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

زهرا مهربان سه‌گنبد[۱]، مهرداد جاویدی نژاد[۲]*، سعید تیزقلم زنوزی[۳]

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 هزینه ها 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 شاخص های تکنولوژی در ارتقا بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در خانه های مسکونی است. تحقیق حاظر از نظر هدف کاربردی، از نظر روش انجام پژوهش توصیفی پیمایشی مبتنی بر داده های آمیخته (کمی-کیفی) می باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها 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 نهایتا برای بررسی رابطه بین متغیر ها 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 شاخص های تکنولوژی قابل پیش بینی است. بر اساس داده‌ها مقـدار F محاسبه شـده ۵۸۸/۳۸۳ بزرگتـر از مقـدار بحرانی F می باشد؛ در نتیجه با اطمینان ۹۹ درصد می توان گفـت شاخص های تکنولوژی و مصرف انرژی کل رابطه معناداری وجود دارد.

کلمات کلیدی: تکنولوژی، ارتقا بهره وری، کاهش مصرف انرژی، مسکن‌های اقلیمی

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 تغیرات 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 می توان از راه‌های زیر ایجاد نمود: ۱- طراحی ساختمان، مصالح مصرفی و کاهش بارهای گرمایش و سرمایش از طریق پوسته بیرونی ساختمان؛ ۲- بالا بردن کارآیی 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 بهره برداری از ساختمان توسط کاربران از یک‌سو 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[1] 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 عبارت اند 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 دستی۴) عدم امکان تغییر بعد از انجام کابل کشی‌ها و ۵) دامنه وسیع عوامل درگیر در نگهداری این ساختمان‌ها، تصمیم گیری 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 تصمیم گیری 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 بهره وری و کاهش مصرف انرژی در مسکن‌های اقلیمی است.

[1] . BMS (Building Management System)

پیشینه تحقیق

جدول ۱: بررسی پژوهش‌های انجام شده

عنوان	مولف(سال)	روش تحقیق	نتیجه گیری
چارچوب طراحی معماری ساختمان های صفر انرژی؛ با تمرکز بر سلول های فتوولتائیک	حقانی و مجیدی هتکه لویی (۱۳۹۹)	توصیفی- تحلیلی	توجه به جهت، شیب سلول‌های فتوولتائیک، سایه انـدازی و فرم ساختمان و.. می تواند تـأثیر بسـزایی بـر عملکـرد ایـن سلول‌ها داشته باشد. ترکیب سیستم‌های فتوولتائیک با ساختمان نیازمند همکاری بین رشته ای مختصصان مختلـف معمـاری و دیگـر رشـته های مهندسی از ابتدای فرآیند طراحی است.
بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های صفر انرژی	محمدی و سیاه مشته‌ای (۱۳۹۹)	تحلیل مضمون	کاهش مصرف انرژی در ساختمان انـرژی پـلاس بـا بهـره گیری از فناوری هوشمند ایجاد کنیم و همین مقدار مصـرف اندک را نیز به کمک انرژی های تجدید پذیر تامین کنیم.
بررسی تطبیقی ساختمان های صفر انرژی	شهابی و نوروزی (۱۳۹۹)	توصیفی- تحلیلی	نتایج تحقیق نشان می دهد که در بین ساختمان های صـفر انرژی مورد بررسی، فتوولتائیک بیشترین استفاده و کاربرد را در ساخت خانه های صـفر انـرژی داشـته اسـت. از طرفـی شرایط آب و هوایی و هزینه‌های ساخت و تعبیه روش‌هـای دیگر مثل روش اسـتفاده از انـرژی بـادی وآبـی، منجـر بـه اسـتفاده و کـاربرد کمتـر ایـن نـوع از انرژی‌هـای پـاک و تجدیدپذیر در ساخت و نوسـازی و بازسـازی سـاختمان‌های صفر انرژی شده است.
واکاوی ساختمان های صفر انرژی با رویکرد معماری پایدار	هوشیاریزدیان و سمیعی‌منش (۱۳۹۹)	آمیخته	توجه به مسائل زیست محیطـی و اسـتفاده بهینـه از منـابع انرژی، رابطه‌ی تنگاتنگی با یکدیگر دارند. در حال حاضر بـا توجه به اینکه بخش ساختمان های اداری و مسکونی درصد قابل توجهی از مصرف انرژی های فسیلی کشور را به خـود اختصاص داده است، در این پژوهش لزوم استفاده از انـرژی 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 مبتنـی بـر اینترنت انرژی
ساختمان‌های انرژی صفر شبکه از نوع توان خورشیدی برای نواحی اروپای جنوبی	داگراسا و همکاران (۲۰۱۲)	اسـتفاده از **شبیه‌سـازی** حرارتـی دینـامیکی دو هندسـه‌ی مجـزای سـاختمانی، انـدازه‌ی سیسـتم‌های جمع‌کننده‌ی خورشـیدی تـا مشـخص شدن کلیه‌ی نیازهای سالیانه‌ی انرژی	امکان عملی‌سازی سیستم‌های ساختمان انرژی صفر شـبکه (NZEB)[1] خورشیدی برای یـک خانـه‌ی تـک خـانوار در نواحی معتدل اروپای جنوبی

