

## مروری بر سیستم مدیریت انرژی و خودکارسازی ساختمان در ساختمان‌های اداری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵

کد مقاله: ۵۳۸۳۱

ستایش ویرانی\*<sup>۱</sup>، فرهاد احمدنژاد<sup>۲</sup>

### چکیده

سیستم مدیریت انرژی و سیستم اتوماسیون ساختمان از راه‌هایی هستند که در سال‌های اخیر برای صرفه‌جویی در انرژی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این سیستم‌ها با یکپارچه‌سازی چهار عنصر اصلی شامل سیستم‌ها، ساختار، سرویس و مدیریت، محیطی پویا و مقرون به صرفه را ایجاد می‌کنند و علاوه بر کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های ساختمان، به نگهداری و تعمیرات سیستم‌های مختلف موجود در ساختمان هم پرداخته و امنیت و آسایش افراد را افزایش می‌دهد. این مقاله مروری باهدف تحلیل تأثیر مدیریت و اتوماسیون ساختمان بر صرفه‌جویی در انرژی و بررسی تأثیر ورودی‌های کاربر انجام شده است و پتانسیل‌های این دو سیستم را در کشور ما برای ساختمان‌های اداری بررسی می‌کند. در این راستا ۳۰ مقاله مرتبط مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که سیستم‌های مدیریت انرژی و اتوماسیون نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی ساختمان‌ها دارند و باتوجه به نیازمندی‌های کشورمان می‌توان تصمیم گرفت کدام یک از این دو سیستم می‌تواند بیشتر مورد استفاده قرار بگیرد.

واژگان کلیدی: سیستم مدیریت انرژی، سیستم اتوماسیون ساختمان، کاهش مصرف انرژی

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران - [se.veyrani@tabriziau.ac.ir](mailto:se.veyrani@tabriziau.ac.ir)

۲- استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران



## ۱- مقدمه

ساختمان‌ها حدود ۴۰٪ از کل مصرف انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند. (Bakhtiari, Akander, and Cehlin 2020) و ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش ساختمان‌اند. دولت‌ها به دنبال راهی برای کاهش مصرف انرژی توسط ساختمان‌ها هستند. کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نیست، در دهه اخیر بخش‌نامه‌های فراوانی از سوی استانداری‌ها خطاب به تمامی ادارات در خصوص الزام کاهش مصرف انرژی ۱۰ تا ۶۰ درصدی آن‌ها در ساعات اداری و غیراداری ابلاغ شده است. برخی از بخشنامه‌های ابلاغ شده از استانداری‌ها به ادارات عبارتند از:

جدول ۱ - بخش‌نامه‌های ابلاغ شده به ادارات در خصوص کاهش مصرف انرژی

موضوع بخش‌نامه	زمان بخش‌نامه
معاون هماهنگی امور اقتصادی و توسعه منابع استانداری فارس در این ابلاغیه افزوده است: 'شایسته است مصرف برق در تابستان سال جاری در مقایسه با سال قبل، حداقل بیست درصد کاهش یابد'.	۱۳۹۷/۰۴
در ابلاغیه سید محمدتقی شاه‌چراغی استاندار قم خطاب به مدیران ادارات، نهادها، سازمان‌ها، شرکت‌ها و مؤسسات دولتی و عمومی استان آمده است: تصمیم‌نامه ستاد خشکسالی کشور مبنی بر صرفه‌جویی در مصرف آب و برق و دیگر حامل‌های انرژی به میزان حداقل ده درصد می‌باشد.	۱۴۰۰/۰۹
مدیرکل مدیریت انرژی و امور مشتریان شرکت گفت: بر اساس مصوبه دولت، ادارات موظف به کاهش ۳۰ درصدی مصرف انرژی در ساعات اداری و ۶۰ درصد در ساعات غیراداری هستند.	۱۴۰۲/۰۳
به دنبال کاهش دمای هوای کشور و افزایش مصرف گاز، ادارات و دستگاه‌های اجرایی شهر تهران موظف شدند مصرف برق خود را نسبت به آذرماه سال گذشته به میزان ۵۰ درصد کاهش دهند.	۱۴۰۳/۰۹

برای کاهش تأثیر ساختمان‌ها بر محیط‌زیست، سیستم‌های اتوماسیون ساختمان در دهه ۱۹۷۰ معرفی شدند. این سیستم‌ها برای کنترل سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع و سیستم‌های روشنایی طراحی شده‌اند تا ساختمان‌ها را راحت نگه دارند. (Pellegrino et al. 2016) سیستم مدیریت ساختمان<sup>۱</sup> و سیستم اتوماسیون<sup>۲</sup> ساختمان در ساختمان‌ها با استفاده از یکپارچه نمودن چهار عنصر اصلی سیستم‌ها (مانند سیستم‌های روشنایی، تهویه و...)، ساختار (چیدمان و سازماندهی اجزای مختلف مانند سیستم‌های مورد استفاده در ساختمان)، سرویس (خدمات و عملکردهایی که سیستم‌ها ارائه می‌دهند مانند گرمایش، تهویه، روشنایی و امنیت)، مدیریت (فرآیند نظارت و کنترل بر سیستم‌ها و ساختارها) و با برقراری ارتباط میان آنها محیطی پویا و مقرون به صرفه بوجود آورند.

