



Effective Indicators in Energy Management using the Internet of Things (IoT)

Morteza Nourmehdi¹, Mohammad Hadi Zahedi² ✉

¹ MSc. Student, Department of Information Technology, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: morteza.nourmehdi@email.kntu.ac.ir

² Corresponding Author, Assistant Professor of, Department of Information Technology, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: zahedi@kntu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 4 - 8 - 2024
Received in revised form
16 - 11 - 2024
Accepted 18 - 2 - 2025
Published online 18 - 3 - 2025

Keywords:

Energy Management, Internet of Things (IoT), Internet of Energy (IoE), Fuzzy Logic, Intelligent Systems, Green Energy, Energy Management Cloud Platform

ABSTRACT

Energy management based on the Internet of Things is an intelligent method to control energy consumption and production. Energy can be managed intelligently and optimally using sensors, smart devices, and communication networks. The aim of the current research is Extracting effective indicators of energy management based on the Internet of Things. This research extracted five main indicators (criteria) and twenty-two sub-criteria from previous studies. While DIMTEL and TOPSIS methods cannot resolve the ambiguity of the verbal evaluations made by the decision-makers, triangular fuzzy numbers were used in all these techniques. In order to analyze the research data, the indicators were ranked based on the effectiveness of each of them, and the type of relationship between the factors was investigated using the fuzzy Dimetal method. Based on this, energy cost, with a weight of 0.04622, has won the first place in energy management based on the Internet of Things. The criterion of social benefits, with a weight of 0.04604, won second place, and the criterion of protocols and standards, with a weight of 0.04601, won third place. Finally, the obtained weights were used to rank energy management based on the Internet of Things using the fuzzy TOPSIS method and Solar Energy has won the first place. Wind energy ranked second, geothermal energy ranked third, hydroelectric energy ranked fourth, and biomass energy ranked fifth.

Cite this article: Nourmehdi, M. and Zahedi, M.H. (2024). Effective Indicators in Energy Management using the Internet of Things (IoT). Journal of Engineering Management and Soft Computing



© The Author(s)
DOI: <https://doi.org/>

Publisher: University of Qom

استخراج شاخص‌های مؤثر در مدیریت انرژی (برق) با استفاده از اینترنت اشیا

نویسندگان مرتضی نورمهدی^۱، محمدهادی زاهدی^۲ ✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

رایانامه: morteza.nourmehdi@email.kntu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. رایانامه:

zahedi@kntu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: 1403/05/14</p> <p>تاریخ بازنگری: 1403/08/26</p> <p>تاریخ پذیرش: 1403/11/30</p> <p>تاریخ انتشار: 1403/12/30</p> <p>کلیدواژه‌ها: مدیریت انرژی، اینترنت اشیا، اینترنت انرژی، منطق فازی، سیستم‌های هوشمند، انرژی سبز، سکوی ابری مدیریت انرژی</p>	<p>مدیریت انرژی با استفاده از اینترنت اشیا یک روش هوشمند برای کنترل مصرف و تولید انرژی است. با استفاده از حسگرها، دستگاه‌های هوشمند و شبکه‌های ارتباطی، می‌توان انرژی را به طور هوشمند و بهینه، مدیریت کرد. هدف پژوهش حاضر مدیریت انرژی براساس اینترنت اشیا می‌باشد. در این تحقیق ابتدا براساس مطالعات پیشین پنج شاخص (معیار) اصلی و بیست و دو زیرمعیار انتخاب شدند. به علت این که شیوه‌های دیمتل و تاپسیس قادر به رفع ابهام از ارزیابی‌های کلامی صورت گرفته توسط تصمیم‌گیرندگان نیستند، در همه این روش‌ها اعداد فازی مثلثی بکار برده شده است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق، ابتدا به رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر یک از آن‌ها و بررسی نوع ارتباط عوامل با یکدیگر با استفاده از روش دیمتل فازی پرداخته شد. بر این اساس برای مدیریت انرژی براساس اینترنت اشیا، هزینه انرژی با وزن 0/04622 رتبه اول را کسب کرد. معیار منافع اجتماعی با وزن 0/04604 رتبه دوم و معیار پروتکل‌ها و استانداردها با وزن 0/04601 رتبه سوم را کسب کرده است.</p>

استناد: نورمهدی، مرتضی و زاهدی، محمدهادی. (1403). شاخص‌های مؤثر در مدیریت انرژی با استفاده از اینترنت اشیا. مجله مدیریت مهندسی و

رایانش نرم



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم

1) مقدمه

با توجه به توسعه روزافزون فناوری‌ها از جمله دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا و گستردگی تجهیزات و زیرساخت‌های مرتبط با این فناوری که همگی به نوعی با موضوع مصرف انرژی در ارتباط هستند، بحث مدیریت انرژی به یکی از چالش‌های پیش رو در مدیریت توسعه فناوری‌ها تبدیل شده است. مفهوم و پذیرش اینترنت انرژی¹ به طور قابل توجهی اهمیت شبکه هوشمند را بهبود می‌بخشد. اینترنت انرژی مفهومی نوینی در حوزه فناوری‌های زیستی را شکل داده است که در آن سکوها، تجهیزات، پروتکل‌ها، استانداردها و سازوکارهای ارتباطی به منظور مدیریت هوشمند و سبز انرژی بطور یکپارچه ارائه شده اند و برای بهبود شبکه هوشمند پیشنهاد شده است.

فناوری اینترنت اشیا² برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های بلادرنگ جهت مدیریت هوشمند انرژی استفاده می‌شوند. اینترنت انرژی تضمین می‌کند که حوزه‌های انرژی مانند تولید، انتقال، توزیع، عملیات، خدمات، بازارها، کاربران نهایی و تنظیم کننده‌ها، به طور یکپارچه کنار هم قرار گرفته اند. بدیهی است این انتقال از منابع انرژی تجدیدناپذیر به منابع انرژی تجدیدپذیر بایستی بصورت تدریجی ایجاد شود که خود از ابتکارات مدیریت انرژی در پشتیبانی از کارایی زیست محیطی و اقتصادی است (شاپسوک و همکاران³، 2015؛ ژو و همکاران⁴، 2015؛ کائو و یانگ⁵، 2013). فناوری اینترنت اشیا همچنین می‌تواند یک سکو برای پایش و مدیریت کل شبکه هوشمند با جهت‌گیری اتصال بین تمام سیستم‌های قدرت، در نظر گرفته شود (ریفکین⁶، 2011).

اینترنت انرژی که به همراه خود مدیریت هوشمند انرژی را تضمین می‌نماید موجب ارتقا بهره‌وری انرژی خواهد شد. این ارتقا بهره‌وری می‌تواند در قالب تغییر مسیر خودکار و تنظیم مصرف انرژی باشد یا در جهت کنترل آسیب‌های تجهیزات، ناشی از افزایش بار تحمیلی به شبکه. اینترنت انرژی به عنوان فناوری تبدیل شبکه هوشمند به شبکه هوشمندتر از طریق پیشرفت فناوریانه و بهبود یافته با پشتیبانی اینترنت اشیا برای کل سیستم شبکه هوشمند آینده در نظر گرفته شده است. اینترنت اشیا یک عامل کلیدی برای حوزه انرژی است که در آن سنجش و فعال‌سازی ویژگی‌های اصلی بسیاری از دارایی‌ها به منظور افزایش کارایی عملیاتی و ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ایجاز و همکاران⁷، 2017). یکی از ویژگی‌های اصلی اینترنت انرژی، توانایی استفاده از اینترنت اشیا برای کنترل و نظارت بر تمامی فعالیت‌ها و عملکردهای شبکه هوشمند است (کولیر⁸، 2015). در دنیای امروز، کنترل مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (آبو و همکاران⁹، 2023). علاوه بر این، اینترنت انرژی، فناوری است که در آن انتقال انرژی از نوعی که در آن تولید و برنامه ریزی قابل پیش بینی می‌باشد به نوعی غیرمتمرکز است که پیش بینی آن دشوار است. وجود محیط‌های پراکنده و توزیع شده این پیش بینی را دشوارتر می‌نماید و مستلزم تلفیق فناوری‌های دیگر از جمله فناوری

¹ Internet of Energy (IoE)
² Internet of Things (IoT)
³ Shapsough et al.
⁴ Zhou et al.
⁵ Cao, & Yang.
⁶ Rifkin
⁷ Ejaz et al.
⁸ Collier
⁹ Abu et al.

اطلاعات و ارتباطات و هوش مصنوعی است (احمد و ژانگ^۱، 2021). با این حال، با اینترنت اشیا، دستگاه‌ها می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و داده‌ها را مبادله کنند (احمدی و همکاران، 2020).

پارادایم اینترنت انرژی، منجر به افزایش بینش و آگاهی از تولید به مصرف انرژی از طریق حسگرها و ابزارهای هوشمند در سکوها خواهد شد. اشیاء متصل برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها در لحظه طراحی شده‌اند تا تصمیم‌گیری را بهبود بخشند (العزیز و همکاران^۲، 2019). در پژوهش مورد اشاره، به درک شیوه‌های مدیریت تولید انرژی که با فناوری اینترنت اشیا امکان‌پذیر شده است، اشاره شده است. این فناوری، مولفه‌ای از یک سیستم باز را ارائه می‌دهد که همیشه در تعامل دائمی با سیستم‌های دیگر است (الشطوی و همکاران^۳، 2020). بدین منظور، وجود قابلیت همکاری و تبادل داده برای انطباق با سایر سیستم‌های موجود یا در حال ایجاد ضروری است. علاوه بر این، مدیران حوزه انرژی می‌توانند پذیرش اینترنت اشیا را به روشی منفعت‌محور، با پرداختن به شیوه‌های مدیریت انرژی که با کسب‌وکار، بلوغ داده‌ها و سیستم‌ها و ابزارهای اطلاعاتی موجود هماهنگ‌تر هستند، تطبیق دهند (کمیسون برنامه و بودجه استرالیا^۴، 2023). پس می‌توان نتیجه گرفت این فناوری بستری برای تبادل داده و اطلاعات و همچنین پردازش و تحلیل داده به منظور اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای نیل به مدیریت هوشمند انرژی باشد.

در رویکرد تولید انرژی امروزه، افزایش قیمت انرژی، افزایش آگاهی زیست محیطی و تغییر رفتارهای مصرف‌کننده، تصمیم‌گیرندگان را به سمت اولویت دادن به تولید انرژی سبز سوق می‌دهد. اینترنت اشیا بواسطه حسگرهای هوشمند و کنتورهای هوشمند در سطح ماشین و خط تولید، نویدبخش افزایش بینش و آگاهی از مصرف انرژی است. در نتیجه، داده‌های مصرف انرژی در زمان واقعی از فرآیندهای تولید را می‌توان به راحتی جمع‌آوری کرد و سپس تجزیه و تحلیل کرد تا تصمیم‌گیری آگاهانه از انرژی را بهبود بخشد. علاوه بر این، مزایایی را که می‌توان بخاطر اتخاذ چنین شیوه‌های مدیریتی به دست آورد، مورد بحث قرار می‌دهد. در پژوهش دیگری، چارچوبی برای پشتیبانی از ادغام داده‌های انرژی جمع‌آوری شده در ابزارها و سکوها مرتبط ارائه شده است (باستیدا و همکاران^۵، 2019). مدیران حوزه انرژی می‌توانند به پذیرش اینترنت اشیا به شیوه‌ای مبتنی بر منفعت متمایل شوند و به آن دسته از شیوه‌های مدیریت انرژی که بیشتر با بلوغ شرکت، داده‌های قابل اندازه‌گیری و سیستم‌ها و ابزارهای اطلاعاتی موجود همسو هستند، توجه کنند (بیستلین و بلنفورد^۶، 2021).

مدیریت انرژی با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و فناوری‌های مرتبط، می‌تواند به طور چشمگیری به بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود کارایی سیستم‌های انرژی کمک کند. این فناوری‌ها با استفاده از دستگاه‌های هوشمند و حسگرهای مختلف، اطلاعات دقیقی در مورد مصرف برق در ساختمان‌ها، صنایع و شبکه‌های توزیع انرژی جمع‌آوری می‌کنند (کائو و یانگ^۷، 2013). داده‌های جمع‌آوری شده به سکوی ابری مدیریت انرژی ارسال می‌شود تا برای کنترل و مدیریت مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرد (میشرا و همکاران^۸، 2023). در این سیستم‌های هوشمند، مدیریت مصرف

¹ Ahmad & Zhang
² Al-Azez et al.
³ Al-Shetwi et al.
⁴ Australian Trade and Investment Commission
⁵ Bastida et al.
⁶ Bistline & Blanford
⁷ Mishra et al.

انرژی به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. به عنوان مثال، با استفاده از حسگرهای متصل به اینترنت، می‌توان الگوهای مصرف انرژی را به دقت شناسایی کرد و به تحلیل آن‌ها پرداخت. این اطلاعات به مدیران امکان می‌دهد تا نقاط ضعف و نقاط قوت سیستم‌های انرژی را شناسایی کنند و اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهند. با شناسایی دستگاه‌ها و تجهیزاتی که بی‌مورد یا خارج از الگو، انرژی مصرف می‌کنند، می‌توان آن‌ها را خاموش کرد یا بهینه‌سازی کرد، که منجر به کاهش هزینه‌های انرژی و صرفه‌جویی در مصرف برق می‌شود (مانی‌وان و همکاران¹، 2024). این فناوری همچنین به بهبود کیفیت ارائه خدمات و کاهش زمان قطعی برق کمک می‌کند. با نظارت مستمر بر وضعیت شبکه و تجهیزات، سیستم‌های هوشمند قادر به پیش‌بینی و شناسایی مشکلات پیش از وقوع آن‌ها هستند. این پیش‌بینی به مدیران امکان می‌دهد تا اقدامات پیشگیرانه انجام دهند و از بروز مشکلات جدی جلوگیری کنند. علاوه بر این، این سیستم‌ها می‌توانند به بهبود بازدهی برق کمک کنند، زیرا با تحلیل داده‌ها می‌توان به بهینه‌سازی عملکرد تجهیزات و کاهش اتلاف انرژی پرداخت (جاها و همکاران²، 2024).

