ارزیابی تأثیر بهره‌برداری از اینترنت اشیاء در چرخه‌ی حیات ساختمان

ساجده بحرینی مقدم [1*]،
[1] کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشگاه تهران، saj.bahraini132@ut.ac.ir

چکیده : در این مقاله تلاش شده است با مرور مطالعات و دستاوردهای حاصل از به‌کارگیری اینترنت اشیاء در ساختمان‌های هوشمند، اقداماتی که منتهی به کاهش مصرف انرژی و بهبود شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی ساختمان‌ها می‌شوند، شناسایی گردد. سپس با نگاهی جامع، تلاش شده است این دستاوردها در مدل چرخه‌ی حیات، به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین ارزیابی موفقیت ساختمان از منظر ارزش‌آفرینی و نیل به پایداری، موردبررسی قرار گیرد تا ابعاد تازه‌ای از فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط به استفاده از اینترنت اشیاء در ساختمان‌ها چه در دوره‌ی بهره‌برداری و چه در مراحل قبل و بعدازآن آشکار گردد. درنهایت، با سنجش جایگاه کنونی اینترنت اشیاء در ارتقای مدیریت هوشمند ساختمان در طول این چرخه، تلاش شده است ابهامات و موضوعاتی که نیازمند مطالعات دقیق‌تر هستند شناسایی شده رویکردهای پژوهشی جدیدی در این حوزه پیشنهاد گردد.

کلید واژه‌ها: ارزش‌آفرینی، پایداری، چرخه‌ی حیات، ساختمان هوشمند، مدیریت ساختمان.

۱- مقدمه

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی در مورد شدت مصرف انرژی ساختمان‌ها در سناریوهای توسعه‌ی پایدار، پیش از رسیدن به سال ۲۰۲۵ میلادی، کشورهای خاورمیانه در بالاترین رتبه‌ی شدت مصرف انرژی در بخش ساختمان در جهان قرار خواهند گرفت و شیب روند نزولی این شاخص نیز، در این منطقه نسبت به سایر مناطق کمتر خواهد بود[20]. به همین سبب لازم است، اقدامات فوری جهت بهبود رویه‌ی کنونی مصرف انرژی در این کشورها اتخاذ گردد. در کنار نیاز به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و تدوین نسل جدید قوانین و مقررات در حوزه‌ی بهینه‌سازی مصرف انرژی، هوشمندسازی مدیریت فرآیند تأمین انرژی تا رسیدن به مصرف‌کننده‌ی نهایی یکی از دغدغه‌های مهم در این زمینه است. با توجه به اینکه ساختمان‌ها در زمره‌ی مصرف-کنندگان اصلی انرژی قرار دارند، شکل کنونی مدیریت مصرف انرژی در آن‌ها نیازمند ارتقا و بعضاً تغییر است.

در سال‌های اخیر و بر اساس مستندات برنامه‌ی پنجم توسعه در حوزه‌ی توسعه‌ی مراکز پژوهشی و دانش‌بنیان، "وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌عنوان مسئول برنامه‌ریزی، پشتیبانی و توسعه‌ی زیرساختار و توانایی‌های ملی مخابراتی و اطلاعاتی کشور، اینترنت اشیاء را به‌عنوان موضوع محوری توسعه فناوری و آینده‌ی کسب‌وکارهای مرتبط با فاوا مدنظر قرار داده است. لذا پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات ایران)، در اولین گام، مسئولیت تدوین نقشه راه و ارائه برنامه عملیاتی اینترنت اشیاء در کشور را بر عهده گرفته است"[19]. بااین‌وجود، این تلاش به‌عنوان سنگ‌بنای توسعه‌ی زیرساخت اینترنت اشیاء در کشور، نیازمند پشتیبانی مطالعاتی در ابعاد مختلف است.

در این پژوهش تلاش شده است، بخشی از اقدامات و مطالعات صورت‌پذیرفته در حوزه‌ی اینترنت اشیاء و صنعت ساختمان موردبررسی قرار گیرد؛ سپس بر اساس مدل چرخه‌ی حیات چهارفازی، اثر این اقدامات در راستای ارزش‌آفرینی و توسعه‌ی پایدار ارزیابی و خلأهای مطالعاتی موجود، شناسایی شده است.

۲- روش تحقیق

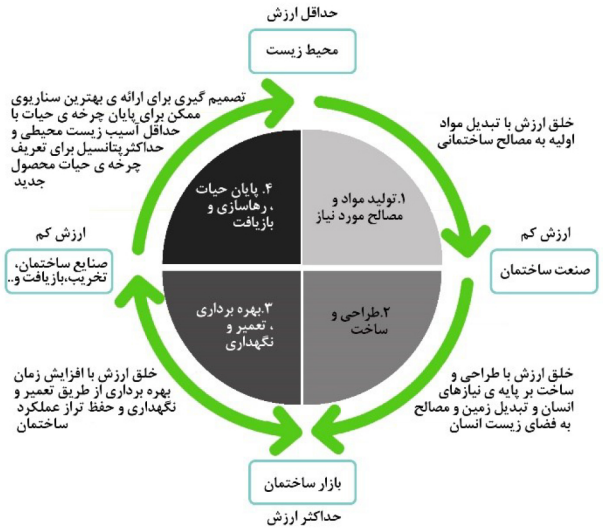
این پژوهش بر آن است، با مرور دستاوردها و مطالعات انجام-شده در حوزه‌ی به‌کارگیری اینترنت اشیاء در ساختمان‌ها و در راستای نیل به هدف خودکارسازی و مدیریت هوشمند و جامع ساختمان، جایگاه کنونی این تکنولوژی را در مراحل مختلف حیات ساختمان ارزیابی کند و از این طریق، فرصت‌های توسعه‌ی این زیرساخت در صنعت ساختمان را شناسایی نماید.