از اهداف این مقاله بررسی صرفه‌جویی در انرژی و تأثیر اتوماسیون باتوجه به ورودی کاربر است. باتوجه به موارد ذکر شده و راسخای پاسخگویی به سؤالاتی از قبیل زیر، مروری بر مقالات مرتبط انجام شد: ۱. استفاده از این سیستم تا چه اندازه در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری تأثیر می‌گذارد؟ ۲. وضعیت فعلی سیستم‌های مدیریت و اتوماسیون ساختمان با توجه به ورودی‌های کاربر و صرفه‌جویی در انرژی چگونه است؟ ۳. ترجیحات کاربران مختلف در استفاده از این سیستم‌ها در ساختمان چیست؟ چگونه می‌توان رضایت کاربران را افزایش داد؟ این مقاله به بررسی این دو سیستم و تمایز و تشابهات آن‌ها و انتخاب گزینه مناسب برای کشورمان می‌پردازد.

## ۲- روش شناسی

این مقاله مروری باهدف تحلیل و بررسی مطالعات مرتبط با مدیریت انرژی و اتوماسیون ساختمان‌های اداری انجام شده است و به‌مرور ۳۰ مقاله می‌پردازد. چند عامل کلی مورد بررسی قرار گرفته است: ۱. مقالات مربوط به BMS و BAS و تعاریف و کاربرد آن‌ها ۲. سیستم‌های معماری و اینکه BMS و BAS به چه میزان در حیطه معماری و هماهنگ‌سازی بخش‌های مختلف کمک می‌کنند. ۳. کاربرد آن‌ها در حوزه سیستم‌های مکانیکی و برقی ۴. مقایسه تطبیقی انجام شده که آیا این دو سیستم در ایران کارایی دارند و کدام یک در شرایط فعلی قابل اجرا می‌باشد؟ و ۵. ترجیحات و آسایش کاربران مختلف در استفاده از این سیستم‌ها.

1 BMS: Building Management System

2 MAS: Building Automation System

### ۳- سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان

سیستم‌های مدیریت انرژی و کنترل آن‌ها نقش مهمی در ساختمان‌ها ایفا می‌کنند و به صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌ها کمک می‌کنند (Chasta et al. 2016). سیستم مدیریت ساختمان برای نظارت، کنترل، و مدیریت عملکردهای مختلف ساختمان طراحی شده و شامل فناوری‌ها و نرم‌افزارهایی است که بر روی سیستم‌های گرمایش، سرمایش، تهویه، تهویه مطبوع، روشنایی، سیستم امنیتی، آسانسورها و مصرف انرژی نظارت می‌کنند.

سیستم اتوماسیون ساختمان از مجموعه‌ای از حسگرها، کنترلرها و الگوریتم‌های خودکار برای کنترل فرایندهای مختلف ساختمان مانند کنترل دما، روشنایی هوشمند و مدیریت تهویه استفاده می‌کند. این سیستم‌ها با کاهش مصرف انرژی، تسهیل عملیات ساختمان، نظارت و نگهداری، و افزایش رضایت ساکنان توجه زیادی جلب کرده‌اند. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش هزینه‌ها و حفظ راحتی ساکنان است (Brambley et al. 2005). به طور خلاصه، می‌توان گفت که BAS یک جزء از BMS محسوب می‌شود که وظیفه اجرای خودکار را بر عهده دارد، در حالی که BMS به مدیریت کلی و هوشمندانه ساختمان می‌پردازد. شکل ۱ ابعاد مختلف عملکرد این سیستم‌ها را در ساختمان نشان می‌دهد.

ساختمان اداری Edge در هلند، به‌عنوان هوشمندترین ساختمان جهان، با استفاده از اینترنت اشیا<sup>۱</sup> و تجسم خودکار عملکرد انرژی، نظارت با سنسورها، و کنترل سیستم‌های گرمایش، سرمایش، روشنایی و نظافت موفق به صرفه‌جویی ۶۰٪ در انرژی طی پنج سال شده است. این ساختمان همچنین به کاربران اجازه می‌دهد محیط‌های خود را با تنظیمات نورپردازی و حرارتی شخصی‌سازی کنند (Jalia, Bakker, and Ramage 2019). شکل ۲ نمایی از این ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - ساختمان The Edge



شکل ۱ - عملکردهای سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان

**اهداف سیستم:** ۱. صرفه‌جویی در انرژی (کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها با تنظیم دقیق سیستم‌های روشنایی، تهویه مطبوع و گرمایش). ۲. افزایش راحتی و ایمنی (بهبود راحتی ساکنان با کنترل خودکار دما، رطوبت و روشنایی). ۳. نگهداری (مانیتور مداوم عملکرد تجهیزات و تشخیص نیاز به تعمیرات قبل از وقوع مشکلات بزرگ). ۴. بهبود کارایی (بهینه‌سازی عملکرد کل ساختمان با اتوماسیون فرایندها و جمع‌آوری داده‌های عملکردی). ۵. کنترل مرکزی (ساده‌تر و مؤثرتر کردن مدیریت با کنترل و مانیتور همه سیستم‌های ساختمان از یک نقطه مرکزی). ۶. افزایش امنیت (افزایش امنیت و ایمنی ساکنان با کنترل ورود و خروج و عبور و مرور افراد در ساختمان). به طور کلی، هدف BMS ایجاد محیطی پایدار، کارآمد و ایمن برای ساکنان و کاربران ساختمان است.

