهویه و روشنایی است. صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این ساختمان‌ها را از لحاظ فنی می‌توان از راه‌های زیر ایجاد نمود: ۱- طراحی ساختمان، مصالح مصرفی و کاهش بارهای گرمایش و سرمایش از طریق پوسته بیرونی ساختمان؛ ۲- بالا بردن کارایی تجهیزات ساختمان و بهبود الگوهای مدیریتی و راهبردی؛ ۳- استفاده از تکنولوژی مصرف بهینه انرژی؛ نیاز به مصرف بهینه انرژی نه تنها در مراحل اولیه ساخت پروژه بلکه در فاز بهره‌برداری از ساختمان توسط کاربران از یک سو و هزینه‌های بالای انرژی در کشور از سویی دیگر، لزوم پرداختن به الگوهای مدیریت اقتصادی و بهینه انرژی را چه در سطح بین‌المللی و چه در سطح ملی الزامی می‌نماید. سیستم مدیریت ساختمان^۱ در ساختمان‌های هوشمند مفاهیم جدیدی در مدیریت بهینه انرژی و کنترل فرآیند مصرف آن را پیش روی مهندسان قرار داده است. با پیدایش این مفاهیم، ساختمان‌ها دیگر نه تنها مصرف کننده انرژی شناخته نمی‌شوند، بلکه به تولیدکننده انرژی‌اند و می‌توانند انرژی را بازیافت کنند (برونو و همکاران، ۲۰۱۹). هدف اصلی بکارگیری ساختمان‌های هوشمند کاهش مصرف انرژی در کنار افزایش آسایش و سطح کارایی کاربران است (هو و همکاران، ۲۰۱۹). اما آنچه در این میان حائز اهمیت است دانش بهره‌برداری و نگهداری این سیستم در ساختمان‌های مسکونی است. توجه به این مهم که مسائل هزینه‌ای و مالی تنها یکی از عوامل موثر بر تصمیم‌گیری در بکارگیری سیستم‌های مدیریت و کنترل هوشمند ساختمان می‌باشد، لزوم شناسایی عوامل و پیش‌رانه‌های دیگر نیز برای تصمیم‌گیری در این زمینه امری بدیهی است. این در حالی است که مطالعات کمتری به درک و شناخت عوامل و معیارهای کارایی سیستم مدیریت ساختمان در رابطه با توسعه یک مدل ارزیابی کامل و جامع پرداخته‌اند (علیرضایی و همکاران، ۲۰۱۶). این شکاف دانشی و کمبودهای عملیاتی منجر به بروز چالش‌هایی در زمینه کارکرد سیستم کنترلی مناسب شده است و به دلیل نبود یک فهرست جامع از معیارهای ارزیابی، مانع از دستیابی به رویکردی منطقی و نظام‌مند برای تسهیل تشخیص میزان کارایی شده است. در نتیجه، کارفرما و تیم طراحی مجبور می‌شوند که بر تجربیات گذشته‌ی خود تکیه و با قضاوت‌های سطحی و توجیه این سیستم‌ها تصمیم‌گیری کنند (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). این امر به نوبه خود می‌تواند به عدم انتخاب راه حل بهینه و مناسب منجر شود که در نتیجه آن پروژه قادر به رسیدن به سطح رضایتمندی کارفرما نخواهد بود و اصولاً پروژه‌های ساختمانی هوشمند بعد از مرحله بهره‌برداری با چالش‌هایی مواجه می‌شوند که عدم دقت در حل این چالش‌ها می‌تواند باعث از بین رفتن کل هزینه‌های صرف شده برای این مهم شود و این سیستم را تبدیل به یک سیستم غیر قابل استفاده نماید (سان و همکاران، ۲۰۱۸). این چالش‌ها عبارت‌اند از: ۱) هزینه نگهداری، با توجه به پیچیدگی‌های این سیستم در ساختمان‌های مسکونی (۲) کابل کشی‌های اضافی بر اساس روش‌های غیر معمول (۳) تداخل روش‌های کنترل خودکار و دستی (۴) عدم امکان تغییر بعد از انجام کابل کشی‌ها و (۵) دامنه وسیع عوامل درگیر در نگهداری

1 . BMS (Building Management System)

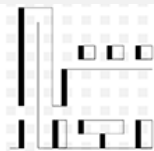


این ساختمان‌ها، تصمیم‌گیری مدیران در فاز مفهومی را دشوار می‌نماید، که این امور رویکردی چند معیاره در ارزیابی عوامل را می‌طلبد. از سوی دیگر، در راستای آگاهی و شناخت هرچه بیشتر جامعه نسبت به این قبیل فناوری‌های نو توجه صرف به بعد سیستمی از منظر نرم افزارها و سخت افزارهای بکار رفته در آن، مزایای بهره‌مندی از این فناوری‌ها را به خوبی پوشش نداده و باید شاخص‌های دیگری همچون مسائل آسایش محیطی، بهره‌وری کاری و نیز عدم قطعیت همراه با این فناوری‌های نوین که برای تصمیم‌گیری مدیران مهم باشد، در نظر گرفته شود. لذا تدوین الگویی مناسب برای تصمیم‌گیری در این رابطه از اهمیت بالایی برخوردار است (مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۹). در این راستا تحقیق حاضر به دنبال تبیین همبستگی شاخص‌های تکنولوژی با ارتقاء بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در مسکن‌های اقلیمی است.

