-- Iranian Energy Economics------
Summer 2022, 45(12), 71-93
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72590.1986

ATU PRESS

Original Research
Received: 13/Feb/2023
Accepted: 1/May/2023
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Improving Energy and Comfort Management in Smart Buildings

Akram Beigi *
Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Fariba Fatahi
M.Sc. Student in Artificial Intelligence, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Abstract
Managing energy consumption in smart buildings has become an increasingly important challenge. Efficient energy management can have a positive impact on both micro and macroeconomics. Moreover, it is essential to ensure that the comfort of smart building residents is maintained at an acceptable level. Optimization algorithms can be used to achieve user convenience while minimizing energy consumption. In this study, we propose an optimization approach that utilizes an agent-based architecture. This architecture comprises intelligent agents that communicate with each other via message exchange in a network structure consisting of three layers: (1) The switch layer monitors user preferences and comfort levels. (2) The coordination layer includes a coordinating agent that determines the optimal timing for electrical appliances to minimize electricity consumption costs and maximize user comfort. (3) The execution layer contains performer agents. Our focus in this research is on the coordination layer with the aim of reducing energy consumption costs and peak average rates, while increasing user comfort to the highest possible level. However, this optimization problem is highly complex due to the large number of electrical devices and their capabilities. To address this, we propose a hybrid method based on genetic and bat algorithms. We evaluated its performance based on objective functions and compared it with recent research on SmartHome and CU-Bems datasets. Our results demonstrate an improvement in performance.

Keywords: Energy Consumption Management, User Comfort, Multi-Objective Optimization, Genetic Algorithm, Bat Algorithm

JEL Classification: C30 , C41 , C61 , D14 , D16 , O21 , P18 , P48 , Q47

* Corresponding Author: akrambeigi@sru.ac.ir
How to Cite: Beigi, A., Fatahi, F. (2023). Improving Energy and Comfort Management in Smart Buildings. Iranian Energy Economics, 45 (12), 71-93.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۲، شماره ۴۵، زمستان ۱۴۰۱، ۷۱-۹۳
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72590.1986

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

بهبود مدیریت انرژی و آسایش در ساختمان‌های هوشمند[۱]

اکرم بیگی * استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

فریبا فتاحی دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

مدیریت بهینه مصرف انرژی در ساختمان‌ها پیامدهای مثبتی در اقتصاد خرد و کلان دارد. در مدیریت مصرف انرژی، علاوه بر کاهش مصرف راحتی ساکنان نیز باید مورد توجه باشد. مسئله مدیریت و زمانبندی کارکرد وسایل الکتریکی خودکار و قابل‌برنامه‌ریزی در یک ساختمان هوشمند، یک مسئله بهینه‌سازی است که با توجه به تعداد وسایل الکتریکی و قابلیت‌های آن‌ها پیچیدگی بالایی دارد. در این پژوهش یک رویکرد مدیریت مصرف انرژی پیشنهاد شده است که شامل سه لایه از عامل های سوییچ، هماهنگ کننده و اجرا است که در یک ساختار شبکه‌ای با هم مرتبطند. عامل سوییچ برای تعیین و پایش اولویت‌ها، سطح رضایت و راحتی کاربر استفاده می شود. عامل هماهنگ کننده درباره زمان‌بندی وسایل الکتریکی با هدف کمینه‌سازی هزینه برق مصرفی و بیشینه‌سازی راحتی کاربر تصمیم گیری می کند. عامل اجرا تصمیمات اخذ شده را با مجموعه‌ای از اعمال اجرا می کند. هدف اصلی این پژوهش ارائه الگوریتمی برای کاهش مصرف انرژی و اوج نرخ میانگین و درعین‌حال افزایش راحتی کاربر در لایه عامل هماهنگ‌کننده است. به این منظور روشی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم خفاش ارائه شده و عملکرد آن بر اساس توابع هدف ارزیابی شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های ارائه‌شده اخیر، بر روی مجموعه داده‌های اسمارت‌هوم[۲] و سی‌یوبیمز[۳] نتایج بهتری داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت مصرف انرژی، راحتی کاربر، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم خفاش

طبقه‌بندی JEL: Q47 , P48 , P18 , O21 , D16 , D14 , C61 , C41 , C30

---

۱. مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد هوش مصنوعی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی است.

* نویسنده مسئول: akrambeigi@sru.ac.ir

2. SmartHome
3. CU-Bems

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر مدیریت انرژی بسیار مورد توجه واقع شده است. انرژی در فرآیند توسعهٔ اقتصادی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و باعث شده است در حوزهٔ مدیریت منابع انرژی مطالعات زیادی صورت پذیرد (سعیدخانی و همکاران، ۱۳۹۵). از آنجاکه ساختمان‌ها سهم به‌سزایی در مصرف انرژی دارند، بالا بردن راندمان مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند تأثیر بسیاری در اقتصاد خرد و کلان داشته باشد (بادار[1] و همکاران، ۲۰۱۷) و (دگا[2] و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به افزایش تعداد وسایل الکتریکی خودکار و هوشمند در زندگی امروزه، مصرف انرژی در بخش خانگی و به تبع آن بار مصرفی بیشتر شده است. بنابراین بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان یکی از چالش‌های مهم به‌شمار می‌رود. برای استفاده از وسایل الکتریکی هوشمند نیازمند به اصلاح الگوی مصرف انرژی، بکار گرفتن روش‌های بهینه‌سازی و مدیریت زمان‌بندی هستیم. برای مدیریت بهینه مصرف انرژی، رویکرد مشتریان خانگی می‌تواند به سه شکل زیر تقسیم‌بندی شود (روث[3] و همکاران، ۲۰۱۹):

۱. در طی دوره‌های اوج مصرف و زمانی که قیمت برق بالاترین مقدار را دارد، از تقاضا کاسته شود که این امر با از دست دادن راحتی ساکنین مصادف است. به عنوان مثال تغییرات دستی در عملیات تهویه هوا به‌منظور کاهش مصرف

۲. انتقال زمان کارکرد وسایل غیرضروری به دوره‌های غیر اوج تقاضا

۳. استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل توربین‌های بادی و سلول‌های خورشیدی

مدیریت تقاضای مصرف بار یک فاکتور مهم در شبکه‌های هوشمند است که با هدف بهینه‌سازی زمان‌بندی بار و کمینه‌سازی مصرف برق باعث افزایش کارایی استفاده از انرژی می‌شود (دشتکی و همکاران، ۲۰۲۲). اگرچه در ساختمان‌های هوشمند ابزارهایی برای تعامل با کاربر به منظور مدیریت وسایل برقی تعبیه شده است اما این ابزارها همیشه انگیزه لازم برای واکنش کاربر را به همراه ندارد. به عنوان مثال یک کاربر ممکن است در

1. Badar
2. Degha
3. Roth

زندگی روزمره پرمشغله بوده و مدیریت مناسبی برای دستگاه‌های برقی نداشته باشد. لذا سیستم خودکاری مورد نیاز است که این مدیریت را به شکل بهنیه انجام دهد (خلید[1] و همکاران، ۲۰۱۹). از یک سو، کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های آن در ساختمان مورد نیاز ساکنان آن است اما از سوی دیگر راحتی آن‌ها نیز می‌باید در سطح قابل قبولی قرار گرفته و رضایت‌بخش باشد.