یکی از مزایای استفاده از فناوری اینترنت اشیا در مدیریت انرژی، توانایی خودکارسازی مصرف انرژی است. به عنوان مثال، با استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌توان به طور خودکار روشنایی و تهویه مطبوع را تنظیم کرد تا با الگوهای مختلف مصرف انرژی هماهنگ شود. این خودکارسازی به کاهش مصرف غیر ضروری انرژی و بهبود بهره‌وری سیستم‌های انرژی کمک می‌کند. مدیریت انرژی مبتنی بر فناوری اینترنت اشیا همچنین به حفظ محیط زیست نیز کمک می‌کند. با کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی استفاده از منابع، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. این امر به مقابله با تغییرات اقلیمی و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند (رضا و همکاران³، 2024). به طور خلاصه، استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا در مدیریت انرژی، راهکاری هوشمندانه برای بهینه‌سازی مصرف برق، بهبود عملکرد سیستم‌های انرژی و حفظ محیط زیست است. این فناوری‌ها با فراهم کردن داده‌های دقیق و امکانات پیشرفته برای نظارت و کنترل، به مدیران امکان می‌دهند تا به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های انرژی بپردازند و در عین حال به حفظ منابع طبیعی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی کمک کنند (لیو و همکاران⁴، 2024).

در دنیای امروزی که چالش‌های مربوط به مصرف انرژی و تغییرات اقلیمی به شدت مطرح است، مدیریت بهینه انرژی به یکی از اولویت‌های اصلی در سطح جهانی تبدیل شده است. در این زمینه، استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا می‌تواند به طرز قابل توجهی بهبود بهره‌وری انرژی را ممکن سازد و نقش بسزایی در کاهش هزینه‌ها و حفظ منابع طبیعی ایفا کند (اکرم و همکاران⁵، 2024). مطالعه و تحقیق دیگری به بررسی جنبه‌های مختلف این تکنولوژی و تأثیر آن بر مدیریت بهینه انرژی پرداخته است. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و تحلیل شاخص‌های کلیدی است که می‌توانند بهبود قابل توجهی در فرآیند مدیریت انرژی به ارمغان آورند. اینترنت اشیا، با قابلیت اتصال و تعامل میان دستگاه‌های

¹ Manivannan et al.
² Jha et al.
³ Raza et al.
⁴ Liu et al.
⁵ Akram et al.

مختلف، امکانات گسترده‌ای را برای نظارت و کنترل دقیق مصرف انرژی فراهم می‌آورد (سالم و همکاران^۱، 2021). به وسیله این فناوری، حسگرها و دستگاه‌های متصل به شبکه می‌توانند اطلاعات دقیق و لحظه‌ای از وضعیت مصرف انرژی ارائه دهند (آل سعداوی و همکاران^۲، 2024). این داده‌ها به مدیران و تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهند که الگوهای مصرف را شناسایی کرده و بر اساس آن‌ها تصمیمات راهبردی اتخاذ کنند. به عنوان مثال، با تحلیل داده‌های به‌دست آمده از حسگرها، می‌توان به شناسایی الگوهای غیر بهینه و پیشگیری از هدررفت انرژی پرداخت و اقداماتی برای بهینه‌سازی مصرف انجام داد (لی و همکاران^۳، 2023).

در این مطالعه، اهمیت تحلیل و شناسایی شاخص‌های مؤثر در مدیریت انرژی با استفاده از اینترنت اشیا نه تنها به بهبود عملکرد انرژی می‌پردازد، بلکه به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری نیز اشاره خواهد داشت. یکی از جنبه‌های کلیدی این مطالعه، بررسی چگونگی استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده برای پیش‌بینی مشکلات احتمالی و انجام اقدامات پیشگیرانه است. این نوع پیش‌بینی به ویژه در صنایع بزرگ و سیستم‌های انرژی پیچیده می‌تواند به کاهش خرابی‌ها و افزایش عمر مفید تجهیزات کمک کند. همچنین، مطالعه بر روی شاخص‌های مؤثر می‌تواند به شناسایی نقاط قوت و ضعف سیستم‌های موجود در مدیریت انرژی بپردازد و به توسعه راهکارهای بهینه‌تر منجر شود. این تحقیق می‌تواند به بهبود فرآیندهای مدیریت انرژی در بخش‌های مختلف از جمله صنعت، ساختمان‌ها و کارخانجات و سیستم‌های مدیریت شهری و حمل‌ونقل کمک کند و به تبع آن، تأثیرات مثبتی بر روی محیط زیست و کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی داشته باشد. این تحقیق می‌تواند به ایجاد پایه‌های علمی مستحکم‌تری در زمینه مدیریت انرژی با استفاده از اینترنت اشیا منجر شود و از سوی دیگر، نتایج آن می‌تواند به نهادها و سازمان‌ها در پیاده‌سازی فناوری‌های نوین برای بهبود کارایی انرژی کمک کند. به طور کلی، این مطالعه به تحلیل عمقی شاخص‌های مؤثر در مدیریت انرژی پرداخته و می‌تواند به عنوان راهنمایی عملی برای پیاده‌سازی تکنیک‌های جدید در مدیریت انرژی و کاهش مصرف غیر ضروری انرژی عمل کند.

2) پیشینه تحقیق

۱-۲) مطالعات داخلی

عبداللهی و زاغی در سال 1398 موضوعی تحت عنوان راه‌کارهای کنترل انرژی در ساختمان‌های هوشمند بوسیله اینترنت اشیا مورد ارزیابی قرار دادند. یک شهر هوشمند از فن‌آوری‌های اطلاعات و ارتباطات پایدار برای بهبود کیفیت و عملکرد استفاده می‌کند. خدمات شهری برای شهروندان و دولت، در حالی که مصرف منابع را کاهش می‌دهد برای کنترل هوشمند انرژی در ساختمان‌ها مهم است. اینترنت اشیا می‌تواند یک راه‌حل ارائه کند که هدف از این کار اتصال دستگاه‌های ناهمگن متعدد از طریق اینترنت است، که به معماری انعطاف‌پذیر نیاز دارد که شامل اشیا، مردم و خدمات می‌شود و ترکیبی

^۱ Saleem et al.
^۲ El-Saadawi et al.
^۳ Li et al.

از یک کار کاربردی ساده می‌باشد. با پیشرفت سریع فن آوری بی‌سیم، زندگی روزانه شهروندان تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته است که استفاده از دستگاه‌های پیشرفته بر اساس آخرین فن آوری را در خانه‌ها امکان‌پذیر ساخته است این امکانات به ویژه برای شهروندان شهرهای مدرن جهان سودآور است. استفاده بیشتر از اینترنت توسط شهروندان باعث افزایش بیشتر نفوذ به اینترنت خواهد شد و در این جا اینترنت اشیاء نقش مهمی ایفا می‌کند. با این حال، بهره‌برداری از اینترنت اشیاء زمانی کارآمد است که اینترنت اشیاء با هوش مصنوعی در ماشین هوشمند برای شبیه‌سازی ترکیب شود که منجر به رفتار هوشمندانه برای تصمیم‌گیری دقیق و قابل اعتماد بدون مداخله انسانی شود. در حال حاضر ترکیب سیستم‌های اطلاعاتی هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء یک پیش شرط ضروری برای دستیابی به موفقیت سیستم اطلاعاتی است و برای موفقیت سیستم اطلاعاتی، شناسایی عوامل موثر بر آن ضروری می‌باشد (پاتل^۱، 2019).

مسعودی (1398ه.ش) موضوع هوشمند و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با فناوری اینترنت اشیاء را مورد بررسی قرار داد. اینترنت از اشیاء، از طریق تجهیزات سنجشی، میان تمامی اشیاء و اینترنت ارتباط برقرار کرده است به گونه‌ای که امکان شناسایی و مدیریت هوشمند را فراهم می‌سازد. تمامی این تجهیزات برای کنترل و مدیریت از راه دور به اینترنت متصل هستند. در این تحقیق ابتدا مفهوم اینترنتی از اشیاء ارائه گردیده و پس از آن کاربردها و حوزه‌های تحت تاثیر این فناوری شرح داده شده است. در بخش دیگر مقاله، خانه‌های هوشمند به عنوان یکی از زمینه‌های کاربردی اینترنت از اشیاء که از ضروریات عصر حاضر برای بهتر زیستن در جوامع محسوب می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته و نقش اینترنت از اشیاء به عنوان زیرساخت فناوری و نقش سیستم مدیریت ساختمان جهت کنترل هوشمند، و کنترل دمای ساختمان در خانه‌های هوشمند مورد توجه قرار داده شد. همچنین با توجه به اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی همه سازمان‌ها را متحمل هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی فراوانی نموده است. مباحث اجتماعی و فناورانه و تناقض در فناوری که پس از ظهور فناوری خانه‌های هوشمند نمود یافته‌اند، در قسمت آخر مقاله با یک رویکرد کاربر محور مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (حسیا و همکاران^۲، 2019).

بر اساس پژوهش انجام شده توسط بهروزی و همکاران (1398ه.ش) موضوعی تحت عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از درخت تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر اینترنت اشیاء مورد بررسی قرار گرفت. به منظور به‌کارگیری کارایی انرژی در منازل باید دانست کدام قسمت از خانه بیشترین انرژی را مصرف می‌نماید. بررسی میزان مصرف انرژی مکان‌هایی که بیشترین مصرف انرژی واحدهای مسکونی را دارند نشان می‌دهد که کارآمدترین اقدامات کاهش خریدهای کالاها و لوازم (خانگی) با مصرف انرژی بالاست. اینترنت اشیاء مفهومی جدید در دنیای فناوری و دنیای ارتباطات است که در آن برای هر موجودیتی قابلیت ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترنت، فراهم می‌گردد. هدف از پایش و پیمایش انرژی در خانه هوشمند (حتی شهر هوشمند)، صرفه‌جویی و کاهش مصرف برق است. یکی از مباحثی که در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند انجام شده، استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در این زمینه است که یکی از این الگوریتم‌ها، درخت تصمیم‌گیری فازی است. در این راستا، مولفه‌هایی که استفاده می‌شوند عبارتند از وسایل مصرف‌کننده انرژی، منابع تولیدکننده انرژی و انرژی خورشیدی. بر اساس

^۱ Patel
^۲ Hsia et al.

این توضیحات، پیاده‌سازی روش پیشنهادی نشان داده است که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های بیز ساده^۱ و شبکه عصبی، دارای عملکرد بهتری از لحاظ معیارهای کارایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان هوشمند است (جوی و همکاران^۲، 2018).

بهروزی و همکاران (1395.ه.ش) موضوعی تحت عنوان ارائه الگوریتم فازی عصبی مبتنی بر اینترنت اشیا جهت بهینه‌سازی انرژی در ساختمان هوشمند را مورد بررسی قرار دادند و هدف، مدیریت صحیح مصرف انرژی در ساختمان است. افزایش قیمت انرژی موجب شده است تا مصرف‌کننده بهای بیشتری جهت استفاده از تجهیزات الکتریکی مورد نیاز پردازد. با توجه به اینکه مصرف انرژی روزانه باید در انتهای هر روز محاسبه شود، لذا برای پوشش این مسئله، از شبکه عصبی استفاده شده است. از آنجایی که بعضی از متغیرهای مسئله مدیریت انرژی به صورت کیفی بیان می‌شوند، لذا برای پوشش دادن به این مسئله، از منطق فازی استفاده شده است. سیستم عصبی فازی پیشنهادی، شامل 3 متغیر میزان مصرف انرژی، میزان انرژی الکتریسته و میزان انرژی خورشیدی است. این ذکر است که برای محاسبه میزان مصرف انرژی در ساختمان هوشمند از مولفه‌هایی استفاده شده است که ضرایب هر کدام از این مولفه‌ها با استفاده از الگوریتم ای‌اچ‌پی^۳ بیان شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی، نشان از برتر بودن روش پیشنهادی به میزان 50 درصد نسبت به سیستم فازی و به میزان 0/04 درصد نسبت به روش عصبی دارد (عبداللهی و زاغری، 1398.ه.ش).

پژوهشی که میگلی‌نژاد و سرمدی (1396 ه.ش) انجام داده‌اند موضوعی تحت عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه‌های هوشمند را مورد بررسی قرار دادند. از جمله کاربردهای اینترنت انرژی را می‌توان در خانه‌های هوشمند، زنجیره تامین مواد غذایی، سیستم مدیریت حمل و نقل، صنعت پوشاک اشاره کرد. در این مقاله پس از نگاه کلی به کاربردهای اینترنت اشیا، به تأثیر هوشمندسازی منازل مسکونی بر بهبود مصرف انرژی پرداخته شده و در ادامه بهینه کردن مصرف انرژی مرتبط با وسایل ارتباطی اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گرفته است. در بحث هوشمندسازی ساختمان‌های مسکونی، از اینترنت اشیا تحت عنوان سیستم مدیریت ساختمان یاد می‌شود (مسعودی، 1398.ه.ش).

پژوهشی که توسط باوی^۴ و همکاران (1396.ه.ش) انجام شد بر موضوع مدیریت بهینه انرژی در خانه‌ی هوشمند با توان پایین مبتنی بر اینترنت اشیا تأکید دارد. امروزه بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان هوشمند، به دلیل افزایش بهای پرداختی مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی، اهمیت بسیاری پیدا کرده است. الگوریتم پیشنهادی الگوی مصرف تجهیزات الکتریکی مورد استفاده در خانوار ایرانی را در نیمه‌ی دوم سال بر اساس زمان‌بندی مصرف و توان تجهیز مورد نظر طبقه‌بندی می‌کند. توان مورد نیاز از سلول خورشیدی به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر، باتری جهت ذخیره‌سازی انرژی و شبکه توزیع برق کشور جهت موارد اضطراری تامین می‌شود. در این شرایط، صرفاً در هر لحظه تجهیزاتی که بر اساس نوع طبقه‌بندی مصرف، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ توان مصرفی خواهند داشت و مابقی تجهیزات توانی مصرف نمی‌کنند. بدین صورت میزان قابل ملاحظه‌ای از توان مصرفی کاربران صرفه‌جویی می‌شود. این سناریو به مدیریت بهینه مصرف انرژی کمک شایانی خواهد کرد. شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی با نرم‌افزار مطلب انجام

^۱ Naive Bayes
^۲ Choi et al
^۳ Analytic Hierarchy Process (AHP)
^۴ Bavi

شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با مدیریت هوشمند انرژی می‌توان الگوی مصرف را بهینه‌سازی کرد و از منابع انرژی تجدیدپذیر به جای شبکه توزیع برق نهایت بهره را برد (بهروزی و همکاران، 1398ه.ش).
تحقیق دیگری که توسط قیصری و همکاران (1392ه.ش) انجام شد به نقش اینترنت اشیا در حوزه مصرف انرژی در خانه‌های هوشمند پرداخته است. در این مقاله مصرف انرژی خانه‌های هوشمند به عنوان یکی از زمینه‌های کاربردی اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گرفته و نقش اینترنت اشیا بعنوان زیرساخت فناوری و نقش سیستم مدیریت ساختمان جهت کنترل هوشمند و کنترل دمای ساختمان در خانه‌های هوشمند مورد توجه قرار گرفته است. در مقاله دیگری یک رویکرد کاربرمحور مورد بحث و بررسی و قرار گرفته است (میگلی نژاد و سرمدی، 1396).