[1] . NZEB (Net or Nearly Zero Energy Buildings)

عنوان	مولف(سال)	روش تحقیق	نتیجه گیری
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 سوخت‌های فسیلی
ارزیابی پیشرفت بسوی اتخاذ تعاریف ساختمان ها با انرژی تقریبا صفر در کشورهای عضو اتحادیه اروپا	آگوستینو و همکاران (۲۰۱۵)	تحلیل – توصیفی	ساختمان ها با انرژی صفر دارای یک پتانسیل بسیار خوبی برای کاهش مصرف انرژی وبطورهمزمان افزایش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، کاهش تخلیه منابع انرژی و زوال محیط زیست است در همه جا تصدیق می‌شود.
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 فناوری‌های 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 داده‌ها 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 نهایتا برای بررسی رابطه بین متغیر ها و تبیین مدل از رگرسیون چندگانه استفاده شد.

الف) مدل تاپسیس[1]

روش تاپسیس از روشهای تصمیم گیری چند شاخصه[2]، است که جزء مدل‌های جبرانی (مدل‌هایی که در مبادله بین شاخص‌ها مهم است) از زیر گروه سازشی[3] (در مدلهای 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):

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\frac{P_1}{P_i}\times\frac{1}{R_i})}{n}$$

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

[1] . TOPSIS

[2]- Mutiple attribute decision making.

[3]-Compromising – subgroup.

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

$$\sum \mathrm{j} = -k \sum_{i=1}^{m} \left[n_{ij} \ln\left(n_{ij}\right) \right] \Rightarrow k = \frac{1}{\ln(m)}$$

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:

$$d_{\mathrm{j}} = 1 - \mathrm{E_j}$$

محاسبه وزن هر شاخص از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

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

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:

$$\mathrm{n_{ij}} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n} Xij^2}}$$

۴- ماتریس بی مقیاس شده موزون: این ماتریس از طریق ضرب ماتریس بی مقیاس شده در ماتریس وزن هر شاخص، به دست می‌آید.

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 می‌شود.

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:

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

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

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

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

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[1]، ۱۹۹۴). روش دلفی برای نخستین بار تو سط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ ارائه شد. این تکنیک روشی پیمایشی مبتنی بر نظرهای متخصصان است. این تکنیک روشی نظام مند به منظور جمع‌آوری و هماهنگی قضاوت های آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سؤال یا موضوعی خاصی است. اما در بسیاری از موقعیت های واقعی، قضاوت متخصصان نمی تواند به صورت اعداد کمی قطعی بیان و تفسیر شود؛ به عبارت دیگر داده ها و اعداد قطعی به منظور مدل کردن سیستمهای دنیای واقعی به علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم گیرندگان 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 انعطاف پذیری 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).

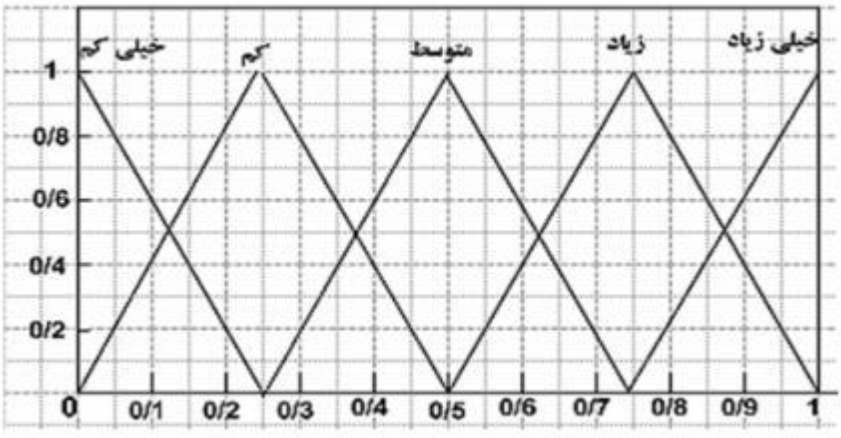
در پژوهش حاضر از تکنیک دلفی فازی چندمرحله‌ای استفاده شد. به این صورتکه در مرحله اول دلفی فازی، پرسشنامه بر مبنای مولفه‌های مستخرج از کدگذاری مصاحبه ها آماده شد و سپس از پاسخ دهندگان خواسته شد که بر اساس یک طیف ۵ تایی اهمیت شاخص‌ها را مشخص نمایند. بعد از جمع‌آوری داده ها و تجزیه و تحلیل، پرسشنامه دوم 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

[1]. Gordon

حذف شاخص های کم اهمیت صورت می گیرد.