**مزیت‌ها:** ۱. افزایش ایمنی و امنیت (سیستم کنترل تصاویر و دوربین‌های مدار بسته و سیستم‌ها، امکان شبیه‌سازی حضور افراد، سیستم‌های هشداردهنده و ضد سرقت، سیستم‌های کنترل ورودی‌ها، خروجی‌ها، قفل‌ها و تعریف سطح دسترسی برای بخش‌های مختلف ساختمان). ۲. تسهیل مدیریت ساختمان (سیستم یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های فوق و ایجاد ارتباط منطقی بین اجزای سیستم توزیع برق اضطراری، سیستم دریافت اطلاعات میزان مصرف و عملکردهای بخش‌های مختلف ساختمان برای تصمیم‌گیری‌های مناسب). ۳. کنترل از راه دور (وسیله تلفن یا اینترنت). ۴. کنترل سیستم‌های روشنایی. ۵. هشدارهای فنی برای تعمیر سیستم‌ها (احسان و محمدحسین ۲۰۱۵). ۶. کنترل تهویه مطبوع و سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی (فاطمه، آیداد، و علیرضا ۲۰۱۶). ۷. مؤثرترین روش بهینه‌سازی مصرف سوخت انرژی در ساختمان با کوتاه‌ترین زمان بازافت هزینه‌ها به استناد تایید سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور (رسول، محمدرضا، و مجتبی ۲۰۱۸). شکل ۳ مزیت‌ها و کاربردهای سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان را نشان می‌دهد.

1 Internet of thing (IOT)

## ۴- اجزای سیستم BMS



شکل ۳ - مزیت ها و کاربردهای سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان

۱. واحدهای کنترل محلی<sup>۱</sup>: این واحدها در نقاط مختلف ساختمان قرار دارند و مسئولیت کنترل محلی اجزای خاصی از ساختمان مانند سیستم‌های تهویه، نورپردازی، گرمایش و سرمایش را بر عهده دارند.

۲. سنسورها<sup>۲</sup>: سنسورها داده‌های محیطی مانند دما، رطوبت، نور، کیفیت هوا و حضور افراد را اندازه‌گیری می‌کنند و اطلاعات را به کنترل‌کننده‌ها ارسال می‌کنند. می‌توانند شامل سنسورهای حرکتی، سنسورهای حرارتی، سنسورهای نوری و سنسورهای کیفیت هوا باشند. به دلیل تعداد زیاد اجزا در ساختمان‌ها، آگاهی کامل از وضعیت تجهیزات و سیستم‌ها برای کارکنان دشوار است. بدون نظارت خودکار و سنسورهای لازم، عملکرد سیستم‌ها ممکن است کاهش یابد. سنسورهای محیطی معمول شامل دما، رطوبت نسبی، مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن هستند. دما با استفاده از وسایل مکانیکی و الکتریکی که دقت و قابلیت اطمینان مناسبی دارند، اندازه‌گیری می‌شود. (Brambley et al. 2005)

کاربران نقش مهمی در عملکرد انرژی ساختمان‌ها دارند. بهبود راحتی کاربران از طریق چهار پارامتر اصلی: راحتی بصری، صوتی، حرارتی و کیفیت هوا امکان‌پذیر است. این پارامترها برای مفهوم ساختمان هوشمند که از تکنولوژی‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا استفاده می‌کند، بسیار مهم هستند. مفهوم ساختمان هوشمند در حال توسعه است و بسیاری از برنامه‌های هوش مصنوعی به رویکرد کاربر - محور در ساختمان‌های مسکونی و تجاری می‌پردازند. راه‌حل‌های مدرن بر اساس اصول اینترنت اشیا و استفاده از سنسورهای مختلف و برنامه‌های کاربرپسند طراحی شده‌اند. (Čulić et al. 2021) بورحانی و همکاران سیستم موقعیت‌یابی داخلی طراحی کرده‌اند که از عناصر جمع‌آوری اطلاعات داخلی و نقشه رادیویی با موقعیت‌یابی آنلاین، با استفاده از اثر انگشت Wi-Fi جاسازی‌شده در گوشی‌های هوشمند تشکیل شده است. این سیستم شامل بخشی آفلاین برای جمع‌آوری اطلاعات نقشه رادیویی است و نوبز سیگنال‌های دریافتی با فیلتر کالمن تطبیقی تعیین می‌شود. (Afuosi and Zoghi 2020) نوآوری‌های فناوری جدید در مدیریت ساختمان مربوط به بخش انسانی شامل سیستم‌های سایبری - فیزیک (CPS)، حسگرهای رفتاری، فناوری Kinect، اینترنت اشیا، انسان در حلقه و واقعیت مجازی هستند. (Bavaresco et al. 2019) راه‌حل‌های فناوری برای تشخیص راحتی حرارتی در مدل‌های مبتنی بر داده‌ها، از شبکه‌ای از سنسورهای متصل استفاده می‌کنند. این سنسورها شامل سنسورهای دمای هوا، رطوبت نسبی، CO<sub>2</sub>، سطح نور و سرعت باد هستند که به جمع‌آوری داده‌های محیطی می‌پردازند. (Čulić et al. 2021) آگاروال و همکاران از ترکیب حسگرهای مختلف محیطی برای غلبه بر محدودیت‌های حسگرهای حرکتی استفاده کردند. آن‌ها یک سوئیچ مغناطیسی Reed برای تشخیص حضور به همراه یک حسگر مادون قرمز غیر فعال<sup>۲</sup> پیاده‌سازی کردند که حضور را دقیق‌تر گزارش می‌داد. این سیستم باعث صرفه‌جویی انرژی بین ۱۰٪ تا ۱۵٪ شد. (Agarwal et al. 2010)

۳. عملگرها<sup>۳</sup>: عملگرها دستگاه‌هایی هستند که با دستور کنترل‌کننده‌ها فعالیت‌هایی مانند باز و بسته کردن دریچه‌ها، تنظیم دمپرها، روشن و خاموش کردن سیستم‌ها و تنظیم ولتاژ و جریان را انجام می‌دهند.

