Journal of Systems Smartening and Data Processing
Vol. 1 - No. 1 - Spring 2023

Evaluation and Compilation of Energy Consumption Attributes in Office Buildings

Sajad Sadi[1], Mehrdad Mahmoudian [2]

[1] Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
s.sadi@modares.ac.ir
[2] Department of Engineering and Technology, Apadana Institute of Higher Education, Shiraz, Iran
mehrdad.mahmoudian@gmail.com

Received: 31 August 2023 **Revised:** 28 November 2023 **Accepted:** 29 November 2023

Abstract:

Most of the energy consumed in the building is consumed during the operation of the building. If you save on this part of the building energy, you can have a great impact on energy consumption. One way to control energy consumption in buildings is to use building energy labels. In order to provide an energy label, it must be possible to identify the factors affecting the energy consumption of the building. Introducing and studying energy-related indicators is one of the appropriate methods for managing energy consumption. With the help of these indicators, energy consumption can be managed and optimized. In this paper, by examining the main sectors of energy consumption in the buildings using the hierarchical analysis method (in order to label and optimize the energy consumption of office buildings), effective Attributes have been identified and introduced. The systematic search focuses on a variety of sources, including documents, databases, conferences, and various journals. First, search terms are selected. After the findings of library studies, field studies are conducted. This data can be described as experimental or new data. In the present study, two questionnaires were used to conduct field studies and obtain the required information. Improving energy consumption and reducing environmental pollution are keys to sustainable energy. As the major consumer of energy, the building sector accounts for more than 40% of total energy consumption. One of the most important consumers of energy is office buildings, which include applications such as air conditioning, heating, cooling, hot water and various equipment. In this research, office buildings have been divided into different sections with the help of previous studies, and then in each section, the relevant Attributes have been extracted from the literature review. A total of 62 indices were extracted in 12 different sections. After statistical analysis by Cronbach's alpha, CVR, and CVI methods, 47 indices were confirmed. Thus, the 47 approved Attributes have a great impact on energy consumption.

Keywords: Attributes, Cronbach's alpha, Energy sustainability, Energy optimization, Energy consumption classification.

Corresponding Author: Sajad Sadi
Corresponding Author Address: Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ارزیابی و تدوین شاخص‌های تجویزی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری

سجاد سعدی[۱]، دانشجوی دکتری، مهرداد محمودیان[۲]، دکتری

۱- دانشکده مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
s.sadi@modares.ac.ir
۲- موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران
mehrdad.mahmoudian@gmail.com

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ **تاریخ بازنگری مقاله:** ۱۴۰۲/۰۹/۰۷ **تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

چکیده: بهبود مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست از محورهای اساسی پایداری انرژی است. حوزه ساختمان به عنوان یکی از بخش‌های اصلی مصرف انرژی، بیش از ۴۰ درصد از مصرف انرژی کل را دارد. در این مقاله، با بررسی بخش‌های مصرف کننده انرژی درساختمان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور برچسب دهی و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان‌های اداری، شاخص‌های تاثیرگذار شناسایی و معرفی شده‌اند. در این پژوهش ساختمان‌های اداری به کمک مطالعات پیشین به بخش‌های مختلف تقسیم‌بندی شده است و سپس در هر بخش شاخص‌های مربوطه از مرور ادبیات موضوع استخراج شده است. تعداد ۶۲ شاخص در ۱۲ بخش مختلف استخراج شد که پس از بررسی آماری به روش‌های آلفای کرونباخ، **CVR** و **CVI** تعداد ۴۷ شاخص مورد تایید قرار گرفتند. به این ترتیب که ۴۷ شاخص تایید شده اثرگذاری زیادی بر مصرف انرژی ساختمان دارند و شاخص‌های رد شده اثرگذاری کمتری نسبت به آن‌ها دارند.

کلمات کلیدی: آلفای کرونباخ، بهینه سازی مصرف انرژی، پایداری انرژی، دسته بندی مصرف انرژی، شاخص.

نام نویسنده‌ی مسئول: سجاد سعدی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشکده مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۱- مقدمه

از آنجایی که در دهه گذشته تلاش شده است تا سهم مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای از طریق صرفه جویی و اقدامات سازنده کاهش یابد؛ دانشمندان در سرتاسر جهان در حال بروزرسانی مدل‌ها و شیوه‌های کنترل به منظور توسعه استراتژی‌های کاهش مصرف انرژی هستند تا بتوانند راهبردهای توسعه ای را برای بهره‌وری انرژی به وجود آورند. حوزه ساختمان به عنوان یکی از بخش‌های اصلی مصرف انرژی، بیش از ۴۰ درصد از مصرف انرژی کل را به خود اختصاص داده و از این رو در تحقیقات بسیاری رویکرد به سمت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان بوده است. نقش سیستم‌های مدیریت انرژی ساختمان در مخصوصا در حوزه مدیریت مصرف انرژی روزانه یک ساختمان، شناخته شده و قابل توجه است. برای مدیریت انرژی اثرگذار، نیاز به استفاده از ابزار و روش‌هایی است که طی یک فرآیند تصمیم گیری استراتژیک، به انتخاب اقدامات کاهنده مصرف انرژی کمک کند و از نظر زیست محیطی مناسب باشد [۱]. در حوزه مدیریت مصرف انرژی، پژوهش‌های مختلفی با دیدگاه‌های مختلف انجام شده است. در پژوهش حاضر، با دیدگاه شناخت عوامل تاثیرگذار در مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری مروری بر ادبیات پرداخته شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

۱-۲-مروری بر مطالعات

یک مدل پشتیبانی هوشمند برای شناسایی و ارزیابی بیشتر اقدامات کاهنده مصرف انرژی در یک ساختمان معمولی براساس ترکیب سیستماتیک داده‌های رایج سیستم مدیریت مصرف انرژی ساختمان در [۱] ارائه شده است و مصرف انرژی در چهار حوزه روشنایی، تهویه مطبوع، تجهیزات الکترومکانیکی و بخش عمومی مورد مطالعه قرار گرفته است که ارائه جزئیات این مدل به اندازه کافی نبوده و میتوانست دقت بالاتری داشته باشد. در [۲]، کلیه روش‌ها مدل سازی مهم که برای مدل سازی سیستم‌های انرژی ساختمان‌ها طراحی شده؛ جمع‌آوری شده‌است. مدلسازی‌های انجام شده برای مصرف انرژی ساختمان بر اساس شاخص‌های متنوع و مختلفی قابل انجام است. بررسی مدل‌های متنوع ، شاخص‌های موثر در نگاه افراد و سیستم‌های مختلف باعث شده است که این تحقیق به عنوان منبع مناسب برای تعیین شاخص‌ها باشند. همچنین در این تحقیق با توجه به نگاه سیستمی، دسته بندی‌های مصرف انرژی نیز به خوبی ارائه و توضیح داده شده‌اند که به منظور تهیه دسته‌بندی انرژی مصرفی در ساختمان قابل استناد است. در [۳]، مروری بر پژوهش‌های انجام شده در حوزه انرژی که در دهه اخیر انجام شده است؛ صورت گرفته و ابعاد مختلف مطالعه انرژی و حوزه‌های مصرف معرفی شده‌اند و در هر بخش پارامترهای مختلف بررسی شده‌اند. در این تحقیق از دو دیدگاه مختلف عملکردی و تجویزی ممیزی انرژی و ارزش‌گذاری عملکرد در ساختمان مورد مطالعه قرار گرفته است. نویسندگان در [۴]، به منظور رده بندی انرژی در ساختمان، مصرف انرژی در تمامی طول عمر یک ساختمان را مورد مطالعه قرار داده و در هر یک از مراحل شامل، طراحی، بهره‌برداری و تخریب شاخص‌های مرتبط با مصرف انرژی و بهبود عملکرد را شناسایی و تعیین کرده‌اند. این مطالعه تقریبا تمام ابعاد یک ساختمان را در نظر گرفته است و روش خود را به خوبی ارائه کرده است. پژوهش حاضر مشابه همین روش اما اختصاصا برای ساختمان‌های اداری ارائه شده است و این نوآوری می‌تواند ادامه همین کار و در راستای ارائه برچسب اختصاصی برای انواع ساختمان‌ها باشد. نویسندگان در [۵]، با هدف ارائه روشی برای کمک به طراحان برای گرفتن تصمیم‌های حیاتی در مرحله طراحی ساختمان، به منظور دستیابی به عملکرد مورد نظر، روش و ابزاری را در تحقیق خود ارائه داده‌آند. به این منظور، ابتدا ساختمانی را به عنوان مرجع معرفی کرده‌اند و با معرفی شاخص‌های آن به بررسی ساختمان جایگزین پرداخته‌اند. برای اجرای این کار ۶ حوزه اصلی در حوزه پایداری ساختمان معرفی شده است و به زیرشاخه‌های نهایی تقسیم شده‌اند که هر یک وزن دهی خاص خود را دارند. در [۶]، انرژی در دو حوزه اصلی ساخت و ساز و عملکردی مورد مطالعه قرار گرفته است که در بخش عملکردی به طور کلی به تهویه مطبوع و روشنایی توجه شده است و با همین دیدگاه به مطالعه ساختمان‌های مختلف، در شرایط آب‌وهوایی مختلف پرداخته است. در [۷] به منظور ساخت یک ابزار تحلیل پارامتری، به بررسی انرژی تأمین آسایش، روشنایی و تجهیزات جانبی پرداخته شده است و با معرفی پارامترهای موثر اولین گام در راستای توسعه این ابزار را ارائه کرده است. در [۸]، با هدف بهینه سازی مصرف انرژی در تمام طول عمر ساختمان، انرژی دوره بهره‌برداری به چهار دسته تأمین آسایش حرارتی، تأمین آب گرم،