به‌طورکلی روش های 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 شده اند، و نیز عواملی که از مرحله قبل تایید شد، توزیع گشت. پرسشنامه ها 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

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

اعداد فازی قطعی شده در جدول ۲ با استفاده از رابطه مینکووسکی 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، به‌وسیله ضرایب نشان داده می‌شود. مدل رگرسیون چند متغیره به شرح زیر است:

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

که در آن :

Y_i = اُمین مشاهده متغیر وابسته i

α = عرض از مبدأ (مقدار ثابت)

$X_{n,i}$ = اُمین مشاهده برای متغیرمستقل i X_n $(n=1,2,\ldots,n)$

β = ضریب متغیر مستقل

ε = جزء اخلال

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 برازش شده در کل معنادار باشد. برای آزمون معناداری کلی مدل از آماره **F** در سطح ۹۵٪ استفاده می شود.

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.

٤. 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

[۱] Autocorrelation

[۱] Multicollinearity

الف) صحت سنجی با تکنیک دلفی فازی

در این مرحله برای صحت سنجی اصول توسعه سنتی محلات بر اساس دیدگاه متخصیصن و خبرگان از تکنیک دلفی فازی استفاده شد. باتوجه به مقایسه نتایج دیدگاه های 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 می شود. همان گونه که ملاحظه می شود 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 متخصیصن و خبرگان به اجماع رسیده اند و نظرسنجی در این مرحله متوقف می شود. این یعنی که خبرگان به اصول توسعه سنتی محلات بر اساس دیدگاه متخصیصن و خبرگان شناسایی شده در پژوهش نگاه تقریبا یکسانی دارند (جدول۳).

جدول۳–نتایج دلفی

مضامین	دلفی۱	دلفی۲	دلفی۳	اختلاف
هوشمندسازی مصرف انرژی روشنایی	0.954332	0.96314	0.920873	0.042267
هوشمندسازی مصرف گاز	0.813864	0.894203	0.846142	0.048061
هوشمندسازی انرژی سرمایشی	0.777098	0.883126	0.865462	0.017664
هوشمندسازی انرژی گرمایشی	0.972932	0.948624	0.931813	0.016811
هوشمندسازی انرژی تهوه مطبوع	0.984352	0.963535	0.919979	0.043556
هوشمندسازی کیفیت هوای داخل ساختمان	0.680483	0.756711	0.73278	0.023931
هوشمندسازی آسایش حرارتی	0.612963	0.681815	0.663941	0.017874

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[1] ، 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 ایده‌ال بوده و بیشترین فاصله را از ایده‌ال منفی داشته باشد. بنابراین با توجه به فرآیند بالا نتایج رتبه بندی در جدول ۴ آورده شده است.

1 . AHP

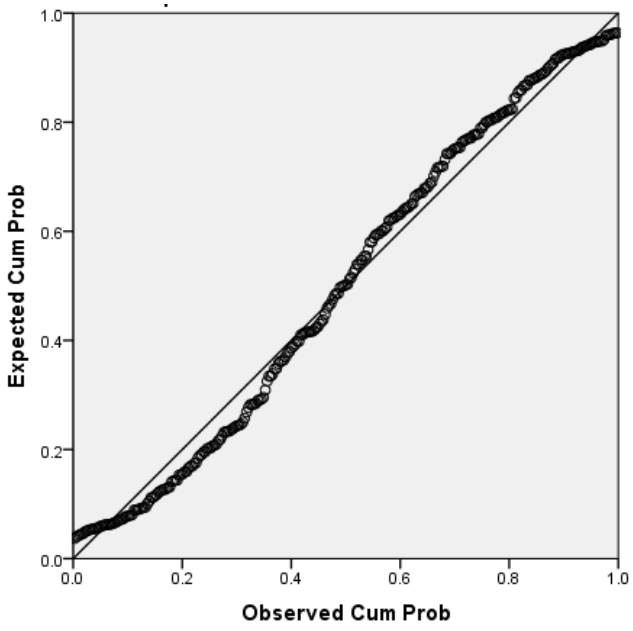
جدول۴- نتایج حاصل ازتحلیل شاخص‌ها با استفاده از تاپسیس

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

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 می باشد.