پیشینه تحقیق

جدول ۱: بررسی پژوهش‌های انجام شده

عنوان	مؤلف(سال)	روش تحقیق	نتیجه گیری
چارچوب طراحی معماری ساختمان‌های صفر انرژی؛ با تمرکز بر سلول‌های فتوولتائیک	حقانی و مجیدی هتکه لویی (۱۳۹۹)	توصیفی - تحلیلی	توجه به جهت، شیب سلول‌های فتوولتائیک، سایه اندازی و فرم ساختمان و... می‌تواند تأثیر بسزایی بر عملکرد این سلول‌ها داشته باشد. ترکیب سیستم‌های فتوولتائیک با ساختمان نیازمند همکاری بین رشته‌ای متخصصان مختلف معماری و دیگر رشته‌های مهندسی از ابتدای فرآیند طراحی است.
بهبودسازی مصرف انرژی در ساختمان‌های صفر انرژی	محمدی و سیاه مشته‌ای (۱۳۹۹)	تحلیل مضمون	کاهش مصرف انرژی در ساختمان انرژی پلاس با بهره‌گیری از فناوری هوشمند ایجاد کنیم و همین مقدار مصرف اندک را نیز به کمک انرژی‌های تجدید پذیر تامین کنیم.
بررسی تطبیقی ساختمان‌های صفر انرژی	شهابی و نوروزی (۱۳۹۹)	توصیفی - تحلیلی	نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در بین ساختمان‌های صفر انرژی مورد بررسی، فتوولتائیک بیشترین استفاده و کاربرد را در ساخت خانه‌های صفر انرژی داشته است. از طرفی شرایط آب و هوایی و هزینه‌های ساخت و تعبیه روش‌های دیگر مثل روش استفاده از انرژی بادی و آبی، منجر به استفاده و کاربرد کمتر این نوع از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر در ساخت و نوسازی و بازسازی ساختمان‌های صفر انرژی شده است.



عنوان	مؤلف (سال)	روش تحقیق	نتیجه گیری
واکاوی ساختمان های صفر انرژی با رویکرد معماری پایدار	هوشیار یزدیان و سمیعی منش (۱۳۹۹)	آمیخته	توجه به مسائل زیست محیطی و استفاده بهینه از منابع انرژی، رابطه‌ی تنگاتنگی با یکدیگر دارند. در حال حاضر با توجه به اینکه بخش ساختمان های اداری و مسکونی درصد قابل توجهی از مصرف انرژی های فسیلی کشور را به خود اختصاص داده است، در این پژوهش لزوم استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در طراحی معماری با عنوان ساختمان های صفر انرژی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
مروری بر سیستم های مدیریت انرژی ساختمان مبتنی بر اینترنت انرژی	هانان و همکاران (۲۰۱۸)	مروری	مروری بر سیستم های مدیریت انرژی ساختمان مبتنی بر اینترنت انرژی
ساختمان های انرژی صفر شبکه از نوع توان خورشیدی برای نواحی اروپای جنوبی	داگراسا و همکاران (۲۰۱۲)	استفاده از شبیه سازی حرارتی دینامیکی دو هندسه‌ی مجزای ساختمانی، اندازه‌ی سیستم های جمع کننده‌ی خورشیدی تا مشخص شدن کلیه‌ی نیازهای سالیانه‌ی انرژی	امکان عملی سازی سیستم های ساختمان انرژی صفر شبکه (NZEB) ^۱ خورشیدی برای یک خانه‌ی تک خانوار در نواحی معتدل اروپای جنوبی
پیاده سازی ساختمان انرژی صفر از طریق یک سیستم مدیریت انرژی خانگی متصل به شبکه	سابرباری و همکاران (۲۰۱۴)	شبیه سازی یک NZEB متصل به شبکه به منظور به دست آوردن طراحی ساختاری بهینه از نظر هزینه های سیستمی	منابع انرژی تجدید پذیر (RES) به عنوان جایگزین هایی برای سوخت های فسیلی
ارزیابی پیشرفت بسوی اتخاذ تعاریف ساختمان ها با انرژی تقریباً صفر در	آگوستینو و همکاران (۲۰۱۵)	تحلیل - توصیفی	ساختمان ها با انرژی صفر دارای یک پتانسیل بسیار خوبی برای کاهش مصرف انرژی و بطور همزمان افزایش استفاده از

1 . NZEB (Net or Nearly Zero Energy Buildings)

عنوان	مؤلف(سال)	روش تحقیق	نتیجه گیری
کشورهای عضو اتحادیه اروپا			انرژی های تجدیدپذیر، کاهش تخلیه منابع انرژی و زوال محیط زیست است در همه جا تصدیق می شود.
طراحی یک خانه انرژی صفر در بریزبن، استرالیا	کوان و همکاران (۲۰۱۵)	استفاده از تکنیک شبیه سازی کامپیوتری ساختمان	بدست آوردن تقریباً ۶۶٪ صرفه جویی انرژی در استفاده از انرژی سالانه خانوار با تمرکز بر به حداکثر رساندن عملکرد حرارتی پوشش ساختمان و به حداقل رساندن نیازهای انرژی و ترکیب فناوری های انرژی خورشیدی.

روش تحقیق

• مراحل اجرای تحقیق

تحقیق مورد نظر بر اساس نوع هدف از روش ترکیبی توسعه ای - کاربردی بهره می گیرد. روش تحقیق حاضر بر اساس نوع تحلیل در رده تحقیقات کمی جای دارد. همچنین روش (تکنیک) تحلیل داده ها در تحقیق حاضر از نوع روش (تکنیک) تحلیل محتوایی است. در این تحقیق از روش تحقیق ترکیبی استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل داده ها در این پژوهش دارای دو بخش بوده است که در بخش اول به اولویت بندی و صحت سنجی شاخص ها توسط افراد متخصص و خبره پرداخته می شود که در این بخش از مدل دلفی فازی برای صحت سنجی و تاپسیس برای الویت بندی استفاده شد و نهایتاً برای بررسی رابطه بین متغیرها و تبیین مدل از رگرسیون چندگانه استفاده شد.