تجهیزات جانبی و تأمین روشنایی تفکیک شده است. در [۹] که منظور شناسایی موثر ترین پارامترها در مصرف انرژی انجام شده است و همچنین در [۱۰] که مروری بر تحقیقات انجام شده در حوزه انرژی بخش عملکرد و انرژی نهان است؛ نیز دسته‌بندی مشابه پژوهش کریم‌پور استفاده شده است [۸-۱۰].

در مقاله هسیه و همکاران رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی برای انتخاب پارامترهای طراحی موثر در طراحی و مدیریت ساختمان‌های اداری عمومی مورد مطالعه قرار گرفته است. روش ارائه شده در مقاله ایشان، روش نوین و مناسبی برای تصمیم گیری در مورد مسائل غیر قابل کمی سازی است که محقق به خوبی آن را به کار برده است و تعداد ۲۰ شاخص را مورد مطالعه و بررسی قرار داده است [۱۱]. تحقیق سایدور و همکاران به طور مشخص و دقیق به بررسی مصرف انرژی در یک بیمارستان پرداخته است و به خوبی به بررسی و معرفی تمامی نقاط مصرف انرژی پرداخته است و در نهایت با بررسی تخصصی امکان کاهش مصرف انرژی معیارهای مشخص و کاملی را برای کاهش مصرف انرژی در خصوص موتورهای الکتریکی ارائه داده است که میزان اثرگذاری هر کدام نیز در یک مورد خاص بررسی شده است [۱۲]. در مقاله رامش و همکاران، بررسی مصرف انرژی در تمام چرخه حیات ۷۳ مورد ساختمان در ۱۳ کشور ارائه شده است. این مطالعه شامل ساختمان‌های مسکونی و اداری است. نتایج نشان می دهد که انرژی مصرفی در حین بهره برداری چیزی در حدود۹۰-۸۰ درصد از انرژی مصرف شده در چرخه حیات ساختمان را در بر می‌گیرد که در حوزه‌ی تهویه مطبوع، تامین آب گرم، تجهیزات برقی و روشنایی مصرف می‌شوند. عمده مطالعات بررسی شده در این تحقیق مربوط به کشورهای توسعه یافته است؛ از این رو، برای کشورهای در حال توسعه نیاز به تحقیق میدانی وجود دارد [۱۳]. در مقاله کابزا و همکاران، به بررسی و دسته بندی مقالات مربوط به ارزیابی چرخه عمر ، تجزیه و تحلیل انرژی چرخه عمر و تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر به منظور ارزیابی ساختمان‌ها و صنایع مرتبط می‌پردازد. در این پژوهش مصرف انرژی در سه دسته کلی فاز ساخت و ساز، فاز بهره‌برداری و فاز تخریب مورد مطالعه قرار گرفته است که در فاز بهره‌برداری تهویه مطبوع، تامین آب گرم مصرفی، تجیزات و روشنایی به عنوان حوزه‌های مصرف انرژی شناسایی شده‌اند. [۱۴]. در مقاله ژو و همکاران، یک روش سیستماتیک برای به حداقل رساندن بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک و آزمایش تجربی ارائه شده است. به این منظور مصرف انرژی ساختمان در ۷ حوزه و به کمک ۱۷ شاخص مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است و این شاخص‌ها بنا به مقدار تاثیرگذاری هر یک رتبه بندی شده‌اند و مهم ترین حوزه اتلاف انرژی از پنجره اعلام شده است [۱۵]. در مقاله یانگ و همکاران، یک روش شناسایی و وزن دهی شاخص‌ها برای ارزیابی کارایی انرژی ساختمان‌های مسکونی در چین ارائه شده‌است. فهرستی از شاخص‌ها ارزیابی کارایی انرژی در ساختمان‌ها مسکونی در مناطق تابستانی گرم و زمستانی سرد پیشنهاد شده است که مرجع مهمی برای تعیین سیاست‌ها ارزیابی انرژی در ساختمان‌ها است. در این پژوهش با بررسی تمامی استانداردهای رایج در سطح چین و بین‌المللی برای ساختمان، تعداد ۸۳ شاخص جمع‌آوری شده است و این لیست پس از اصلاح و مطالعه میدانی به کمک پرسشنامه به ۱۷ شاخص در ۵ دسته رسیده است که این شاخص‌ها مختص ساختمان‌های مسکونی در مناطق خاص چین هستند [۱۶]. علی و نصیرت در تحقیق دیگری، به منظور کمک به درک بهتر مفهوم ابزار ارزیابی ساختمان سبز و نقش آن برای دستیابی به توسعه پایدار، اقدام به ایجاد یک سیستم رده‌بندی ساختمان برای واحدهای مسکونی در اردن با توجه به شرایط محلی کرده‌اند. در این تحقیق، ابزار ارزیابی سبز بین المللی مانند لید ، کسبی ، بریم ، جی. بی. تول و ... مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در نتیجه این بررسی ۴۲ شاخص مختلف در ۷ حوزه جمع‌آوری شده‌اند و سپس هر شاخص با توجه به شرایط محلی اردن تعریف شده است. سپس، با استفاده از روش تحلیل سلسه‌مراتبی شاخص‌ها و در نهایت هر حوزه، وزن‌دهی شده است [۱۷].

در پژوهش دیگر هیو و همکاران روش جدیدی برای اندازه‌گیری عملکرد انرژی ساختمان در مراحل اولیه طراحی ارائه شده است. در این پژوهش به کمک ۲۷ شاخص مختلف و با روش رگرسیون خطی، حساسیت بارگرمایش، بار سرمایش و کل بار ساختمان به پارامترهای طراحی ساختمان در چهار منطقه آب و هوایی مختلف استخراج شده‌اند [۱۸]. لامبارد و همکاران، در پژوهشی مسائل مهم برای توسعه راهکار تجویزی و عملکردی برای سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌های غیر مسکونی بررسی کرده‌اند. به منظور این بررسی سیستم‌های تهویه مطبوع در دو بخش تولید و توزیع مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که بخش تولید در ۸ حوزه و بخش توزیع در ۶ دسته مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹]. جی. بی. تول روشی برای ارزیابی انرژی

و پتانسیل تولید انرژی در ساختمان است. این سیستم به بررسی ابعاد مختلفی از ساختمان (حتی بعضی از جنبه‌های فرهنگی) پرداخته است و در طراحی ساختمان می‌توان از آن استفاده کرد. شاخص‌های ذکر شده در این سیستم مربوط به تمامی بخش‌های مورد نیاز در هنگام طراحی می‌شود که شامل بخش‌های معماری، فضاها، تاسیسات، مصالح، مدیریت و نگهداری می‌شود. در بخش تاسیسات نیز شاخص‌های مختلفی برای بخش تاسیسات مکانیکی و برقی ارائه شده است که منبع مناسبی برای استخراج لیست اولیه شاخص‌ها محصوب می‌شود [۲۰]. ینگ و همکاران در مقاله ای به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی و با تاکید بر نظر خبرگان، اقدام به وزن دهی شاخص‌های بهره‌وری ساختمان کرده‌اند. در این پژوهش ۱۷ شاخص مختلف در ۵ دسته به این روش وزن‌دهی شده‌اند و سه شاخص را به عنوان اثرگذارترین شاخص‌ها معرفی کرده‌اند که در حوزه جداره ساختمان، تاسیسات مکانیکی و طراحی محیطی قرار دارند [۲۱].