ساختمان‌های هوشمند سیستم تهویه هوای بهتری به‌منظور بهبود کیفیت محیط ایجاد می‌کنند. دما، رطوبت و تهویه توسط وسایل هوشمند کنترل می‌شوند. به منظور دستیابی به راحتی کاربر با حداقل مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند ارتقاء روش‌های سنتی و قدیمی و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی لازم است و به این ترتیب، ثبات و قابلیت اعتماد در ساختمان‌های هوشمند افزایش می‌یابد (زائولی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طورکلی دو هدف کمینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بیشینه‌سازی سطح راحتی کاربر در تضاد با یکدیگر هستند. بنابراین این مسئله بهینه‌سازی با دو تابع هدف متضاد روبرو است و سعی بر این است که دو تابع هدف به بهترین مقدار ممکن برسند. هدف ما در این تحقیق رسیدن به چنین جوابی است که در عین حال که هزینه‌ها را تا حدممکن کاهش می‌دهد، بیشترین مطلوبیت را برای ساکنان به همراه داشته باشد. در مجموع اهداف پژوهش حاضر عبارت‌اند از: (۱) مدل‌سازی مسئله مصرف انرژی و راحتی کاربر با درنظر گرفتن ملزومات دنیای واقعی و (۲) ارائه روشی بهینه و کارا به‌منظور حل مسئله بهینه‌سازی. ادبیات موضوع در زمینه بهینه‌سازی و زمان‌بندی دستگاه‌ها برای بهبود مصرف انرژی و راحتی کاربران نشان می‌دهد که الگوریتم‌هایی مانند برنامه‌ریزی صحیح[3] و برنامه‌ریزی پویا علیرغم دقت بالا، توانایی مدیریت حجم بالایی از وسایل برقی را ندارند. علاوه براین، حل مسائل چندهدفه با این روش‌ها کار پیچیده و دشواری است.

در ادامه این مقاله ابتدا در بخش ۲ پژوهش‌های مرتبط را مرور می‌کنیم. در بخش ۳ به تعریف مسئله و مدل کردن آن می‌پردازیم. سپس روش پیشنهادی در بخش ۴ ارائه می‌شود. بعد از آن در بخش ۵ شیوه پیاده سازی، آزمایش و دستاوردهای حاصله رابیان می‌کنیم و در بخش ۶ نیز نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد برای کارهای آینده مطرح می‌شود.

1. Khalid
2. Zaouali
3. Integer linear programming

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش (بهروزی و همکاران، ۱۳۹۸) به ارائه الگوریتم فازی-عصبی مبتنی بر اینترنت اشیاء جهت بهینه‌سازی انرژی در ساختمان هوشمند پرداخته است. در آن سیستم پیشنهادی ۳ متغیر میزان مصرف انرژی، میزان انرژی الکتریسیته و میزان انرژی خورشیدی برای صرفه‌جویی و کاهش مصرف برق در نظر گرفته شده است. برای محاسبه میزان مصرف انرژی در ساختمان هوشمند از مؤلفه‌هایی استفاده‌شده است که ضرایب هرکدام از این مولفه‌ها با استفاده از الگوریتم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌دست‌آمده است.

در مطالعه (الله‌یاری و همکاران، ۱۳۹۹) استفاده از هوش مصنوعی و تأثیر استفاده گسترده از آن بر شرایط، سبک و نحوه زندگی مورد بررسی قرار گرفته است. مزیت این سیستم نسبت به سیستم‌های سنتی استاندارد، عمدتاً امکان کنترل بهینه مدیریتی و فنی متمرکز است. در تحقیق (صانعی و همکاران، ۱۳۹۹) نمونه‌های کاربرد اینترنت اشیاء در خانه‌های هوشمند با توانایی تنظیم سیستم‌های روشنایی و گرمایشی بررسی شده است.

در مقاله (عباسی، ۱۳۹۹) یک نمونه از هوشمندسازی ساختمان با تعریف و پیاده‌سازی پروتکل‌های ایمن و قابل‌اعتماد و تولید تجهیزات و دستگاه‌های مجهز به شبکه و اینترنت توسعه‌یافته است. در این مقاله مراحل انتخاب پروتکل و نیز راهکار متناسب با شرایط و نیاز یک ساختمان بررسی شده و پیاده‌سازی آن به‌صورت عملی آزمایش شده است.

در تحقیق (شریفیان و همکاران، ۱۳۹۹) بیان می‌شود که بر اساس آمارهای به‌دست‌آمده، ساختمان‌های مسکونی داخل ایران بیشترین مصرف انرژی را دارند. این تحقیق با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی در تالارهای پذیرایی در شهر نیشابور صورت گرفته و از منطق فازی و سیستم‌های کنترلی فازی استفاده کرده است. در این تحقیق داده‌های استخراج شده از حس‌گرها به‌صورت پویا در حال تغییر هستند.

در پژوهش (رحیم و همکاران، ۲۰۱۶) یک معماری کلی برای مدیریت سمت تقاضا معرفی شده است. فرموله سازی این مسئله بر اساس چندین مسئله کوله‌پشتی[1] و بهینه‌سازی کلونی مورچه[2] است. نتایج نشان می‌دهد که کنترل‌گرهای مدیریت انرژی مبتنی بر کلونی مورچه مدیریت انرژی بهتری نسبت به کنترل‌گرهای بدون کلونی مورچه دارند.

1. Knapsack problem
2. Ant colony optimization (ACO)

در مقاله (بادار و همکاران، ۲۰۱۷) الگوریتمی برای زمان‌بندی عملیات وسایل الکتریکی ارائه شده‌است به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد را برحسب کمینه اوج نرخ میانگین، زمان اجرا و راحتی کاربر داشته باشد. در این مقاله از طرح قیمت‌گذاری زمان استفاده[1] بهره‌گیری شده است. روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک است و نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی عملکرد خوبی در کاهش اوج نرخ میانگین و هزینه برق داشته اما راحتی کاربر نتوانسته به‌خوبی بهینه گردد.

در پژوهش (نتو[2] و همکاران، ۲۰۱۸) چهارچوبی در زمان واقعی برای سیستم مدیریت انرژی یک میکروشبکه هوشمند با استفاده از عامل‌های هوشمند ارائه شده است. در آن پژوهش مدیریت انرژی از طریق یک سیستم مخابراتی با سیستم قدرت ادغام می‌شود. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها بهترین راه‌حل را با در نظر گرفتن سناریوی عملیاتی و ویژگی‌های سیستم ارائه می‌دهد. با استفاده از این چهارچوب امکان ارزیابی طراحی مدیریت انرژی و تأثیر الگوریتم توسعه‌یافته در سیستم مبتنی بر عامل هوشمند وجود دارد. استفاده از عامل‌های هوشمند یک رویکرد گسترده درزمینه بهینه‌سازی انرژی است و به دلیل ظرفیت آن برای برقراری ارتباط، هماهنگی، همکاری عامل‌ها و استحکامی که این روش در تعیین وظایف مختلف به هر عامل می‌دهد، مورداستفاده قرار می‌گیرند. در مقاله مروری (گنزالس بریونس[3] و همکاران، ۲۰۱۸) کاربردهای سیستم‌های مبتنی بر عامل در حل مسائل بهینه‌سازی در حوزه مدیریت انرژی به‌طور مناسبی بررسی شده‌اند.

در مطالعه (دگا و همکاران، ۲۰۱۹) به موضوع کاهش مصرف انرژی با افزایش راحتی کاربر در کار با وسایل گرمایشی و سرمایشی در خانه‌های هوشمند پرداخته شده‌است. در این مطالعه ادعا شده‌است که ساکنان خانه‌های هوشمند از انجام فعالیت‌های پرزحمتی مانند به‌هنگام سازی ترجیحاتشان و یادگیری این سیستم‌ها احساس رضایت نمی‌کنند و به این منظور سیستمی با قابلیت یادگیری از رفتار ساکنان برای برنامه‌ریزی گرمایش و سرمایش ارائه شده است.

در تحقیق (خلید و همکاران، ۲۰۱۹) برای بهینه‌سازی بهبود الگوی مصرف انرژی برق و مدیریت سیستم‌های خنک‌کننده و روشنایی از دو روش فراابتکاری خفاش و

1. Time-of-use pricing
2. Netto
3. González-Briones

گرده‌افشانی گل و کنترل‌گرهای فازی استفاده شده است. علیرغم حصول بهبود در نتایج، یکی از بارزترین محدودیت‌های این روش، نداشتن مکانیسم فرار از بهینه محلی و احتمال بالای افتادن در بهینه محلی است.