۲-۲) مطالعات خارجی

سینگ و همکارانش^۱ (2019) در پژوهشی در مورد ساختار معماری شبکه و نقاط کنترل انرژی، علل تلفات انرژی و دامنه کاهش تلفات انرژی با استفاده از اینترنت اشیا پرداخته‌اند. آنها همچنین در خصوص سیستم مدیریت انرژی با استفاده از خودکارسازی و نقش ساختمان‌ها در حفاظت از انرژی بحث نموده‌اند و نمای کلی از دستگاه‌های مدیریت انرژی مورد استفاده در پست‌های برق، پروتکل‌های اتوماسیون، دستگاه‌های هوشمند و استانداردهای قابل اجرا را به بحث گذاشته‌اند. صرفه‌جویی در مصرف انرژی در خانه‌های هوشمند بخش مهمی از شبکه برقی است که باید به آن توجه شود. اگرچه صرفه‌جویی انرژی در یک خانه با فناوری مقرون به صرفه، تأثیر بسیار کمی در حفظ انرژی کلی سیستم دارد، اگر تعداد خانه‌های هوشمند را زیاد در نظر بگیریم، انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند باعث کاهش قابل توجهی در میزان مصرف کلی سیستم می‌شود (ژانگ و همکاران^۲، 2014).

براساس پژوهشی که کوی و همکارانش^۳ (2019) انجام داده‌اند به بررسی کاهش مصرف انرژی برق در منازل با استفاده از اینترنت اشیا پرداختند. اینترنت اشیا در اتصال همه خانه‌ها و وسایل به اینترنت کمک کرده است. با استفاده از خانه‌های هوشمند، می‌توان الگوهای مصرف کاربر و تقاضای انرژی آنها را مطالعه کرد. رفتار مصرف‌کاربران از بررسی داده‌های تاریخی آنها به دست می‌آید و تقاضای انرژی در هر ساعت برای 72 ساعت آینده کاربر با استفاده از تجزیه و تحلیل سری زمانی پیش‌بینی می‌شود. همچنین، این کار بطور آماری الگوی استفاده از وسایل را در هر خانه مورد مطالعه قرار می‌دهد که بدین وسیله می‌توان در طول ساعات اوج بار استفاده از وسایل برقی پر مصرف را کاهش داد این کار به سازمان‌های تجاری کمک می‌کند تا درک کنند که مصرف‌کنندگان آنها چگونه از برق استفاده می‌کنند و می‌توانند مصرف‌کنندگان را تشویق کنند استفاده از وسایل برقی را از اوج ساعت مصرف به ساعات غیر اوج مصرف تغییر دهند.

جانگ و همکارانش^۴ (2019) در پژوهشی که انجام داده‌اند به بررسی سیستم مدیریت انرژی ساختمان با استفاده از اینترنت اشیا پرداختند. سیستم مدیریت انرژی ساختمان به عنوان یکی از روش‌های مختلف برای حل این مسئله‌های زیست‌محیطی از جمله کاهش منابع انرژی، گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی مورد مطالعه قرار گرفته است. سیستم‌های روشنایی عمومی بخش بزرگی از مصرف انرژی خیابان‌ها و ساختمان را شکل داده‌اند. در پژوهشی معماری و

¹ Singh et al.
² Zhang et al.
³ Cui et al.
⁴ Jang et al.

چارچوبی برای مدیریت سیستم گرمایش، تهویه مطبوع و روشنایی مبتنی بر اینترنت اشیا برای کاهش مصرف انرژی پیشنهاد شده است (پراتیک و همکاران^۱، 2018).

تحقیقی که توسط سیتون و همکارانش^۲ (2019) انجام شده است، به بررسی نقش اینترنت اشیا و پردازش لبه در کاهش مصرف انرژی پرداختند. محققان این مقاله، استفاده از یک سکوی اینترنت اشیا و پردازش لبه^۳ و یک چارچوب محاسبات اجتماعی را برای ساختن سیستمی با هدف بهره‌وری انرژی هوشمند در یک رویکرد ساختمان‌سازی عمومی پیشنهاد می‌کنند. این سیستم در یک ساختمان عمومی ارزیابی شده است. این کار استفاده از یک سکوی پردازش لبه و یک چارچوب محاسبات کلی را برای ساختن سیستمی با هدف بهره‌وری انرژی هوشمند در یک رویکرد ساختمان عمومی پیشنهاد می‌کند. نتایج این کار نشان می‌دهد که با توازن بار محاسباتی از ابر به لبه می‌توان دستگاه‌هایی با کاهش ظرفیت محاسباتی، مصرف و هزینه سخت‌افزاری ارائه داد. این سیستم‌ها هزینه‌ها را کاهش می‌دهند زیرا آنها اطلاعات غیر ضروری را به ابر منتقل نمی‌کنند. این نیز بدان معنی است که هزینه‌های محاسباتی و ذخیره‌سازی در ابر کمتر است.

در تحقیقی که توسط تروسو و همکارانش^۴ (2019) انجام شد مدیریت انرژی بر اساس اینترنت اشیا بر روی داده‌های بزرگ^۵ مورد بررسی قرار دادند. آنها سکوی انرژی اینترنت اشیا^۶ را با یک مورد در دنیای واقعی آزمایش کردند که شامل داده‌ها و اطلاعات از سه ساختمان است که در مجموع صدها حسگر دارند. این سکوی بیش از انتظارات پیش‌بینی، در بهبود عملکرد مدیریت انرژی تاثیر داشته است.

طبق تحقیقاتی که لیو و همکارانش^۷ (2019) انجام داده‌اند به طراحی سیستم مدیریت انرژی مبتنی بر اینترنت اشیا بر اساس محاسبات لبه^۸ و یادگیری تقویتی^۹ عمیق پرداختند. ابتدا، یک دید کلی از مدیریت انرژی مبتنی بر اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند شرح داده شده است و سپس چارچوب و سیستم مبتنی بر اینترنت اشیا با محاسبه لبه ارائه شده است. پس از آن، لیو و همکارانش، یک برنامه‌ریزی برای مدیریت انرژی کارآمد با یادگیری تقویتی عمیق ارائه دادند. نتایج نشان می‌دهد که طرح‌های پیشنهادی می‌توانند ضمن تأخیر کمتر در مقایسه با طرح‌های سنتی به کاهش مصرف انرژی دست پیدا کنند (اولینر و همکاران^{۱۰}، 2013).

در پژوهشی که توسط مای‌لونا و همکارانش^{۱۱} (2019) انجام شد روشی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی با استفاده از زیرساخت اینترنت اشیا پرداختند. در این مقاله یک روش برای دستیابی به ذخیره انرژی در مدارس بر اساس استفاده از داده‌های تولید شده توسط یک زیرساخت اینترنت اشیا نصب شده در داخل ساختمان‌های مدرسه و رویکردهای آموزشی مرتبط بحث می‌شود.

در مطالعه پراتیک و همکارانش^{۱۲} (2018) به بررسی سیستم‌های نظارت بر انرژی با استفاده از اینترنت اشیا پرداخته شده است. این پروژه طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم پایش انرژی را با استفاده از میکروکنترلر آردوینو^{۱۳} و یک

¹ Prathik et al.
² Sifton et al.
³ Edge-IoT
⁴ Ferraso et al.
⁵ Big Data
⁶ IoT Energy Platform (IoTEP)
⁷ Liu et al.
⁸ Edge Computing
⁹ Reinforcement Learning
¹⁰ Oliner et al.
¹¹ Mylonas et al.
¹² Prathik et al.
¹³ Arduino Micro Controller

ماژول سیستم جهانی ارتباطات سیار^۱ با هدف پیش‌بینی برق، توسعه می‌دهد. مزیت این سیستم این است که یک کاربر می‌تواند به طور روزانه انرژی مصرف شده توسط وسایل برقی را محاسبه کند و می‌تواند اقدامات بیشتری برای کنترل آنها انجام دهد و از این طریق در حفظ و کاهش مصرف انرژی کمک کند. در فعالیت و پژوهش مشابهی اطلاعات مربوط به میزان قبض، پرداخت و جزئیات خاموش شدن از پیش برنامه‌ریزی شده به مصرف‌کننده اطلاع داده می‌شود. اگر مشتری صورت حساب را به موقع پرداخت نکند، از طریق پیام به کاربر اطلاع داده می‌شود. اگر هنوز مشتری مبلغ صورت حساب را پرداخت نکرده باشد، طبق ملاحظات در نظر گرفته شده، یک پیام هشدار ارسال می‌شود و سپس اتصال برق به طور خودکار از سرور راه دور قطع می‌شود (سرا و همکاران^۲، 2014).

جان و همکارش (2017) پژوهشی انجام داده‌اند که یک روش جدید مصرف انرژی برای بهبود عمر شبکه سیستم‌های توسعه یافته برای کاربردهای اینترنت اشیا پیشنهاد کردند. این روش از ایده خوشه‌بندی یکنواخت برای تشکیل خوشه استفاده می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود در زمینه صرفه‌جویی در انرژی و طول عمر شبکه برتری دارد.

پژوهش انجام شده توسط روسیدی و همکارانش^۳ (2016) به منظور افزایش طول عمر شبکه و کاهش انرژی گره‌ها (مصرف‌کنندگان) از اینترنت اشیا استفاده کردند. برای این کار از پروتکل مسیریابی شبکه‌های 802.11 بهره بردند. نتیجه نشان می‌دهد که در شرایط برداشت انرژی پایین، می‌تواند عمر شبکه را 29.7٪ طولانی‌تر کند، در حالی که در شرایط برداشت انرژی بالا، می‌تواند با موفقیت از وقوع مسئله حفره انرژی در شبکه جلوگیری کند. در پژوهش دیگری، چارچوبی برای پشتیبانی از ادغام داده‌های انرژی جمع‌آوری شده در ابزارها و سکوها مرتب‌ارائه شده است. در این پژوهش به بررسی نقش اینترنت اشیا در مصرف انرژی پرداخته شده است. دامنه حوزه انرژی بسیار گسترده است و در این پژوهش تنها به بررسی حوزه‌های مهم انرژی که اینترنت اشیا در آن نقش موثری داشته، پرداخته شده است. خلاء تحقیقات گذشته در مورد موضوع مورد پژوهش تاثیر گذار بوده است و به فهم بهتر مسئله و ظرفیت‌های نوآوری جدید منتج شده است.

(3) روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع مطالعه موردی است و از نظر هدف کاربردی است و از نظر جمع‌آوری داده‌ها نیز توصیفی کتابخانه‌ای و کمی (روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه) است.

(۳-۱) جامعه آماری

جامعه آماری این تحقیق را اساتید دانشگاهی، خبرگان و مدیران صنعت برق با آشنایی در حوزه مدیریت انرژی براساس اینترنت اشیا می‌باشند. حجم نمونه 300 نفر از متخصصان به صورت هدفمند و در دسترس انتخاب شدند.

^۱ GSM (Global System for Mobile Communication)

^۲ Serra, et al.

^۳ Rosyidi et al.



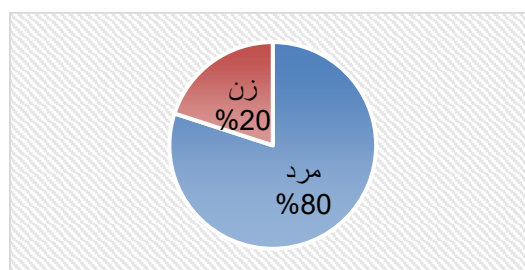
شکل 1- مراحل انجام پژوهش

3-1-1) آمار توصیفی پاسخ دهندگان

در این بخش، جهت آشنایی با تعداد پاسخ دهندگان به پرسش نامه مقایسه‌هایی از جنبه جنسیت، سن، سابقه کار و تحصیلات به توصیف ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخ دهندگان پرداخته خواهد شد.

جدول 1. توزیع فراوانی مربوط به جنسیت

جنسیت	فراوانی	درصد فراوانی
مرد	220	80
زن	80	20

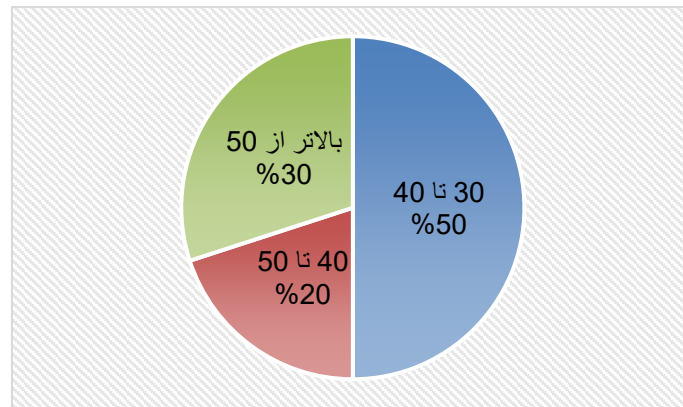


نمودار 1. جنسیت پاسخ دهندگان

با توجه به نمودار 1، 80 درصد از پاسخ دهندگان مرد و 20 درصد زن بوده‌اند.

جدول 2. توزیع فراوانی مربوط به سن

سن	فراوانی	درصد فراوانی
30 تا 40	150	50
40 تا 50	60	20
بالتر از 50	90	30

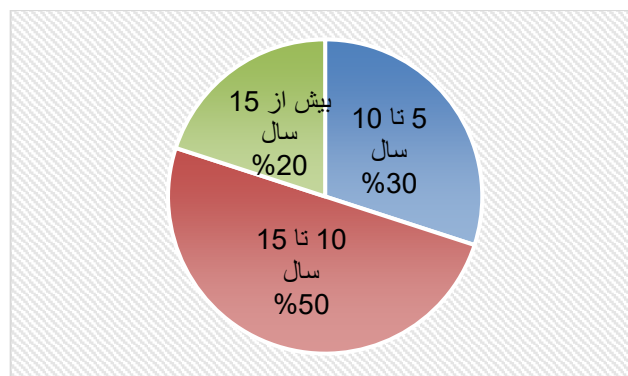


نمودار 2. سن پاسخ دهندگان

با توجه به جدول 2، بیشترین فراوانی پاسخ دهندگان مربوط به گروه سنی 30 تا 40 بوده است و کمترین فراوانی مربوط به سن بین 40 تا 50 سال بوده است که تنها 20 درصد از پاسخ دهندگان را تشکیل می‌دهند.