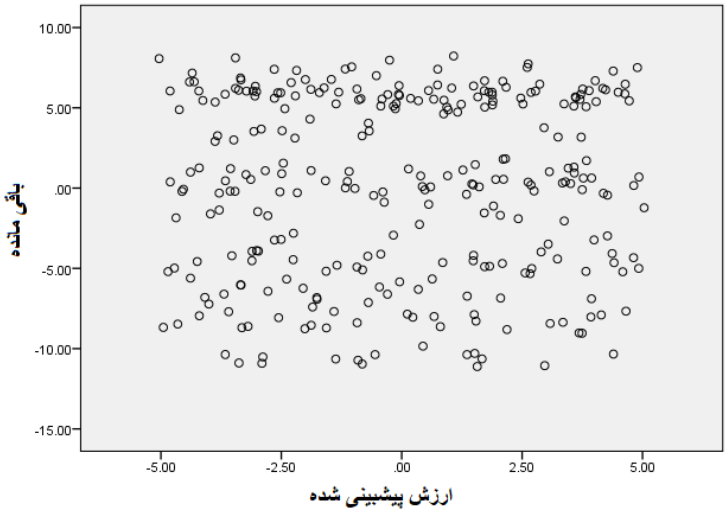
ج) تحلیل مدل با رگرسیون چند گانه

خطی بودن رابطه متغیرها با یکدیگر، پیش‌فرض آزمون‌های آماری همبستگی پیرسون و رگرسیون است. بنابراین، رعایت این پیش فرض ضروری می باشد. درخطی 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 می دهد 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 براین 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 ماندها توزیع نسبتاً مستطیلی شکل دارند، بنابراین از مفروضه‌ی یکسانی پراکندگی پس ماندها تخطی نشده است.



شکل ۳– نمودار پراکنش برای تغییرات مصرف انرژی کل

بر اساس داده های جدول ۵ ضریب همبستگی چندگانه ۰/۸۱۵ می باشد و ضریب تعیین اصلاح شده به دست آمده برابر با ۰/۸۱۵ می باشد و این مقدار نشان می‌دهد که ۸۱/۴ درصد تغییرات مصرف انرژی کل از طریق شاخص های تکنولوژی قابل پیش بینی است.

جدول۵– خلاصه مدل رگرسیون بین شاخص های تکنولوژی بر مصرف انرژی کل

همبستگی چند گانه(R)	ضریب تعیین(R^2)	ضریب تعیین اصلاح شده	خطای برآورد
۰/۹۰۳	۰/۸۱۵	۰/۸۱۴	۰/۲۶۰۷۵

بر اساس داده های جدول ۶ مقدار F محاسبه شده ۵۸۸/۳۸۳ بزرگتر از مقدار بحرانی F می باشد؛ در نتیجه با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت شاخص های تکنولوژی و مصرف انرژی کل رابطه معناداری وجود دارد.

جدول۶–آزمون **F** برای معناداری رگرسیون و رابطه خطی بین شاخص های تکنولوژی بر مصرف انرژی کل

	مجموع مربعات	df	میانگین مجذورات	F	معناداری
رگرسیون	۱۱۳/۸۹۸	۳	۳۷/۹۶۶	۵۵۸/۳۸۳	۰/۰۰۰
باقی مانده	۲۵/۸۳۷	۳۸۰	۰/۰۶۸		
مجموع	۱۳۹/۷۳۵	۳۸۳			

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 افزاید.

جدول۷-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 تهوه 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 ۰/۸۱۵ می‌باشد و ضریب تعیین اصلاح شده به دست آمده برابر با ۰/۸۱۵ می‌باشد و این مقدار نشان می‌دهد که ۸۱/۴ درصد تغییرات مصرف انرژی کل از طریق شاخص‌های تکنولوژی قابل پیش بینی است. بر اساس داده‌های مقدار F محاسبه شده ۵۸۸/۳۸۳ بزرگتر از مقدار بحرانی F می باشد؛ 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 سوخت های 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 چشم انداز 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 طرح های 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 بهینه سازی مصرف انرژی می باشد. 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 کرین 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 تجدیدناپذیر که هم به لحاظ هزینه و محدود بودن منابع و هم به لحاظ ایجاد آلودگی زیست محیط، 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.
- شهابی، نسیبه 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