در پژوهش (براهیم[1]، ۲۰۲۱) یک سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند آورده شده است که شبکه هوشمند فرصت‌ها و تکنیک‌های جدیدی را برای تأمین تقاضای بالای انرژی در صنعت انرژی رو به رشد فراهم می‌کند. این مسئله چالش جدیدی درزمینه سیستم‌های مدیریت انرژی ایجاد می‌کند که باعث طراحی نرم‌افزارهای جدیدی برای خانه‌های هوشمند در آینده می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل پیشرفت موفقیت‌آمیز یک خانه هوشمند توانایی مدیریت منابع انرژی ازجمله تولید و ذخیره‌سازی است. همچنین پژوهش‌های اخیر مدیریت انرژی در خانه هوشمند به‌طور مفصل در این مقاله بررسی شده‌اند و توابع هدف، محدودیت‌ها و مدل‌های ارتباطی درگیر در مدل‌های مدیریت انرژی خانه‌های هوشمند نیز موردبررسی قرار گرفته‌اند.

با بررسی پژوهش‌های پیشین، سعی داشته‌ایم روشی مؤثر برای بهبود مصرف انرژی و بالابردن سطح راحتی کاربران ارائه کنیم بطوریکه حتی‌الامکان فاقد کاستی‌های روش‌های بررسی شده باشد. ما از یک روش ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم خفاش استفاده کرده و عملکرد آن را نسبت به روش‌های اخیر ارائه شده مقایسه کرده‌ایم. در پژوهش حاضر رویکرد پیشنهادی شامل سه لایه از عامل‌های سوییچ، هماهنگ‌کننده و اجرا است که در یک ساختار شبکه با هم مرتبطند و به اشتراک گذاری اطلاعات در بین لایه‌های مدل پیشنهادی امکان بهبود نتایج را بیشتر می‌کند.

۳. تعریف مسئله

مسئله اصلی در این مقاله کاهش مصرف انرژی، هزینه پولی و اوج نرخ میانگین و افزایش راحتی کاربر در بالاترین سطح ممکن است. در این مسئله فرض می‌کنیم چهار نوع وسیله الکتریکی داریم که عبارت‌اند از: ثابت (F)، قابل کم‌وزیاد شدن (T)، قابل قطع و وصل شدن (I) و قابل جابجایی (S). مصرف برق و هزینه‌های عملیاتی با کنترل مصرف برق وسایل قابل کم‌وزیاد شدن، تغییر وضعیت روشن/خاموش وسایل قابل قطع شدن با حفظ

1. Brahim

راحتی در یک بازه خاص کاهش می‌یابد. برای کاهش اوج نرخ میانگین و هزینه‌های مالی، بار وسایل برقی قابل جابجایی از ساعات اوج مصرف به ساعات غیر اوج منتقل می‌شود. برای این منظور یک حد بالا برای بار برقی به‌منظور اجتناب از پیک در ساعات اوج مصرف تعریف‌شده است. در این مسئله راحتی کاربر شامل دما (TE)، روشنایی (IL) و کیفیت هوا (AI) است که با توجه به شرایط و محدودیت‌های انرژی و مصرف قصد داریم به بالاترین حد ممکن برسانیم. این فاکتورها ازنظر کاربر اهمیت یکسان ندارند و به ترتیب از پارامترهای μ1، μ2 و μ3 به‌منظور نشان دادن وزن هر فاکتور استفاده می‌کنیم که باید شرط رابطه (۱) را برآورده کنند:

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = 1 \qquad (۱)$$

مسئله موردبررسی را می‌توان به شکل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه با روابط (۲) تا (۱۲) فرموله سازی کرد. پارامترهای استفاده شده در این مدل‌سازی در جدول (۱) بیان شده‌اند.

جدول ۱. پارامترهای استفاده شده در مدل‌سازی مسئله

متغیر	شرح
nT	تعداد بازه‌های زمانی
c_j	هزینه برق در بازه زمانی j
nDf	تعداد وسایل برقی ثابت
ρ_{ij}^{f}	نرخ برق مصرفی وسیله برقی ثابت i در زمان j
nDt	تعداد وسایل برقی باقابلیت کم‌وزیاد شدن
ρ_{ij}^{t}	نرخ برق مصرفی وسیله برقی قابل کم‌وزیاد i در زمان j
nDi	تعداد وسایل برقی قابل قطع و وصل شدن
ρ_{ij}^{i}	نرخ برق مصرفی وسیله برقی قابل قطع و وصل شدن i در زمان j
nDs	تعداد وسایل برقی قابل جابجایی
ρ_{ij}^{s}	نرخ برق مصرفی وسیله برقی قابل جابجایی i در زمان j
x_{ij}^{t}	درجه فعال بودن وسیله با امکان کم‌وزیادi در زمان j
x_{ij}^{i}	روشن یا خاموش بودن وسیله برقی قابل قطع و وصل شدن i در زمان j
x_{ij}^{s}	روشن یا خاموش بودن وسیله برقی قابل جابجایی i در زمان j
TE_{ij}	دمای حاصل از وسیله iام در زمان jام
IL_{ij}	روشنایی حاصل از وسیله iام در زمان jام
AI_{ij}	کیفیت هوای حاصل از وسیله iام در زمان jام

$$Min \sum_{j=1}^{nT} c_j \left(\sum_{i=1}^{nDf} \rho_{ij}^{f} + \sum_{i=1}^{nDt} \rho_{ij}^{t} x_{ij}^{t} + \sum_{i=1}^{nDi} \rho_{ij}^{i} x_{ij}^{i} + \sum_{i=1}^{nDs} \rho_{ij}^{s} x_{ij}^{s} \right) \quad (۲)$$

$$Max \min_{j} \sum_{i=1}^{nD} \mu_1 TE_{ij} + \mu_2 IL_{ij} + \mu_3 AI_{ij} \quad (۳)$$

$$TE_{ij} = \left(te * nDf \right) + \sum_{j=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nDt} T_{ij}^{t} x_{ij}^{t} + \sum_{i=1}^{nDi} T_{ij}^{i} x_{ij}^{i} + \sum_{i=1}^{nDs} T_{ij}^{s} x_{ij}^{s} \right) \quad (۴)$$

$$IL_{ij} = \left(il * nDf \right) + \sum_{j=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nDt} I_{ij}^{t} x_{ij}^{t} + \sum_{i=1}^{nDi} I_{ij}^{i} x_{ij}^{i} + \sum_{i=1}^{nDs} I_{ij}^{s} x_{ij}^{s} \right) \quad (۵)$$

$$AI_{ij} = \left(il * nDf \right) + \sum_{j=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nDt} A_{ij}^{t} x_{ij}^{t} + \sum_{i=1}^{nDi} A_{ij}^{i} x_{ij}^{i} + \sum_{i=1}^{nDs} A_{ij}^{s} x_{ij}^{s} \right) \quad (۶)$$

$$MnTE_{ij} \le TE_{ij} \le MxTE_{ij} \quad (۷)$$

$$MnIL_{ij} \le IL_{ij} \le MxIL_{ij} \quad (۸)$$

$$MnAI_{ij} \le AI_{ij} \le MxAI_{ij} \quad (۹)$$

$$x_{ij}^{t} \ge 0 \quad (۱۰)$$

$$x_{ij}^{i} \in \{01\} \quad (۱۱)$$

$$x_{ij}^{s} \in \{01\} \quad (۱۲)$$

در این فرموله سازی، رابطه (۲) کمینه‌سازی مصرف انرژی را بیان می‌کند. رابطه (۳) کمینه راحتی کاربران در طول شبانه روز را بیشینه می‌کند. روابط (۴) تا (۶) نحوه محاسبات راحتی کاربران را نشان می‌دهد (میزان دما، روشنایی و کیفیت هوای حاصل با توجه به میزان روشن بودن هر یک از وسایل در بازه‌های زمانی مختلف). روابط (۷) تا (۹) حداقل و حداکثر میزان هر یک از پارامترهای راحتی کاربر را مشخص کرده و روابط (۱۰) تا (۱۲) محدودیت‌های مربوط به صفر و یک بودن متغیرهای مربوط به وسایل برقی را نشان می‌دهد.

٤. روش پیشنهادی

همان‌طورکه گفته شد بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند اغلب به‌صورت مسائل چندهدفه فرموله می‌شوند که پیچیدگی بالایی دارند و به همین خاطر استفاده از روش‌های بهینه‌سازی دقیق کارایی لازم را در این مورد ندارند. در مقابل روش‌های فراابتکاری می‌توانند جواب‌های قابل‌قبولی را برای مسائل با پیچیدگی بالا ارائه دهند.