جدول 3- توزیع فراوانی مربوط به سابقه کار

سابقه خدمت	فراوانی	درصد فراوانی
5 تا 10 سال	90	30
10 تا 15 سال	150	50
بیش از 15 سال	60	20



نمودار 3- سابقه کار پاسخ دهندگان

با توجه به جدول 3، بیشترین پاسخ‌دهندگان دارای سابقه کاری بین 10 تا 15 سال بوده‌اند و کمترین فراوانی مربوط به سابقه کار بیش از 15 سال با 20 درصد است.

۳-۲) روش انجام پژوهش

در این بخش هدف شناسایی و وزن‌دهی چالش‌های ارزیابی منابع انرژی تجدیدپذیر است. ابتدا با استفاده از روش دلفی فازی، چالش‌ها شناسایی و تایید، سپس توسط روش دیمتلفازی به بررسی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری چالش‌ها پرداخته می‌شود و در نهایت وزن‌ها تعیین می‌شوند. در گام آخر نیز توسط روش تاپسیس فازی، منابع انرژی تجدیدپذیر رتبه‌بندی می‌شوند.

4) بحث و ارزیابی

در این بخش بر اساس روش دلفی فازی به تایید و غربالگری معیارهای پژوهش که از مرور ادبیات استخراج شده است پرداخته می‌شود. ابتدا پرسشنامه ای شامل 22 شاخص در اختیار اعضای گروه خبره (300 خبره) قرار گرفت و از آنها درخواست شد نظرشان را درباره هر معیار در قالب متغیرهای کلامی مندرج در پرسشنامه بیان کنند. نتایج اولیه از نظرات خبرگان در جدول 4 آورده شده است (0 خبره امتیاز خیلی کم، 0 خبره امتیاز کم، 100 خبره امتیاز متوسط، 90 خبره امتیاز زیاد و 110 خبره امتیاز خیلی زیاد). بنابراین امتیاز فازی و غیرفازی (قطعی) به صورت زیر می‌باشد:

امتیاز فازی

$$= \frac{0 \times (0,0,0.25) + 0 \times (0,0.25,0.5) + 100 \times (0.25,0.5,0.75) + 90 \times (0.5,0.75,1) + 110 \times (0.75,1,1)}{15}$$

$$= (0.508,0.758,0.917)$$

$$\text{امتیاز قطعی} = \frac{0.508 + 0.758 + 0.917}{3} = 0.726$$

در این پژوهش عدد آستانه 0/7 در نظر گرفته می‌شود که نتایج نشان از تایید تمامی شاخص‌ها دارد که در جدول 4 نتایج آورده شده است.

جدول 4- نتایج نظرات خبرگان

معیار	زیرمعیار	میزان تاثیر			
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد
تاب آوری	قابلیت تحمل خطا	0	0	10	9
	قابلیت اعتماد	0	1	8	11
	قابلیت مقاومت در برابر حملات	0	0	10	11
	قابلیت بازیابی	0	1	9	13
زیست محیطی	بهینه‌سازی مصرف انرژی	0	2	6	13
	کاهش پسماندهای الکتریکی	0	0	10	13

12	10	8	0	0	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای	
12	9	9	0	0	ارزیابی عملکرد زیست محیطی	
14	7	9	0	0	حسگرها و دستگاه‌ها	فنی
12	9	9	0	0	اتصالات و شبکه‌ها	
13	8	9	0	0	سیستم‌های مدیریت	
11	13	5	1	0	پروتکل‌ها و استانداردها	
14	7	9	0	0	امنیت و ایمنی	اقتصادی
11	8	11	0	0	سرمایه‌گذاری	
10	10	10	0	0	عملیات و نگهداری	
11	11	8	0	0	بازگشت سرمایه	
15	9	6	0	0	هزینه انرژی	اجتماعی-سیاسی
8	12	10	0	0	پذیرش اجتماعی	
13	8	9	0	0	ایجاد شغل	
13	6	11	0	0	منافع اجتماعی	
12	9	9	0	0	سازگاری با سیاست ملی انرژی	
11	12	7	0	0	حمایت دولت	

جدول 5- نتایج دلفی فازی

معیار	کد معیار	زیرمعیار	کد	وزن فازی	وزن غیرفازی	وضعیت
تاب آوری	D1	قابلیت تحمل خطا	C1	(917.758,0.508,0.0)	0.720	تایید
			C2	(917.758,0.508,0.0)	0.728	تایید
			C3	(917.758,0.508,0.0)	0.728	تایید
			C4	(908.767,0.517,0.0)	0.728	تایید
زیست محیطی	D2	بهینه‌سازی مصرف انرژی	C5	(917.775,0.525,0.0)	0.739	تایید
			C6	(917.775,0.525,0.0)	0.739	تایید
			C7	(933.783,0.533,0.0)	0.750	تایید
			C8	(925.775,0.525,0.0)	0.743	تایید
فنی	D3	حسگرها و دستگاه‌ها	C9	(925.792,0.542,0.0)	0.753	تایید
			C10	(925.775,0.525,0.0)	0.742	تایید
			C11	(925.783,0.533,0.0)	0.747	تایید
			C12	(942.783,0.533,0.0)	0.752	تایید
			C13	(925.792,0.542,0.0)	0.753	تایید
اقتصادی	D4	سرمایه‌گذاری	C14	(908.75,0.5,0.0)	0.719	تایید
			C15	(917.75,0.5,0.0)	0.720	تایید
			C16	(933.775,0.525,0.0)	0.744	تایید

تایید	0.783	(95.825,0.575,0.0)	C17	هزینه انرژی		
تایید	0.711	(917.733,0.483,0.0)	C18	پذیرش اجتماعی	D5	اجتماعی-سیاسی
تایید	0.747	(925.783,0.533,0.0)	C19	ایجاد شغل		
تایید	0.731	(908.767,0.517,0.0)	C20	منافع اجتماعی		
تایید	0.742	(925.775,0.525,0.0)	C21	سازگاری با سیاست ملی انرژی		
تایید	0.753	(942.783,0.533,0.0)	C22	حمایت دولت		

۴-۱) نتایج دیمتل فازی معیارهای اصلی

۴-۱-۱) تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم

در این بخش ماتریس دیمتل در اختیار 300 نفر از خبرگان قرار داده شد تا بر اساس طیف 0 تا 4 جدول دیمتل فازی، تاثیرگذاری هر معیار بر روی دیگر معیارها مشخص شود. سپس با استفاده از رابطه 1 نظرات پاسخ دهندگان ادغام شد. نتایج در جدول 6 آورده شده است.

$$\tilde{z} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \dots \oplus x^p}{p} \quad (1)$$

جدول 6- ماتریس ارتباط مستقیم معیارها

	D1	D2	D3	D4	D5
D1	(25.0,0,0)	.558,0 .308,0 .0)	.633,0 .383,0 .0)	.583,0 .333,0 .0)	.592,0 .342,0 .0)
		(758	(825	(758	(775
D2	.592,0 .342,0 .0)	(25.0,0,0)	.617,0 .367,0 .0)	.617,0 .367,0 .0)	.617,0 .367,0 .0)
	(783		(825	(808	(783
D3	.567,0 .317,0 .0)	.675,0 .425,0 .0)	(25.0,0,0)	.633,0 .383,0 .0)	.617,0 .367,0 .0)
	(775	(842		(825	(792
D4	(8.567,0.317,0.0)	.667,0 .417,0 .0)	.642,0 .392,0 .0)	(25.0,0,0)	(9.725,0.475,0.0)
		(842	(842		
D5	.592,0 .342,0 .0)	.633,0 .383,0 .0)	(775.55,0.3,0.0)	.542,0 .292,0 .0)	(25.0,0,0)
	(808	(825		(742	

۴-۱-۲) نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

در این گام با استفاده از رابطه 2 و 3 ماتریس ارتباط مستقیم جدول 7 نرمال می شود. جهت نرمال سازی باید ماکزیمم مجموع سطری حدهای بالای ماتریس ارتباطات مستقیم را بدست آورد که در این بخش برابر با عدد 0/9 می باشد. سپس تمامی اعداد ماتریس ارتباطات مستقیم (جدول 7) را بر عدد 0/9 تقسیم می کنیم. نتیجه در جدول 7 آورده شده است.

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l'_{ij}}{r}, \frac{m'_{ij}}{r}, \frac{u'_{ij}}{r} \right) = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij}) \quad (2)$$

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u'_{ij} \right) \quad (3)$$

$$T = \lim_{k \rightarrow +\infty} (\tilde{H}^1 \oplus \tilde{H}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{H}^k) \quad (4)$$

جدول 7- ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم معیارها

	D1	D2	D3	D4	D5
D1	(069 0,0,0)	.154,0 .085,0 0)	.174,0 .106,0 0)	.161,0 .092,0 0)	.163,0 .094,0 0)
		(209	(227	(209	(213
D2	.163,0 .094,0 0)	(069 0,0,0)	.17,0 .101,0 0)	.17,0 .101,0 0)	.17,0 .101,0 0)
	(216		(227	(222	(216
D3	.156,0 .087,0 0)	.186,0 .117,0 0)	(069 0,0,0)	.174,0 .106,0 0)	.17,0 .101,0 0)
	(213	(232		(227	(218
D4	.156,0 .087,0 0)	.183,0 .115,0 0)	.177,0 .108,0 0)	(069 0,0,0)	(248 2,0 .131,0 0)
	(22	(232	(232		
D5	.163,0 .094,0 0)	.174,0 .106,0 0)	.151,0 .083,0 0)	.149,0 .08,0 0)	(069 0,0,0)
	(222	(227	(213	(204	

4-3-1) تشکیل ماتریس ارتباطات کامل (T)

در این گام با استفاده از رابطه‌های 5 تا 7، ماتریس ارتباطات کامل (T) ساخته می‌شود. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی $(I_{5 \times 5})$ تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل، معکوس می‌شود. در نهایت ماتریس نرمال در ماتریس معکوس ضرب می‌شود که در جدول 8 آورده شده است.

$$[l_{ij}^t] = H_l \times (I - H_l)^{-1} \quad (5)$$

$$[m_{ij}^t] = H_m \times (I - H_m)^{-1} \quad (6)$$

$$[u_{ij}^t] = H_u \times (I - H_u)^{-1} \quad (7)$$

جدول 8- ماتریس ارتباطات کامل معیارها

	D1	D2	D3	D4	D5
D 1	275,3 .052,0 0)	43,4 .138,0 0)	435,4 .152,0 0)	419,3 .138,0 0)	438,4 .146,0 0)
	(892	(113	(125	(983	(098
D 2	422,4 .141,0 0)	305,4 .063,0 0)	44,4 .151,0 0)	433,4 .149,0 0)	451,4 .155,0 0)
	(104	(076	(211	(077	(185
D 3	422,4 .137,0 0)	(25 467,4 .17,0 0)	(109 3,4 .061,0 0)	442,4 .154,0 0)	457,4 .157,0 0)
	(136			(114	(221

D 4	.432,4 .14,0 .0)	.477,4 .172,0 .0)	.461,4 .162,0 .0)	.304,4 .062,0 .0)	.49,4 .186,0 .0)
	(285	(399	(397	(12	(391
D 5	.41,4 .136,0 .0)	.439,4 .153,0 .0)	.413,4 .131,0 .0)	.405,4 .127,0 .0)	.292,4 .058,0 .0)
	(056	(158	(147	(01	(003

4-1-4 ساخت و تجزیه و تحلیل نمودار علیّ

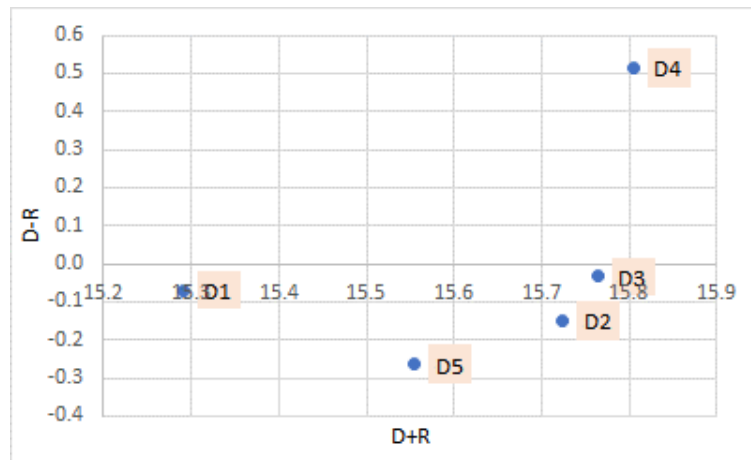
در این گام جمع سطر (D) و جمع ستون (R) ماتریس ارتباطات کامل (جدول 8) بدست می آید و سپس مقدار D+R و D-R، محاسبه می شود. در این گام، جهت غیرفازی سازی کردن مقادیر از رابطه 8 استفاده می شود. نتایج در جدول 9 آورده شده است.

$$\text{defuzzy} = \frac{(u - l) + (m - l)}{3} + l \quad (8)$$

جدول 9- جدول مقادیر R و D معیارها

	Di	Ri	(Di) ^{defuzzy}	(Ri) ^{defuzzy}	Di+Ri	Di-Ri
D1	(21 .997,20 .627,1 .0)	(473 .961,20 .606,1 .0)	611 .7	680 .7	291 .15	069 .0-
D2	(654 .051,20 .658,2 .0)	(996 .117,20 .697,2 .0)	788 .7	937 .7	725 .15	149 .0-
D3	(83 .088,20 .68,2 .0)	(989 .049,20 .657,2 .0)	866 .7	898 .7	764 .15	033 .0-
D4	(592 .163,21 .723,2 .0)	(304 .002,20 .63,2 .0)	159 .8	646 .7	805 .15	514 .0
D5	(374 .959,20 .605,1 .0)	(898 .128,20 .703,2 .0)	646 .7	909 .7	555 .15	263 .0-

در جدول 9، جمع عناصر هر سطر (D) نشانگر میزان تاثیر گذاری آن عامل بر سایر عامل های سیستم است. براین اساس معیار اقتصادی (D4) از بیشترین تاثیر گذاری برخوردار است. جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیر پذیری آن عامل از سایر عامل های سیستم است. براین اساس معیار اجتماعی-سیاسی (D5) از میزان تاثیر پذیری بسیار زیادی برخوردار است. بردار افقی (D+R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هر چه مقدار D+R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. براین اساس معیار اقتصادی (D4) بیشترین تعامل را با دیگر عوامل مورد مطالعه دارند. بردار عمودی (D-R)، قدرت تاثیر گذاری هر عامل را نشان می دهد. بطور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علت محسوب می شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می شود. که در نمودار 4، معیارهایی که در بالای محور افقی هستند جنبه علت و معیارهایی که در پایین محور افقی هستند جنبه معلول دارند.