۴. رابط‌های کاربری<sup>۴</sup>: این اجزا شامل نرم‌افزارها و پنل‌های کنترلی هستند که به کاربران اجازه می‌دهند سیستم را مانیتور و کنترل کنند. رابط‌های کاربری می‌توانند شامل نمایشگرهای لمسی، نرم‌افزارهای دسکتاپ و اپلیکیشن‌های موبایل باشند.

۵. شبکه‌های ارتباطی<sup>۵</sup>: شبکه‌های ارتباطی داده‌ها را بین سنسورها، عملگرها و کنترل‌کننده‌ها منتقل می‌کنند. این شبکه‌ها می‌توانند سیمی (مانند BACnet)، یا بی‌سیم (مانند Zigbee، Wi-Fi) باشند. اجزای شبکه‌ها از دو قسمت رسانه ارتباطی (مانند سیم، فیبر نوری و امواج رادیویی) و پروتکل ارتباطی مانند LonWorks و BacNet تشکیل شده‌اند.

- 1 Local Controllers
- 2 Sensors
- 3 Passive Infra-Red (PIR)
- 4 Actuators
- 5 User Interfaces
- 6 Communication Networks

LonWorks یک شبکه کنترل نقطه به نقطه و همه منظوره است که شامل وسیله‌های هوشمند می‌باشد و از واسط‌های ارتباطی، همچون کابل‌های هم محور و زوج سیم، فیبر، خطوط انتقال برق و فرکانس رادیویی و مادون قرمز پشتیبانی می‌کند. (حسین and فاطمه ۲۰۱۶) BACnet عملکرد سیستم‌های اتوماسیون و کنترل ساختمان را به عنوان مجموعه‌ای از اشیا نشان می‌دهد. هر شیء BACnet یک مجموعه از عناصر داده است که همه آن‌ها به یک عملکرد خاص مرتبط هستند. این اشیا با نقاط داده‌های برنامه کنترل مطابقت دارند (Kastner et al. 2005).



شکل ۴ - لایه های شبکه‌های ارتباطی سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان

#### ۶. نرم‌افزارهای مدیریت<sup>۱</sup>: این نرم‌افزارها تحلیل

داده‌ها، پیش‌بینی‌ها، گزارش‌دهی و بهینه‌سازی عملکرد سیستم را برای بهبود کارایی انرژی و کاهش هزینه‌ها انجام می‌دهند. معماری این سیستم توزیع شده به سه لایه تقسیم می‌شود: لایه میدانی که تعامل با حسگرها و عملگرها را انجام می‌دهد، لایه اتوماسیون که به پردازش اندازه‌گیری‌ها، اجرای حلقه‌های کنترل و فعال‌سازی هشدارها می‌پردازد، و لایه مدیریت که فعالیت‌هایی مانند ارائه داده‌های سیستم، ارسال، روندیابی، ثبت و آرشیو را انجام می‌دهد. (Domingues et al. 2016)

#### ۵- مدیریت انرژی و بهینه‌سازی مصرف

سیستم‌های مدیریت ساختمان گران‌قیمت هستند، با هزینه‌هایی بین ۲٫۵ تا ۷ دلار به ازای هر متر مربع. این امر باعث افزایش تقاضا برای راه‌حل‌های کم‌هزینه شده است. سیستم LoBEMS سیستم مدیریت ساختمان و انرژی که با هزینه تخمینی ۲ دلار به ازای هر متر مربع، هزینه‌ها را بین ۲۸٪ تا ۷۸٪ کاهش می‌دهد. با اینکه BMS نیاز به سرمایه‌گذاری دارد، زمان بازگشت سرمایه به دلیل صرفه‌جویی در نیروی کار کاهش می‌یابد. پلتفرم LoBEMS از اصول یکپارچه‌سازی سیستم با استفاده از اینترنت اشیا و داده‌های ارسال شده توسط دستگاه‌های متعدد پیروی می‌کند. این سیستم به سه لایه فیزیکی، شبکه و برنامه تقسیم می‌شود، که در آن داده‌ها ترکیب، پردازش و نمایش داده می‌شوند. در تصویر ۵، اقدامات صرفه‌جویی در انرژی توضیح داده شده است. (Mataloto, Ferreira, and Cruz 2019)



شکل ۵ - سیستم پلتفرم اینترنت اشیا و کارهای مرتبط توسعه یافته برای صرفه‌جویی

یک مطالعه موردی نشان داد که طی سه سال توانستند ۳۴۰۰ کیلووات ساعت (حدود ۸۵۰ یورو) در یک ساختمان کوچک صرفه‌جویی کنند. با توجه به مساحت ساختمان ۱۳۰ مترمربع، صرفه‌جویی ۲ یورو بر مترمربع در سال محاسبه شد. این راه‌حل وقتی به ساختمان‌های بزرگ‌تر اعمال شود، می‌تواند صرفه‌جویی‌های بیشتری را به همراه داشته باشد. در این سه سال، صرفه‌جویی حدود ۲۰٪ تا ۲۵٪ از کل مصرف انرژی انجام شد و سرمایه‌گذاری‌ها در اولین سال عملیات بازگشت داده شد. (Mataloto, Ferreira, and Cruz 2019)