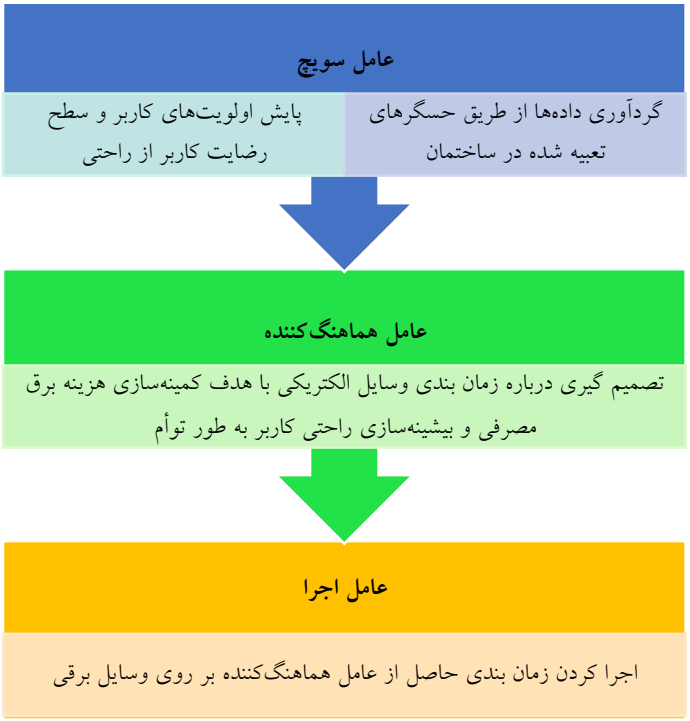
الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه (خان[1] و همکاران، ۲۰۲۲)، بهینه‌سازی اجتماع ذرات[2] (مالک[3] و همکاران، ۲۰۱۸)، گرده‌افشانی گل[4] و الگوریتم خفاش (خلید و همکاران، ۲۰۱۹) جزء روش‌های فراابتکاری پراستفاده در زمینه بهینه‌سازی مسائل مختلف هستند که همواره موردتوجه محققین در دانشگاه و صنعت واقع‌شده‌اند. این روش‌ها اگرچه قادر به یافتن جواب بهینه نیستند اما در بیشتر مواقع جواب قابل‌قبول و مناسبی را می‌یابند.

برای مسئله بهینه‌سازی هزینه مصرف انرژی روش‌ها و رویکردهای فراابتکاری زیادی در سال‌های اخیر ارائه‌شده است. بیشتر رویکردهای ارائه‌شده از یک روش فراابتکاری به تنهایی برای به‌دست آوردن بهترین پارامترها در مسئله می‌پردازند که ممکن است منجر به کاهش کیفیت جواب‌های حاصل گردد. علاوه‌براین، اکثر روش‌های فراابتکاری بهینه‌سازی وابستگی شدیدی به جمعیت اولیه دارند. استفاده سیستماتیک و هوشمندانه از چند روش فراابتکاری و ترکیب آن‌ها می‌تواند محدودیت‌های روش‌های مورداستفاده را کاهش داده و از نقاط قوت آن‌ها برای کاستن نقاط ضعفشان استفاده کند. هر روش بهینه‌سازی به شیوه‌ای متفاوت عمل کرده و مجموعه‌ای از مشخصات متفاوت را استخراج می‌کند. در یک سیستم هوشمند ترکیبی سلسله مراتبی هر لایه اطلاعات جدیدی برای لایه سطح بالاتر فراهم می‌آورد. عملکرد کلی یک سیستم وابسته به عملکرد صحیح همه لایه‌ها است. به‌طورکلی رویکرد مدیریت مصرف انرژی پیشنهادی ما دارای یک ساختار مبتنی بر عامل‌های هوشمند است که در آن تعدادی عامل در یک شبکه با هم مرتبطند. این ساختار در شکل (۱) نشان داده شده است.

اولین لایه این ساختار شامل عامل سویچ است که به منظور تعیین و پایش اولویت‌های کاربر و سطح رضایت او از راحتی استفاده می‌شود. مسئولیت این عامل گردآوری داده‌ها از طریق حسگرهای تعبیه شده در ساختمان هوشمند است. لایه بعدی شامل عامل هماهنگ‌کننده است که دارای یک محوریت مرکزی بوده و تصمیم گیری درباره زمان‌بندی وسایل الکتریکی با هدف کمینه‌سازی هزینه برق مصرفی و بیشینه‌سازی راحتی کاربر به‌طور توأم را انجام می‌دهد و تمرکز ما بر این لایه است. لایه نهایی در این معماری لایه اجرا است که در این لایه تصمیمات اتخاذ شده در عامل هماهنگ‌کننده توسط عملگرها و دستگاه‌های مختلف و متناظر با هر تصمیم اجرا می‌شوند.

1. Khan
2. Particle swarm optimization (PSO)
3. Malik
4. Flower pollination algorithm (FPA)

شکل ۱. نمایش ساختار روش پیشنهادی مبتنی بر عامل



منبع: یافته‌های محقق

در این پژوهش یک روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و خفاش برای حل مسئله مطرح شده پیشنهاد می‌کنیم. الگوریتم بهینه‌سازی خفاش یک الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی است که از خصوصیات ردیابی خفاش‌ها در جستجوی شکار در طبیعت الهام گرفته‌شده است. خفاش‌ها از انعکاس صدا برای تشخیص موانع و شکار استفاده می‌کنند. الگوریتم بهینه‌سازی خفاش به‌طورکلی شامل مراحل زیر است (الصلیبی و همکاران، ۲۰۲۲):

۱. ایجاد جمعیت اولیه از خفاش‌ها
۲. تعیین سرعت، فرکانس، نرخ پالس، بلندی صدا و مکان هر خفاش
۳. مقایسه موقعیت خفاش‌ها و تعیین بهترین خفاش
۴. به‌روزرسانی وضعیت خفاش‌ها بر اساس بهترین خفاش
۵. تولید گام تصادفی در جهت رسیدن به بهترین جواب انتخاب شده
۶. ایجاد جواب‌های جدید حاصل از تغییر موقعیت خفاش‌ها
۷. بررسی شرط خاتمه و یا تکرار از مرحله ۴

همگرایی سریع و بهره‌برداری از بهترین جواب‌های به دست آمده در الگوریتم خفاش، این روش را به گزینه مناسبی برای حل مسائل بهینه‌سازی تبدیل کرده است. اما تعیین جواب‌های اولیه و وابستگی زیاد به جمعیت اولیه ضعف این روش به حساب می‌آید.

در الگوریتم گرده افشانی گل که از گرده افشانی گل در گیاهان الهام گرفته شده است، گرده از گلی به گل دیگر انتقال داده شده و باعث توسعه و بقای گل‌ها و ایجاد گونه‌های جدید می‌شود. این الگوریتم شامل چهار بخش است (خلید و همکاران، ۲۰۱۹):

۱. گرده افشانی جهانی و متقابل برای مشخص شدن بهترین راه‌حل در میان تمام راه‌حل‌های موجود در نسل جاری

۲. گرده افشانی محلی و خودگرده افشانی

۳. گرده افشانی حشرات با تعریف گامهای حرکت حشرات

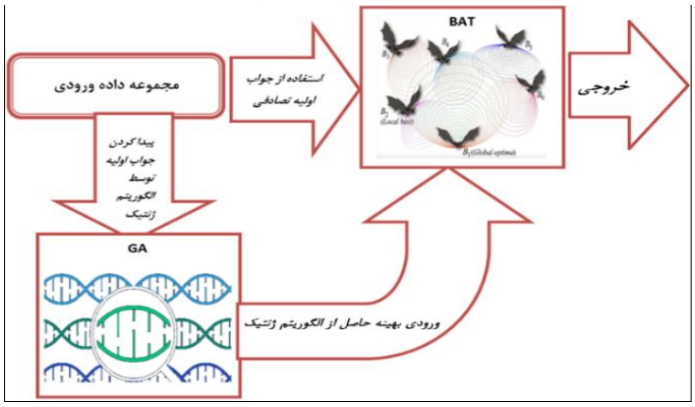
۴. ایجاد تعادل بین گرده افشانی محلی و جهانی