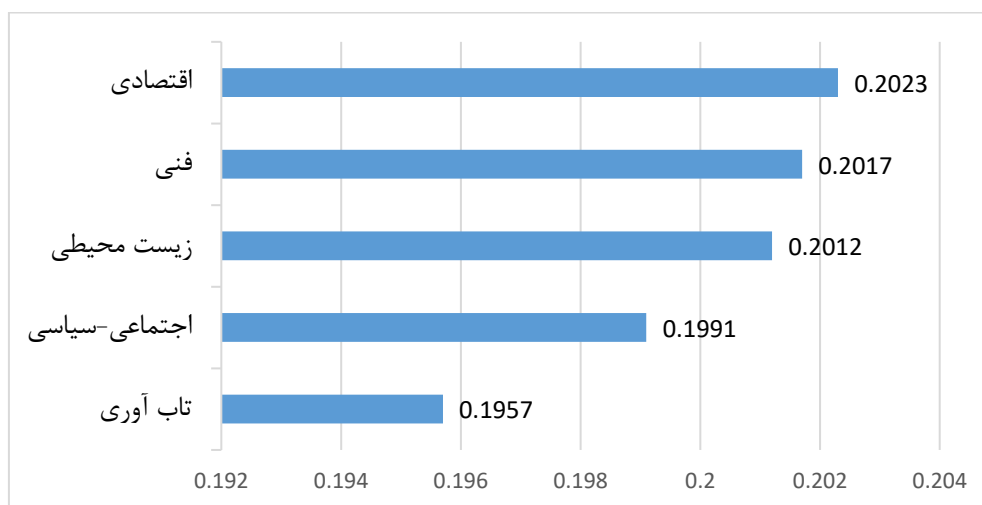
نمودار 4- نمودار علیّ معیارها

4-1-5) محاسبه وزن و رتبه معیارها

وزن هر معیار تعیین و بر اساس آن رتبه‌بندی صورت می‌پذیرد (جدول 10). بر این اساس معیار اقتصادی با وزن 0/2023 رتبه اول را کسب کرده است. معیار فنی با وزن 0/2017 رتبه دوم و معیار زیست محیطی با وزن 0/2012 رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول 10- وزن و رتبه معیارها

رتبه	وزن نرمال	وزن خام	نام معیار	کد معیار
5	0.1957	15.291	تاب آوری	D1
3	0.2012	15.725	زیست محیطی	D2
2	0.2017	15.764	فنی	D3
1	0.2023	15.813	اقتصادی	D4
4	0.1991	15.558	اجتماعی-سیاسی	D5



نمودار 5- وزن و اولویت معیارهای اصلی

۲-۴) نتایج دیمتل فازی زیر معیارها

۴-۱-۲) تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم

در این بخش ماتریس دیمتل در اختیار خبرگان قرار داده شد تا بر اساس طیف 0 تا 4 جدول دیمتل فازی، تاثیر گذاری هر معیار بر روی دیگر معیارها مشخص شود.

جدول 11- ماتریس ارتباط مستقیم معیارها

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
C1	(25 .0,0,0)	.617,0 .383,0 .0)	.625,0 .375,0 .0)	...	.383,0 .0)	.5,0 .283,0 .0)	.5,0 .267,0 .0)
		(825	(792		(8 .625,0	(717	(717
C2	.392,0 .0)	(25 .0,0,0)	.667,0 .433,0 .0)	...	.317,0 .0)	.45,0 .25,0 .0)	.75,0 .5,0 .0)
	.633,0 (808		(833		(758 .55,0	(683	(892
C3	.308,0 .0)	.583,0 .35,0 .0)	(25 .0,0,0)	...	.333,0 .0)	.358,0 .0)	.6,0 .367,0 .0)
	.525,0 (717	(767			(783 .583,0	(792 .608,0	(792
C4	.342,0 .0)	.608,0 .383,0 .0)	.508,0 .292,0 .0)	...	.325,0 .0)	.375,0 .0)	.625,0 .392,0 .0)
	(75 .567,0	(792	(7		(733 .542,0	(8 .608,0	(783
C5	.358,0 .0)	.608,0 .383,0 .0)	.558,0 .325,0 .0)	...	.508,0 .3,0 .0)	.342,0 .0)	.617,0 .375,0 .0)
	.592,0 (792	(792	(775		(717	(758 .567,0	(808
C6	.208,0 .0)	.592,0 .358,0 .0)	.517,0 .283,0 .0)	...	.433,0 .0)	.258,0 .0)	.575,0 .325,0 .0)
	.417,0 (642	(792	(725		(833 .683,0	(733 .508,0	(775
C7	.4,0 .0)	.558,0 .333,0 .0)	.55,0 .317,0 .0)	...	.425,0 .0)	.308,0 .0)	.65,0 .425,0 .0)
	(8 .625,0	(767	(733		(808 .65,0	(733 .533,0	(825
C8	.358,0 .0)	.525,0 .292,0 .0)	.6,0 .375,0 .0)	...	.367,0 .0)	.292,0 .0)	.6,0 .375,0 .0)
	.608,0 (825	(742	(792		(767 .592,0	(733 .525,0	(783
C9	.45,0 .0)	(717 .5,0 .267,0 .0)	.633,0 .383,0 .0)	...	.392,0 .0)	.35,0 .0)	.567,0 .358,0 .0)
	.675,0 (825		(808		(825 .633,0	(758 .583,0	(75
C10	.35,0 .0)	(858 .7,0 .45,0 .0)	.408,0 .208,0 .0)	...	.433,0 .0)	.408,0 .0)	.467,0 .258,0 .0)
	(75 .575,0		(625		(833 .683,0	(842 .65,0	(675
C11	.333,0 .0)	.583,0 .333,0 .0)	.617,0 .383,0 .0)	...	.442,0 .0)	.35,0 .0)	.617,0 .383,0 .0)
	.558,0 (742	(767	(8		(858 .683,0	(783 .583,0	(792

C12	392,0 (0) .642,0 (825)	442,0 233,0 (0) (675)	.608,0 375,0 (0) (792)	...	.367,0 (0) (767 592,0)	.6,0 35,0 (0) (783)	.608,0 367,0 (0) (792)
C13	208,0 (0) .433,0 (667)	(75 55,0 317,0 0)	.583,0 333,0 (0) (775)	...	.325,0 (0) (742 55,0)	283,0 (0) (733 517,0)	.558,0 342,0 (0) (758)
C14	.367,0 (0) (783 6,0)	.658,0 425,0 (0) (825)	.458,0 242,0 (0) (683)	...	.217,0 (0) (65 425,0)	.5,0 292,0 (0) (725)	.55,0 317,0 (0) (758)
C15	3,0 (0) .525,0 (733)	.608,0 392,0 (0) (783)	.517,0 292,0 (0) (733)	...	.442,0 (0) (842 683,0)	258,0 (0) (692 467,0)	.633,0 392,0 (0) (792)
C16	.275,0 (0) .517,0 (725)	.558,0 333,0 (0) (767)	.55,0 325,0 (0) (758)	...	.275,0 (0) (725 508,0)	.417,0 (0) (808 658,0)	.583,0 333,0 (0) (783)
C17	4,0 (0) (842 65,0)	.483,0 25,0 (0) (717)	.658,0 417,0 (0) (808)	...	.6,0 367,0 (0) (792)	.383,0 (0) (775 608,0)	(8 633,0 4,0 0)
C18	.383,0 (0) .608,0 (792)	.65,0 408,0 (0) (833)	.592,0 35,0 (0) (775)	...	.35,0 (0) (783 592,0)	.342,0 (0) (792 583,0)	.583,0 358,0 (0) (767)
C19	.425,0 (0) .658,0 (833)	.575,0 342,0 (0) (775)	.7,0 458,0 (0) (858)	...	.475,0 (0) (883 725,0)	.433,0 (0) (808 65,0)	.567,0 342,0 (0) (758)
C20	.283,0 (0) .517,0 (725)	.617,0 392,0 (0) (783)	.592,0 35,0 (0) (808)	...	(25 0,0,0)	.325,0 (0) (792 575,0)	.583,0 375,0 (0) (75)
C21	.35,0 (0) .583,0 (783)	.592,0 358,0 (0) (783)	.617,0 375,0 (0) (825)	...	.65,0 4,0 (0) (825)	(25 0,0,0)	.6,0 358,0 (0) (792)
C22	.375,0 (0) (783 6,0)	.65,0 408,0 (0) (833)	.617,0 375,0 (0) (817)	...	.308,0 (0) (733 55,0)	258,0 (0) (725 492,0)	(25 0,0,0)

4-2-2) نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

در این گام ماتریس ارتباط مستقیم را نرمال می‌شود. جهت نرمال سازی باید ماکزیمم مجموع سطری حدهای بالای ماتریس ارتباطات مستقیم را بدست آورد که در این بخش برابر با عدد 8.16 می‌باشد. سپس تمامی اعداد ماتریس ارتباطات مستقیم (جدول 12) را بر عدد 8.16 تقسیم می‌شوند؛ نتیجه در جدول 12 آورده شده است.

جدول 12- ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم معیارها

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
C1	(015 .0,0,0)	.023,0 .0)	.022,0 .0)	...	.023,0 .0)	.017,0 .0)	.016,0 .0)
		(049 .037,0	(047 .037,0		(048 .037,0	(043 .03,0	(043 .03,0
C2	.023,0 .0)	(015 .0,0,0)	.026,0 .0)	...	.019,0 .0)	.015,0 .0)	.03,0 .0)
	(048 .038,0		(05 .04,0		(045 .033,0	(041 .027,0	(053 .045,0
C3	.018,0 .0)	.021,0 .0)	(015 .0,0,0)	...	.02,0 .0)	.021,0 .0)	.022,0 .0)
	(043 .031,0	(046 .035,0			(047 .035,0	(047 .036,0	(047 .036,0
C4	.034,0 .02,0 .0)	.023,0 .0)	.017,0 .0)	...	.019,0 .0)	.022,0 .0)	.023,0 .0)
	(045	(047 .036,0	(042 .03,0		(044 .032,0	(048 .036,0	(047 .037,0
C5	.021,0 .0)	.023,0 .0)	.019,0 .0)	...	.018,0 .0)	.02,0 .0)	.022,0 .0)
	(047 .035,0	(047 .036,0	(046 .033,0		(043 .03,0	(045 .034,0	(048 .037,0
C6	.012,0 .0)	.021,0 .0)	.017,0 .0)	...	.026,0 .0)	.015,0 .0)	.019,0 .0)
	(038 .025,0	(047 .035,0	(043 .031,0		(05 .041,0	(044 .03,0	(046 .034,0
C7	.024,0 .0)	.033,0 .02,0 .0)	.019,0 .0)	...	.025,0 .0)	.018,0 .0)	.025,0 .0)
	(048 .037,0	(046	(044 .033,0		(048 .039,0	(044 .032,0	(049 .039,0
C8	.021,0 .0)	.017,0 .0)	.022,0 .0)	...	.022,0 .0)	.017,0 .0)	.022,0 .0)
	(049 .036,0	(044 .031,0	(047 .036,0		(046 .035,0	(044 .031,0	(047 .036,0
C9	.04,0 .027,0 .0)	.03,0 .016,0 .0)	.023,0 .0)	...	.023,0 .0)	.021,0 .0)	.021,0 .0)
	(049	(043	(048 .038,0		(049 .038,0	(045 .035,0	(045 .034,0
C10	.021,0 .0)	.027,0 .0)	.012,0 .0)	...	.026,0 .0)	.024,0 .0)	.015,0 .0)
	(045 .034,0	(051 .042,0	(037 .024,0		(05 .041,0	(05 .039,0	(04 .028,0
C11	.033,0 .02,0 .0)	.035,0 .02,0 .0)	.023,0 .0)	...	.026,0 .0)	.021,0 .0)	.023,0 .0)
	(044	(046	(048 .037,0		(051 .041,0	(047 .035,0	(047 .037,0
C12	.023,0 .0)	.014,0 .0)	.022,0 .0)	...	.022,0 .0)	.021,0 .0)	.022,0 .0)
	(049 .038,0	(04 .026,0	(047 .036,0		(046 .035,0	(047 .036,0	(047 .036,0
C13	.012,0 .0)	.019,0 .0)	.02,0 .0)	...	.019,0 .0)	.017,0 .0)	.02,0 .0)
	(04 .026,0	(045 .033,0	(046 .035,0		(044 .033,0	(044 .031,0	(045 .033,0
C14	.022,0 .0)	.025,0 .0)	.014,0 .0)	...	.013,0 .0)	.017,0 .0)	.019,0 .0)
	(047 .036,0	(049 .039,0	(041 .027,0		(039 .025,0	(043 .03,0	(045 .033,0
C15	.018,0 .0)	.023,0 .0)	.017,0 .0)	...	.026,0 .0)	.015,0 .0)	.023,0 .0)
	(044 .031,0	(047 .036,0	(044 .031,0		(05 .041,0	(041 .028,0	(047 .038,0
C16	.016,0 .0)	.033,0 .02,0 .0)	.019,0 .0)	...	.016,0 .0)	.025,0 .0)	.02,0 .0)
	(043 .031,0	(046	(045 .033,0		(043 .03,0	(048 .039,0	(047 .035,0
C17	.024,0 .0)	.015,0 .0)	.025,0 .0)	...	.022,0 .0)	.023,0 .0)	.024,0 .0)
	(05 .039,0	(043 .029,0	(048 .039,0		(047 .036,0	(046 .036,0	(048 .038,0
C18	.023,0 .0)	.024,0 .0)	.021,0 .0)	...	.021,0 .0)	.02,0 .0)	.021,0 .0)
	(047 .036,0	(05 .039,0	(046 .035,0		(047 .035,0	(047 .035,0	(046 .035,0

C19	.025,0 (0)	.034,0 (0) .02,0 (0)	.027,0 (0)	...	.028,0 (0)	.026,0 (0)	.02,0 (0)
	(05 .039,0)	(046)	(051 .042,0)		(052 .043,0)	(048 .039,0)	(045 .034,0)
C20	.017,0 (0)	.023,0 (0)	.021,0 (0)	...	(015 .0,0,0)	.019,0 (0)	.022,0 (0)
	(043 .031,0)	(047 .037,0)	(048 .035,0)			(047 .034,0)	(045 .035,0)
C21	.021,0 (0)	.021,0 (0)	.022,0 (0)	...	.024,0 (0)	(015 .0,0,0)	.021,0 (0)
	(047 .035,0)	(047 .035,0)	(049 .037,0)		(049 .039,0)		(047 .036,0)
C22	.022,0 (0)	.024,0 (0)	.022,0 (0)	...	.018,0 (0)	.015,0 (0)	(015 .0,0,0)
	(047 .036,0)	(05 .039,0)	(049 .037,0)		(044 .033,0)	(043 .029,0)	

4-2-3) ساخت ماتریس ارتباطات کامل (T)

در این مرحله، ماتریس ارتباطات کامل (T) ساخته می‌شود. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I_{22*22}) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی منهای ماتریس نرمال شده و ماتریس حاصل، معکوس می‌شود و در نهایت ماتریس نرمال در ماتریس معکوس ضرب می‌شود.