۳- پیشینه‌ی پژوهش

تحقیقات گسترده‌ای در حوزه‌ی مدل چرخه‌ی حیات و ارائه‌ی تعریف دقیق و کارآمد این رویکرد در حوزه‌ی کلی مدیریت انجام شده و بخشی از این مطالعات به‌طور خاص بر ساختمان‌ها متمرکز بوده است. علاوه بر این، بخش وسیعی از مطالعات مرتبط به اینترنت اشیاء بر مدیریت انرژی، زنجیره‌ی تأمین، طراحی پایدار و ساختمان هوشمند معطوف بوده است. با مرور هر دو گروه از این مطالعات درنهایت می‌توان تأثیر به‌کارگیری اینترنت اشیاء در چرخه‌ی حیات ساختمان را تبیین نمود.

۳-۱- چرخه‌ی حیات

چرخه‌ی حیات (WLC)، یکی از مدل‌های رایج کنونی برای ارزیابی میزان ارزش‌آفرینی یک محصول از زمان استخراج مواد اولیه‌ی آن از طبیعت، تا پایان حیات محصول و بازگرداندن و رهاسازی آن در محیط‌زیست است. اساس تحلیل این مدل، مقایسه‌ی میزان ارزش خلق‌شده در طول عمر یک محصول و میزان هزینه‌ی موردنیاز در این مدت است؛ دراین‌بین، این نکته حائز اهمیت است که جدا از ارزش‌ها و هزینه‌کرد محسوس اقتصادی و مالی، مدل چرخه‌ی حیات در پی شناسایی ارزش‌های نهان یک محصول، مانند دوام‌آوری، ایمنی، حفظ تراز عملکرد، اعتمادسازی، بازیافت‌پذیری و مانند آن‌ها و همین‌طور ایجاد نگاهی جامع بر هزینه‌های نهفته‌ی هر محصول مانند انرژی نهان، آثار زیست‌محیطی، تولید دی‌اکسیدکربن، میزان تأثیر بر مصرف-کنندگان و بازار جهانی و... است. در فرآیندهای مختلف مدیریتی، بسته به ماهیت پروژه، مراحل مختلفی در مدل چرخه‌ی حیات تعریف می‌شود که یکی از ساده‌ترین و پرمصرف‌ترین آن‌ها در حوزه‌ی ساختمان، سیستم چهارفازی است. این مدل، ارائه‌کننده‌ی فرآیندی دوار متشکل از چهار مرحله‌ی استخراج و تولید مصالح، طراحی و ساخت، بهره‌برداری و پایان حیات (تخریب، برچیدن و بازیافت) است [۱۸] که در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: شمای کلی چرخه‌ی چهارفازی حیات ساختمان، نگارنده

در پایان هر مرحله، میزان ارزش محصول برآورد شده و در پایان مرحله‌ی سوم و بهره‌برداری در مورد ادامه‌ی حیات محصول و سناریوهای مختلف خلق ارزش و تعریف چرخه‌ی جدید تصمیم-گیری می‌شود. از منظر تئوری چرخه‌ی حیات، برای تولید حداکثر ارزش، لازم است مرحله‌ی بهره‌برداری از محصول حتی‌الامکان توسعه یافته و زمان و هزینه‌ی موردنیاز سایر مراحل کاهش یابد.

ساتوری و هستنس [12]، در پژوهشی موردی به مقایسه‌ی کل نیاز انرژی محاسبه‌شده بر اساس مدل چرخه‌ی حیات، در ۶۰ نمونه از ساختمان‌های معمولی و ساختمان‌های سبز در اقلیم‌های مختلف پرداختند. درنهایت، ساختمان‌هایی که با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی در دوره‌ی بهره‌برداری ساخته شده بودند (مانند ساختمان‌هایی که با سیستم‌های غیرفعال انرژی تولید می‌کنند و ساختمان‌های خورشیدی)، کمترین میزان نیاز انرژی در چرخه‌ی حیات و بیشترین ارزش‌آفرینی را در مقایسه با ساختمان‌هایی که با مصالح سبز ساخته‌شده‌اند و ساختمان‌های معمولی داشته‌اند.

اسدیان و همکاران [2]، با تکیه بر مدل چرخه‌ی حیات، به فاکتورهای مؤثر تصمیم‌گیری چندمعیاره بر ارزیابی ساختمان‌های هوشمند پرداختند. آن‌ها با اشاره به این نکته که ۳۶ درصد کل مصرف انرژی در ایران مربوط به بخش ساختمان است، توسعه‌ی طراحی پایدار در قالب ساختمان هوشمند را گامی مهم در راستای پاسخ‌گویی به نیازهای چندجانبه‌ی کاربران، افزایش طول عمر ساختمان و بهبود کیفیت استانداردهای محیط‌زیستی بنا در مرحله-ی طراحی و ساخت، بهره‌برداری و خاتمه‌ی حیات می‌دانند. درنهایت، بر اساس نتایج مطالعات میدانی در هر مرحله، برای تعریف و طبقه‌بندی داده‌های ورودی به سیستم‌های کنترل هوشمند، شاخص‌ها در سه لایه‌ی، اصلی، ثانویه و جزئی تقسیم می‌شوند؛ براین اساس، شاخص‌های اصلی شامل موارد هشت‌گانه‌ی زیر است:

الف) محیط‌زیست و انرژی
ب) الگوی بهره‌برداری و انعطاف‌پذیری فضا
پ) صرفه‌جویی در هزینه‌ها
ت) آسایش
ث) بازده بالای سیستم‌ها
ج) ایمنی و امنیت
چ) فرهنگ
ح) فناوری

بنابراین، ساختمان هوشمند، به‌شرط تعریف پروتکل مناسب، می-تواند با برقراری تعادل و تعیین دقیق اولویت بین الزامات هر یک از شاخصه‌های بالا، فرآیند تصمیم‌گیری در هر فاز از چرخه‌ی حیات ساختمان را تسهیل نماید.