یکی از بارزترین محدودیت‌های روش گرده‌افشانی گل، نداشتن مکانیسم فرار از بهینه محلی و احتمال بالای گیر افتادن در آن است (موهانتی[1] و همکاران، ۲۰۲۲). با بررسی این الگوریتم‌ها، در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک به دلیل قدرت بالای اکتشاف، برای جلوگیری از افتادن در بهینه محلی استفاده می‌کنیم. به‌طوریکه ابتدا مسئله با الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده و جواب حاصل به‌عنوان جواب اولیه در الگوریتم خفاش مورداستفاده قرار می‌گیرد. این امر منجر به فائق آمدن بر مشکل تعیین جواب اولیه مناسب در الگوریتم خفاش می‌گردد. فرآیند و شمای روش پیشنهادی در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

در جریان فرآیند این سیستم ابتدا فعالیت‌های توصیف داده‌ها بر روی مجموعه داده جمع‌آوری‌شده به‌منظور شناخت داده‌ها انجام می‌گیرد. این فعالیت‌ها شامل معیارهایی است که باعث ایجاد دید اولیه نسبت به داده‌ها می‌شود؛ مانند تعداد مشاهدات، تعداد مشخصه‌ها، چولگی، کشیدگی، نوع مشخصه‌ها و شناسایی داده‌های پرت و از این قبیل. سپس به‌منظور تصدیق کیفیت داده‌ها، از لحاظ نداشتن اغتشاش، داده‌های گم‌شده و داده‌های ناسازگار موردبررسی قرار می‌گیرند. پس از این‌که شناخت داده‌ها با موفقیت انجام شد، به‌منظور حذف خطاهای احتمالی موجود در آن‌ها، پیش‌پردازش انجام می‌شود. خطاهای احتمالی عبارت‌اند از: مقادیر خارج از رفتار یا حدی، مشخصه‌های تکراری و داده‌هایی که در فرم مناسب برای مدل‌سازی نیستند.

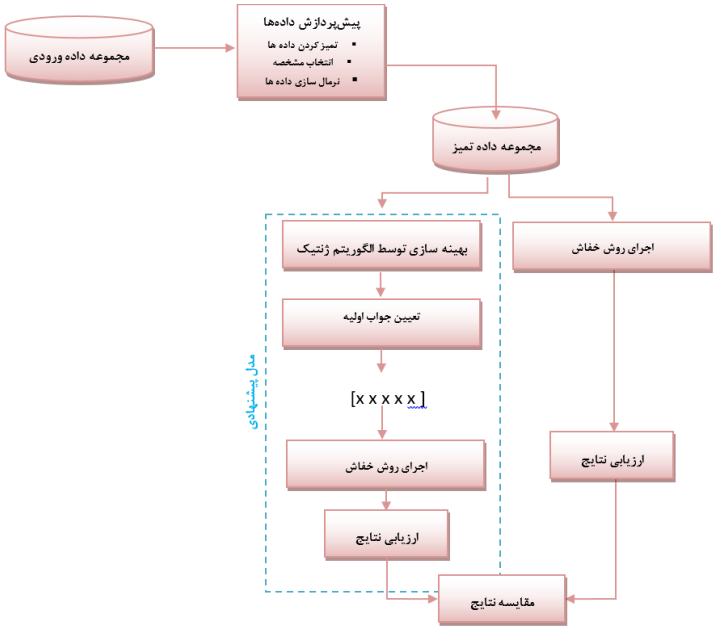
1. Mohanty

شکل ۲. فرآیند مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و خفاش



منبع: یافته‌های محقق

شکل ۳. فلوچارت جریان داده روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک



منبع: یافته‌های محقق

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های فاز پیش‌پردازش داده‌ها در کار با پایگاه داده‌های بزرگ، انتخاب مشخصه است. انتخاب مشخصه عبارت است از واردکردن مشخصه‌هایی در مدل که بیش‌ترین اطلاعات را داشته و می‌توانند در تصمیم‌گیری بیش‌ترین تأثیر را بگذارند و نیز حذف مشخصه‌های نامربوط و کم‌اهمیت. استفاده از همه مشخصه‌ها مخصوصاً زمانی که

تعداد مشخصه‌ها زیاد است، می‌تواند منجر به افزایش حافظه مصرفی و درنتیجه ناکارآمدی داده‌ها شود. در فاز پیش‌پردازش داده‌ها این اعمال انجام می‌شود: انتخاب داده‌ها (نمونه‌گیری، کاهش مشخصه‌ها، رتبه‌بندی مشخصه‌ها و ...)، تمیز کردن داده‌ها (چگونگی رفتار با داده‌های گم‌شده، داده‌های نادقیق، داده‌های تکراری و ...) و تبدیل داده‌ها (نرمال‌سازی داده‌ها، اضافه کردن مشخصه‌ی جدید، گسسته کردن مقادیر مشخصه‌های پیوسته و ...). مرحله انتخاب داده‌ها شامل نمونه‌گیری و چگونگی رفتار با داده‌های گم‌شده، نادقیق و تکراری است. در این تحقیق از روش حریصانه تپه نوردی[1] با امکان پس‌گرد به‌منظور تعیین تعداد مشخصه‌ها استفاده‌شده است. مجموعه داده ورودی پس از پیش‌پردازش داده‌ها که شامل فعالیت‌های انتخاب، تمیز کردن، تبدیل و یکپارچه‌سازی داده‌ها است، به روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک منتقل می‌شوند و جواب بهینه محاسبه می‌شود. این جواب به‌عنوان جواب اولیه به الگوریتم خفاش انتقال داده می‌شود. اطلاعات ایجادشده از الگوریتم ژنتیک عملکرد بهینه سازی را ارتقاء خواهد داد. الگوریتم روش ترکیبی پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و خفاش در شکل (۴) نمایش داده شده است.

در شکل (۴)، در خط ۱ و ۲ مجموعه ورودی داده‌های آموزشی T و خالی D و جواب بهینه مصرف برق معرفی می‌شود. در خط ۳ نرمال سازی داده‌ها صورت گرفته و مجموعه داده با مقادیر بین صفر تا یک مقیاس بندی می‌شود. در خط ۴ مجموعه داده D با مجموعه T مقداردهی اولیه می‌شود. در خط ۶ کروموزوم‌های اولیه با مقادیر تصادفی به منظور استفاده در الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شوند. در خط ۷ شماره نسل برابر صفر مقداردهی می‌شود. در خط ۸ برازندگی هر کروموزوم با تابع هزینه محاسبه می‌شود. در خط ۹ تا زمانی که شرط پایان محقق نشود ادامه می‌یابد و عملگرهای الگوریتم ژنتیک بر روی جواب‌های حاصل تکرار می‌شوند. در خط ۱۱ بهترین جواب ($x_1, x_2, \ldots, x_n$) از الگوریتم ژنتیک به منظور استفاده در الگوریتم خفاش انتخاب می‌شود. در خط ۱۲ این جواب به منظور جواب اولیه در الگوریتم خفاش در نظر گرفته می‌شود. در خط ۱۳ پارامترهای نرخ پالس، فرکانس و بلندی صدا در الگوریتم خفاش مقداردهی اولیه می‌شوند. در خط‌های ۱۴ و ۱۵ فرآیند الگوریتم ژنتیک اجرا می‌شود بدین صورت که ابتدا موجودات انتخاب شده و در فرآیند ترکیب شرکت می‌کنند. سپس با یک احتمال از پیش تعیین شده عملگر جهش روی موجودات اعمال می‌شود. حال برازندگی همه موجودات

1. Hill climbing

بر اساس تابع هدف محاسبه شده و جمعیت جدید ایجاد می‌شود و یک واحد به مراحل تکامل اضافه می‌شود. در خط ۱۶ بهترین جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک و خفاش به عنوان میزان مصرف در ساعات مختلف شبانه روز با کمترین هزینه و بیشترین راحتی در نظر گرفته می‌شود.