جدول 13- ماتریس ارتباطات کامل معیارها

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
C1	.015,0 (0)	.038,0 (0)	.037,0 (0)	...	.038,0 (0)	.031,0 (0)	.031,0 (0)
	(27 .087,2)	(329 .123,2)	(311 .123,2)		(343 .126,2)	(273 .113,2)	(323 .118,2)
C2	.039,0 (0)	.016,0 (0)	.041,0 (0)	...	.035,0 (0)	.03,0 (0)	.045,0 (0)
	(314 .125,2)	(308 .09,2)	(325 .128,2)		(353 .124,2)	(283 .113,2)	(345 .134,2)
C3	.034,0 (0)	.036,0 (0)	.016,0 (0)	...	.036,0 (0)	.036,0 (0)	.038,0 (0)
	(311 .119,2)	(34 .123,2)	(294 .089,2)		(357 .126,2)	(291 .121,2)	(342 .126,2)
C4	.035,0 (0)	.038,0 (0)	.032,0 (0)	...	.035,0 (0)	.036,0 (0)	.039,0 (0)
	(271 .119,2)	(299 .123,2)	(278 .117,2)		(312 .121,2)	(251 .119,2)	(299 .125,2)
C5	.037,0 (0)	.038,0 (0)	.035,0 (0)	...	.034,0 (0)	.035,0 (0)	.038,0 (0)
	(324 .123,2)	(351 .125,2)	(333 .121,2)		(362 .122,2)	(298 .119,2)	(352 .127,2)
C6	.027,0 (0)	.036,0 (0)	.032,0 (0)	...	.041,0 (0)	.03,0 (0)	.035,0 (0)
	(273 .111,2)	(307 .122,2)	(287 .117,2)		(325 .129,2)	(255 .114,2)	(307 .122,2)
C7	.039,0 (0)	.035,0 (0)	.12,2 .034,0 (0)	...	.041,0 (0)	.033,0 (0)	.041,0 (0)
	(292 .124,2)	(316 .121,2)	(298)		(334 .129,2)	(264 .116,2)	(319 .127,2)
C8	.037,0 (0)	.033,0 (0)	.038,0 (0)	...	.038,0 (0)	.032,0 (0)	.038,0 (0)
	(326 .124,2)	(348 .121,2)	(334 .124,2)		(365 .127,2)	(297 .117,2)	(35 .126,2)
C9	.042,0 (0)	.031,0 (0)	.038,0 (0)	...	.039,0 (0)	.035,0 (0)	.037,0 (0)
	(283 .126,2)	(303 .118,2)	(292 .125,2)		(325 .128,2)	(256 .119,2)	(305 .123,2)
C10	.035,0 (0)	.041,0 (0)	.11,2 .027,0 (0)	...	.041,0 (0)	.038,0 (0)	.031,0 (0)
	(26 .119,2)	(292 .127,2)	(263)		(306 .128,2)	(242 .121,2)	(282 .115,2)

C11	.035,0	.0)	.035,0	.0)	.038,0	.0)	...	.042,0	.0)	.035,0	.0)	.039,0	.0)
	(318	.121,2	(346	.123,2	(331	.125,2		(367	.131,2	(297	.12,2	(348	.127,2	
C12	.039,0	.0)	.03,0	.0)	.038,0	.0)	...	.038,0	.0)	.036,0	.0)	.038,0	.0)
	(33	.127,2	(348	.117,2	(338	.125,2		(369	.128,2	(304	.122,2	(355	.127,2	
C13	.027,0	.0)	.034,0	.0)	.12,2	.034,0	.0)035,0	.0)	.031,0	.0)	.035,0	.0)
	(278	.111,2	(309	.119,2	(294			(324	.121,2	(259	.114,2	(31	.121,2	
C14	.036,0	.0)	.04,0	.0)	.029,0	.0)	...	.029,0	.0)	.031,0	.0)	.034,0	.0)
	(29	.121,2	(318	.125,2	(294	.113,2		(324	.115,2	(263	.113,2	(314	.12,2	
C15	.033,0	.0)	.039,0	.0)	.033,0	.0)	...	.042,0	.0)	.03,0	.0)	.039,0	.0)
	(298	.119,2	(327	.125,2	(308	.119,2		(346	.131,2	(272	.113,2	(328	.128,2	
C16	.031,0	.0)	.034,0	.0)	.034,0	.0)	...	.032,0	.0)	.038,0	.0)	.035,0	.0)
	(278	.116,2	(306	.119,2	(289	.118,2		(319	.119,2	(259	.122,2	(307	.122,2	
C17	.128,2	.04,0	.0)	.031,0	.0)	.129,2	.04,0	.0)	...	.039,0	.0)	.038,0	.0)
	(352		(372	.12,2	(36			(392	.129,2	(324	.124,2	(377	.13,2	
C18	.038,0	.0)	.039,0	.0)	.036,0	.0)	...	.037,0	.0)	.035,0	.0)	.037,0	.0)
	(311	.123,2	(34	.126,2	(32	.122,2		(353	.125,2	(287	.119,2	(336	.124,2	
C19	.126,2	.04,0	.0)	.036,0	.0)	.042,0	.0)044,0	.0)	.04,0	.0)	.036,0	.0)
	(332		(356	.123,2	(344	.129,2		(378	.134,2	(307	.124,2	(355	.124,2	
C20	.12,2	.033,0	.0)	.039,0	.0)	.037,0	.0)017,0	.0)	.034,0	.0)	.039,0	.0)
	(33		(36	.126,2	(345	.124,2		(346	.093,2	(31	.12,2	(359	.126,2	
C21	.036,0	.0)	.037,0	.0)	.038,0	.0)13,2	.04,0	.0)	.015,0	.0)	.037,0	.0)
	(309	.123,2	(335	.124,2	(321	.125,2		(353		(254	.087,2	(336	.126,2	
C22	.038,0	.0)	.04,0	.0)	.038,0	.0)	...	.035,0	.0)	.03,0	.0)	.017,0	.0)
	(339	.125,2	(369	.129,2	(351	.126,2		(379	.126,2	(312	.116,2	(335	.093,2	

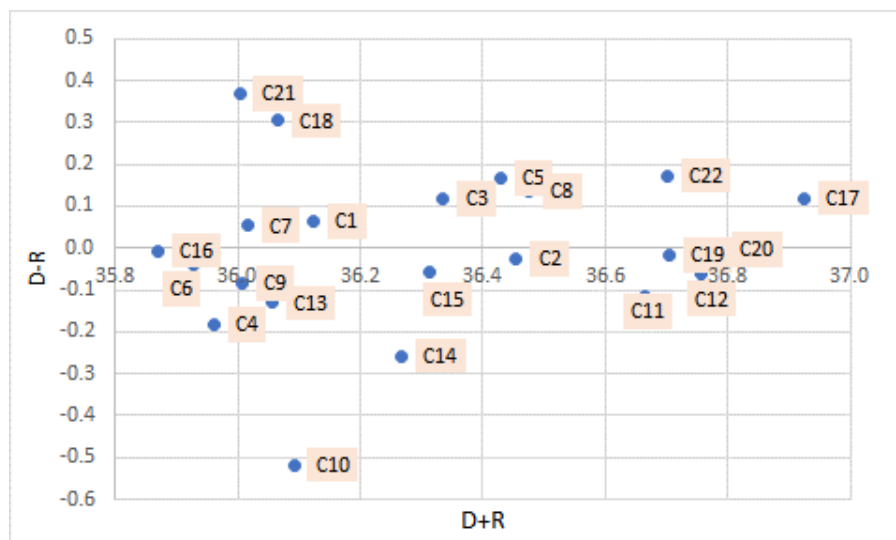
4-2-4) ایجاد و تجزیه و تحلیل نمودار علی

در این گام جمع سطر (D) و جمع ستون (R) ماتریس ارتباطات کامل و سپس مقدار D+R و D-R محاسبه می‌شود. بر این اساس معیار هزینه انرژی (C17) از بیشترین تاثیرگذاری و معیار سرمایه‌گذاری (C14) از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار هستند. بردار افقی (D+R)، میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار D+R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. براین اساس هزینه انرژی (C17) بیشترین تعامل را با دیگر عوامل مورد مطالعه دارند. بردار عمودی (D-R)، قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D-R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علت محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود.

جدول 14- مقادیر D و R

	Di	Ri	(Di) ^{defuzzy}	(Ri) ^{defuzzy}	Di+Ri	Di-Ri										
C1	(908	.619,50	.754,2	.0)	(69	.637,50	.766,2	.0)	094	.18	031	.18	124	.36	063	.0

C2	(174 .684,51 .786,2 .0)	(276 .667,51 .779,2 .0)	215 .18	241 .18	455 .36	026 .0-
C3	(227 .676,51 .778,2 .0)	(911 .65,50 .766,2 .0)	227 .18	109 .18	336 .36	118 .0
C4	(289 .619,50 .759,2 .0)	(822 .636,50 .761,2 .0)	889 .17	073 .18	962 .35	184 .0-
C5	(43 .683,51 .782,2 .0)	(963 .659,50 .774,2 .0)	298 .18	132 .18	430 .36	166 .0
C6	(464 .618,50 .754,2 .0)	(555 .634,50 .759,2 .0)	945 .17	983 .17	928 .35	038 .0-
C7	(684 .65,50 .772,2 .0)	(555 .623,50 .767,2 .0)	035 .18	982 .17	017 .36	053 .0
C8	(432 .695,51 .789,2 .0)	(109 .644,51 .758,2 .0)	306 .18	171 .18	476 .36	135 .0
C9	(462 .648,50 .773,2 .0)	(752 .633,50 .754,2 .0)	961 .17	047 .18	008 .36	085 .0-
C10	(037 .585,50 .74,2 .0)	(411 .708,51 .794,2 .0)	787 .17	304 .18	092 .36	517 .0-
C11	(36 .68,51 .782,2 .0)	(704 .686,51 .78,2 .0)	274 .18	390 .18	664 .36	116 .0-
C12	(526 .721,51 .795,2 .0)	(709 .718,51 .799,2 .0)	347 .18	409 .18	756 .36	062 .0-
C13	(552 .598,50 .738,2 .0)	(916 .615,50 .75,2 .0)	963 .17	093 .18	056 .36	131 .0-
C14	(659 .607,50 .751,2 .0)	(307 .69,51 .791,2 .0)	006 .18	263 .18	268 .36	257 .0-
C15	(912 .68,50 .79,2 .0)	(106 .67,51 .778,2 .0)	127 .18	185 .18	312 .36	057 .0-
C16	(461 .601,50 .734,2 .0)	(442 .617,50 .755,2 .0)	932 .17	938 .17	870 .35	006 .0-
C17	(091 .686,51 .779,2 .0)	(16 .564,50 .73,2 .0)	185 .18	818 .17	003 .36	367 .0
C18	(135 .65,51 .769,2 .0)	(307 .594,50 .74,2 .0)	522 .18	403 .18	926 .36	119 .0
C19	(562 .682,51 .786,2 .0)	(562 .719,51 .802,2 .0)	343 .18	361 .18	704 .36	018 .0-
C20	(657 .714,51 .801,2 .0)	(633 .741,51 .808,2 .0)	391 .18	394 .18	785 .36	003 .0-
C21	(998 .754,51 .815,2 .0)	(631 .763,51 .816,2 .0)	184 .18	880 .17	065 .36	304 .0
C22	(782 .728,51 .801,2 .0)	(281 .711,51 .801,2 .0)	437 .18	264 .18	702 .36	173 .0



نمودار 6- نمودار علی معیارها

4-2-5) محاسبه وزن و رتبه زیرمعیارها

در این گام وزن هر زیرمعیار تعیین و بر اساس آن رتبه‌بندی صورت می‌گیرد. بر این اساس هزینه انرژی با وزن 0.04622 رتبه اول را کسب کرده است. معیار منافع اجتماعی با وزن 0.04604 رتبه دوم و معیار پروتکل‌ها و استانداردها با وزن 0.04601 رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول 15- وزن و رتبه معیارها

رتبه	وزن نرمال	وزن خام	نام معیار	کد معیار
13	0.04521	36.12432	قابلیت تحمل خطا	C1
8	0.04563	36.45547	قابلیت اعتماد	C2
10	0.04548	36.33624	قابلیت مقاومت در برابر حملات	C3
20	0.04501	35.96215	قابلیت بازیابی	C4
9	0.04560	36.43030	بهینه‌سازی مصرف انرژی	C5
21	0.04497	35.92818	کاهش پسماندهای الکتریکی	C6
17	0.04508	36.01718	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای	C7
7	0.045660	36.47640	ارزیابی عملکرد زیست محیطی	C8
18	0.04507	36.00782	حسگرها و دستگاه‌ها	C9
14	0.04518	36.09563	اتصالات و شبکه‌ها	C10
6	0.04589	36.66385	سیستم‌های مدیریت	C11
3	0.04601	36.75612	پروتکل‌ها و استانداردها	C12
16	0.04513	36.05645	امنیت و ایمنی	C13
12	0.04540	36.26932	سرمایه‌گذاری	C14
11	0.04545	36.31226	عملیات و نگهداری	C15
22	0.04490	35.87004	بازگشت سرمایه	C16
1	0.04622	36.92586	هزینه انرژی	C17
15	0.04514	36.06597	پذیرش اجتماعی	C18
4	0.04594	36.70441	ایجاد شغل	C19
2	0.04604	36.78497	منافع اجتماعی	C20
19	0.04507	36.00525	سازگاری با سیاست ملی انرژی	C21
5	0.04594	36.70205	حمایت دولت	C22

3-4) روش تاپسیس فازی

در این بخش از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی 5 گزینه پژوهش که منابع انرژی تجدید پذیر هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد که در زیر معرفی شده‌اند:

1. انرژی زمین گرمایی (A1)
2. انرژی زیست توده (A2)
3. انرژی بادی (A3)
4. انرژی برق آبی (A4)
5. انرژی خورشیدی (A5)

4-3-1) تشکیل ماتریس تصمیم

در این گام ماتریس تصمیم نظرات تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم روش تاپسیس ماتریسی متتصویر معیارها (زیرمعیارها) و گزینه‌های پژوهش است که هر گزینه نسبت به هر معیار بر اساس طیف 1 تا 5 فازی ارزیابی می‌شود. این ماتریس تصمیم توسط خبرگان تکمیل شده و سپس توسط روش میانگین حسابی ادغام می‌شود. در این ماتریس 22 زیرمعیار پژوهش در ستون و 4 گزینه در سطر قرار دارند.