ساده‌ترین و قابل‌اتکاترین روش ارزیابی چرخه‌ی حیات، چارچوبی متشکل از چهار مرحله است: تعریف هدف، تحلیل

نوآوری، ارزیابی اثر و تفسیر. مطالعه‌ی چرخه‌ی حیات از این حیث حائز اهمیت است که رویکردی جامع در بازرسی تأثیرات و مشکلات هر پروژه از منظر تعامل با محیط‌زیست ارائه می‌کند. مهم‌ترین دستاورد چنین مطالعاتی، محاسبه‌ی زمان بازگشت انرژی و شناسایی و سنجش عوامل اصلی مصرف انرژی و معضلات زیست‌محیطی در طول حیات یک پروژه است [14].

کرکهام [7]، نیاز به بازنگری در فرآیند تحلیل و تصمیم‌گیری بر اساس چرخه‌ی حیات، با توجه به ناکارآمدی روش‌های جمع-آوری اطلاعات و جزییات تصمیمات و نبود رویه‌ای ثابت و پایدار در نتایج اعمال این مدل در فرآیند ساخت و بهره‌برداری، را ضروری می‌داند. او اشاره می‌کند که روش‌های مدون و روشنی برای جمع‌آوری برخط داده‌ها جهت استفاده در فرآیند تصمیم-گیری وجود ندارد و این نکته، چالش بزرگی برای شروع مجدد منطقی و بهینه‌ی چرخه در پایان مرحله‌ی آخر ایجاد می‌کند. بنابراین، لازم است یک نرم‌افزار به‌صورت دائمی و هم‌زمان، با تغییرات و تصمیم‌گیری‌ها در مدل چرخه‌ی حیات به‌روزرسانی و ذخیره‌سازی شود تا در پایان هر مرحله، تصویر روشنی ازنظر دقت، کیفیت، کمیت و زمان‌بندی داده‌ها برای ارزیابی کلی میزان بهینه-سازی و بهره‌وری در چرخه‌ی حیات به دست آید و راه را برای بازتولید چرخه فراهم نماید.

۳-۲- اینترنت اشیاء در ساختمان

در حوزه‌ی مرحله‌ی اول چرخه‌ی حیات و زنجیره‌ی تأمین مواد و مصالح موردنیاز برای ساختمان از سایر صنایع، می‌توان به پژوهش عبدالباسط و همکاران [1] اشاره نمود. عبدالباسط و همکاران در پژوهشی، به تأثیر اینترنت اشیا در زنجیره‌ی تأمین کالا و خدمات پرداختند. آن‌ها با اشاره به این نکته که زنجیره‌ی تأمین کنونی، درگیر چالش‌هایی ازجمله عدم قطعیت، پیچیدگی و عدم توازن است، راه‌حل غلبه بر این معضلات را، ایمن و هوشمندسازی مدیریت زنجیره‌ی تأمین با بهره‌گیری از اینترنت اشیاء دانستند. پژوهشگران با فراهم کردن یک وب‌سایت آزمایشی برای فراهم‌کنندگان خدمات و کالا و مدیران، به ره‌گیری برخط محصولات در هر مرحله‌ی زنجیره‌ی تولید با استفاده از سامانه‌ی بازشناسی با فرکانس رادیویی (RFID) پرداختند. با نصب تگ بر روی محصولات و اسکن این تگ در هر مرحله، اطلاعات جمع-آوری‌شده در یک دیتابیس ذخیره می‌شد. در این سیستم، تولیدکنندگان کلیه‌ی اطلاعات محصول را در اختیار مدیران قرار می‌دادند و به‌این‌ترتیب، با تکیه بر اطلاعاتی با دقت و شفافیت بالا از کل چرخه‌ی حیات یک محصول، قابلیت مدیریت بهینه‌ی این چرخه افزایش می‌یافت. برای ارزیابی معیارهای امنیت این سیستم مدیریت، با تکیه بر تصمیم‌گیری چندمعیاره و تلفیق دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و دیمتل (DEMATEL)، چارچوبی طراحی شده است. درواقع، تکنیک دیمتل برای شناسایی الگوی علی مابین معیارها و روش تحلیل سلسله مراتبی، جهت وزن‌دهی به هر معیار به‌کار گرفته‌شده‌اند. درنهایت، این چارچوب توسط پژوهشگران و بهره‌برداران مورداستفاده قرارگرفته و با توجه به قابلیت این چارچوب ارزیابی در مدیریت اطلاعات، به بسیاری از نیازهای زنجیره‌ی متداول تأمین در لایه‌ی مدیریت پاسخ‌داده‌شده است.