شکل ٤. الگوریتم روش ترکیبی پیشنهادی

1. **Input: Original training data set T and empty data set D**
2. **Output: optimized solution for management of electric consumption**
3. **Step 1: Initialize original data: by normalization process to form training data set**
4. **Step 2: Update D: to equal T**
5. **Step 3: To find initial solution by GA**
6. **Initialize P_t to random individuals which satisfy problem limits**
7. **t =0**
8. **Evaluation fitness of individuals**
9. **While termination condition not met**

a. **Select individuals from P_t (fitness proportionate)**
b. **Recombine individuals**
c. **Mutate individuals**
d. **Evaluation fitness of individuals**
e. **P_{t+1} = newly created individuals**
f. **T=t+1**

10. **End while**
11. **Return superstring derived from best individual in P_t as (x_1, x_2, …., x_{nv})**
12. **Step 4: To use returned solution by GA((x_1, x_2, …., x_{nv})) as initial solution for BAT algorithm**
13. **Initialize pulse frequency (f_i), pulse rates (r_i) and the loudness(l_i)**
14. **While (the stop condition is not fulfilled)**

a. **Generate new solutions by adjusting frequency,**
b. **Updating velocities and locations**
c. **If (rand>r_i)**

i. **Select a solution among the best solutions**
ii. **Generate a local solution**

d. **End if**
e. **Generate a new solution by flying randomly**
f. **If (rand <l_i & $f(x_i)$<$f(x_{bsf})$)**

i. **Accept the new solutions**
ii. **Reduce l_i and Increase r_i**

g. **End if**
h. **Rank bats and find current best**

15. **End while**
16. **Step 5: To give the best resulted solution from BAT as final solution**

منبع: یافته‌های محقق

۵. پیاده‌سازی و یافته‌ها

برای ارزیابی روش پیشنهادی از داده‌های دو پایگاه داده اسمارت‌هوم (سینگ[1]، ۲۰۲۰) و سی‌یوبیمز (میلر[2] و همکاران، ۲۰۲۰) از پایگاه داده کگل[3] استفاده شده است. مجموعه داده اسمارت‌هوم حاوی قرائت‌هایی با دامنه زمانی ۱ دقیقه از ۳۵۰ روز لوازم‌خانگی در کیلووات ساعت از یک کنترلگر هوشمند و شرایط آب‌وهوایی یک مجموعه آزمایشگاهی جمع‌آوری شده است. این مجموعه دارای ۵۰۴۰۰۰ رکورد با ۳۲ مشخصه است که شامل ۲۷ مشخصه اعشاری، ۳ مشخصه رشته‌ای و ۲ مشخصه عدد صحیح است. مجموعه داده سی‌یوبیمز نیز شامل مصرف برق سیستم‌های تهویه، هوای مطبوع، روشنایی بر حسب کیلووات ساعت یک ساختمان ۷ طبقه با ۱۱۷۰۰ مترمربع در شهر بانکوک تایلند است. حسگرهای داخلی دمای هوا، رطوبت نسبی و روشنایی را اندازه‌گیری می‌کنند. تمام آزمایش‌ها به کمک رایانه‌ای با مشخصات اینتل دوهسته‌ای ۱/۶ گیگاهرتز و دو گیگابایت حافظه رم[4] اجرا شده‌اند. برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش مین ـ ماکس[5] و از ابزار وکا[6] نسخه ۳، ۷، ۸ استفاده شده است.

همان‌طورکه گفته شد ورودی روش پیشنهادی داده‌های برگرفته از مصرف برق وسایل الکتریکی در طول ساعات شبانه‌روز است. به عنوان مثال با استفاده از داده‌های اسمارت‌هوم برای مدل کردن و آماده سازی داده‌ها برای الگوریتم ژنتیک، با توجه به این که تعداد وسایل الکتریکی ثبت شده ۴ است، ۹۶ ژن برای هر کروموزوم در نظر می‌گیریم. هر ژن نشان‌دهنده روشن یا خاموش بودن یک وسیله الکتریکی در ساعت مشخص است (مقدار یک برای روشن بودن و مقدار صفربرای خاموش بودن). برای مثال ژن ۳۵ام نشان‌دهنده خاموش یا روشن بودن وسیله برقی دوم در ساعت ۱۰ تا ۱۱ است. برازندگی هر کروموزوم، به‌وسیلهٔ رابطه (۲) و (۳) تعیین می‌شود.

از آنجا که هدف کمینه کردن میزان مصرف برق و بیشینه کردن حداقل میزان راحتی کاربر است، این دو رابطه را به کمینه‌سازی تفاضل کل مصرف و راحتی کاربر تبدیل می‌کنیم. بنابراین ارزیابی هر کروموزوم براساس مقدار رابطه (۲) منهای رابطه (۳) انجام

1. Singh
2. Miller
3. kaggle
4. RAM
5. Min-Max
6. Waikato environment for knowledge analysis (Weka)

می‌شود. در الگوریتم ژنتیک از برش یکنواخت و جهش آزمایشی و روش انتخاب چرخ رولت استفاده شده است. فرآیند الگوریتم ژنتیک تا زمانی‌که شرط توقف (تعداد ۲۰۰ تکرار) محقق گردد ادامه می‌یابد. بهترین جواب ایجادشده از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان جواب اولیه روش خفاش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

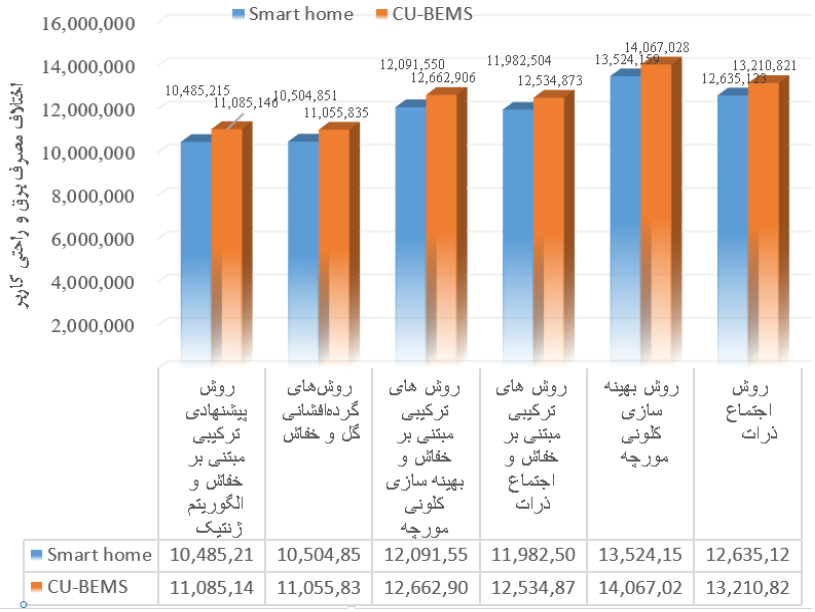
در روش خفاش ابتدا فرکانس، نرخ پالس و بلندی صدا برای هریک از خفاش‌ها به‌طور تصادفی مقداردهی اولیه می‌شود. میزان شایستگی هریک از خفاش‌ها بر اساس جوابی که به دست آورده‌اند ارزیابی شده و پارامترهای فرکانس، نرخ پالس و بلندی صدای هر یک از آن‌ها بر اساس این شایستگی به‌هنگام‌سازی می‌شود. علاوه براین در الگوریتم خفاش یک مکانیزم فرار از بهینه محلی داریم که در آن با یک احتمال مشخص یک خفاش می‌تواند مقادیر پارامترهایش را در حین فرآیند به‌طور تصادفی مقداردهی کند. این مراحل تا زمانی که بهترین جواب به دست آمده در ۱۰ گام پشت سرهم بی‌تغییر بماند تکرار می‌شود.