ادی و همکاران در پژوهشی به بررسی، ارائه و وزن دهی شاخص‌های بهره‌وری انرژی در کشور غنا پرداخته است. به این منظور از روش دلفی و همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین شاخص‌های بهره‌وری انرژی استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا ۲۱ شاخص در ۵ دسته مختلف معرفی شده‌اند و سپس به کمک خبرگان دولتی، دانشگاهی و صنعتی هر یک از این شاخص‌ها مورد مطالعه و وزن دهی قرار گرفته است [۲۲]. لی و همکاران با هدف توسعه طبقه بندی سیستماتیک سیستم‌ها و اجزای سیستم‌های تهویه مطبوع، دسته بندی خود را ارائه کرده‌اند. سپس انواع سیستم‌ها تهویه مطبوع شناسایی شده و اجزای هر یک به صورت معنی دار چارت‌بندی شده‌اند. نمودارهای طبقه بندی بر اساس اطلاعات جزئی تولید و توصیف شده‌اند. بیش از پنجاه نوع سیستم شناسایی و بر اساس ویژگی‌های آنها گروه بندی شده است. در این گزارش به دسته بندی تمامی بخش‌ها مکانیکی یک ساختمان پرداخته شده است و در نهایت شاخص‌ها کلیدی هر بخش معرفی شده‌است [۲۳]. علاوه بر پژوهش‌های خارجی، پژوهش‌های مختلف داخلی نیز در این خصوص انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. حبیب و همکاران پارامترهای موثر بر مصرف انرژی ساختمان را با روش تحلیل سلسله مراتبی مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق ۷ شاخص مختلف معرفی شده‌اند و با کمک روش تحلیل سلسله مراتبی ، شاخص‌ها وزن‌دهی شده‌اند و اثر گذاری هر کدام بر مبنای درصد امتیاز دهی شده است. در این تحقیق، شاخص‌ها تنها در حوزه معماری ساختمان هستند و در حوزه تاسیسات مکانیکی شاخصی وجود ندارد [۲۴]. نوروزیان در تحقیق خود به ارائه یک الگوی بومی سازی شده برای ارزیابی کارایی انرژی در ساختمان‌های شهر تهران پرداخته است. به منظور اجرای این هدف شاخص‌ها و معیارهای مختلف کمی در حوزه معماری پایدار جمع‌آوری و دسته بندی شده‌اند. در این تحقیق به بررسی بخشی از تاسیسات مکانیکی نیز پرداخته شده است و جمع‌بندی از پژوهش‌های انجام شده در حوزه معماری پایدار صورت گرفته است [۲۵]. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مقالات انجام شده در این حوزه آورده شده است. با بررسی پژوهش‌های ذکر شده و مطالعات انجام شده می توان گفت که جمع بندی جامع و هدفمندی با رویکرد تجویزی برای شاخص‌های مرتبط با انرژی در ساختمان‌های اداری انجام نشده است.

۱-۳- نوآوری و تفاوت این پژوهش با تحقیقات گذشته

این پژوهش از دو بخش اساسی تشکیل شده است. شناسایی شاخص‌ها به عنوان بخش اول، از سه زیربخش متفاوت تشکیل شده است. در ابتدا حوزه‌های مصرف انرژی از دیدگاه مهندسی مکانیک شناسایی شده و دسته بندی شده‌اند. سپس در هر حوزه مصرف، شیوه‌های مصرف شناسایی شده و در نهایت شاخص‌ها در خصوص هر یک از این بخش‌ها استخراج و معرفی شده است. تعداد بسیاری فاکتور موثر بر مصرف انرژی به کمک تحقیق کتابخانه‌ای و دلفی استخراج شدند که در این پژوهش تمامی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و ۶۲ شاخص برای مصرف انرژی تاسیسات مکانیکی در ساختمان‌های اداری استخراج شده است که پیش از این چنین شاخص‌هایی معرفی و استفاده نشده بودند. در بخش دوم شاخص‌های استخراج شده به کمک CVI، CVR و آلفای کرونباخ مورد تحلیل قرار گرفتند و صحت هر یک مورد تحت ازمون قرار گرفت. در جدول ۲ مراحل انجام پروژه و نوآوری هر بخش به طور خلاصه بیان شده است.

جدول (۱): مروری بر پژوهش‌های انجام شده

پژوهشگر	نوع پژوهش	تعداد شاخص مورد مطالعه
هریش	مرور ادبیات	-
ما	مرور ادبیات	-
ژانگ	ممیزی انرژی	-
بالکومب	تصمیم‌گیری چندمعیاره	۶
لولی	مطالعه پارامتری	۷
آزار	مدلسازی	۹
ابن محمد	مرور ادبیات	-
هسیه	تصمیم‌گیری چندمعیاره	۲۰
سایدور	مطالعه موردی	۱۳
رامش	مرور ادبیات	-
کابزا	مرور ادبیات	-
ژو	مطالعه پارامتری	۱۷
یانگ	تحلیل سلسه مراتبی	۸۳
علی	ممیزی انرژی	۴۲
هیو	رگرسیون خطی	۲۷
حبیب	تحلیل سلسه مراتبی	۷
نوروزیان	مرور ادبیات	-

جدول (۲): نوآوری تحقیق

	بخش	روش	نوآوری
شناسایی شاخص‌ها	شناسایی حوزه‌های مصرف انرژی	تحقیق کتابخانه ای	-
	شناسایی شیوه‌های مصرف	تحقیق کتابخانه ای	-
	تعیین شاخص‌ها برای هر بخش شناسایی شده	تحقیق کتابخانه ای و روش دلفی	معرفی ۶۲ شاخص در حوزه مصرف انرژی
تحلیل شاخص‌ها	بررسی صحت و قابل اتکا بودن هر شاخص	CVR ،CVI و آلفای کرونباخ	تحلیل شاخص‌های استخراج شده و اعتبار سنجی آن‌ها و تایید نهایی ۴۷ شاخص

همچنین این گونه تحقیق‌ها با توجه به اقلیم و شرایط فرهنگی، برای هر کشور و منطقه متغیر هستند و از این رو امکان استفاده از نتایج و روش‌های ارائه شده در مقالات برای همه پژوهشگران وجود ندارد. در این پژوهش فهرستی از شاخص‌های ارزیابی کارایی انرژی در ساختمان‌ها در بخش تاسیسات مکانیکی پیشنهاد شده است که می‌تواند مرجع مهمی برای تعیین سیاست‌های ارزیابی انرژی در ساختمان‌ها باشد. روش استفاده شده در این تحقیق، بررسی گسترده ادبیات موضوع در مقالات گذشته و بررسی موارد استخراج شده توسط کارشناسان با استفاده از پرسشنامه است. همچنین از روش فرایند سلسله مراتب تحلیلی برای تحلیل شاخص‌های شناسایی شده استفاده شده است. در نهایت شاخص‌های معرفی شده در این تحقیق همگی با رویکرد تجویزی بیان شده‌اند و تمام آن‌ها با روش آماری مورد مطالعه و تایید قرار گرفته‌اند. دسته‌بندی معرفی شده در این تحقیق نیز به روش سیستماتیک و با جزئیات بالا انجام شده است که تاکنون در تحقیقات از این سطح جزئیات استفاده نشده است.