دست‌کاری سیگنال‌های ورودی ترموستات سنتی برای در نظر گرفتن رطوبت نسبی، سرعت هوا و دمای تابشی، مصرف انرژی سیستم‌های HVAC<sup>۲</sup> را کاهش می‌دهد. بررسی راه‌های کاهش مصرف انرژی سیستم‌های HVAC ضروری است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده که بهبود عملکرد کنترل باعث صرفه‌جویی بیش از ۱۵٪ انرژی در ۲۴ ساعت روزانه می‌شود. (Homod 2018)

در هوشمندسازی ساختمان‌ها از تجهیزات مختلفی با استانداردهای متفاوت استفاده می‌شود که یکی از پرکاربردترین آن‌ها فناوری شناسایی رادیو فرکانسی (RFID) است. RFID یک تکنولوژی بی‌سیم است که در سیستم‌های کنترل دسترسی کاربرد بسیاری دارد. با پیاده‌سازی این سیستم در ساختمان‌ها، افراد برای ورود و خروج موظف به استفاده از کارت شناسایی الکترونیکی شخصی خود هستند. سناریوی ورود یا خروج می‌تواند عملکردهای مختلفی مانند روشن شدن سیستم گرمایشی یا سرمایشی را فعال

کند. این سیستم پیشنهادی باعث کاهش مصرف انرژی به میزان ۱۸ درصد در بازه ۸ ساعته و ۲۹ درصد در بازه یک هفته‌ای شده است. این کاهش مصرف انرژی به دلیل مدیریت و قطع منبع انرژی تجهیزاتی است که استفاده نمی‌شوند. (پور ۲۰۲۰) سیستم‌های اتوماسیون ساختمان سنتی نیاز به کابل‌کشی پیچیده دارند و هزینه‌های نگهداری آن‌ها بالاست. مارکیز و همکاران سیستمی به نام Dupline پیشنهاد می‌دهند که ساده‌تر، انعطاف‌پذیرتر و کم‌هزینه‌تر است. این سیستم از حسگرهای بی‌سیم استفاده می‌کند و گزینه مناسبی برای سیستم‌های پیشرفته مدرن BAS است. (Marinakos et al. 2013)

لیل و همکاران توضیح می‌دهند که شبیه‌سازی می‌تواند از اتوماسیون ساختمان حمایت کند و فرایند استقرار سیستم‌های کنترل ساختمان مبتنی بر شبیه‌سازی را ساختار دهد. اتوماسیون ساختمان ترکیبی از سخت‌افزار و نرم‌افزار است. سخت‌افزار در ساختمان توزیع شده و نرم‌افزار در چندین زیر ایستگاه بسته‌بندی می‌شود. حتی با قطع کنترل نظارتی، سیستم اتوماسیون به کار خود ادامه می‌دهد که نشان‌دهنده نیاز به قابلیت اطمینان بالاست. (Leal et al. 2014)

در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی DesignBuilder و دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۱</sup> و دستگاه‌های ثبت اطلاعات، پارامترهای کیفیت محیط داخل و انرژی موردنیاز در یک ساختمان اداری هوشمند محاسبه و بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که با برنامه‌ریزی مناسب در مصرف و مدیریت انرژی، می‌توان بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه را کاهش داد، بیشترین صرفه‌جویی نیز در بخش‌های سرمایش و روشنایی حاصل می‌شود. (جمال و پریسا ۲۰۱۶)

## ۶- سیستم‌های کنترل روشنایی و پرده‌های خودکار

در این مقاله، مداخله در یک فضای اداری باز مدرن به مساحت ۶۳٫۸ متر مربع و طی ۱٫۵ ماه انجام شد. حسگرهای اولتراسونیک برای تشخیص حضور نصب شدند و چراغ‌های سقفی خودکاهنده به صورت مجزا کنترل شدند. سیستم مدیریت ساختمان جدید به صرفه‌جویی انرژی تا ۱۹٫۰۱ کیلووات ساعت در متر مربع در سال منجر شد. نشان داده شد که داشتن حسگرهای کمتر از عملگرها مصرف انرژی را افزایش می‌دهد و افزودن حسگرها اطلاعات دقیق‌تری ارائه می‌دهد. استفاده از چراغ میز در نظر گرفته نشد، زیرا سیستم مدیریت ساختمان روشنایی کافی را فراهم می‌کرد. (Gonzalez, Großekathöfer, and Amft 2015)