الف) مدل تاپسیس^۱

روش تاپسیس از روشهای تصمیم گیری چند شاخصه^۲، است که جزء مدل های جبرانی (مدل هایی که در مبادله بین شاخص ها مهم است) از زیر گروه سازشی^۳ (در مدل های زیر گروه سازشی گزینه ای ارجح خواهد بود که نزدیکترین گزینه به راه حل آینده باشد) است. ساختار کلی مدل به شرح زیر است (اصغر پور، ۱۳۸۷: ۲۷۰-۲۱۳):

۱- تشکیل ماتریس تصمیم گیری: این ماتریس از n شاخص و m شهر تشکیل شده است.

۲- وزن دهی به شاخص ها: وزن دهی به شاخص ها از طریق مدل آنتروپی صورت گرفته است که ساختار مدل آنتروپی به شرح زیر است (اکبری و زاهدی کیوان، ۱۳۸۷: ۴۸-۴۶):

1. TOPSIS

2- Mutiple attribute decision making.

3-Compromising – subgroup

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{P_i \times R_i} \right)}{n}$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

در مرحله بعدی مقدار آنتروپی هر یک از شاخص ها محاسبه می شود:

$$\sum_j = -k \sum_{i=1}^m [n_{ij} \ln(n_{ij})] \Rightarrow k = \frac{1}{\ln(m)}$$

مقدار آنتروپی هر یک از شاخص ها مقداری بین صفر و یک است. بعد از محاسبه آنتروپی هر شاخص، درجه انحراف هر شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$d_j = 1 - E_j$$

محاسبه وزن هر شاخص از طریق رابطه زیر به دست می آید:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j}$$

۳- تشکیل ماتریس بی استاندارد شده: در این مرحله ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس « بی مقیاس شده» با استفاده از فرمول زیر تبدیل می شود:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^n x_{ij}^2}}$$

۴- ماتریس بی مقیاس شده موزون: این ماتریس از طریق ضرب ماتریس بی مقیاس شده در ماتریس وزن هر شاخص، به دست می آید.
۵- یافتن ایده آل های مثبت و منفی: در این مرحله بزرگترین مقدار هر شاخص به عنوان ایده آل مثبت (A+) و کمترین مقدار هر شاخص به عنوان ایده آل منفی (A-) تعیین می شود.
۶- محاسبه اندازه جدایی: این مرحله به کمک مرحله پنجم فاصله اقلیدسی هر یک از گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی مربوط به هر شاخص مسئله، محاسبه می گردد:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

۷- محاسبه نزدیکی نسبی Ai به راه حل ایده آل: این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می گردد:

$$CL_i = \frac{D_i^-}{(D_i^- + D_i^+)} \rightarrow i=1, \dots, m, \quad x < CL_i \leq y$$

۸- رتبه بندی هر یک از گزینه ها (شهرها) بر اساس CL_i

(ب) مدل دلفی

دلفی یک روش کمی برای صحت سنجی و وزن دهی شاخص هاست (گردون^۱، ۱۹۹۴). روش دلفی برای نخستین بار توسط دالکی و هلمر در

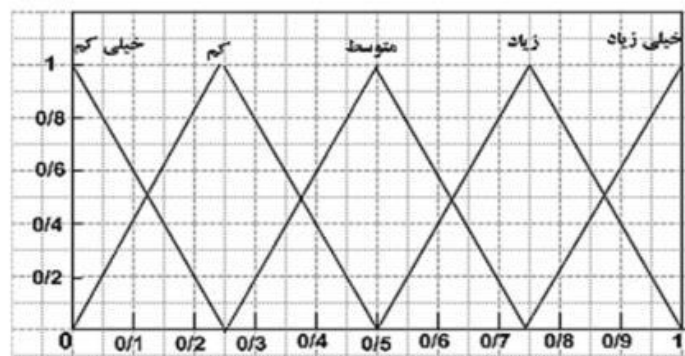
1. Gordon

سال ۱۹۶۳ ارائه شد. این تکنیک روشی پیمایشی مبتنی بر نظرهای متخصصان است. این تکنیک روشی نظام مند به منظور جمع‌آوری و هماهنگی قضاوت‌های آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سؤال یا موضوعی خاصی است. اما در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، قضاوت متخصصان نمی‌تواند به صورت اعداد کمی قطعی بیان و تفسیر شود؛ به عبارت دیگر داده‌ها و اعداد قطعی به منظور مدل کردن سیستم‌های دنیای واقعی به علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم‌گیرندگان ناکافی است. در این راستا در ۱۹۸۸ روش دلفی فازی توسط کافمن و گوپتا ابداع شد. این روش تکامل‌یافته روش دلفی است که با دقت بیشتری انعطاف‌پذیری خود را حفظ و داده‌های غیرصریح و غیردقیق را تحلیل می‌کند. در روش دلفی فازی، داده‌ها به جای اعداد واقعی با اعداد فازی نمایش داده می‌شوند (جعفری و منتظر، ۱۳۸۶).

در پژوهش حاضر از تکنیک دلفی فازی چندمرحله‌ای استفاده شد. به این صورت که در مرحله اول دلفی فازی، پرسشنامه بر مبنای مولفه‌های مستخرج از کدگذاری مصاحبه‌ها آماده شد و سپس از پاسخ‌دهندگان خواسته شد که بر اساس یک طیف ۵ تایی اهمیت شاخص‌ها را مشخص نمایند. بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل، پرسشنامه دوم و سوم نیز دوباره با همان شاخص‌ها در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد و همانند قبل اهمیت شاخص‌ها تعیین می‌شود این فرایند تا زمان اجماع نظرات ادامه می‌یابد و در راند آخر که اجماع صورت گرفت عملیات غربالگری و حذف شاخص‌های کم اهمیت صورت می‌گیرد.