۲- روش انجام تحقیق

روش دلفی در این پژوهش استفاده می‌شود. به‌کارگیری روش دلفی عمدتاً با هدف کشف ایده‌های نوآورانه و قابل اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی به منظور تصمیم‌گیری است. روش دلفی فرآیندی ساختار یافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسش‌نامه‌هایی در بین این افراد و مطالعه بازخورد کنترل شده پاسخ‌ها و نظرات دریافتی صورت می‌گیرد [۲۶]. در شرایط نابسندگی دانش موجود در نزد تصمیم گیرندگان، آنان ناگزیر به تصمیم‌سازی با اتکاء به ادراکات مستقیم خود و یا آرای خبرگان هستند. اساس و پایه روش یا تکنیک دلفی بر این است که نظر متخصصان هر قلمرو علمی در مورد پیش‌بینی آینده صائب‌ترین نظر است. بنابراین برخلاف روش‌های پژوهش پیمایشی، اعتبار روش دلفی، نه به شمار خبرگان، بلکه به اعتبار علمی آن‌ها بستگی دارد. کمینه تعداد خبرگان بستگی به چگونگی طراحی روش تحقیق دارد. در این روش هیئت‌هایی از متخصصان تشکیل می‌شود که در آن ارتباط میان اعضاء، توسط رئیس یا ناظر اعضاء انجام می‌شود. ارتباطات داخلی خبرگان به‌صورت ناشناس بوده و نظرات، پیش‌بینی‌ها و تمایلات به ارائه دهندگان آن‌ها منتسب نمی‌شود. خبرگان در تحقیق دلفی از ۵ تا ۲۰ نفر (در مورد این تحقیق ۵ نفر) را شامل می‌شوند [۲۷, ۲۸].

۲-۱- جمع آوری اطلاعات

در این مرحله، جستجوی نظام‌مند در منابع مختلف از جمله اسناد و مدارک، پایگاه‌های داده، کنفرانس‌ها و مجله‌های مختلف متمرکز می‌شود. در ابتدا واژه‌هایی برای جستجو انتخاب می‌شود. پس از یافته‌های مطالعات کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی صورت می‌گیرد. این داده‌ها را می‌توان به‌عنوان داده‌های تجربی یا نو تشریح کرد. در تحقیق حاضر به منظور انجام مطالعات میدانی و اخذ اطلاعات مورد نیاز، از دو پرسش‌نامه استفاده شده است. در ابتدا پرسشنامه اولیه بین خبرگان توزیع شد و به کمک آن‌ها شاخص‌ها، دسته بندی و ساختار پرسشنامه مورد تصحیح قرار گرفت و پس از آن پرسشنامه تصحیح شده بین جامعه آماری مورد نظر توزیع شد. در جدول ۳ پرسش‌های نهایی ذکر شده‌اند. به منظور ارزیابی پرسشنامه از طیف ۵ مرحله‌ای لیکرت استفاده شده است.

جدول (۳): پرسش‌های نهایی

ردیف	پرسش
۱	آیا این شاخص قابل اندازه‌گیری و بیان کمی است؟
۲	این شاخص بر مصرف انرژی تاثیر دارد؟
۳	مفهوم این شاخص وابسته به اقلیم است؟
۴	آیا با امکانات فعلی و ابزار موجود می‌توان این مورد را بهبود داد؟
۵	شفافیت، سادگی و فهم این شاخص را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

۲-۲- جامعه آماری

به منظور دست یابی به جامعه آماری ۳۰ نفره از روش گلوله برفی استفاده شد. در نمونه‌گیری گلوله برفی، واحدهای نمونه که به نظر محقق نماینده جامعه هستند، انتخاب می‌شوند. مزایای این نوع نمونه‌گیری این است که محقق می‌تواند از مهارت و دانش خود در انتخاب پاسخ دهندگان استفاده کنند و اطلاعات مورد نیاز تحقیق تا اندازه‌ای که مباحث اشباع شوند جمع‌آوری می‌گردد. جامعه آماری مورد مطالعه متشکل از خبرگانی با ترکیب ذکر شده در دو جدول ۴ و ۵ هستند.

جدول (۴): درصد فراوانی پاسخ‌گویان به تفکیک میزان تحصیلات

سطح تحصیلات	درصد نسبی در جامعه
دکتری	۴۶,۶۷
فوق لیسانس	۵۰
لیسانس	۳,۳۳

جدول (۵): درصد فراوانی پاسخ‌گویان به تفکیک موقعیت علمی

موقعیت علمی	درصد نسبی در جامعه
صنعتی	۷۱
دانشگاهی	۲۹

۲-۳-بررسی روایی، پایایی و تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع آوری شده به کمک آمار استنباطی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جمعیت مورد مطالعه به صورت توصیفی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. استفاده شد و از روش‌هایی که در ادامه تشریح می‌شوند به منظور آنالیز هر شاخص استفاده شد. روایی جهت تعیین نسبت روایی محتوی به‌صورت کمی از تعدادی از متخصصین و صاحب‌نظران (گروه پنل) استفاده می‌شود تا در مورد هرکدام از پرسش‌های پرسشنامه، به سه طیف: ضروری است، مفید اما ضروری نیست و ضرورتی ندارد، پاسخ دهند. در معادله (۱) روش محاسبه CVR بیان شده است.

$$CVR = \frac{n_e - {}^{n}/_{2}}{n/2} \qquad (۱)$$

در این رابطه n_e تعداد ارزیابانی است که آیتم موردنظر را ضروری یا سودمند می‌دانند و n تعداد کل ارزیابان و یا داورانی است که پرسشنامه را بررسی کرده‌اند. حداقل مقادیر CVR در آزمون‌های یک‌طرفه موردنظر لاوشه برای جامعه آماری ۳۰ نفره دارای حداقل مقدار ۰/۳۳ است. پس از تعیین و محاسبه CVR ، می‌توان شاخص CVI را محاسبه نمود. برای محاسبه این شاخص، ارزیابان می‌بایست به هر کدام از ابزار مورد استفاده، در خصوص سه معیار مربوط یا اختصاصی بودن، سادگی و روان بودن و وضوح یا شفاف بودن، بر اساس طیف لیکرتی ۴ قسمتی اظهارنظر نمایند. به عنوان مثال جهت معیار مربوط بودن گزینه‌های، مربوط نیست=۱ ،نسبتاً مربوط است =۲ ، مربوط است =۳ و کاملاً مربوط است =۴ ،به کار گرفته می‌شود. CVI برابر نسبت تعداد ارزیابانی که به گزینه "خیلی زیاد، زیاد، ضروری، بلی و مهم" رای داده‌اند؛ به کل ارزیابان است. حداقل مقدار قابل قبول برای شاخص CVI برابر با ۰/۷۹ است و اگر شاخص CVI کمتر از ۰/۷۹ باشد آن شاخص بایستی حذف شود. به توانایی هر ابزار برای تولید نتایج سازگار، پایایی گویند. به عبارتی می‌توان گفت که پایایی به صراحت و دقت ابزار سنجش مربوط می‌شود. همچنین می‌توان گفت که پایایی شرط لازم برای روایی است اما کافی نیست. یعنی ابزار سنجش نمی‌تواند دارای روایی باشد مگر اینکه پایا باشد، بر این اساس منظور از پایایی این است که اگر خصیصه مورد سنجش را با همان پرسشنامه در شرایط مشابه دوباره اندازه‌گیری کرد، نتایج حاصله تا چه حد مشابه، دقیق و قابل اعتماد است. هدف اساسی استفاده از آزمون آلفای کرونباخ بررسی میزان همسانی درونی گویه‌های یک مقیاس است که از طریق فرآیند شاخص‌سازی تهیه می‌شود. این آزمون شیوه‌ای برای بررسی همسازی پاسخ فرد به یک گویه در مقایسه با هر یک از گویه‌های دیگر مقیاس است (همبستگی گویه به گویه) بدین ترتیب پایایی کل مقیاس سنجیده می‌شود. درواقع در سنجش پایایی گویه‌ها از طریق آزمون آلفای کرونباخ، همسانی درونی یا ثبات درونی گویه‌ها سنجیده می‌شود. آلفای کرونباخ با استفاده از معادله (۲) میزان پایایی آزمون را محاسبه می کند. که در آن مقدار واریانس هر سوال است. شرایط پذیرش برای آلفای کرونباخ در جدول (۶) ذکر شده است.