سیستم کرکره‌های ونیزی خودکار با الگوریتمی کنترل می‌شود تا حداکثر نور روز را وارد کرده و تابش خیره‌کننده را به حداقل برساند. سیستم کاهش نور خودکار از کنترلر DALI برای مدیریت روشنایی‌های فلورسنت T5 و LED استفاده می‌کند. شبکه‌ای از حسگرها و دوربین‌های HDR مصرف انرژی روشنایی را نظارت می‌کنند. لامپ‌های LED حدود ۲۴٪ و فناوری کاهش نور خودکار حدود ۴۶٪ صرفه‌جویی انرژی داشتند. ترکیب این دو ۸۰٪ صرفه‌جویی انرژی فراهم کرد. کرکره‌های خودکار نیز تابش خیره‌کننده را حذف کرده و صرفه‌جویی انرژی روشنایی ۷۵٪ برای جهت شمالی و ۶۳٪ برای جهت شرقی داشتند. جهت نما بر پتانسیل صرفه‌جویی تأثیر گذاشته و جهت شمالی صرفه‌جویی بیشتری داشت. (Babu et al. 2019) نتایج تحقیقات درباره پتانسیل کاهش انرژی با استفاده از سیستم‌های کرکره‌های خودکار در ساختمان‌های اداری تجاری متفاوت است و پژوهشگران مقادیر مختلفی از ۵٪ تا ۳۰٪ گزارش می‌دهند. رایج‌ترین تکنیک اتوماسیون کرکره‌ای که یافت شد، نوع ونیزی افقی است. (Chaiwiwatworakul, Chirarattananon, and Rakkwamsuk 2009) (Babu et al. 2019) شکل منحنی پره‌های کرکره و کنترل دینامیک این سیستم امکان انحراف نور خورشید به داخل اتاق را فراهم می‌کند تا تقاضای روشنایی را کاهش دهد و ناراحتی ناشی از تابش خیره‌کننده را با تغییر زوایای پره‌ها کاهش دهد. با این حال، پایداری و یکنواختی توزیع نور روز در طول روز، به ویژه در شرایط ابری و ماه‌های زمستان، همچنان یک چالش تحقیقاتی است. (Eltaweel and Yuehong 2017)

گونای و همکاران عملکرد یک سیستم اتوماسیون تطبیقی را شبیه‌سازی کرده‌اند که با استفاده از فیلتر کالمن، نقاط تنظیم کنترل کرکره‌های پنجره و روشنایی را در زمان واقعی بر اساس ترجیحات ساکنان تطبیق می‌دهد. این روش کنترل تطبیقی با دو روش متداول مقایسه شده است: یکی با کنترل دستی ساکنان و دیگری با سیستم اتوماسیون ثابت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش کنترل تطبیقی می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی ایجاد کند. (Gunay et al. 2014)

در این پژوهش، سیستم کنترل به طور خودکار نور الکتریکی را برای ارائه ۵۰۰ لوکس بر روی سطوح کار در دفاتر تنظیم می‌کند. حسگرهای حضور ۱۰ دقیقه پس از آخرین حضور، چراغ‌ها را خاموش می‌کنند تا از هدر رفت انرژی جلوگیری شود. اولین مرحله پایش به صورت دستی انجام شد و مرحله دوم شامل نصب و کالیبره سیستم کنترل خودکار بود. مقایسه داده‌ها نشان داد که صرفه‌جویی حدود ۱۷ درصد بوده و این مقدار با در نظر گرفتن روشن بودن چراغ‌ها برای کل زمان کاری به ۳۲ درصد افزایش می‌یابد. (Aghemo, Blaso, and Pellegrino 2014)

## ۷- ترجیحات کاربران و تأثیر آن‌ها بر طراحی سیستم‌ها

محیط‌های کاملاً خودکار می‌توانند حداکثر صرفه‌جویی در انرژی را فراهم کنند، اما ساکنین از عدم کنترل عملکردها ناراضی هستند. برای پذیرش بهتر، باید پیوندی بین فناوری و پذیرش ایجاد شود. حلقه‌های بازخورد کیفی و کمی می‌تواند به توسعه فرایند مشارکت و مدل‌سازی فناوری‌های مقیاس‌پذیر کمک کند. این امر با منطق تصمیم‌گیری هوشمند برای BAS ارزشمند است. (O'Grady, Chong, and Morrison 2021) یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که ساکنان علاقه به سطحی از اتوماسیون در خانه‌های خود دارند، اما سطح ترجیحی اتوماسیون در زمینه‌های مختلف یکسان نیست و سیستم اتوماسیون باید قابل تنظیم باشد. نتایج نشان می‌دهند که اتوماسیون کامل، اتوماسیون پرسشگر و اتوماسیون تطبیقی به ترتیب برای برنامه‌ریزی مجدد فعالیت‌ها، مدیریت توان آماده‌به‌کار، و خاموش کردن وسایل و چراغ‌های غیرضروری ترجیح داده می‌شوند. تفاوت اصلی بین سطوح اتوماسیون در سطح مشارکت کاربر در فرایند اتوماسیون است. اتوماسیون کامل و تطبیقی نیاز به سطح کمتری از مشارکت کاربر دارند، در حالی که اتوماسیون پرسشگر نیاز به مشارکت بیشتری دارد. (Ahmadi-Karvigh et al. 2017)

مطالعات نشان داده است که ساکنان با تنظیم نقاط تنظیم ترموستات، کاهش نور روشنایی و تغییر موقعیت پرده‌ها، بهره‌وری و راحتی بیشتری را تجربه می‌کنند. اما عملکرد نادرست سیستم کرکره به دلیل ترجیحات شخصی ساکنان می‌تواند مصرف انرژی را افزایش دهد. برای جلوگیری از این موضوع، حلقه‌های بازخورد شامل ارسال تصمیمات اتوماسیون ساختمان به ساکنان از طریق رابط بصری به کار گرفته شده است. این رابط‌ها می‌توانند معیارهای دما، رطوبت نسبی و روشنایی را نشان دهند و به ساکنان درک جامعی از محیط ارائه دهند. (Meerbeek et al. 2016)