جدول 16- ماتریس تصمیم تاپسیس فازی

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
A1	.467,6 4)	.267,4 3)	(8 8,6 2,4 3)	...	.867,6 4)	(2 2,9 2,7 5)	.067,7 5)
	.467,8 (467	(733 733,6			(867 867,8		(067 067,9
A2	.733,4 2)	.067,3 2)	.733,5 4,3 2)	...	.467,3 2)	.267,6 8,4 2)	.667,4 2)
	(4 4,6	(533 533,5	(733		(933 933,5	(267	(467 467,6
A3	.2,9 2,7 5)	(8 8,7 8,5 3)	.867,5 3)	...	(2 2,8 2,6 4)	(4,6,8)	(6 6,8 6,6 4)
	(2		(867 867,7				
A4	.067,3 2)	(8 8,5 4,3 2)	.733,4 2)	...	.867,4 2)	.267,6 6,4 2)	.667,4 2)
	.333,5 (333		(333 333,6		(667 667,6	(267	(133 133,6
A5	.533,6 4)	.533,7 5)	(6 6,8 6,6 4)	...	.133,7 5)	(6 6,8 6,6 4)	.133,7 5)
	.533,8 (533	(533 533,9			(133 133,9		(133 133,9

4-3-2) نرمال سازی ماتریس تصمیم

به عنوان مثال برای درایه all (تقاطع گزینه A1 و معیار C1) نرمال سازی بدین گونه است چون این معیار جنبه مثبت دارد بنابراین ابتدا بزرگترین حد سوم اعداد فازی در ستون معیار "C1" را پیدا میکنیم که برابر با 2/9 می‌باشد بنابراین تک تک درایه‌های این ستون بر عدد 2/9 تقسیم می‌شود.

جدول 17- ماتریس نرمال تاپسیس فازی

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
--	----	----	----	-----	-----	-----	-----

A1	486,0 .0) (92 .703,0	343,0 .0) (706 .497,0	372,0 .0) (791 .558,0	...	533,0 .0) (971 .752,0	565,0 .0) (783,1	555,0 .0) (993 .774,0
A2	297,0 .0) 478,0 (696	217,0 .0) (58 .371,0	279,0 .0) (667 .434,0	...	27,0 .0) (65 .431,0	304,0 .0) (681 .464,0	292,0 .0) (708 .489,0
A3	565,0 .0) (783,1	399,0 .0) (818 .608,0	45,0 .0) (915 .682,0	...	46,0 .0) (898 .679,0	435,0 .0) (87 .652,0	504,0 .0) (942 .723,0
A4	225,0 .0) (58 .362,0	252,0 .0) (608 .399,0	318,0 .0) (736 .504,0	...	314,0 .0) (73 .511,0	283,0 .0) (681 .464,0	292,0 .0) (672 .453,0
A5	493,0 .0) (928 .71,0	58,0 .0) (79,1	535,0 .0) (767,1	...	562,0 .0) (781,1	717,0 .5,0 .0) (935	562,0 .0) (781,1

3-3-4) ماتریس نرمال وزین

در این گام ماتریس نرمال وزین حاصل می‌شود. وزن نیامندی‌های که در مراحل قبل از طریق روش دیمتل فازی بدست آمده‌اند را در ماتریس نرمال ضرب می‌شود.

جدول 18- ماتریس وزن دار تاپسیس فازی

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
A1	.022,0 .0) (042 .032,0	.016,0 .0) (032 .023,0	.017,0 .0) (036 .025,0	...	.025,0 .0) (045 .035,0	.025,0 .0) (045 .035,0	.025,0 .0) (046 .036,0
A2	.013,0 .0) (031 .022,0	.01,0 .0) (026 .017,0	.013,0 .0) (03 .02,0	...	.012,0 .0) (03 .02,0	.014,0 .0) (031 .021,0	.013,0 .0) (033 .022,0
A3	.026,0 .0) (045 .035,0	.018,0 .0) (037 .028,0	.02,0 .0) (042 .031,0	...	.021,0 .0) (041 .031,0	.02,0 .0) (039 .029,0	.023,0 .0) (043 .033,0
A4	.01,0 .0) (026 .016,0	.011,0 .0) (028 .018,0	.014,0 .0) (033 .023,0	...	.014,0 .0) (034 .024,0	.013,0 .0) (031 .021,0	.013,0 .0) (031 .021,0
A5	.022,0 .0) (042 .032,0	.026,0 .0) (046 .036,0	.024,0 .0) (045 .035,0	...	.026,0 .0) (046 .036,0	.023,0 .0) (042 .032,0	.026,0 .0) (046 .036,0

4-3-4) تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی

در این گام ایده‌آل‌های مثبت (+A) و منفی (-A) محاسبه می‌شود. ایده آل مثبت بزرگترین عدد درایه سوم ستون معیار و ایده آل منفی کوچکترین درایه اول ستون معیارها در ماتریس وزن دار است.

جدول 19- ایده‌آل‌های تاپسیس فازی

	C1	C2	C3	...	C20	C21	C22
A+	.045,0 .0) 045,0 (045	.046,0 .0) (046 .046,0	.045,0 .0) (045 .045,0	...	.046,0 .0) (046 .046,0	.045,0 .0) (045 .045,0	.046,0 .0) (046 .046,0

A-	.01,0 .0)	.01,0 .0)	.013,0 .0)	...	.012,0 .0)	.013,0 .0)	.013,0 .0)
	(01 .01,0	(01 .01,0	(013 .013,0		(012 .012,0	(013 .013,0	(013 .013,0

4-3-5) محاسبه فاصله گزینه‌ها از ایده آل مثبت و منفی

در این گام فاصله گزینه‌ها از ایده آل مثبت (+d) و ایده آل منفی (-d) را محاسبه می‌شود. به عنوان مثال برای گزینه اول (A1) محاسبات به صورت زیر می‌باشد.

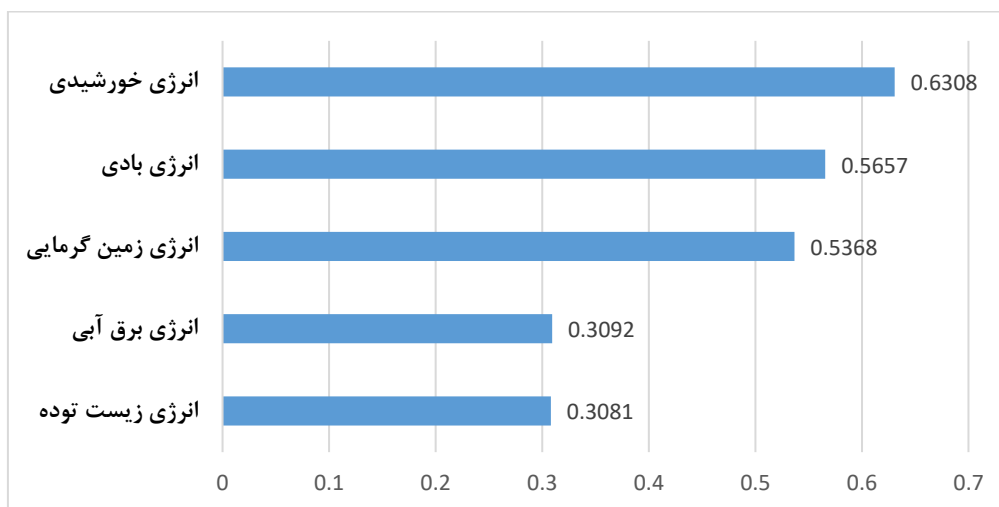
4-3-6) محاسبه شاخص شباهت (CCI) و رتبه بندی گزینه‌ها

شاخص شباهت هر گزینه را محاسبه می‌کنیم و بر اساس آن گزینه‌ها را رتبه بندی می‌کنیم. به عنوان مثال شاخص شباهت برای گزینه اول (A1) محاسبات به صورت زیر می‌باشد.

جدول 20- رتبه بندی نهایی گزینه‌ها

رتبه	امتیاز نهایی	فاصله تا ایده آل منفی	فاصله تا ایده آل مثبت	نام گزینه	کد گزینه
3	0.5368	0.4404	0.3800	انرژی زمین گرمایی	A1
5	0.3081	0.2514	0.5645	انرژی زیست توده	A2
2	0.5657	0.4664	0.3580	انرژی بادی	A3
4	0.3092	0.2521	0.5633	انرژی برق آبی	A4
1	0.6308	0.5226	0.3059	انرژی خورشیدی	A5

انرژی خورشیدی رتبه اول را کسب کرده است. انرژی بادی رتبه دوم، انرژی زمین گرمایی رتبه سوم، انرژی برق آبی رتبه چهارم و انرژی زیست توده رتبه پنجم را کسب کرده است.



نمودار 7- رتبه بندی نهایی گزینه‌ها

5) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مساله اصلی این تحقیق مدیریت بهینه مصرف و تولید انرژی با استفاده از اینترنت اشیا است. این تحقیق با هدف بهبود و بهینه‌سازی استفاده از منابع انرژی، پنج شاخص اصلی و بیست و دو زیرمعیار مرتبط را شناسایی کرده است. به دلیل محدودیت‌های روش‌های سنتی ارزیابی، از اعداد فازی مثلثی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از میان معیارهای مختلف، هزینه انرژی، منافع اجتماعی و پروتکل‌ها و استانداردها به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. همچنین، در رتبه‌بندی منابع انرژی، انرژی خورشیدی بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است، که نشان‌دهنده اولویت و پتانسیل بالای آن در مدیریت انرژی بر اساس اینترنت اشیا است.

مدیریت اینترنت انرژی مبتنی بر اینترنت اشیا، یک روش هوشمندانه برای بهبود تولید، مصرف و مدیریت انرژی است. این روش با استفاده از دستگاه‌ها و سیستم‌های متصل به شبکه اینترنت، امکان کنترل و پایش مصرف انرژی را فراهم می‌کند. در زیر، شاخص‌های مختلف این روش بر اساس زیرمجموعه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند:

تاب‌آوری

قابلیت تحمل خطا: این سیستم با استفاده از پشتیبانی مناسب و امکان بازیابی داده‌ها، قابلیت تحمل خطا را فراهم می‌کند. قابلیت اعتماد: با اطمینان از صحت داده‌ها و عملکرد سیستم، کاربران قابلیت اعتماد را برای استفاده از این روش خواهند داشت.

قابلیت مقاومت در برابر حملات: این سیستم با استفاده از پروتکل‌ها و استانداردهای امنیتی، قابلیت مقاومت در برابر حملات را فراهم می‌کند.

قابلیت بازیابی: این سیستم با استفاده از داده‌های پشتیبان، قابلیت بازیابی داده‌ها را فراهم می‌کند. زیست محیطی: بهینه‌سازی مصرف انرژی: با استفاده از این سیستم، می‌توان به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های انرژی دست یافت.

کاهش پسماندهای الکتریکی: این سیستم با کاهش تلفات انرژی، منجر به کاهش پسماندهای الکتریکی خواهد شد. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: با بهینه‌سازی مصرف انرژی، می‌توان به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ محیط زیست کمک کرد.

ارزیابی عملکرد زیست محیطی: با استفاده از سیستم پایش و ارزیابی، عملکرد زیست محیطی سیستم را ارزیابی و بهبود بخشید.

ملاحظات فنی

حسگرها و دستگاه‌ها: با استفاده از دستگاه‌ها و حسگرهای مناسب، امکان شناسایی و کنترل مصرف انرژی فراهم می‌شود. اتصالات و شبکه‌ها: با استفاده از شبکه‌های اینترنت، امکان ارتباط و کنترل دستگاه‌ها و حسگرها فراهم می‌شود. سیستم‌های مدیریت: با استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند، امکان کنترل و مدیریت مصرف انرژی فراهم می‌شود. پروتکل‌ها و استانداردها: با استفاده از پروتکل‌ها و استانداردهای مناسب، امنیت و عملکرد سیستم تضمین می‌شود.

امنیت و ایمنی: با استفاده از روش‌های امنیتی و ایمنی، امنیت و سلامت کاربران و سیستم تضمین می‌شود.

اقتصادی

سرمایه گذاری: با سرمایه گذاری در این روش، به بهبود مدیریت انرژی، کاهش هزینه‌های انرژی و بهره‌وری در سیستم‌های انرژی دست یافته خواهد شد.

عملیات و نگهداری: با عملیات و نگهداری مناسب، عمر مفید سیستم‌های انرژی افزایش خواهد یافت. بازگشت سرمایه: با کاهش هزینه‌های انرژی و افزایش بهره‌وری، به بازگشت سرمایه گذاری خواهد رسید. هزینه انرژی: با بهینه‌سازی مصرف انرژی، هزینه‌های انرژی کاهش خواهد یافت.