به‌طورکلی روش‌های گردآوری اطلاعات در بخش دلفی فازی از ابزار پرسشنامه استفاده می‌شود. پرسشنامه در روش دلفی فازی به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که مخاطبان ضمن استنباط و فهم مسئله مطرح شده، واکنش‌های فردی خود را نشان دهند. با برگشت پرسشنامه‌ها، طیف پاسخ‌ها و دلایلی که متخصصان برای پاسخ‌هایشان بیان کردند، بررسی می‌گردد. در این مرحله مواردی که مرتبط با اهداف تحقیق نباشند حذف می‌گردد. پس از آن، گزارش خلاصه برای متخصصان فرستاده می‌شود. متخصصان پس از مشاهده نتایج دور اول، اجازه دارند در دور دوم یا ادوار دیگر، پاسخ‌هایشان را براساس نتایج تغییر دهند. بدین ترتیب در طول زمان با پیشرفت کار، دیدگاه‌های مخاطبان با موضوع مطرح شده تطابق خواهد یافت. این فرایند ادامه می‌یابد تا اینکه اجماعی درباره دیدگاه‌ها حاصل شود.

در این پژوهش پرسشنامه در دو مرحله توزیع شد. در مرحله اول پرسشنامه بر اساس عوامل استخراج شده از مرحله فراترکیب در اختیار خبرگان قرار گرفت، همچنین یک سوال باز در انتهای پرسشنامه قرار گرفت، که اگر عاملی را مد نظر دارند که در پرسشنامه بدان اشاره نشد، بیان کنند. در مرحله دوم پرسش نامه بر اساس عواملی که خبرگان بدان متذکر شده‌اند، و نیز عواملی که از مرحله قبل تایید شد، توزیع گشت. پرسشنامه‌ها در هر دو مرحله دارای طیف لیکرت جهت غربال سازی عوامل می‌باشد.



شکل ۱- متغیرهای زبانی (ماخذ: نگارنده)

در جدول ۲ نیز نحوه تبدیل متغیرهای کلامی به عدد فازی مثلثی و عدد فازی قطعی شده نشان داده شده است:

جدول ۲- عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی

اعداد فازی مثلثی	عدد فازی قطعی شده	عبارات زبانی
(0, 0, 0.25)	0.75	خیلی کم
(0, 0.25, 0.5)	0.5625	کم
(0.25, 0.5, 0.75)	0.3125	متوسط
(0.5, 0.75, 1)	0.0625	زیاد
(0.75, 1, 1)	0.0625	خیلی زیاد

اعداد فازی قطعی شده در جدول ۲ با استفاده از رابطه مینکوسکی از رابطه محاسبه شده است.

$$\chi = m + \frac{\beta - \alpha}{4}$$

ج) تحلیل مدل با رگرسیون چند گانه

در برخی از مسائل پژوهشی، به ویژه آن‌هایی که با هدف ارائه مدلی برای پیش‌بینی انجام می‌شوند، تعیین همبستگی بین متغیر وابسته (که قصد پیش‌بینی آن را داریم) و متغیرهای پیش‌بینی کننده که هر کدام از آنها تا حدودی با این متغیر همبستگی دارند، دارای اهمیت زیادی است. روشی که از طریق آن متغیرهای پیش‌بینی کننده ترکیب می‌شوند، "رگرسیون چند متغیره" نام دارد. در این روش، یک معادله رگرسیون چند متغیره محاسبه می‌شود که ارزش‌های اندازه‌گیری شده پیش‌بینی را در یک فرمول خلاصه می‌کند. ضرایب معادله برای هر متغیر، بر اساس اهمیت آن در پیش‌بینی متغیر ملاک محاسبه و معین می‌شود. درجه همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده در معادله رگرسیون چند متغیره و متغیر وابسته، به وسیله ضرایب نشان داده می‌شود. مدل رگرسیون چند متغیره به شرح زیر است:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i} + \varepsilon_{n,i}$$

که در آن:

$$Y_i = \text{آمین مشاهده متغیر وابسته}$$

$$\alpha = \text{عرض از مبدأ (مقدار ثابت)}$$

$$X_{n,i} = \text{آمین مشاهده برای متغیر مستقل } X_n \text{ (} n=1,2,\dots,n \text{)}$$

$$\beta = \text{ضریب متغیر مستقل}$$

$$\varepsilon = \text{جزء اخلاص}$$

در چنین مدلی مفروضات اساسی زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- بین متغیرهای مستقل رابطه خطی وجود ندارد؛

۲- امید ریاضی خطاها معادل صفر و واریانس آن‌ها ثابت است (توزیع خطاها بایستی نرمال باشد)؛

۳- بین خطاهای مدل همبستگی وجود ندارد؛ و

۴- متغیر وابسته دارای توزیع نرمال است.

تنها در صورتی می‌توان از رگرسیون خطی استفاده نمود که شرایط زیر برقرار باشند:

۱. یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، عدم وجود خود همبستگی^۱ یا همبستگی پیاپی بین خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط معادله رگرسیون) است. در الگوی رگرسیون فرض می‌شود که خطاها یک متغیر تصادفی هستند و نسبت به یکدیگر هیچ رابطه‌ای نداشته (مستقل از یکدیگرند)، یا به عبارت دیگر:

$$E(u_i u_j)_{i \neq j} = 0$$

$$E(u_i, u_{i+h})_{h \neq 0} = 0$$

به عبارت دیگر، کوواریانس بین جملات خطا برابر با صفر خواهد بود.