همچنین، ماناوالا و جایاکریشنا [8]، به‌مرور ابعاد مختلف استفاده از اینترنت اشیاء در زنجیره‌ی تأمین پایدار (SSC) پرداخته‌اند. آن‌ها اشاره می‌کنند که با توجه به سرعت بالای تغییرات در عصر حاضر، پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مصرف-کنندگان در چهارمین انقلاب صنعتی، نیازمند خودکارسازی کلیه-ی اجزای زنجیره‌ی تأمین خدمات و محصولات است؛ بنابراین، از منظر پنج عامل مهم در این فرآیند، شامل کسب‌وکار، فناوری، توسعه‌ی پایدار، مشارکت و مدیریت، چارچوبی طراحی شده است که به ارزیابی آمادگی اجزای مختلف زنجیره‌ی تأمین در پاسخ-گویی به الزامات خودکارسازی می‌پردازد. در این پژوهش، چرخه‌ی تأمین محصولات بر پایه‌ی کارخانه‌ها، حمل‌ونقل و لجستیک، شهرها، ساختمان‌های اداری، مسکونی و خدماتی و نیروی انسانی تعریف شده است و جهت نمایش عدم توازن در اهتمام به خودکارسازی هر بخش، تعداد مقالات منتشرشده‌ی مربوط به هر قسمت مورد مقایسه قرارگرفته است. از این بین، بیشترین پتانسیل مطالعاتی به ترتیب به بخش‌های نیروی انسانی و الگوهای رفتاری، صنعت و کارخانه‌ها و ساختمان‌های مسکونی اختصاص یافته است.

در حوزه‌ی طراحی و ساخت هوشمند و پایدار، مورنو و همکاران [9]، با معرفی ساختمان هوشمند کاربرمحور به‌عنوان یکی از پایه‌های شهرهای پایدار از منظر مصرف انرژی، به بررسی ساختمان در گستره‌ی وسیع‌تر شهر پرداخته‌اند. با توجه به اینکه کارکرد اصلی شهرها تأمین امکان سکونت است و همچنین، اکثریت شهروندان بیشتر اوقات روز را در فضای بسته‌ی ساختمان-ها، با کاربری‌های متنوع می‌گذرانند، می‌توان نتیجه گرفت که ساختمان‌ها، نقش مهمی در مصرف انرژی و تولید کربن‌دی‌اکسید در شهرها ایفا می‌کنند؛ بنابراین، پژوهشگران با ارائه‌ی یک سیستم مدیریت انرژی تلفیق‌شده با پلتفرم‌های خودکارسازی ساختمان بر

پایه‌ی اینترنت اشیاء، به بررسی نقش ساختمان‌ها در عملکرد انرژی در مقیاس شهر پرداخته‌اند. کاربران ساختمان و رفتار آن‌ها در تعامل با ساختمان و سیستم‌های آن، مسئله‌ای کلیدی در دستیابی به عملکرد بهینه‌ی انرژی ساختمان است و بر همین اساس، طراحی کاربرمحور، که بر اساس مدل واقعی رفتار افراد در فضا و نه صرفاً برنامه‌های زمانی ثابت تعریف می‌شود، به‌طور مستقیم بر پایداری شهرهای هوشمند تأثیر می‌گذارد. این پژوهش با معرفی این رویکرد و ارزیابی پلتفرم مرتبط با آن در یک ساختمان هوشمند واقعی برای ارزیابی جنبه‌های مختلف مدیریت هوشمند ساختمان، در فاز اول موفق به کاهش مصرف انرژی موردنیاز گرمایش تا ۲۰درصد که معادل ۸ درصد از کل مصرف انرژی ساختمان در یک شهر معیار اروپایی است، شده است.

بوتاچیولی و همکاران [4]، در پژوهشی به تلفیق سیستم رایج مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) با تجهیزات اینترنت اشیاء پرداختند تا از این طریق، دقت مدل‌سازی و مانیتورینگ انرژی ساختمان‌ها را ارزیابی کنند. در این پژوهش، با توسعه‌ی یک نرم‌افزار به پیش‌بینی میزان مصرف در مرحله‌ی طراحی و رصد برخط مصرف در حین بهره‌برداری از ساختمان پرداخته شده است. در این مدل با تلفیق داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اینترنت اشیاء، مدل اطلاعات ساختمان و اطلاعات هواشناسی، دامنه‌ی وسیعی از داده‌ها فراهم آمده است. دستاورد تلفیق این داده‌ها، در گام اول به تصویرکشیدن برخط و لحظه‌ای اطلاعات مرتبط به مصرف انرژی ساختمان و در گام دوم ایجاد امکان ارزیابی عملکرد ساختمان از طریق شبیه‌سازی انرژی بر اساس اطلاعات واقعی آب‌وهوایی، وضعیت حرارتی بنا، رخدادهای فضای داخلی و بستر ساختمان و به‌طور خاص رفتار کاربران است. نهایتاً، پژوهشگران این سیستم را در ساختمان یک مدرسه به‌عنوان نمونه‌ی موردی پیاده‌سازی کرده‌اند. در این مطالعه، با نصب مجموعاً ۱۵ سنسور در داخل فضا و یک سنسور خارجی برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی به اعتبار سنجی داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار توسعه‌داده‌شده و مقایسه‌ی نتایج مدیریت ساختمان در بهینه‌سازی عملکرد بنا بر اساس این داده‌ها و داده‌های ازپیش‌تعیین‌شده‌ی رایج، پرداخته شده و مشخص گردیده، استفاده از این سیستم به‌صورت میانگین تا ۱۸ درصد نسبت به روش متداول شبیه‌سازی صرف در نرم‌افزارهای BIM به عملکرد واقعی ساختمان، از منظر مصرف انرژی نزدیک‌تر است.

در مورد فرصت‌های فراهم‌شده با استفاده از اینترنت اشیاء در مرحله‌ی سوم و بهره‌برداری، انصاری و همکاران [۱۷]، به شناسایی نحوه‌ی بهره‌برداری از اینترنت اشیاء در خانه‌های هوشمند در ایران، با استفاده از روش فراترکیب پرداختند. آن‌ها با تکیه بر روند افزایش میانگین سنی جمعیت، نیاز به استفاده از اینترنت اشیاء به‌عنوان زیرساخت هوشمندسازی و به‌تبع آن کاهش مصرف انرژی بخش مسکن و سلامت را لازمه‌ی توسعه‌ی پایدار در سال‌های پیش رو ارزیابی کرده و به‌طور ویژه به بررسی عملکرد این سیستم، در بخش خانگی پرداخته‌اند. آن‌ها با تجزیه‌وتحلیل ۸۵ پژوهش، به استخراج ۱۲۲ فاکتور مرتبط با کارکرد اینترنت اشیا در ساختمان رسیده‌اند که این فاکتورها قابل دسته‌بندی در هفت گروه "مدیریت مصرف برق"، "مدیریت مصرف سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه‌ی مطبوع"، "کنترل مصرف آب"، "تقویت امنیت در ساختمان و همسایگی آن"، "نظارت بر سلامت"، "خودکارسازی لوازم‌خانگی" و "مدیریت بحران" هستند.