## ۸- بحث و نتیجه‌گیری

### جدول ۲ - مقایسه سیستم مدیریت ساختمان و سیستم اتوماسیون ساختمان

ویژگی‌ها	سیستم مدیریت ساختمان (BMS)	سیستم اتوماسیون ساختمان (BAS)
هدف اصلی	مدیریت و نظارت کلی بر تمام سیستم‌های ساختمان	اتوماسیون و کنترل خودکار فرایندهای خاص
سطح پیچیدگی	پیچیده‌تر، شامل تحلیل داده‌ها و مدیریت جامع	ساده‌تر، متمرکز بر کنترل و اجرا
اجزای سیستم	شامل نرم‌افزارهای مدیریت انرژی، امنیت و نظارت	حسگرها، کنترلرها، و عملگرها برای اجرای خودکار
تمرکز	بر بهینه‌سازی عملکرد کل ساختمان	بر کنترل خودکار وظایف خاص مانند تهویه یا روشنایی
قابلیت‌های گزارش‌دهی	پیشرفته، با ابزارهای تحلیل و تهیه گزارش‌های مدیریتی	محدودتر، عمدتاً داده‌های لحظه‌ای
کاربرد اصلی	ساختمان‌های بزرگ و پیچیده؛ مانند بیمارستان‌ها، هتل‌ها، ساختمان‌های اداری و تجاری	ساختمان‌های کوچک‌تر یا به‌عنوان بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر مانند BMS
یکپارچگی سیستم‌ها	یکپارچه‌سازی تمام سیستم‌های ساختمان	متمرکز بر زیرسیستم‌های خاص

یک ساختمان اداری بزرگ با بخش‌های مختلف، در طول سال امکان دارد کارکردها و دماهای متفاوت داشته باشد. رسیدگی به تک‌تک آن‌ها سخت و وقت‌گیر است و مصرف انرژی زیادی دارد. یک سیستم روشنایی قابل برنامه‌دهی و یا هوشمند با یادگیری برنامه حضور افراد حدود ۱۷ تا ۶۰ درصد (Aghemo, Blaso, and Pellegrino 2014) (Pellegrino et al. 2016) (Gonzalez, Groβekathöfer, and Amft 2015) در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کند و سیستم روشنایی فقط بخش بسیار کوچکی از سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان است.

با توجه موارد ذکر شده ما نیاز به مدیریت یکپارچه داریم، زیرا ساختمان‌ها به‌صورت گسسته انرژی زیادی مصرف می‌کنند. سیستم‌های مدیریت و اتوماسیون ساختمان می‌توانند کمک بزرگی در این زمینه باشند، مثال‌های جهانی نشان می‌دهند که چه میزان کاهش مصرف با این سیستم‌ها امکان‌پذیر است؛ اما این سیستم‌ها در کشور ما به‌تازگی مورد توجه قرار گرفته‌اند و شاید اتوماسیون کامل هنوز نتواند در شرایط فعلی کشورمان مورد استفاده قرار بگیرد؛ اما یک سیستم یکپارچه (سیستم مدیریت ساختمان) که بتواند عملکردهای ساختمان را مانیتور کرده و فردی کنترل آن‌ها را بر عهده بگیرد و مدیریت بخشی از آن‌ها را به سیستم بسپارد، می‌تواند سهم بزرگی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد.

باگذشت زمان و استفاده روزافزون مردم از این سیستم‌ها، سیستم‌های قدیمی در نهایت به هم متصل می‌شوند تا فضای IoT و BMS را به یک محیط یکپارچه تبدیل کنند. تحقیقات در این زمینه و نشان‌دادن نحوه کارکرد یکپارچه و انطباق همه سیستم‌های ساختمان با یکدیگر، باتوجه به زمان بازگشت سرمایه کم و میزان تأثیری که بر کاهش مصرف انرژی و رضایت و آسایش کاربران می‌گذارد ممکن است باعث ترویج استفاده از سیستم‌های مدیریت و اتوماسیون ساختمان توسط ساکنان و مالکان ساختمان‌ها بدون نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجه شود.