۲. معادله رگرسیون برآزش شده در کل معنادار باشد. برای آزمون معناداری کلی مدل از آماره F در سطح ۹۵٪ استفاده می‌شود.

۳. خطاهای معادله دارای توزیع نرمال با میانگین صفر باشند. برای بررسی نرمال بودن خطاهای معادله، مقادیر استاندارد خطاها محاسبه شده، منحنی اجزای خطا در مدل رگرسیون رسم می‌گردد و سپس با نمودار نرمال مقایسه می‌شود.

۴. بین متغیرهای مستقل موجود در الگوی رگرسیون همبستگی وجود نداشته باشد (دارای هم‌خطی^۲ نباشند). زیرا در صورتی که شدت رابطه بین متغیرهای مستقل بسیار زیاد باشد، اندازه‌گیری جداگانه اثرات هر یک از متغیرها بر روی متغیر وابسته دشوار است.

یافته های تحقیق

الف) صحت سنجی با تکنیک دلفی فازی

در این مرحله برای صحت سنجی اصول توسعه سنتی محلات بر اساس دیدگاه متخصصین و خبرگان از تکنیک دلفی فازی استفاده شد. با توجه به مقایسه نتایج دیدگاه‌های ارائه شده در مرحله اول، دوم و سوم، لازم به ذکر است در صورتی که اختلاف میانگین فازی زدایی شده در دو مرحله کمتر از ۰/۱ باشد، فرایند نظرسنجی متوقف می‌شود. همان گونه که ملاحظه می‌شود اختلاف میانگین فازی زدایی شده نظر خبرگان در سه مرحله از ۰/۱ کمتر است. بر این اساس، خبرگان در خصوص اصول توسعه سنتی محلات بر اساس دیدگاه متخصصین و خبرگان به اجماع رسیده‌اند و نظرسنجی در این مرحله متوقف می‌شود. این یعنی که خبرگان به اصول توسعه سنتی محلات بر اساس دیدگاه متخصصین و خبرگان شناسایی شده در پژوهش نگاه تقریباً یکسانی دارند (جدول ۳).

^۱ Autocorrelation

^۲ Multicollinearity

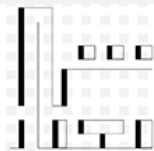
جدول ۳- نتایج دلفی

اختلاف	دلفی ۳	دلفی ۲	دلفی ۱	مضامین
0.042267	0.920873	0.96314	0.954332	هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی
0.048061	0.846142	0.894203	0.813864	هوشمندسازی مصرف گاز
0.017664	0.865462	0.883126	0.777098	هوشمندسازی انرژی سرمایه‌ی
0.016811	0.931813	0.948624	0.972932	هوشمندسازی انرژی گرمایشی
0.043556	0.919979	0.963535	0.984352	هوشمندسازی انرژی تهوه مطبوع
0.023931	0.73278	0.756711	0.680483	هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان
0.017874	0.663941	0.681815	0.612963	هوشمندسازی آسایش حرارتی

ب) اولویت بندی با تکنیک تاپسیس

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوآنگ و یون ارائه شد. در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری و رتبه بندی، ماتریسی از معیارهای چندگانه تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود و فرآیندی جهت یافتن بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با توجه به شاخص‌های مورد بررسی طی می‌شود. مهم‌ترین مدل‌های مورد استفاده در این فرآیند، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بوده که شامل تکنیک‌های گوناگونی مانند ای، اچ پی^۱، تاپسیس و ... می‌باشند. تکنیک تاپسیس مدلی جبرانی است که مبادله بین شاخص‌ها در آنها مجاز بوده و تغییرات در یک شاخص می‌تواند توسط تغییری مخالف در شاخص دیگر جبران شود. بر اساس این روش هر مسأله از نوع تصمیم‌گیری با m گزینه که به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار گیرد را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت. در این روش فاصله گزینه مورد نظر از ایده آل مثبت و منفی در نظر گرفته می‌شود به طوری که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل بوده و بیشترین فاصله را از ایده‌آل منفی داشته باشد. بنابراین با توجه به فرآیند بالا نتایج رتبه بندی در جدول ۴ آورده شده است.

1. AHP



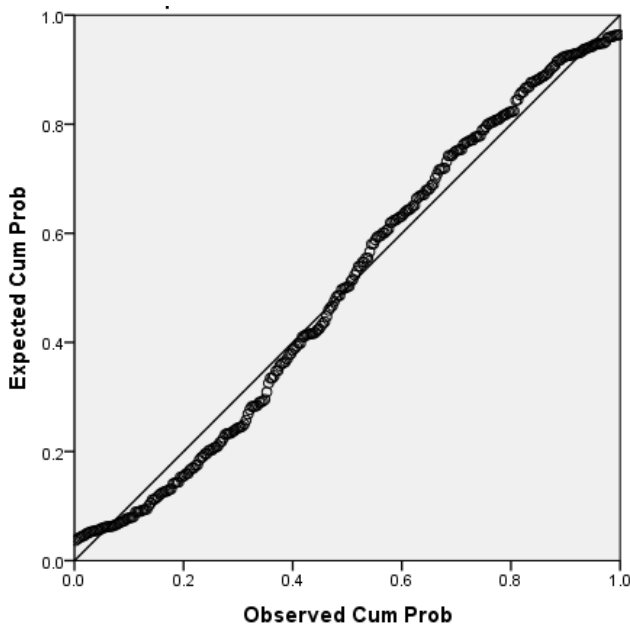
جدول ۴- نتایج حاصل از تحلیل شاخص‌ها با استفاده از تاپسیس