رامشوار و همکاران [11]، به ارزیابی ساختمان‌های سبز هوشمند بر پایه‌ی اینترنت اشیاء به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای مشکلات زیست‌محیطی حوزه‌ی شهر و ساختمان پرداخته‌اند. بر این اساس، استفاده از اینترنت اشیاء رویکرد اصلی افزایش بازدهی و قابلیت پیش‌بینی و تحلیل فرآیندهای کنترلی و مانیتورینگ برای تعمیر، نگهداری، افزایش طول عمر و جایگزین کردن کلیه‌ی تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و الکترونیکی به‌منظور کاهش هزینه‌های ساختمان و مصرف انرژی است. همچنین، با تکیه بر استفاده از شبکه‌ی حسگرها در طول زمان، قابلیت شناسایی فضاهای پراستفاده و بلااستفاده در داخل ساختمان وجود دارد و بنابراین، امکان پیاده‌سازی تغییرات پیشنهادی محدود با کارایی بالا توسط فرآیند یادگیری ماشینی و در جهت بهبود سازمان فضایی بنا فراهم می‌گردد.

در حوزه‌ی مدیریت ساختمان سبز، توشار و همکاران [15]، با تکیه بر این موضوع که سیستم‌های مدیریت ساختمان (BMS) کنونی، هزینه‌های بسیار زیاد و قابلیت تطبیق‌پذیری پایینی در ساختمان‌هایی با مقیاس کوچک و متوسط دارند، پیشنهاد می‌کنند اینترنت اشیا که قابلیت جمع‌آوری، کنترل و ذخیره داده‌های زیاد در زمینه‌های متنوع ساختمان را داراست، با استفاده از تکنیک‌های مختلف پردازش سیگنال و یادگیری ماشینی در جایگاه تغذیه‌کننده‌ی پردازنده‌ی اصلی سیستم مدیریت ساختمان قرار گیرد تا با هوشمند سازی لایه‌ی مدیریت، امکان کنترل برخط سیستم‌های ساختمان، الگوی اشغال و رفتار کاربران در فضا و مصرف انرژی با بهینه‌ترین رویکرد ممکن و بدون دخالت عامل انسانی فراهم گردد.

در این پژوهش، استفاده از حسگرها برای کنترل نوفه، نور، حرکت، دما و رطوبت و دوربین‌های سرشمار، کلید پویاسازی مدیریت ساختمان در پاسخ‌گویی به شرایط واقعی معرفی شده است. این پژوهش، با تمرکز بر پنج گروه از اطلاعات موردنیاز برای مدیریت بهینه‌ی ساختمان، راهکارهای پردازش سیگنال برای هریک را موردبررسی قرار می‌دهد:

الف) روشنایی

ب) سرمایش، گرمایش و تهویه‌ی مطبوع

پ) بارهای انعطاف‌پذیر

ت) ارزیابی و سنجش رفتار و تراکم افراد

ث) عیب‌یابی و پیش‌بینی

گیوات و همکاران [5]، به بررسی اثر استفاده از شبکه‌ی حسگرهای بی‌سیم بر تأمین آسایش، رفاه و سلامت در خانه‌های هوشمند پرداختند. این حسگرها، در پراکندگی مشخصی وابسته به پلان و مبلمان فضا، مسئول جمع‌آوری داده‌های برخط مرتبط به استفاده از اشیاء و حرکت در فضای داخل خانه‌ها بوده‌اند تا سلامت و آسایش افراد حاضر در فضای خانه را ارزیابی کنند. برای نیل به این هدف، با فراهم کردن زیرساخت اینترنت اشیا در چند نمونه‌ی موردی، نسبت به نظارت بر فعالیت و سلامت افراد ساکن منازل اقدام شده است تا عملکرد این سیستم‌ها و میزان دقت و قابلیت اتکا بر داده‌های آن‌ها موردبررسی قرار گیرد.

هورتادو و همکاران [6]، به بررسی برهم‌کنش شبکه‌ی توزیع نیروی هوشمند و ساختمان هوشمند از طریق روش بهینه‌سازی عامل بنیان ازدحام ذرات، پرداخته‌اند. آن‌ها بر این تئوری که در آینده، شبکه‌ی انتقال نیرو از حالت عمودی و طولی خارج شده و رابطه‌ای عرضی و افقی با مصرف‌کنندگان نهایی، به‌عنوان ایفاکنندگان نقش اصلی در عملکرد بهینه‌ی شبکه، خواهند داشت، تکیه می‌کنند و به همین سبب وجود سیستم پیشرفته مدیریت انرژی (BEMS) در ساختمان‌ها را، گام اول برای فراهم‌کردن امکان ایجاد تعاملی پیچیده بین دو ساختار ساختمان و شبکه‌ی هوشمند (SG) می‌دانند. برای بهینه‌سازی این برهم‌کنش، پژوهشگران با چارچوبی بر پایه‌ی رویکرد عامل بنیان پیشنهاد کرده‌اند که بر اساس روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، به حداکثر میزان تأمین آسایش مصرف‌کنندگان در عین حفظ کارایی انرژی منتهی می‌شود. درنتیجه، ساختمان در عین حفظ عملکرد و پاسخ‌گویی به نیاز کاربران، می‌تواند در الگوی مصرف خود بر اساس کنترل ولتاژ شبکه، تغییرات دینامیکی ایجاد نماید.