## منابع

۱. احسان، بانسی، و مهربان محمدحسین. ۲۰۱۵. 'بررسی عملکرد ساختمان‌های هوشمند و سیستم مدیریت هوشمند ساختمان (BMS)'.
۲. پور، نجف. ۲۰۲۰. 'مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌های اداری با استفاده از سیستم کنترل تردد؛ نشریه انرژی ایران. ۲۳: ۱۴۱-۶۰.'
۳. جمال، خداکرمی، و قبادی پریسا. ۲۰۱۶. 'بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند!'.
۴. حسین، فهیمیان، و شرقی فاطمه. ۲۰۱۶. 'پروتکل‌های ارتباطی در ساختمان هوشمند (Smart Building)'.
۵. رسول، نعمتی، حسن‌زاده محمدرضا، و ملکی مجتبی. ۲۰۱۸. 'استفاده از تکنولوژی‌های نوین در بررسی ساختمان‌های هوشمند با تاکید بر رفاه اجتماعی!'.
۶. فاطمه، سعیدزاده، فرازمنند آیدا، و پنجستونی علیرضا. ۲۰۱۶. 'ساختمان هوشمند و کاربرد آن در زندگی انسان!'.
7. Afuosi, Mohsen Borhani, and Mohammad Reza Zoghi. 2020. 'Indoor positioning based on improved weighted KNN for energy management in smart buildings', *Energy and Buildings*, 212: 109754.
8. Agarwal, Yuvraj, Bharathan Balaji, Rajesh Gupta, Jacob Lyles, Michael Wei, and Thomas Weng. 2010. "Occupancy-driven energy management for smart building automation." In *Proceedings of the 2nd ACM workshop on embedded sensing systems for energy-efficiency in building*, 1-6.
9. Aghemo, Chiara, Laura Blaso, and Anna Pellegrino. 2011. 'Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices', *Automation in Construction*, 43: 10-22.
10. Ahmadi-Karvigh, Simin, Ali Ghahramani, Burcin Becerik-Gerber, and Lucio Soibelman. 2017. 'One size does not fit all: Understanding user preferences for building automation systems', *Energy and Buildings*, 145: 163-73.
11. Babu, Sushanth, Jian Zhou, Man Pun Wan, Adrian S Lamano, Jatin N Sarvaiya, Zhe Zhang, DEVS Kiran Kumar, Chun-ping Gao, Selvam Valliappan, and Alice Goh. 2019. 'Investigation of an integrated automated blinds and dimmable lighting system for tropical climate in a rotatable testbed facility', *Energy and Buildings*, 183: 356-76.
12. Bakhtiari, H, Jan Akander, and Mathias Cehlin. 2020. 'Evaluation of thermal comfort in a historic building refurbished to an office building with modernized HVAC systems', *Advances in Building Energy Research*, 14: 218-37.
13. Bavaresco, Mateus Vinicius, Simona D'Oca, Enedir Ghisi, and Roberto Lamberts. 2019. 'Technological innovations to assess and include the human dimension in the building-performance loop: A review', *Energy and Buildings*, 202: 109365.
14. Brambley, Michael R, Philip Haves, Sean C McDonald, Paul Torcellini, D Hansen, DR Holmberg, and Kurt W Roth. 2005. "Advanced sensors and controls for building applications: Market assessment and potential R&D pathways." In: EERE Publication and Product Library, Washington, DC (United States).
15. Chaiwiwatworakul, Pipat, Surapong Chirarattananon, and Pattana Rakkwamsuk. 2009. 'Application of automated blind for daylighting in tropical region', *Energy Conversion and Management*, 50: 2927-43.
16. Chasta, Rohit, Rajesh Singh, Anita Gehlot, Raj Gaurav Mishra, and Sushabhan Choudhury. 2016. 'A smart building automation system', *International Journal of Smart Home*, 10: 91-98.
17. Čulić, Ana, Sandro Nižetić, Petar Šolić, Toni Perković, and Velimir Čongradac. 2021. 'Smart monitoring technologies for personal thermal comfort: A review', *Journal of cleaner production*, 312: 127685.
18. Domingues, Pedro, Paulo Carreira, Renato Vieira, and Wolfgang Kastner. 2016. 'Building automation systems: Concepts and technology review', *Computer Standards & Interfaces*, 45: 1-12.

19. Eltaweel, Ahmad, and Su Yuehong. 2017. 'Using integrated parametric control to achieve better daylighting uniformity in an office room: A multi-Step comparison study', *Energy and Buildings*, 152: 137-48.
20. Gonzalez, Luis I Lopera, Ulf Großekathöfer, and Oliver Amft. 2015. "An intervention study on automated lighting control to save energy in open space offices." In *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)*, 317-22. IEEE.
21. Gunay, H Burak, William O'Brien, Ian Beausoleil-Morrison, and Brent Huchuk. 2014. 'On adaptive occupant-learning window blind and lighting controls', *Building Research & Information*, 42: 739-56.
22. Homod, Raad Z. 2018. 'Analysis and optimization of HVAC control systems based on energy and performance considerations for smart buildings', *Renewable Energy*, 126: 49-64.
23. Jalia, Aftab, Ron Bakker, and Michael Ramage. 2019. "The edge, Amsterdam: showcasing an exemplary IoT building." In: Technical report, Centre for Digital Built Britain, University of Cambridge, UK.
24. Kastner, Wolfgang ,Georg Neugschwandtner, Stefan Soucek, and H Michael Newman. 2005. 'Communication systems for building automation and control', *Proceedings of the IEEE*, 93: 1178-203.
25. Leal, Sergio, Gerhard Zucker, Stefan Hauer, and Florian Judex. 2014. 'A software architecture for simulation support in building automation', *Buildings*, 4: 320-35.
26. Marinakis, Vangelis, Haris Doukas, Charikleia Karakosta, and John Psarras. 2013. 'An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector', *Applied energy*, 101: 6-14.
27. Mataloto, Bruno, Joao C Ferreira, and Nuno Cruz. 2019. 'LoBEMS—IoT for building and energy management systems', *Electronics*, 8: 763.
28. Meerbeek, Bernt W, Christel de Bakker, Yvonne AW de Kort, Evert J van Loenen, and T Bergman. 2016. 'Automated blinds with light feedback to increase occupant satisfaction and energy saving', *Building and Environment*, 103: 70-85.
29. O'Grady, Timothy, Heap-Yih Chong, and Gregory M Morrison. 2021. 'A systematic review and meta-analysis of building automation systems', *Building and Environment*, 195: 107770.
30. Pellegrino, Anna, Valerio RM Lo Verso, Laura Blaso, Andrea Acquaviva, Edoardo Patti, and Anna Osello. 2016. 'Lighting control and monitoring for energy efficiency: A case study focused on the interoperability of building management systems', *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52: 2627-37.