رتبه	CL	ایده‌آل منفی (f_j^-)	ایده‌آل مثبت (f_j^*)	زیر مولفه
۳	۰/۰۷۱	۳/۶۹	۲/۶۶	هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی
۴	۰/۰۷۰	۳/۷۶	۲/۷۸	هوشمندسازی مصرف گاز
۶	۰/۰۴۸	۳/۰۷	۱/۴۷	هوشمندسازی انرژی سرمایشی
۷	۰/۰۴۶	۴/۲	۲/۵۷	هوشمندسازی انرژی تهویه مطبوع
۲	۰/۰۸۷	۳/۶۴	۲	هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان
۵	۰/۰۵۳	۳/۲۱	۲/۸۵	هوشمندسازی آسایش حرارتی
۱	۰/۰۸۸	۳/۷۳	۲/۱۴	هوشمندسازی انرژی گرمایشی

نتایج تاپسیس نشان می‌دهد که هوشمندسازی انرژی گرمایشی دارای اولویت اول، هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان رتبه دوم و هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی دارای اولویت سوم می‌باشد.

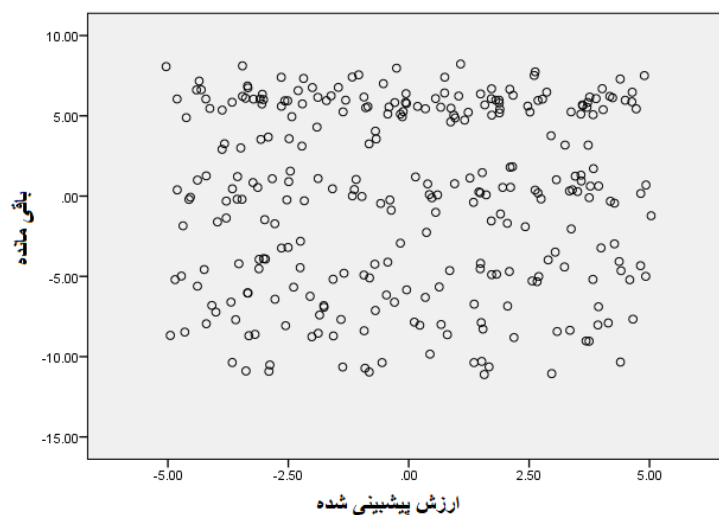
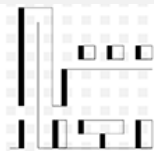
ج) تحلیل مدل با رگرسیون چند گانه

خطی بودن رابطه متغیرها با یکدیگر، پیش فرض آزمون‌های آماری همبستگی پیرسون و رگرسیون است. بنابراین، رعایت این پیش فرض ضروری می‌باشد. در خطی بودن رابطه انتظار این است که نقاط به طور قابل قبولی در روی خط قطری یا مورب مستقیم از انتهای سمت چپ تا بالای سمت راست قرار گیرد. این نشان می‌دهد که انحراف زیادی از نرمال بودن صورت نگرفته است. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، چون نقاط به طور قابل قبولی در روی خط قطری مستقیم از انتهای سمت چپ تا بالای سمت راست (حول خط رگرسیون) قرار گرفته‌اند می‌توان نتیجه گرفت، رابطه خطی بین متغیرها وجود دارد.



شکل ۲- خطی بودن باقی مانده های رگرسیون برای متغیر تغییرات مصرف انرژی کل (ماخذ: نگارنده)

افزون بر این در نمودار پراکنش پس مانده های استاندارد شده انتظار بر این است که پس مانده ها، توزیع نسبتاً مستطیلی شکل داشته باشند. به طوری که اکثریت نمره‌ها در مرکز نمودار (در امتداد نقطه‌ی صفر) متمرکز شوند. مطابق شکل ۳ چون اکثریت نمره‌ها در مرکز نمودار (در امتداد نقطه‌ی صفر) متمرکز شده اند و پس مانده‌ها توزیع نسبتاً مستطیلی شکل دارند، بنابراین از مفروضه‌ی یکسانی پراکندگی پس مانده‌ها تخلفی نشده است.



شکل ۳- نمودار پراکنش برای تغییرات مصرف انرژی کل

بر اساس داده های جدول ۵ ضریب همبستگی چندگانه $0/815$ می باشد و ضریب تعیین اصلاح شده به دست آمده برابر با $0/815$ می باشد و این مقدار نشان می دهد که $81/4$ درصد تغییرات مصرف انرژی کل از طریق شاخص های تکنولوژی قابل پیش بینی است.

جدول ۵- خلاصه مدل رگرسیون بین شاخص های تکنولوژی بر مصرف انرژی کل

همبستگی چندگانه (R)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین اصلاح شده	خطای برآورد
$0/903$	$0/815$	$0/814$	$0/26075$

بر اساس داده های جدول ۶ مقدار F محاسبه شده $588/383$ بزرگتر از مقدار بحرانی F می باشد؛ در نتیجه با اطمینان ۹۹ درصد می توان گفت شاخص های تکنولوژی و مصرف انرژی کل رابطه معناداری وجود دارد.

جدول ۶-آزمون F برای معناداری رگرسیون و رابطه خطی بین شاخص های تکنولوژی بر مصرف انرژی کل

معناداری	F	میانگین مجذورات	df	مجموع مربعات
$0/000$	$588/383$	$37/966$	۳	$113/898$
		$0/068$	۳۸۰	$25/837$
			۳۸۳	$139/735$

نتایج جدول ۷ مربوط به ضرایب رگرسیون گام به گام می باشد. بر اساس نتایج بدست آمده تغییرات یک واحدی شاخص تکنولوژی به اندازه ضریب بتای آن شاخص مصرف انرژی را افزایش می دهد.