وانگ و همکاران [16]، به ارزیابی توسعه‌ی سیستم‌های کنترل چندعامله در تلفیق با اطلاعات مدل آسایش در ساختمان‌های هوشمند پرداختند. آن‌ها با تعریف ساختمان هوشمند سبز از منظر کنترل سیستم، به‌عنوان سامانه‌ای پویا در مقیاس بزرگ با پیچیدگی زیاد و حجم بالای اطلاعات، مهم‌ترین چالش در مقابل این ساختمان‌ها را، ایجاد ترکیب مناسبی از اطلاعات موجود و رویکردهای کلی کنترل مؤثر سیستم‌های ساختمان دانسته و بر پایه‌ی تلفیق اطلاعات و میانگین‌یابی وزنی داده‌ها، مدلی را برای مدیریت مصرف انرژی در فضای داخلی و تأمین آسایش در ساختمان، پیشنهاد داده‌اند. برای ارزیابی موفقیت این سیستم کنترل چندعامله، با بررسی نمونه‌های موردی و انجام شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف، تلاش شده است ضمن حفظ یا ارتقای شاخصه‌های آسایش محیطی، مصرف انرژی کاهش یابد و در بهترین سناریو این مدل توانسته است تا ۱۰ درصد مصرف انرژی را کاهش دهد.

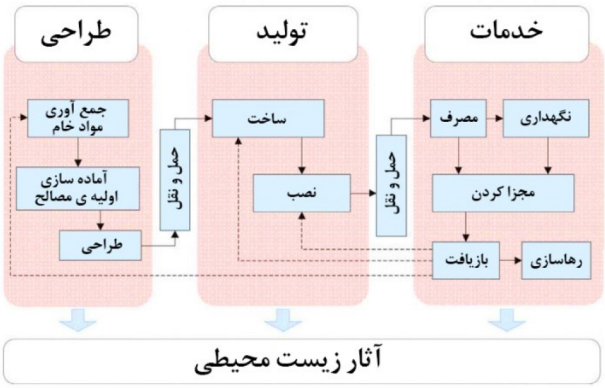
آوچی و همکاران [3]، با ارائه‌ی یک مدل پیش‌بین کنترل برای بارهای سرمایش، گرمایش و تهویه‌ی مطبوع، به دنبال ارائه‌ی استراتژی مناسبی برای کاهش هم‌زمان هزینه‌ها و مصرف انرژی، در عین تنظیم شرایط دمایی داخل بر اساس تمایل و نیاز کاربران بنا بوده‌اند. در همین راستا، برای دستیابی به عملکرد برخط و لحظه‌ای مصرف انرژی و نمایش پارامترهای مرتبط به هزینه‌کرد حامل‌های انرژی، از بستر اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. آن‌ها با توسعه‌ی یک الگوریتم که به دمای تنظیم سیستم‌های گرمایش و سرمایش، دامنه‌ای از هزینه‌کرد بر اساس شاخص‌های عدم آسایش کاربران را اختصاص می‌دهد و همچنین طراحی مدل پیش‌بین پارامتریک برای تعیین رابطه دمای داخلی و بار تأسیسات مکانیکی، توانستند ۸ درصد در هزینه‌کرد نهایی و ۱۲ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند.

نارنداران و همکاران [10]، در پژوهش خود به بررسی سیستم‌های مدیریت پایدار مصرف آب بر پایه‌ی اینترنت اشیاء در یک منطقه‌ی روستایی در هند پرداختند. با توجه به توزیع ناهمگون منابع آب، این سیستم به خودکارسازی فرآیند تقسیم عادلانه‌ی آب، ارزیابی وضعیت منابع آب، کنترل هدررفت آب و پیاده‌سازی مقررات مرتبط با این مسئله اختصاص یافته است. برای این سیستم، ساختاری سلسله مراتبی متشکل از چهار لایه تعریف شده است؛ لایه‌ی اول مرتبط به "اشیاء" شامل سنسورهای فشار، جریان‌سنج‌ها، ولوهای الکترونیکی و رله‌هاست. لایه‌ی دوم شامل اجزای شبکه، دروازه، ارتباطات محلی و خودکارسازی پروسه است. لایه‌ی سوم به‌عنوان لایه‌ی میان‌افزارها، مرتبط به مدیریت و

تحلیل داده‌ها و خدمات مرتبط به تصمیم‌سازی بر پایه‌ی شرایط بستر است و لایه‌ی چهارم، مختص داشبورد سیستم برای رصد در لحظه‌ی مصرف و ابزارهای اعلام شرایط هشدار در مورد میزان و کیفیت آب ذخایر است. با استفاده از این سیستم، پژوهشگران توانسته‌اند ضمن توسعه و بهبود کیفیت شبکه‌ی آب‌رسانی در منطقه‌ی موردمطالعه و افزایش بهره‌وری، میزان مصرف آب را حدود ۱۰ درصد کاهش دهند.