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum s_i^2}{s^2}\right) \qquad (۲)$$

جدول (۶): محدوده پذیرش آلفای کرونباخ

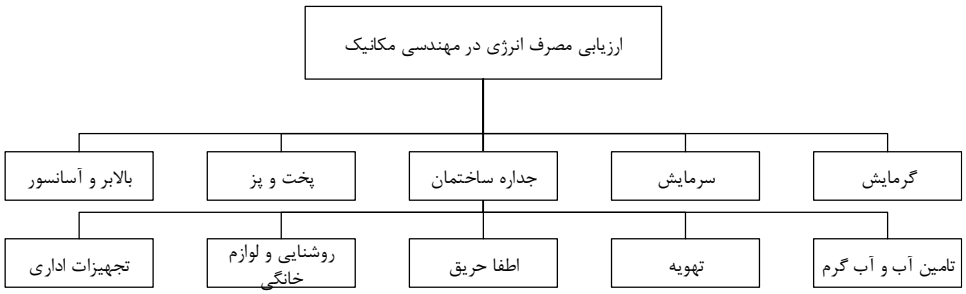
ضریب آلفا کرونباخ	پایایی درونی
$\alpha \geq ۰،۹$	عالی
$۰،۸ > \alpha \geq ۰،۹$	خوب
$۰،۷ > \alpha \geq ۰،۸$	قابل قبول
$۰،۶ > \alpha \geq ۰،۷$	قابل بررسی
$۰،۵ > \alpha \geq ۰،۶$	ضعیف
$۰،۵> \alpha$	غیرقابل قبول

۳- نتایج

با توجه به روش انجام تحقیق، در ابتدا حوزه‌های مصرف انرژی در ساختمان شناسایی شدند و در هر بخش شاخص‌های مختلفی قرار گرفته‌اند. در نهایت با بررسی میدانی و محاسبات در خصوص هر شاخص تصمیم‌گیری شده است.

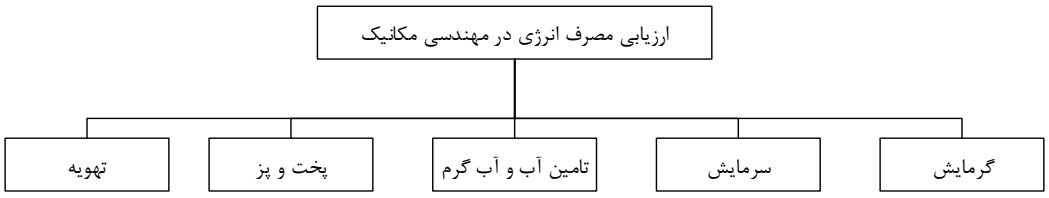
۳-۱- حوزه‌های مصرف انرژی

به منظور بررسی مولفه‌های موثر بر انرژی در ابتدا حوزه‌های مصرف انرژی در ساختمان شناسایی می‌شوند. شناسایی این حوزه‌ها با بررسی ادبیات، مطالعه مصرف انرژی در ساختمان‌های فعلی و استفاده از گزارش‌های سالانه انرژی ساختمان است. حوزه‌های معرفی شده باید جامعیت کامل را داشته باشند و در صورت لزوم هر بخش می‌تواند مراحل بیشتری را در تقسیم بندی طی کند. افزایش لایه‌ها طبقه بندی به تشریح مولفه‌ها کمک می‌کند، اما باید توجه داشت که بیش از حد به افزایش طبقه بندی اقدام نشود. در ساختار طبقه بندی باید همواره هدف اصلی را در نظر داشت و با توجه به نیاز در مراحل پیشرفت و در نظر داشت که بتوان به تصمیم‌گیری در حوزه مطلوب منجر شود. در شکل (۱) تمامی حوزه‌های مصرف انرژی در ساختمان نشان داده شده است.



شکل (۱): دسته‌بندی کلی حوزه‌های مصرف انرژی در ساختمان

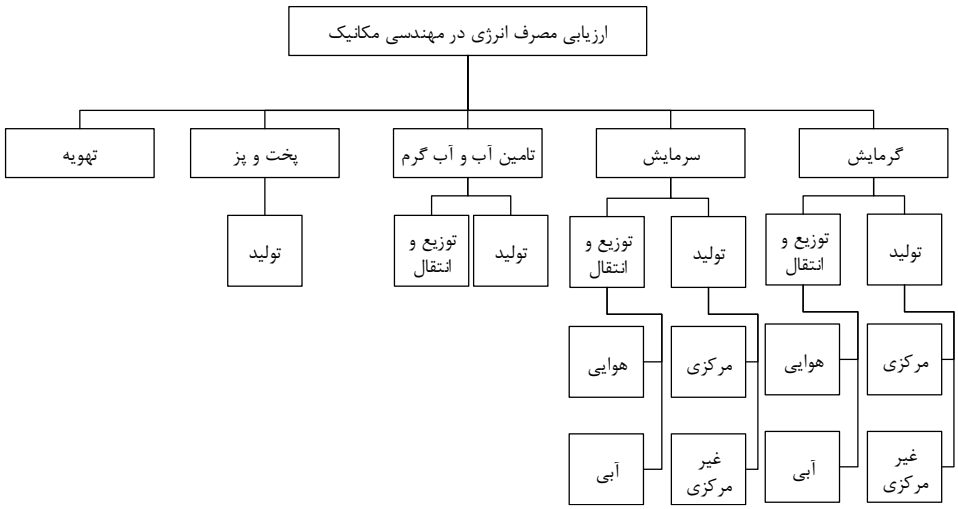
بخش‌های روشنایی و لوازم خانگی، تجهیزات اداری و بالابر و آسانسور در حوزه برق همین تحقیق، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین جداره ساختمان در حوزه معماری بررسی شده است. در خصوص اطفا حریق با توجه به مباحث موجود در چهارچوب این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. تجهیزات اطفای حریق ساختمان تنها در زمان اضطرار فعال می‌شوند و غیر از آن مصرف انرژی ندارند و از آنجا که احتمال رخداد در ساختمان را نباید در مقایسه بین دو ساختمان اثر داد این بخش و شاخص‌های آن از کار کنار گذاشته شده‌اند [۲۹]. حوزه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.



شکل (۲): دسته بندی حوزه‌های مصرف انرژی مورد مطالعه در این تحقیق

در ادامه هر یک از حوزه‌ها به زیر بخش‌های مختلف تقسیم شده‌اند. این تقسیم بندی به کمک مرور بر مقالات گذشته انجام شده است و این مطالعات برای هر دسته انجام شده است و در نهایت دسته بندی نهایی به صورت شکل (۳) ارائه می‌شود. برای این که بتوان شاخص‌های هر بخش را معرفی کرد باید حوزه تاثیر هر بخش شناسایی شود. این بخش از گزارش اشری

حاصل شده است [۲۳]. در جدول (۷) حوزه‌های تاثیر معرفی شده در این گزارش ذکر شده‌اند. از این تقسیم بندی سیستماتیک برای دسته بندی شاخص‌ها در دسته مربوطه استفاده شده است.