جدول ۷- رگرسیون گام به گام

معناداری	بتا	SE	سطح معناداری
هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۰۰۰
هوشمندسازی مصرف گاز	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۰۰۰
هوشمندسازی انرژی سرمایشی	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۰۰۰
هوشمندسازی انرژی تهویه مطبوع	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۰۰
هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۰۰۰
هوشمندسازی آسایش حرارتی	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۰۰۰
هوشمندسازی انرژی گرمایشی	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۰۰

بحث و نتیجه گیری

نتایج تاپسیس نشان می‌دهد که هوشمندسازی انرژی گرمایشی دارای اولویت اول، هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان رتبه دوم و هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی دارای اولویت سوم می‌باشد. بر اساس داده‌های ضریب همبستگی چندگانه $0/815$ می‌باشد و ضریب تعیین اصلاح شده به دست آمده برابر با $0/815$ می‌باشد و این مقدار نشان می‌دهد که $81/4$ درصد تغییرات مصرف انرژی کل از طریق شاخص‌های تکنولوژی قابل پیش بینی است. بر اساس داده‌های مقدار F محاسبه شده $588/383$ بزرگتر از مقدار بحرانی F می‌باشد؛ در نتیجه با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت شاخص‌های تکنولوژی و مصرف انرژی کل رابطه معناداری وجود دارد.

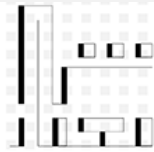
در سال‌های گذشته رشد مصرف انرژی جهان سالانه یک تا دو درصد و در ایران ۵ تا ۸ درصد بوده است و حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد از کل انرژی مصرفی در ایران در ارتباط با مصارف ساختمانی است. از سوی دیگر به واسطه انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق، محدودیت و پیش بینی افزایش قیمت‌های سوخت‌های فسیلی موجب گردیده است، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، سیاست بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان را در رئوس برنامه‌های خود قرار دهند. در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ایران نیز این موضوع با هدف بالا بردن بهره‌وری و رشد اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. نخستین گام جهت ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، انجام ممیزی انرژی ساختمان می‌باشد. برخی از اقدامات ممیزی انرژی ساختمان تنها در جریان ساخت ممکن می‌باشد. لذا پایبندی به قوانین و استانداردهای مصرف انرژی در ساختمان‌های جدید هنگامی نمود بیشتری می‌یابد که تفاوت سطح دشواری اجرای طرح‌های کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، در مرحله قبل از طراحی و ساخت و ساز با مرحله بعد از آن مقایسه شود. مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و برچسب انرژی ساختمان دو قانون و استاندارد مهم به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد. در این راستا این مقاله به بررسی و تحلیل سهم انرژی مصرفی در ساختمان، شیوه‌ها و مراحل ممیزی انرژی ساختمان و قوانین موجود در بخش انرژی کشور ایران می‌پردازد و نقش و رابطه بین ممیزی انرژی ساختمان و کارآمد بودن قوانین و نقاط ضعف و قوت آن را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

امروزه امنیت، قابلیت اطمینان و دردسترس بودن منابع انرژی موضوعی ضروری در توسعه پایدار اقتصادی می‌باشد. تغییرات اقلیمی، عدم امنیت حامل‌های انرژی تجدیدناپذیر، رشد مصرف انرژی و... چالش‌های بسیاری را در حوزه انرژی و محیط زیست ایجاد نموده است. از این رو ایجاد بسترهای لازم برای تأمین انرژی مصرفی و تمرکز بر روی چگونگی مصرف انرژی، به عنوان یک راهکار موثر جهت غلبه بر این چالش‌ها

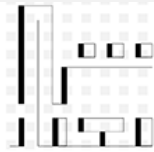
مورد توجه است. در این میان مباحث مرتبط با محیط زیست همواره از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است افزایش راندمان مصرف انرژی با کاهش میزان انتشار آلودگی رابطه مستقیم دارد. از طرفی استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر عامل موثری در کاهش دی اکسید کربن است. کاهش گازهای گلخانه‌ای از یک سو و استفاده بیشتر از منابع تجدیدپذیر انرژی از سوی دیگر نقش تعیین کننده ای در تدوین استراتژی کشورها در حوزه انرژی دارد. از این رو در سال‌های اخیر مفاهیم ایده‌الی نظیر مصرف صفر انرژی مورد توجه کشورهای مختلف به خصوص کشورهای توسعه یافته به منظور کاهش وابستگی به منابع انرژی‌های تجدیدپذیر که هم به لحاظ هزینه و محدود بودن منابع و هم به لحاظ ایجاد آلودگی زیست محیطی، به کارگیری آنها در آینده چندان منطقی و مقرون به صرفه نمی‌باشد، قرار گرفته است.