۴- ارزیابی نقش اینترنت اشیاء در چرخه‌ی حیات – ساختمان

تائو و همکاران [13]، در پژوهشی به بررسی استفاده از امکانات اینترنت اشیاء در مدیریت انرژی چرخه‌ی حیات محصول (PLEM) پرداخته‌اند. پژوهشگران با اشاره به این موضوع که اینترنت اشیاء علی‌رغم ارائه‌ی امکانات گسترده و موفقیت در حوزه‌های مختلف، هنوز در ابتدای مسیر قرار دارد و به شناسایی فرصت‌ها، چالش‌ها، مشکلات و عوارض ناشی از استفاده از آن، بالأخص از منظر مدیریت مصرف انرژی، انرژی نهان و چرخه‌ی حیات توجه کم‌تری شده است. بنابراین، آن‌ها مطابق شکل ۲ ، با ترجمه‌ی مدل شش-مرحله‌ای شامل مراحل طراحی، ساخت، حمل‌ونقل، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و خاتمه‌ی حیات، رهاسازی و بازیافت به یک مدل سه مرحله‌ای شامل طراحی، ساخت و خدمات، به بررسی شاخص‌های فوق‌الذکر در مورداستفاده از اینترنت اشیاء پرداخته-اند.



شکل ۲: شمای کلی چرخه‌ی سه‌مرحله‌ای حیات محصول در مطالعه‌ی تائو و همکاران در مورد نقش اینترنت اشیاء در مدیریت این چرخه، [13]

برای این بررسی، در ابتدا ویژگی‌های مهم در مدل چرخه‌ی حیات یک محصول بر پایه‌ی استفاده از اینترنت اشیاء استخراج شده است؛ این ویژگی‌ها شامل موارد زیر است:

الف) قابلیت دسترسی آزاد و انعطاف‌پذیری

ب) پیچیدگی، فراهم کردن زمینه‌ی فناورانه برای ترکیبی کارآمد از کنترل، محاسبات ابری و ارتباطات (3c)

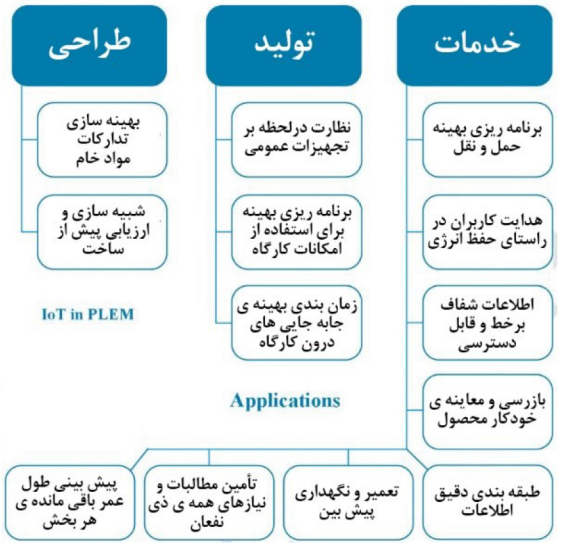
پ) اکوسیستم مرکب برای ایجاد برهم‌کنش پایدار جامعه، اقتصاد و محیط‌زیست

ت) قابلیت تعامل و همکاری سیستمی در تبادل داده‌ها

ث) قابلیت تغییر مقیاس و توسعه‌پذیری

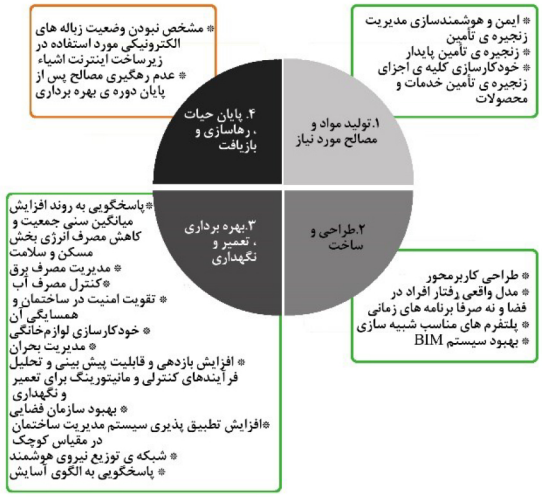
ج) پویایی

پژوهشگران، برای بررسی سهم مصرف انرژی هریک از این سه مرحله و فرصت‌های موجود برای کاهش مصرف در آن‌ها، در صورت استفاده از اینترنت اشیاء، چرخه‌ی حیات یک گوشی تلفن همراه را موردبررسی قراردادند. بر این اساس، سهم اولیه‌ی مصرف مرحله-ی طراحی ۷٫۸ درصد، تولید ۵۹٫۶ درصد و سرویس ۳۲٫۵ درصد ارزیابی شد و وزن هر مرحله در تخمین میزان صرفه‌جویی نهایی با استفاده از اینترنت اشیاء تعیین گردید. در شکل ۳ موارد استفاده از این زیرساخت در هر مرحله‌ی چرخه‌ی حیات نمایش داده شده است.



شکل ۳: کاربردهای اینترنت اشیاء در چرخه‌ی حیات محصول سه مرحله‌ای، [13]

به‌کاربردن این روش در حوزه‌ی ساختمان، با توجه به دامنه‌ی وسیع خدمات موردنیاز و نبود خط تولید مشخص در فرآیند ساخت بنا، تعیین وزن هر مرحله در ارزیابی نهایی چرخه‌ی حیات را، دشوار می‌سازد؛ بااین‌وجود، مطابق شکل ۴، می‌توان جایگاه هریک از اقدامات صورت‌پذیرفته در بستر اینترنت اشیاء را در چرخه‌ی حیات ساختمان مشخص نمود و بخش‌هایی که نیازمند مطالعات بیشتر هستند را نمایش داد.