به منظور تحلیل معیار مصرف و راحتی کاربر در روش‌های گرده‌افشانی گل و خفاش ارائه شده در پژوهش (خلید و همکاران، ۲۰۱۹) و روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک ، هر یک از آن‌ها را به‌طور جداگانه بر روی مجموعه داده‌ها اجرا می‌کنیم که روش پیشنهادی در زمان کمتری به جواب بهتری می‌رسد. همچنین روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک را با دیگر روش‌های ترکیبی مبتنی بر خفاش و بهینه‌سازی کلونی مورچه (خان و همکاران، ۲۰۲۲) و خفاش و اجتماع ذرات (مالک و همکارن، ۲۰۱۸) مقایسه می‌کنیم. دلیل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه و اجتماع ذرات، محبوبیت این روش‌ها است (هورتادو[1] و همکارن، ۲۰۱۵) و (شاه[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

نتایج حاصل از شبیه سازی این روش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک قادر است نسبت به روش‌های ترکیبی مبتنی بر خفاش و بهینه‌سازی کلونی مورچه، ترکیبی مبتنی بر خفاش و اجتماع ذرات، بهینه‌سازی کلونی مورچه (چومنان وانیچکول[3] و همکاران، ۲۰۱۹) و اجتماع ذرات (وندلر[4] و همکاران، ۲۰۱۶) نیز در اختلاف مصرف برق و راحتی کاربر بهبود داشته باشد. این نتایج در شکل (۵) نشان داده شده است.

1. Hurtado
2. Shah
3. Chumnanvanichkul
4. Wendler

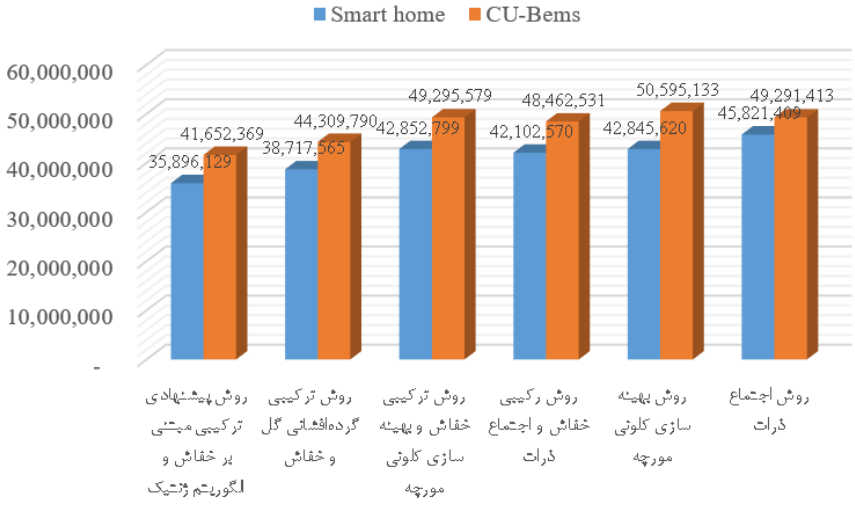
شکل ۵. مقایسه روش‌های مورد بررسی بر اساس اختلاف مصرف برق و راحتی کاربر بهینه بر روی مجموعه داده‌های سی‌یوبیمز و اسمارت‌هوم



	روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک	روش‌های گرده‌افشانی گل و خفاش	روش های ترکیبی مبتنی بر خفاش و بهینه سازی کلونی مورچه	روش های ترکیبی مبتنی بر خفاش و اجتماع ذرات	روش بهینه سازی کلونی مورچه	روش اجتماع ذرات
Smart home	10,485,21	10,504,85	12,091,55	11,982,50	13,524,15	12,635,12
CU-BEMS	11,085,14	11,055,83	12,662,90	12,534,87	14,067,02	13,210,82

منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ٦. مقایسه روش‌های مورد بررسی براساس میزان مصرف برق (وات) بر روی مجموعه داده‌های سی‌یوبیمز و اسمارت‌هوم



منبع: یافته‌های تحقیق

در ادامه نتایج حاصل را با دو پژوهش (براهیم، ۲۰۲۱) و (چومنان وانیچکول و همکاران، ۲۰۱۹) که از دو مجموعه داده مذکور استفاده کرده‌اند مقایسه می‌کنیم. با توجه به گزارش نتایج در پژوهش‌های مذکور، از معیار مشترک هزینه مصرف برق برای ارزیابی همه روش‌ها استفاده می‌کنیم. نتایج حاصل از اجرای این آزمایش‌ها که در شکل (۶) آمده است، نشان می‌دهد روش پیشنهادی برای هر دو مجموعه داده اسمارت‌هوم و سی‌یوبیمز در هزینه مصرفی نسبت به روش‌های گرده‌افشانی گل و خفاش (خلید و همکاران، ۲۰۱۹)، ترکیبی مبتنی بر خفاش و بهینه‌سازی کلونی مورچه، ترکیبی مبتنی بر خفاش و اجتماع ذرات، بهینه‌سازی کلونی مورچه (چومنان وانیچکول و همکاران، ۲۰۱۹) و اجتماع ذرات (وندلر و همکاران، ۲۰۱۶) بهبود داشته است.

٦. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

محققین زیادی در زمینه بهینه‌سازی و زمان‌بندی وسایل الکتریکی با هدف بهبود مصرف انرژی و راحتی کاربران تمرکز کرده‌اند که اکثراً مبتنی بر الگوریتم برنامه‌ریزی صحیح و برنامه‌ریزی پویا بوده است. این روش‌ها علیرغم دقت بالا توانایی مدیریت تعداد بالای وسایل برقی را نداشته و حل مسائل چندهدفه با این روش‌ها کار پیچیده و دشواری است. ما در این پژوهش روشی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و خفاش ارائه کردیم و عملکرد آن را مورد بررسی قرار دادیم. اضافه کردن فاکتور کیفیت هوا به راحتی کاربر، در نظر گرفتن راحتی کاربر در کنار کم کردن هزینه‌ها در بهینه‌سازی و فرموله‌سازی مسئله به‌صورت یک برنامه‌ریزی دو هدفه و ارائه یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و خفاش برای حل مسئله از نوآوری‌های این پژوهش محسوب می‌شود. نتایج حاصل از آزمایشات نشان می‌دهد روش پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر خفاش و الگوریتم ژنتیک، نسبت به سایر روش‌های بررسی شده بهبود داشته است.

موارد زیر برای پژوهش‌ها و مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- در مدل ارائه‌شده در این مقاله، تعداد وسایل الکتریکی ثابت درنظر گرفته‌شده است؛ اما می‌توان با پویا در نظر گرفتن آن این مسئله را بررسی کرد.
- جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک مورداستفاده به‌صورت تصادفی تولید شد؛ اما استفاده از جواب‌های بهینه‌ی محلی به‌عنوان جواب‌های اولیه می‌تواند باعث بهبود در

جواب شود. برای این منظور می‌توان از روش تقسیم و حل به‌منظور پیدا کردن جواب‌های محلی استفاده کرد.

- در این مقاله، الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئلۀ مدیریت مصرف انرژی و راحتی کاربر مورداستفاده قرارگرفته و کارایی آن بررسی شد. استفاده از این الگوریتم در حل مسائل متنوع می‌تواند به آن اعتبار بیشتری دهد.

۷. تعارض منافع

تعارض منافعی ندارم.

۸. سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس خود را نسبت به زحمات هیئت تحریریه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران اعلام می‌دارند.

ORCID

Akram Beigi https://orcid.org/0000-0003-2268-8734

Fariba Fatahi https://orcid.org/0000-0002-9559-2752

۹. منابع

الله‌یاری، افق، بایرامی راد، وحید و اسلام نژادنمین، مجتبی. (۱۳۹۹). بررسی اهمیت هوش مصنوعی در ساختمان‌های هوشمند. هشتمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک، شیروان.

بهروزی، امیر، عبدیزدان، مرجان و نوری مهر، محمدرضا. (۱۳۹۸). ارائه الگوریتم فازی ـ عصبی مبتنی بر اینترنت اشیا جهت بهینه سازی انرژی در ساختمان هوشمند. پنجمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، تبریز.