منابع

- حقانی، مهسا و مجیدی هتکه لویی، سحر، (۱۳۹۹)، چارچوب طراحی معماری ساختمان های صفر انرژی؛ با تمرکز بر سلول های فتوولتائیک، دومین کنفرانس ملی مدیریت شهری، شهرسازی و معماری، تبریز.
- شهایی، نسیم و نوروزی، ملیحه، (۱۳۹۹)، بررسی تطبیقی ساختمان های صفر انرژی، هفتمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری و ششمین نمایشگاه تخصصی انبوه سازان مسکن و ساختمان استان تهران، تهران.
- وریج کاظمی، محمد و وریج کاظمی، رضا و رحیمی کیارمشی، محمدحسن، (۱۳۹۲)، بررسی و تحلیل ممیزی انرژی ساختمان و قوانین موجود در ایران، اولین همایش ملی ساختمان آینده، ساری.
- محمدی، ایمان و سیاه مشته ای، شقایق، (۱۳۹۹)، بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های صفر انرژی، اولین کنفرانس محیط زیست، عمران، معماری و شهرسازی، تهران.
- هوشیاریزدیان، سیده هما و سمیعی منش، فرشاد، (۱۳۹۹)، واکاوی ساختمان های صفر انرژی با رویکرد معماری پایدار، ششمین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.
- D'Agostino, D. (2015). Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States. *J. Build. Eng.*, 1, 20-32.
- da Graça, G. C., Augusto, A., & Lerer, M. M. (2012). Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study. *Solar Energy*, 86(1), 634-646.
- Hannan, M. A., Faisal, M., Ker, P. J., Mun, L. H., Parvin, K., Mahlia, T. M. I., & Blaabjerg, F. (2018). A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations. *Ieee Access*, 6, 38997-39014.
- Kwan, Y., & Guan, L. (2015). Design a zero energy house in Brisbane, Australia. *Procedia Engineering*, 121, 604-611.
- Saberbari, E., & Saboori, H. (2014, May). Net-zero energy building implementation through a grid-connected home energy management system. In 2014 19th Conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC) (pp. 35-41). IEEE.



- Tumminia, G., Guarino, F., Longo, S., Aloisio, D., Cellura, S., Sergi, F., ... & Ferraro, M. (2020). Grid interaction and environmental impact of a net zero energy building. *Energy Conversion and Management*, 203, 112228.
- Hoseinzadeh, S., Hadi Zakeri, M., Shirkhani, A., & Chamkha, A. J. (2019). Analysis of energy consumption improvements of a zero-energy building in a humid mountainous area. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(1), 015103.
- Alirezaei, M., Noori, M., & Tatari, O. (2016). Getting to net zero energy building: Investigating the role of vehicle to home technology. *Energy and Buildings*, 130, 465-476.
- Chastas, P., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and environment*, 105, 267-282.
- Hu, M. (2019). Does zero energy building cost more?—An empirical comparison of the construction costs for zero energy education building in United States. *Sustainable cities and society*, 45, 324-334.
- Sun, X., Gou, Z., & Lau, S. S. Y. (2018). Cost-effectiveness of active and passive design strategies for existing building retrofits in tropical climate: Case study of a zero energy building. *Journal of Cleaner Production*, 183, 35-45.
- Reda, F., & Fatima, Z. (2019). Northern European nearly zero energy building concepts for apartment buildings using integrated solar technologies and dynamic occupancy profile: Focus on Finland and other Northern European countries. *Applied Energy*, 237, 598-617.
- Liu, M., & Heiselberg, P. (2019). Energy flexibility of a nearly zero-energy building with weather predictive control on a convective building energy system and evaluated with different metrics. *Applied Energy*, 233, 764-775.
- Mehrjerdi, H., Iqbal, A., Rakhshani, E., & Torres, J. R. (2019). Daily-seasonal operation in net-zero energy building powered by hybrid renewable energies and hydrogen storage systems. *Energy Conversion and Management*, 201, 112156.
- Bruno, R., Bevilacqua, P., Cuconati, T., & Arcuri, N. (2019). Energy evaluations of an innovative multi-storey wooden near Zero Energy Building designed for Mediterranean areas. *Applied energy*, 238, 929-941.
- Danza, L., Barozzi, B., Bellazzi, A., Belussi, L., Devitofrancesco, A., Ghellere, M., ... & Scrosati, C. (2020). A weighting procedure to analyse the Indoor Environmental Quality of a Zero-Energy Building. *Building and Environment*, 183, 107155.



Correlation of technology indicators with improving productivity and reducing energy consumption in climate housing

Zahra Mehraban Sehgonbad, Mehrdad Javidinejad*, Saeid Tizghalam Zenozi

Abstract

The main purpose of using these housings is to reduce energy consumption and increase comfort and efficiency. But the important thing is the knowledge and technology of operating and maintaining this system in climate housing. Due to the fact that costs and financial issues are only one of the factors influencing the decision to use intelligent building management and control systems, the need to identify other factors and drivers for decision-making in this field is obvious. Meanwhile, fewer studies have addressed the understanding and recognition of the factors and efficiency criteria of the building management system in relation to the development of a complete and comprehensive evaluation model. In this regard, the main goal of the current research is the correlation of technology indicators in improving productivity and reducing energy consumption in residential houses. The current research is based on mixed (quantitative-qualitative) data in terms of applied purpose, in terms of descriptive survey research method. The data analysis in this research has two parts, in the first part, the prioritization and verification of indicators by experts and experts are discussed, in this part, the fuzzy Delphi model was used for verification and TOPSIS for prioritization. And finally, multiple regression was used to examine the relationship between variables and explain the model. The results of TOPSIS show that the intelligentization of heating and cooling energy has the first priority, the intelligentization of indoor air quality has the second rank, and the intelligentization of lighting energy consumption has the third priority. The data of the multiple correlation coefficient is 0.815 and the corrected coefficient of determination obtained is equal to 0.815 and this value shows that 81.4 percent of the changes in total energy consumption can be predicted through technology indicators. Based on the data, the calculated value of F is 588/383 greater than the critical value of F; As a result, with 99 percent confidence, it can be said that there is a significant relationship between technology indicators and total energy consumption.

Keywords: technology, improving efficiency, reducing energy consumption, climate housing