شکل (۳): سطوح مختلف دسته بندی حوزه‌های مصرف انرژی مورد مطالعه در این تحقیق

جدول (۷): شاخص‌ها کلیدی معرفی شده در گزارش اشری[۱]

شماره	حوزه تاثیر	توضیحات
۱	احتراق مستقیم/غیر مستقیم(Direct/Indirect-Fired)	احتراق در سیستم به چه صورت در حال انجام است و ارزیابی آن
۲	مرحله بازیاب (Regeneration Stage)	بازیابی حرارتی در دستگاه (هواساز، پیلر جذبی و.) وجود دارد و ارزیابی آن
۳	طراحی و توان پمپ(Pump design and power)	وضعیت پمپ از نظر طراحی سیستم و توان مصرفی
۴	استفاده از ترمینال(Terminal Use)	نوع ترمینال استفاده شده
۵	تقطیر دودکش(Exhaust Condensing)	وضعیت دمایی و تقطیر در دودکش
۶	کارکرد(Function)	وضعیت کلی عملرد دستگاه بدون در نظر گرفتن جزئیات دستگاه
۷	فشار بویلر(Boiler Pressure)	فشار کاری وارد بر بویلر
۸	طراحی و توان فن(Fan design and power)	وضعیت فن از نظر طراحی سیستم و توان مصرفی
۹	مواد فیلترینگ هوا(Air Filtering Material)	موارد فیلترینگ هوا و اثرات آن بر سیستم
۱۰	کانال کشی(Ductwork)	وضعیت سیستم کانال کشی در سیستم هوایی
۱۱	تایپ کمپرسور(Compressor Type)	تایپ و مشخصات کمپرسور
۱۲	لوله کشی(Pipe type)	وضعیت سیستم لوله کشی در سیستم آبی و تامین آب گرم
۱۳	تایپ کندانسور و اواپوراتور(Type Condenser and Evaporator)	تایپ و مشخصات مبدل‌ها حرارتی
۱۴	اصول کار(Working Principle)	ویژگی‌ها مربوط به قواعد کاری هر سیستم
۱۵	منبع انرژی(Energy Source)	نوع منبع انرژی مصرفی در آن سیستم

۳-۲ بررسی شاخص‌ها با توجه به دسته بندی

با توجه به دسته بندی ارائه شده در بخش‌های قبل، شاخص‌های استخراج شده در دسته مربوطه قرار گرفته و پس از ان با کمک پرسشنامه، داده‌ها جمع‌آوری شده و در نهایت هر یک مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفت؛ که در نتیجه تعداد ۴۷ شاخص

از ۶۲ شاخص مورد تایید قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبات برای تمامی شاخص‌ها به تفکیک بخش بندی در ادامه آمده است.

۳-۲-۱ بخش تولید گرمایش مرکزی

خلاصه محاسبات انجام شده با توجه به معیارهای معرفی شده، در جدول ۸ آورده شده است. در خصوص شاخص شماره ۵ و ۶ با وابستگی شدید به اقلیم از پرسشنامه‌ها استخراج شدند که دور از انتظار نیست. در صورتی که محاسبه همبستگی بدون توجه به شرایط اقلیمی دوباره محاسبه شود مقدار آلفای کرونباخ برای شاخص ۵ و ۶ به ترتیب به ۰,۷۶ و ۰,۸۶ افزایش پیدا می‌کند که نشان دهنده وابستگی اقلیمی این دو شاخص است. از این رو در محاسبات آتی در خصوص این دو شاخص باید شرایط اقلیمی مورد توجه بیشتری واقع شود. مورد ۶ هر چند به مقدار کمی از شاخص CVI فاصله گرفته است اما با توجه به همبستگی خوب آن از رد آن صرف نظر شده است. در خصوص دو شاخص ۱ و ۳ نیز غیر قابل اندازه‌گیری بودن این دو شاخص بیشتر مورد توجه پاسخ دهندگان برای رد این دو شاخص قرار داشت. شاخص ۱ به خاطر دو مقدار CVI و CVR و شاخص ۳ به خاطر ضریب آلفای کرونباخ رد شده است.

جدول (۸): شاخص‌های بخش تولید گرمایش مرکزی

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۱	بازدهی کمپرسور	۳.۴۳	۰.۶۷	۰.۳۳	۰.۷۷	رد
۲	نسبت دمای دودکش به دمای نقطه شبنم	۳.۸۷	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۷۷	قبول
۳	درصد هوای اضافی وسایل گاز سوز	۳.۴۹	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۳۹	رد
۴	دمای خروج سیال عامل (در نقطه خروج از دستگاه مولد) به دما طراحی داخل	۳.۸۹	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۶۳	قبول
۵	دمای ورودی سیال عامل (در نقطه ورود به فضا) نسبت به دمای طرح داخل	۴.۰۳	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۶۷	قبول
۶	نسبت EER بار جزئی به طراحی	۳.۷۱	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۷۸	قبول

جدول (۹): شاخص‌های بخش تولید گرمایش غیرمرکزی

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۷	بازدهی کمپرسور	۳.۷۰	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۶۴	قبول
۸	نسبت دمای دودکش به دمای نقطه شبنم	۳.۸۹	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۷۲	قبول
۹	درصد هوای اضافی وسایل گاز سوز	۳.۴۹	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۳۹	رد
۱۰	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق	۳.۷۹	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۵۶	رد
۱۱	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق و گاز	۳.۸۳	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۵۸	رد
۱۲	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده گاز	۳.۷۵	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۵۲	رد
۱۳	نسبت تجهیزات برچسب دار به کل تجهیزات	۳.۷۷	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۸۴	قبول

۳-۲-۲ بخش تولید گرمایش غیر مرکزی

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش تولید گرمایش غیر مرکزی در جدول ۹ آورده شده‌اند. در خصوص شاخص شماره ۷ طبق نظر خبرگان قابلیت اندازه‌گیری این شاخص ضعیف ارزیابی شده است و در صورتی که قابلیت اندازه‌گیری در محاسبات وارد نشود مقدار همبستگی به ۰,۷۹ افزایش پیدا می‌کند. شاخص شماره ۹ طبق نظر خبرگان به این دلیل که قابلیت کنترل توسط طراح را ندارد، ضریب همبستگی پایینی گرفته است و مورد پذیرش نیست. در خصوص شاخص‌ها ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نظر خبرگان بر وضعیت نامطلوب برچسب دهی در کشور و غیر قابل اعتماد بودن آن بیان شد هر چند استاندارد بودن تجهیزات امر مطلوبی است اما در حال حاضر پارامتر قابل اتکایی محسوب نمی‌شود.

۳-۲-۳ بخش توزیع هوایی گرمایش

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش توزیع هوایی گرمایش در جدول ۱۰ آورده شده‌اند. در خصوص شاخص شماره ۱۴ سخت بودن اندازه‌گیری دلیل رد این شاخص است. در صورتی که پارامتر اندازه‌گیری در محاسبات لحاظ نشود مقدار همبستگی به ۰,۷ افزایش پیدا می‌کند اما در هر صورت این شاخص مورد پذیرش نیست.

جدول (۱۰): شاخص‌های بخش توزیع هوایی گرمایش

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۱۴	مجموع تلفات حرارتی در سیستم انتقال انرژی	۴.۱۱	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۵۰	رد
۱۵	مجموع تلفات فشار در سیستم انتقال انرژی	۳.۶۵	۰.۷۰	۰.۴۰	۰.۷۵	رد
۱۶	مجموع ماکزیمم بار تجهیزات به بار بلاک گرمایشی ساختمان	۳.۹۱	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۷۷	قبول

۳-۲-۴ بخش توزیع آبی گرمایش

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش توزیع آبی گرمایش در جدول ۱۱ آورده شده‌اند. شاخص شماره ۱۸ از نظر CVI قابل پذیرش نیست اما با توجه به نمره خوب در سه شاخص دیگر و همچنین اختلاف کم از پذیرش در CVI مورد پذیرش قرار می‌گیرد. شاخص شماره ۱۹ نیز در دو شاخص CVI و CVR رد شده است و مورد پذیرش نیست.

جدول (۱۱): شاخص‌های بخش توزیع آبی گرمایش

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۱۷	مجموع تلفات حرارتی در سیستم انتقال انرژی	۴.۰۵	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۸۳	قبول
۱۸	مجموع تلفات فشار در سیستم انتقال انرژی	۳.۵۲	۰.۷۰	۰.۴۰	۰.۸۰	قبول
۱۹	مجموع ماکزیمم بار تجهیزات بهبار بلاک گرمایشی ساختمان	۳.۴۳	۰.۶۷	۰.۳۳	۰.۷۹	رد

۳-۲-۵ بخش تولید سرمایش مرکزی

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش تولید سرمایش مرکزی در جدول ۱۲ آورده شده است. در خصوص شاخص شماره ۲۰ سخت بودن اندازه‌گیری آن مورد توجه پاسخ دهندگان برای رد این شاخص قرار داشت. شاخص شماره ۲۴ نیز همبستگی ضعیفی دارد و مورد پذیرش نیست.