سعیدخانی، محمد، فلاحی، اسماعیل وبانشی، مهدی. (۱۳۹۵). ارائۀ مدل مدیریت تأمین انرژی در ایران براساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۵(۱۸)، ۲۹-۶۰. doi: 10.22054/jiee.2016.7192

شریفیان، سمانه سادات، پهلوانزاده، نادر و کوه بنانی، حسین. (۱۳۹۹). کنترل هوشمند مصرف انرژی ساختمان در یک تالار پذیرایی با استفاده از منطق فازی. پنجمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک، تهران.

صانعی، ساره و حاج محمدی، آیدا. (۱۳۹۹). بررسی اینترنت اشیا و کاربرد و اهمیت آن در ساختمان‌ها و شهرهای هوشمند. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق،کامپیوتر و مکانیک، تهران.

عباسی، علی. (۱۳۹۹). پیاده‌سازی عملی اینترنت اشیاء در یک ساختمان هوشمند. پنجمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک، تهران.

References

Abbasi, A. (2020). Practical implementation of Internet of Things in a smart building. *In 5th Conference on the New Horizons in the Electrical Engineering*, Computer and Mechanic. Tehran. https://civilica.com/doc/1042856. [In Persian]

Ahmad, A., Javaid, N., Alrajeh, N., Khan, Z.A., Qasim, U. & Khan, A. (2015). A Modified Feature Selection and Artificial Neural Network-Based Day-Ahead Load Forecasting Model for a Smart Grid. *Applied Sciences*, 5(4),1756-1772. https://doi.org/10.3390/app5041756.

Allah-yari, O., Bayrami-rad, V. & Eslamnejad-namin, M. (2020). Investigating the importance of artificial intelligence in smart buildings. *In 8th Conference on Electrical*, Computer and Mechanical Engineering, Shirvan. https://civilica.com/doc/1043280. [In Persian]

Alsalibi, B., Abualigah, L. & Khader, A. T. (2021). A novel bat algorithm with dynamic membrane structure for optimization problems. *Applied Intelligence*, 51, 1992-2017. https://doi.org/10.1007/s10489-020-01898-8.

Anvari-Moghaddam, A., Rahimi-Kian, A., Mirian, M. S. & Guerrero, J. M. (2017). A multi-agent based energy management solution for integrated buildings and microgrid system. *Applied energy*, 203, 41-56. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.007.

Badar, A. Q. & Anvari-Moghaddam, A. (2022). Smart home energy management system–a review, *Advances in Building Energy Research*, 16(1),118-143. https://doi.org/10.1080/17512549.2020.1806925.

Behrouzi, A., Abd-yazdan, M. & Noorimehr, M. R. (2019). *A* fuzzy-neural algorithm based on Internet of Things for energy optimization in smart building. *In 5th Conference on Distributed Computing and Big Data Processing, Tabriz*. https://civilica.com/doc/961944. [In Persian]

Brahim, G. B. (2021). Weather Conditions Impact on Electricity Consumption in Smart Homes: Machine Learning Based Prediction Model. *In 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering* (ICEEE), pp. 93-98, IEEE.

Chumnanvanichkul, P., Chirapongsananurak, P. & Hoonchareon, N. (2019). *Three-level Classification of Air Conditioning Energy Consumption for Building Energy Management System Using Data Mining Techniques.* In 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia, pp. 611-615, IEEE.

Dashtaki, A. A., Khaki, M., Zand, M., Nasab, M. A., Sanjeevikumar, P., Samavat, T. & Khan, B. (2022). A Day Ahead Electrical Appliance Planning of Residential Units in a Smart Home Network Using ITS-BF Algorithm. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Vol. 2022, Article ID 2549887, pp. 1-13. https://doi.org/10.1155/2022/2549887.

Degha, H. E., Laallam, F. Z. & Said, B. (2019). Intelligent context-awareness system for energy efficiency in smart building based on ontology. *Sustainable computing: informatics and systems*, 21, 212-233. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.01.013.

González-Briones, A., De La Prieta, F., Mohamad, M. S., Omatu, S. & Corchado, J. M. (2018). Multi-agent systems applications in energy optimization problems: A state-of-the-art review. *Energies*, 11(8), 1928. https://doi.org/10.3390/en11081928.

Hurtado, L. A., Nguyen, P. H. & Kling, W. L. (2015). Smart grid and smart building inter-operation using agent-based particle swarm optimization. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2, 32-40. https://doi.org/10.1016/j.segan.2015.03.003.

Khalid, R., Javaid, N., Rahim, M. H., Aslam, S. & Sher, A. (2019). Fuzzy energy management controller and scheduler for smart homes. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 103-118. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.11.010.

Khan, F. A., Ullah, K. & Anwar, S. (2022). Energy optimization in smart urban buildings using bio-inspired ant colony optimization. *Soft Computing*, 27, 973–989. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07537-3.

Malik, S. & Kim, D. (2018). Prediction-learning algorithm for efficient energy consumption in smart buildings based on particle regeneration and velocity boost in particle swarm optimization neural networks. *Energies*, 11(5), 1289. https://doi.org/10.3390/en11051289.

Miller, C. & Tian, J. (2020). CU-BEMS, smart building energy and IAQ data. Retrieved January, 2020, from https://www.kaggle.com/datasets/claytonmiller/cubems-smart-building-energy-and-iaq-data.

Mohanty, S. & Dash, R. (2022). A comprehensive review on bio-inspired flower pollination algorithm. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 43(5), 963-971. https://doi.org/10.1080/02522667.2022.2092224.

Netto, R. S., Ramalho, G. R., Bonatto, B. D., Carpinteiro, O. A., Zambroni de Souza, A. C., Oliveira, D. Q. & Braga, R. A. (2018). Real-time framework for energy management system of a smart microgrid using multiagent systems. *energies*, 11(3), 656. https://doi.org/10.3390/en11030656.

Rahim, S., Iqbal, Z., Shaheen, N., Khan, Z. A., Qasim, U., Khan, S. A. & Javaid, N. (2016). *Ant colony optimization based energy management controller for smart grid.* In 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 1154-1159, IEEE.

Roth, A. & Reyna, J. (2019). Grid-interactive efficient buildings technical report series: Whole-building controls, sensors, modeling, and analytics, (No. NREL/TP-5500-75478; DOE/GO-102019-5230). USDOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Energy Efficiency Office. Building Technologies Office, Washington DC (United States).

Saeed Khani, M., Fallahi, E. & Baneshi, M. (2016). Modeling for Energy Supply Management in Iran Based on Technical, Economic and Environmental Criteria. *Iranian Energy Economics*, 5(18), pp. 29-60. https://10.22054/jiee.2016.7192. [In Persian]

Sanei, S. & Hajmohamadi, A. (2020). *Investigating the importance of artificial intelligence in smart buildings*. In 5th Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering, Tehran. https://civilica.com/doc/1039792. [In Persian]

Shah, A. S., Nasir, H., Fayaz, M., Lajis, A. & Shah, A. (2019). A review on energy consumption optimization techniques in IoT based smart building environments. *Information*, 10(3), 108. https://doi.org/10.3390/ info10030108.

Sharifian, S. S., Pahlevanzadeh, N. & Koohbanani, H. (2020). *Intelligent control of building energy consumption in a reception hall using fuzzy logic*. In 5th Conference on the New Horizons in the Electrical Engineering, Computer and Mechanic. Tehran. https://civilica.com/doc/1042821. [In Persian]

Singh A. T. (2020). Smart Home Dataset with weather Information. Retrieved January, 2020, from https://www.kaggle.com/datasets/taranvee/ smart-home-dataset-with-weather-information.

Wendler, T. & Gröttrup, S., (2016). *Data mining with SPSS modeler: theory, exercises and solutions*, Springer.

Zaouali, K., Ammari, M. L., Tabka, M., Choueib, A. & Bouallegue, R. (2018). *Smart Home Resource Management Based on Multi-Agent System Modeling Combined with SVM Machine Learning for Prediction and Decision-Making*. The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, pp. 120-27.

استناد به این مقاله: بیگی، اکرم؛ فتاحی، فریبا. (۱۴۰۱). بهبود مدیریت انرژی و آسایش در ساختمان‌های هوشمند، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۵ (۱۲)، ۷۱-۹۳.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.