شکل ۴: جایگاه اقدامات موردمطالعه در چرخه‌ی حیات چهارفازی، نگارنده

۵- نتیجه‌گیری

اینترنت اشیاء با فراهم آوردن فرصت‌هایی برای کاهش هزینه، زمان و انرژی و خلق ارزش در مراحل تولید مواد و مصالح، طراحی و ساخت و بهره‌برداری، توانسته است عملکرد قابل‌قبولی در دستیابی به مفهوم پایداری ایفا نماید؛ اما، توجه به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که اینترنت اشیا به‌عنوان یک رویکرد نوپا در هوشمندسازی ساختمان‌ها، تاکنون نسبت به سایر مراحل، توجه کمتری به مرحله‌ی نهایی چرخه‌ی حیات یعنی خاتمه‌ی حیات ساختمان، به‌عنوان یک محصول، و سناریوهای مرتبط با آن ازجمله بازیافت مصالح، نوسازی، احیا، تغییر کاربری ابنیه و... داشته است. مسئله‌ی دیگر، در مورد توجه به پایان حیات و سناریوهای مرتبط با رهاسازی تجهیزات موردنیاز برای تکنولوژی اینترنت اشیاء است. این تجهیزات و محصولات، به‌نوبه‌ی خود نیازمند بررسی در یک مدل چرخه‌ی حیات هستند تا میزان بهره-وری و نسبت ارزش‌آفرینی به هزینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد؛ زیرا با توسعه‌ی این تکنولوژی در سطح ساختمان‌ها در آینده‌ی نزدیک، حجم زیادی از زباله‌های الکترونیکی نیازمند ساماندهی و مدیریت خواهند بود و بخشی از آن‌ها ممکن است ناگزیر در طبیعت رهاسازی شده و عوارض زیست‌محیطی به دنبال داشته باشند؛ بنابراین، لازم است در ارزیابی میزان موفقیت اینترنت اشیاء در حوزه‌ی ساختمان هوشمند و پایدار، الزامات مرتبط به استفاده‌ی مجدد، بازیافت و سایر سناریوهای موجود برای به حداقل رساندن آثار سوء این تجهیزات در نظر گرفته شود.

مراجع

[1] M. Abdel-Basset, G. Manogaran, and M. Mohamed, “Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems,” *Future Generation Computer. Systems*, vol. 86, pp. 614–628, 2018, doi: 10.1016/j.future.2018.04.051.

[2] E. Asadian, K. T. Azari, and A. V. Ardebili, *INTELLIGENT BUILDINGS d A*. Elsevier, 2018.

[3] M. Avci, M. Erkoc, A. Rahmani, and S. Asfour, “Model predictive HVAC load control in buildings using real-time electricity pricing,” *Energy Build.*, vol. 60, pp. 199–209, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.01.008.

[4] L. Bottaccioli *et al.*, “Building Energy Modelling and Monitoring by Integration of IoT Devices and Building Information Models,” *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.*, vol. 1, pp. 914–922, 2017, doi: 10.1109/COMPSAC.2017.75.

[5] H. Ghayvat, S. Mukhopadhyay, X. Gui, and N. Suryadevara, “WSN- and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, pp. 10350–10379, 2015, doi: 10.3390/s150510350.

[6] L. A. Hurtado, P. H. Nguyen, and W. L. Kling, “Smart grid and smart building inter-operation using agent-based particle swarm optimization,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 2, no. xxxx, pp. 32–40, 2015, doi: 10.1016/j.segan.2015.03.003.

[7] R. J. Kirkham, “Re-engineering the whole life cycle costing process,” *Constr. Manag. Econ.*, vol. 23, no. 1, pp. 9–14, 2005, doi: 10.1080/01446190410001678765.

[8] E. Manavalan and K. Jayakrishna, “A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 127, pp. 925–953, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2018.11.030.

[9] M. V Moreno, M. A Zamora, & A. F. Skarmeta, “User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities”. Transactions on *Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), 41–55,2013, doi:10.1002/ett.2771.

[10] S. Narendran, P. Pradeep, and M. V. Ramesh, “An Internet of Things (IoT) based sustainable water management,” *GHTC 2017 - IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. Proc.*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/GHTC.2017.8239320.

[11] R. Rameshwar, A. Solanki, A. Nayyar, and B. Mahapatra, “Green and Smart Buildings,” no. January, pp. 146–163, 2019, doi: 10.4018/978-1-5225-9754-4.ch007.

[12] I. Sartori and A. G. Hestnes, “Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article,” vol. 39, pp. 249–257, 2007, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.07.001.

[13] F. Tao, Y. Wang, Y. Zuo, H. Yang, and M. Zhang, “Internet of Things in product life-cycle energy management,” *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 1, pp. 26–39, 2016, doi: 10.1016/j.jii.2016.03.001.

[14] H. A. Toosi, Z. Balador, M. Gjerde, and A. Vakili-Ardebili, “A life Cycle Cost Analysis and Environmental Assessment on the Photovoltaic System in Buildings: Two Case Studies in Iran,” *J. Clean Energy Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 134–138, 2018, doi: 10.18178/jocet.2018.6.2.448.

[15] W. Tushar *et al.*, “IoT for green building management,” *arXiv*, pp. 1–19, 2018.

[16] Z. Wang, L. Wang, A. I. Dounis, and R. Yang, “Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings,” *Appl. Energy*, vol. 99, pp. 247–254, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.020.

[۱۷] انصاری، منوچهر، محمدیان، ایوب و نویسنده، احسان، " شناسایی کاربردهای اینترنت اشیا در خانهٔ هوشمند با استفاده از روش فراترکیب" مدیریت فناوری اطلاعات ، شماره ۴، دوره ۹، ۱۳۹۶، صفحات ۶۵۹-۶۷۸.

[۱۸] قاسمی راد، نگار و قربانی، الناز، " چرخه‌ی حیات در انرژی ساختمان و عوامل موثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی"، سومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی، کوالالامپور، ۱۳۹۵.

[19] https://iot.itrc.ac.ir/node/83

[20] https://www.iea.org/topics/buildings