جدول (۱۲): شاخص‌های بخش تولید سرمایش مرکزی

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۲۰	بازدهی کمپرسور	۳.۹۸	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۴۷	رد
۲۱	نسبت دمای دودکش به دمای نقطه شبنم	۳.۵۰	۰.۷۰	۰.۴۰	۰.۹۳	قبول
۲۲	درصد هوای اضافی وسایل گاز سوز	۳.۵۸	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۷۴	قبول
۲۳	دمای خروج سیال عامل (در نقطه خروج از دستگاه مولد) به دما طراحی داخل	۳.۹۵	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۶۴	قبول
۲۴	دمای ورودی سیال عامل (در نقطه ورود به فضا) نسبت به دمای طرح داخل	۴.۰۷	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۵۱	رد
۲۵	ضریب عملکرد در بار جزئی به ضریب عملکرد طراحی	۳.۷۶	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۶۳	قبول

۳-۲-۶ بخش تولید سرمایش غیر مرکزی

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش تولید سرمایش غیر مرکزی در جدول ۱۳ آورده شده‌اند. در خصوص شاخص ۳۱ نظر خبرگان بر وضعیت نامطلوب برچسب دهی در کشور و غیر قابل اعتماد بودن آن بیان شد هر چند استاندارد بودن تجهیزات امر مطلوبی است اما در حال حاضر پارامتر قابل اتکایی محسوب نمی‌شود از این رو همبستگی لازم برای پذیرش را ندارد.

جدول (۱۳): شاخص‌های بخش تولید سرمایش غیر مرکزی

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۲۶	بازدهی کمپرسور	۴.۰۰	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۷۳	قبول
۲۷	درصد هوای اضافی وسایل گاز سوز	۳.۲۳	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۹۰	قبول
۲۸	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق	۳.۸۷	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۶۸	قبول
۲۹	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق و گاز	۳.۶۴	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۷۲	قبول
۳۰	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده گاز	۳.۵۹	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۷۰	قبول
۳۱	نسبت تجهیزات برچسب دار به کل تجهیزات	۳.۶۸	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۴۶	رد
۳۲	نسبت سایه اندازی در دستگاه‌ها تبخیری	۳.۷۳	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۸۶	قبول

۳-۲-۷ بخش توزیع هوایی سرمایش

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش توزیع هوایی سرمایش در جدول ۱۴ آورده شده‌اند. شاخص شماره ۳۵ به خاطر آلفای کرونباخ بسیار کوچک از همبستگی لازم برخوردار نیست و مورد تایید قرار نمی‌گیرد.

۳-۲-۸ بخش توزیع آبی سرمایش

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش توزیع آبی سرمایش در جدول ۱۵ آورده شده‌اند. شاخص‌های این بخش تماما با امتیاز خوب مورد پذیرش قرار گرفته‌اند.

جدول (۱۴): شاخص‌های بخش توزیع هوایی سرمایش

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۳۳	مجموع تلفات حرارتی در سیستم انتقال انرژی	۴.۰۲	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۶۱	قبول
۳۴	مجموع تلفات فشار در سیستم انتقال انرژی	۳.۶۸	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۸۲	قبول
۳۵	مجموع ماکزیمم بار تجهیزات به بار بلاک گرمایشی ساختمان	۳.۷۱	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۲۹	رد

جدول (۱۵): شاخص‌های بخش توزیع آبی سرمایش

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۳۶	مجموع تلفات حرارتی در سیستم انتقال انرژی	۳.۹۶	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۷۸	قبول
۳۷	مجموع تلفات فشار در سیستم انتقال انرژی	۳.۶۳	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۸۷	قبول
۳۸	مجموع ماکزیمم بار تجهیزات بهبار بلاک گرمایشی ساختمان	۳.۶۱	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۸۱	قبول

۳-۲-۹ بخش آب و آب گرم

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش آب و آب‌گرم در جدول ۱۶ آورده شده‌اند. شاخص‌ها شماره ۴۰، ۴۴، ۴۵، ۴۶ از نظر CVI قدری از مقدار ۰,۸ کمتر شده است اما میزان آلفای کرونباخ همبستگی بالایی در خصوص این شاخص‌ها نشان می‌دهد و این اختلاف کم در CVI قابل چشم پوشی است. از این رو تمام شاخص‌ها این بخش مورد تایید قرار می‌گیرند.

جدول (۱۶): شاخص‌های بخش آب و آب گرم

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۳۹	نسبت دمای دودکش به دمای نقطه شبنم	۳.۹۱	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۶۳	قبول
۴۰	درصد هوای اضافی وسایل گاز سوز	۳.۶۹	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۸۱	قبول
۴۱	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق	۳.۶۷	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۷۵	قبول
۴۲	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق و گاز	۳.۷۴	۰.۹۷	۰.۹۳	۰.۸۰	قبول
۴۳	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده گاز	۳.۷۳	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۸۱	قبول
۴۴	نسبت EER بار جزئی به طراحی	۳.۷۰	۰.۷۰	۰.۴۰	۰.۸۸	قبول
۴۵	نسبت تجهیزات برچسب دار به کل تجهیزات	۳.۵۶	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۸۵	قبول
۴۶	فشار بویلر	۳.۶۶	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۸۷	قبول

۳-۲-۱۰ بخش توزیع آب و آب گرم

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش آب و آب‌گرم در جدول ۱۷ آورده شده‌اند. شاخص شماره ۴۸ از نظر CVI قدری از مقدار ۰,۸ کمتر شده است اما میزان آلفای کرونباخ همبستگی بالایی در خصوص این شاخص‌ها نشان می‌دهد و این اختلاف کم در CVI قابل چشم پوشی است. از این رو تمام شاخص‌ها این بخش مورد تایید قرار می‌گیرند. همچنین بدون در نظر گرفتن پارامتر اندازه‌گیری مقدار آلفای کرونباخ به ۰,۸ افزایش پیدا می‌کند. از این رو طبق نظر خبرگان اندازه‌گیری این شاخص باعث نمره پایین این شاخص است.

جدول (۱۷): شاخص‌های بخش توزیع آب و آب گرم

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۴۷	مجموع تلفات حرارتی در سیستم انتقال انرژی	۴.۱۷	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۷۳	قبول
۴۸	مجموع تلفات فشار در سیستم انتقال انرژی	۳.۵۳	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۷۸	قبول

۳-۲-۱۱ بخش تهویه

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش تهویه در جدول ۱۸ آورده شده‌اند. شاخص شماره ۵۱ با توجه آلفای کرونباخ کوچک همبستگی ضعیفی دارد و قابل پذیرش نیست. در خصوص شاخص‌ها شماره ۵۵، ۵۷، ۵۸ با توجه به ضریب آلفای کرونباخ بالا و همبستگی قوی می‌توان از اختلاف کم CVI صرف نظر کرد و این شاخص‌ها نیز مورد پذیرش هستند.

جدول (۱۸): شاخص‌های بخش تهویه

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۴۹	نسبت سرعت جریان هوا به سرعت مجاز جریان هوا در سیستم‌ها تمام هوا	۳.۵۱	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۶۰	قبول
۵۰	درصد افت فشار فیلتر هواساز	۳.۵۷	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۷۹	قبول
۵۱	درصد گرمای ریکاوری شده مبدل هواساز	۳.۷۹	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۵۷	رد
۵۲	درصد هوای برگشتی هواساز	۳.۸۷	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۷۴	قبول
۵۳	نسبت رطوبت نسبی خروجی دستگاه به رطوبت نسبی هوای بیرون	۳.۸۹	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۷۴	قبول
۵۴	نسبت CFM تهویه انجام شده به صورت طبیعی به کل تهویه مورد نیاز	۳.۹۰	۰.۸۷	۰.۷۳	۰.۷۶	قبول
۵۵	نسبت دمای تر خروجی دستگاه به دمای تر هوای بیرون	۳.۶۵	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۸۷	قبول
۵۶	نسبت دمای خشک خروجی دستگاه به دمای خشک هوای بیرون	۴.۰۷	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۸۰	قبول
۵۷	ارتفاع دریچه هوای رفت و برگشت تا زیر سقف تمام شده نسبت ارتفاع بهینه	۳.۲۹	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۸۸	قبول
۵۸	نسبت تجهیزات برچسب دار به کل تجهیزات	۳.۶۱	۰.۷۳	۰.۴۷	۰.۸۴	قبول
۵۹	میزان تهویه انجام شده در ساعت	۴.۱۶	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۸۴	قبول

۳-۲-۱۲ بخش پخت و پز

خلاصه محاسبات انجام شده برای بخش پخت و پز در جدول ۱۹ آورده شده‌اند. شاخص شماره ۶۰ با توجه به CVI و آلفای کرونباخ کوچک مورد پذیرش نیست اما شاخص شماره ۶۲ با توجه به آلفای کرونباخ قابل قبول با صرف نظر از اختلاف اندک CVI از مقدار ۰,۸ قابل قبول است.

جدول (۱۹): شاخص‌های بخش پخت و پز

ردیف	شاخص	میانگین موزون	CVI	CVR	آلفای کرونباخ	پذیرش
۶۰	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده برق	۳.۴۳	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۶۶	رد
۶۱	برچسب انرژی دستگاه مصرف کننده گاز	۳.۶۹	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۶۳	قبول
۶۲	نسبت تجهیزات برچسب دار به کل تجهیزات	۳.۶۵	۰.۷۷	۰.۵۳	۰.۷۱	قبول

۴- نتیجه گیری

معرفی و مطالعه شاخص‌های مرتبط با انرژی یکی از روش‌های مناسب برای مدیریت مصرف انرژی است. به کمک این شاخص-ها نه تنها می‌توان به مدیریت مصرف انرژی پرداخت بلکه می‌توان نسبت به بهینه سازی آن نیز اقدام کرد. یکی از مهم‌ترین مصرف کنندگان انرژی، ساختمان های اداری هستند که مصارفی همچون تهویه مطبوع، گرمایش، سرمایش، آب گرم و تجهیزات مختلف را شامل می‌شوند. به جهت دست‌یابی به شاخص‌ها، فاکتورهای موثر در هر حوزه مصرف‌کننده انرژی باید شناسایی شوند. حوزه‌های شناسایی شده در این تحقیق شامل تولید و توزیع گرمایش، تولید و توزیع سرمایش، تولید و توزیع آب گرم مصرفی، تهویه و پخت و پز هستند که در این بین بهینه سازی در سیستم تهویه مطبوع ساختمان می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی داشته باشد. با در نظر داشتن این دسته بندی شاخص‌های مختلفی با بررسی کتابخانه‌ای و میدانی استخراج شدند و در دسته‌بندی مربوطه جای گرفتند. در نهایت تمامی این شاخص‌ها تحت آزمون قرار گرفتند که در نتیجه ۴۷ شاخص مورد تایید نهایی قرار گرفتند.

References

مراجع

[1] S. Kumar Mohapatra, S. Mishra, H.K. Tripathy and A. Alkhayyat, “A sustainable data-driven energy consumption assessment model for building infrastructures in resource constraint environment”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102697, Oct. 2022.

[2] C. Vassiliades et al., “Building integration of active solar energy systems: A review of geometrical and architectural characteristics”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 112482, May 2022.

[3] Y. Himeur, A. Alsalemi, F. Bensaali, A. Amira and A. Al- Kababji, “Recent trends of smart nonintrusive load monitoring in buildings: A review, open challenges, and future directions”, *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 37, no. 10, pp. 7124–7179, Mar. 2022.

[4] T. Huo, L. Xu, B. Liu, W. Cai and W. Feng, “China’s commercial building carbon emissions toward 2060: An integrated dynamic emission assessment model”, *Applied Energy*, vol. 325, pp. 119828–119828, Nov. 2022.

[5] R. Hidalgo-Leon et al., “Powering nodes of wireless sensor networks with energy harvesters for intelligent buildings: A review”, *Energy Reports*, vol. 8, pp. 3809–3826, Nov. 2022.

[6] Y. Li, V. Arulnathan, M.D. Heidari and N. Pelletier, “Design considerations for net zero energy buildings for intensive, confined poultry production: A review of current insights, knowledge gaps, and future directions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 154, p. 111874, Feb. 2022.

[7] C. Wang, M. Ferrando, F. Causone, X. Jin, X. Zhou, and X. Shi, “Data acquisition for urban building energy modeling: A review”, *Building and Environment*, vol. 217, p. 109056, Jun. 2022.

[8] Z. Deng, Y. Chen, J. Yang, and Z. Chen, “Archetype identification and urban building energy modeling for city-scale buildings based on GIS datasets”, *Building Simulation*, Jan. 2022.

[9] M. González-Torres, L. Pérez-Lombard, J.F. Coronel, I.R. Maestre and D. Yan, "A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 626–637, Nov. 2022.
[10] S. Azimi and W. O'Brien, "Fit-for-purpose: Measuring occupancy to support commercial building operations: A review", *Building and Environment*, vol. 212, p. 108767, Mar. 2022.
[11] T.Y. Hsieh, S.T. Lu and G.H. Tzeng, "Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings", *International Journal of Project Management*, vol. 22, no. 7, pp. 573–584, Oct. 2004.
[12] R. Saidur, M. Hasanuzzaman, S. Yogeswaran, H.A. Mohammed and M.S. Hossain, "An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital", *Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 4780–4785, Dec. 2010.
[13] T. Ramesh, R. Prakash and K. K. Shukla, "Life cycle energy analysis of buildings: An overview", *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1592–1600, Oct. 2010.
[14] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez and A. Castell, "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 394–416, Jan. 2014.
[15] J. Xu, J.-H. Kim, H. Hong and J. Koo, "A systematic approach for energy efficient building design factors optimization", *Energy and Buildings*, vol. 89, pp. 87–96, Feb. 2015.
[16] Y. Yang, B. Li and R. Yao, "A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings", *Energy Policy*, vol. 38, no. 12, pp. 7687–7697, Dec. 2010.
[17] H.H. Ali and S.F. Al Nsairat, "Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan", *Building and Environment*, vol. 44, no. 5, pp. 1053–1064, May 2009.
[18] J.S. Hygh, J.F. DeCarolis, D.B. Hill and S. Ranji Ranjithan, "Multivariate regression as an energy assessment tool in early building design", *Building and Environment*, vol. 57, pp. 165–175, Nov. 2012.
[19] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, J.F. Coronel and I.R. Maestre, "A review of HVAC systems requirements in building energy regulations", *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 2–3, pp. 255–268, Feb. 2011.
[20] B. Antizar-Ladislao and J.L. Turrion-Gomez, "Second-generation biofuels and local bioenergy systems", *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol. 2, no. 5, pp. 455–469, Sep. 2008.
[21] Y. Yang, H. Tai and T. Shi, "Weighting indicators of building energy efficiency assessment taking account of experts' priority", *Journal of Central South University*, vol. 19, no. 3, pp. 803–808, Mar. 2012.
[22] M. N. Addy, E. Adinyira and J. Ayarkwa, "Identifying and weighting indicators of building energy efficiency assessment in Ghana", *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 161–170, Oct. 2017.
[23] X. Lei, Y. Chen, M. Bergés and B. Akinci, "Formalized control logic fault definition with ontological reasoning for air handling units", *Automation in Construction*, vol. 129, p. 103781, Sep. 2021.
[24] R. Singh, I.J. Lazarus and V.V.N. Kishore, "Uncertainty and sensitivity analyses of energy and visual performances of office building with external venetian blind shading in hot-dry climate", *Applied Energy*, vol. 184, pp. 155–170, Dec. 2016.
[25] X. Cao, X. Dai and J. Liu, "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade", *Energy and Buildings*, vol. 128, pp. 198–213, Sep. 2016.
[26] A. Alavi et al., "Livedoid vasculopathy: An in-depth analysis using a modified Delphi approach", *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 69, no. 6, pp. 1033-1042.e1, Dec. 2013.
[27] C. Okoli and S.D. Pawlowski, "The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications", *Information & Management*, vol. 42, no. 1, pp. 15–29, Dec. 2004.
[28] R.M. Desai, "The Political Economy of Urban Poverty in Developing Countries: Theories, Issues, and an Agenda for Research", *SSRN Electronic Journal*, 2010.
[29] E. Annunziata, M. Frey and F. Rizzi, "Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe", *Energy*, vol. 57, pp. 125–133, Aug. 2013.