اجتماعی-سیاسی

پذیرش اجتماعی: با آگاهی کاربران از فواید این روش، پذیرش اجتماعی بهبود خواهد یافت. ایجاد شغل: با رونق فناوری و سرمایه گذاری در این حوزه، ایجاد شغل جدید برای جامعه فراهم خواهد شد. منافع اجتماعی: با بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، منافع اجتماعی به دست خواهد آمد. سازگاری با سیاست ملی انرژی: با توجه به سیاست‌های ملی در حوزه انرژی، این روش باید با سیاست‌های ملی سازگار باشد.

حمایت دولت: با حمایت دولت از سرمایه گذاری در این حوزه، رونق این صنعت تضمین خواهد شد.

نقش اینترنت اشیا:

انرژی زمین گرمایی: استفاده از حسگرها و دستگاه‌های هوشمند به منظور جمع‌آوری دقیق داده‌های مربوط به تولید و استفاده از انرژی زمین گرمایی، می‌تواند به بهبود کارایی و بهره‌وری این نوع انرژی کمک کند. با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، می‌توان اقدامات بهینه‌سازی را در تولید و مصرف انرژی زمین گرمایی انجام داد. انرژی زیست توده: اینترنت اشیا می‌تواند در بهبود کارایی و بهره‌وری انرژی زیست توده موثر باشد. با استفاده از حسگرها و دستگاه‌های هوشمند، می‌توان به طور دقیق داده‌های مربوط به تولید انرژی زیست توده را جمع‌آوری کرده و عملکرد این نوع انرژی را بهبود بخشید.

انرژی بادی: مدیریت انرژی بادی با استفاده از اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود عملکرد و بهره‌وری این نوع انرژی کمک کند. با استفاده از دستگاه‌های هوشمند و سیستم‌های تحلیل داده، می‌توان داده‌های مربوط به باد را بررسی و بهینه‌سازی تولید انرژی بادی را انجام داد.

انرژی برق آبی: استفاده از اینترنت اشیا می‌تواند در بهبود عملکرد و بهره‌وری انرژی برق آبی کمک کند. با استفاده از حسگرها و دستگاه‌های هوشمند، می‌توان داده‌های مربوط به تولید برق آبی را جمع‌آوری کرده و اقدامات بهینه‌سازی را بر اساس آن‌ها انجام داد.

انرژی خورشیدی: استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت انرژی خورشیدی می‌تواند به بهبود عملکرد و بهره‌وری این نوع انرژی کمک کند. با استفاده از سیستم‌های هوشمند قادر به پیش‌بینی نیازهای تولید انرژی خورشیدی هستیم و با تنظیم مناسب تولید این نوع انرژی، می‌توان به کاهش زمین‌گرایی کمک کرد.

در این تحقیق ابتدا از طریق مطالعه ادبیات موضوع 5 شاخص (معیار) اصلی و 22 زیرمعیار انتخاب شدند. به علت این که فن‌های دیمتل و تاپسیس به رفع ابهام از ارزیابی‌های کلامی صورت گرفته توسط تصمیم‌گیرندگان نیستند در همه این روش‌ها اعداد فازی مثلثی بکار برده شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق، ابتدا به رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر یک از آن‌ها و بررسی نوع ارتباط عوامل با یکدیگر با استفاده از روش دیمتل فازی پرداخته شد. بر این اساس برای مدیریت انرژی بر اساس اینترنت اشیا، هزینه انرژی با وزن 0.04622 رتبه اول را کسب کرده است. معیار منافع اجتماعی با وزن 0.04604 رتبه دوم و معیار پروتکل‌ها و استانداردها با وزن 0.04601 رتبه سوم را کسب کرده است. در نهایت از اوزان بدست آمده برای رتبه‌بندی انرژی (برق) بر اساس اینترنت اشیا بر اساس روش تاپسیس فازی استفاده شد. انرژی خورشیدی رتبه اول را کسب کرده است. انرژی بادی رتبه دوم، انرژی کاهش زمین‌گرایی رتبه سوم، انرژی برق آبی رتبه چهارم و انرژی زیست توده رتبه پنجم را کسب کرده است. استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت و بهینه‌سازی انرژی می‌تواند به تولید و مصرف انرژی‌های مختلف به شیوه‌ای کارآمدتر و پایدارتر منجر شود. این امر می‌تواند به کاهش استفاده از منابع غیر تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف کمک کند، در نتیجه باعث بهبود وضعیت محیط زیست و کاهش اثرات منفی بر گرمایش زمین خواهد شد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های دیمتل فازی و تاپسیس فازی در ارزیابی شاخص‌ها و رتبه‌بندی منابع انرژی به دقت و شفافیت در تحلیل داده‌ها منجر شده است. در روش دیمتل فازی، شاخص هزینه انرژی به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد که به دلیل تأثیر مستقیم آن بر اقتصادی بودن پروژه‌ها و نهادهای انرژی، در اولویت قرار گرفت. منافع اجتماعی به عنوان دومین شاخص از اهمیت زیادی برخوردار است که به جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی مدیریت انرژی می‌پردازد و می‌تواند به تأثیرات مثبت اجتماعی منجر شود. پروتکل‌ها و استانداردها نیز به عنوان سومین عامل، به اهمیت تنظیم و استانداردسازی در فرآیندهای انرژی تأکید دارند که برای اطمینان از کیفیت و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ضروری است. در ادامه، با استفاده از اوزان به‌دست آمده، رتبه‌بندی منابع انرژی با روش تاپسیس فازی انجام شد. انرژی خورشیدی با کسب بالاترین امتیاز به عنوان بهترین گزینه معرفی شد که به دلیل ویژگی‌های پایدار و کم‌تأثیر آن بر محیط زیست، توانسته است در صدر جدول قرار گیرد. این منبع انرژی به دلیل قابلیت‌های خود در کاهش وابستگی به منابع غیر تجدیدپذیر و اثرات زیست‌محیطی کمتر، به عنوان گزینه‌ای کلیدی در مدیریت انرژی معرفی می‌شود.

انرژی بادی نیز به دلیل شباهت‌هایش با انرژی خورشیدی و تأثیرات مثبت آن بر کاهش مصرف منابع سنتی، در رتبه دوم قرار گرفت. این منبع انرژی نه تنها به طور مؤثر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند بلکه از نظر اقتصادی

نیز مقرون به صرفه است. انرژی زمین گرمایی که به دلیل پایدار بودن و تأثیرات زیست محیطی مثبت در رتبه سوم قرار گرفت، نشان دهنده قابلیت های آن در تأمین نیازهای انرژی به صورت مستمر و با کمترین آسیب به محیط زیست است. این نوع انرژی به دلیل دسترسی محدود به منابع آن در برخی مناطق، همچنان از نظر اقتصادی و جغرافیایی محدودیت هایی دارد، اما در مناطقی که در دسترس است، می تواند به عنوان یک گزینه مؤثر محسوب شود.

انرژی برق آبی که به دلیل توانایی در ذخیره سازی و تولید پایدار انرژی، رتبه چهارم را به خود اختصاص داد، همچنین از نظر تأثیرات زیست محیطی و اقتصادی قابل توجه است. با این حال، نیاز به منابع آب و تأثیرات محیط زیستی مربوط به ساخت سدها و تغییرات اکوسیستمی از محدودیت های آن به شمار می رود. انرژی زیست توده که در رتبه پنجم قرار گرفت، علی رغم مزایای زیست محیطی آن، از نظر اقتصادی و کارایی به اندازه سایر منابع انرژی برتر نیست. این منبع انرژی به دلیل نیاز به منابع بیولوژیکی و فرایندهای پیچیده تبدیل، هزینه های بالاتری نسبت به سایر منابع دارد و در نتیجه، در مقایسه با گزینه های دیگر از اهمیت کمتری برخوردار است.

در نهایت، استفاده از اینترنت اشیا در بهینه سازی مدیریت انرژی می تواند به بهبود بهره وری انرژی و کاهش مصرف منابع غیر تجدیدپذیر کمک کند. این فناوری با فراهم آوردن داده های دقیق و به موقع، امکان مدیریت بهینه منابع انرژی را فراهم می آورد و به کاهش اثرات منفی زیست محیطی و بهبود شرایط اقتصادی کمک می کند. با توجه به این دستاوردها، می توان نتیجه گرفت که ادغام اینترنت اشیا در فرآیندهای مدیریت انرژی، نه تنها به بهبود کارایی و کاهش هزینه ها منجر می شود بلکه به تأمین منابع انرژی پایدار و زیست محیطی کمک شایانی می نماید.

برای ارزیابی مقایسه ای کار پیشنهادی در زمینه مدیریت انرژی هوشمند، لازم است که چندین جنبه کلیدی مورد توجه قرار گیرد. اولین قدم در این ارزیابی، بهبود و غنی سازی نتایج شبیه سازی ها است. به عبارت دیگر، نتایج به دست آمده از شبیه سازی باید از نظر کیفیت و دقت افزایش یابد تا بتوانند تصویر دقیق تری از عملکرد سیستم ارائه دهند. این به معنای افزودن سناریوهای پیچیده تر و متنوع تر به شبیه سازی هاست که می تواند به درک بهتر از چگونگی عمل کرد مدل در شرایط مختلف کمک کند. همچنین، برای ارزیابی جامع تر، لازم است که نتایج به دست آمده به طور کمی گسترش یابند. این به این معنی است که تحلیل های آماری و کمی بیشتری باید انجام شوند تا نقاط قوت و ضعف مدل به طور دقیق تر شناسایی شوند.

افزودن این نوع تحلیل ها می تواند به اعتبار و دقت نتایج مدل پیشنهادی افزوده و اطمینان بیشتری از کارایی آن فراهم کند. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با نتایج موجود در سایر مقالات علمی یکی از روش های مؤثر برای تأیید نتایج است. این مقایسه می تواند به کشف تفاوت ها و شباهت های کلیدی بین مدل های مختلف کمک کند و نقاط قوت و ضعف هر مدل را روشن تر نماید. از این طریق، می توان به بهبود مدل پیشنهادی و ارتقای عملکرد آن پرداخت. برای نمونه، مقالاتی همچون تحقیق سالم و همکارانش (2021) و لی و همکارانش (2023) به بررسی سیستم های مدیریت انرژی هوشمند و فناوری های مرتبط پرداخته اند. مقایسه الگوهای پیشنهادی با روش های مورد استفاده در این مقالات می تواند به شناسایی نقاط قوت و ضعف آن کمک کند. به ویژه، مقالاتی مانند آل سعداوی و همکاران (2024) و جاها و همکاران (2024) که به بهینه سازی مدیریت انرژی و استفاده از تکنیک های پیشرفته پرداخته اند، می توانند مبنای خوبی برای مقایسه نتایج باشند.

در نظر گرفتن تمامی این جوانب، می‌توان به یک ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تر از مدل پیشنهادی دست یافت و از این طریق، نقاط قوت آن را تقویت و نقاط ضعف آن را بهبود داد.

در عصر جدید که دنیا به سمت بهره‌وری بیشتر و حفظ منابع طبیعی پیش می‌رود، مدیریت اینترنت انرژی به عنوان یکی از جنبه‌های کلیدی فناوری‌های هوشمند مورد توجه قرار گرفته است. این مدیریت به طور قابل توجهی می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه‌ها و ساختمان‌ها کمک کند و در نهایت منجر به کاهش مصرف منابع انرژی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی شود. یکی از راهکارهای اساسی در مدیریت اینترنت انرژی، ایجاد سیستم‌های هوشمند برای کنترل و مدیریت مصرف انرژی در محیط‌های خانگی و تجاری است. این سیستم‌ها با استفاده از حسگرها و دستگاه‌های متصل به اینترنت، به طور دقیق مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مانند روشنایی، گرمایش و سرمایش، و سایر دستگاه‌های الکتریکی را زیر نظر می‌گیرند. حسگرهای نصب‌شده در مکان‌های مختلف قادر به جمع‌آوری داده‌های دقیق در مورد مصرف انرژی هستند و با تجزیه و تحلیل این داده‌ها، می‌توان به بهینه‌سازی مصرف انرژی پرداخت.

منابع

- Abdulahi, O., and Zaghri, N., (2018). Energy control solutions in smart buildings by Internet of Things, Second National Conference of Applied Researches in Electrical Sciences, Computer and Medical Engineering, Shirvan, Research Institute of Paya Shahr Etrak and Specialized Scientific Journal of PayaShahr. <https://civilica.com/doc/902838/>
- Abu, Sayem M., et al., 2023. State of the art of lithium-ion battery material potentials: an analytical evaluations, issues and future research directions. J. Clean. Prod. vol. 394 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136246>
- Ahmad, T., Zhang, D., 2021. Using the internet of things in smart energy systems and networks. Sustain. Cities Soc. vol. 68 (10278), 3. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102783>
- Ahmadi, S. E., Rezaei, N., Khayyam, H., 2020. Energy management system of networked microgrids through optimal reliability-oriented day-ahead self-healing scheduling. Sustain. Energy, Grids Netw. vol. 23 (10038), 7. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2020.100387>
- Akram, A., Abbas, S., Khan, M., Athar, A., Ghazal, T., & Al Hamadi, H. (2024). Smart Energy Management System Using Machine Learning. Computers, Materials & Continua, 78(1).
- Al-Azez, Z. T., Lawey, A. Q., El-Gorashi, T. E. H., Elmighani, J. M. H., 2019. Energy efficient IoT virtualization framework with peer to peer networking and processing. IEEE Access vol. 7, 50697–50709. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2911117>
- Al-Shetwi, A. Q., Hannan, M. A., Jern, K. P., Mansur, M., Mahlia, T. M. I., 2020. Gridconnected renewable energy sources: review of the recent integration requirements and control methods. J. Clean. Prod. vol. 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119831>
- Australian Trade and Investment Commission, “Grids and storage solutions,” 2023. <https://www.globalaustralia.gov.au/industries/net-zero/grids-storage> (accessed Sep. 21, 2023). Baharani, M., Biglarbegian, M., Parkhideh, B., Tabkhi, H., 2019. Real-time deep learning at the edge for scalable reliability modeling of Si-MOSFET power electronics converters. IEEE Internet Things J. vol. 6, 7375–7385.
- Bastida, L., Cohen, J. J., Kollmann, A., Moya, A., Reichl, J., 2019. Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 103, 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.004>
- Sh., Sabbaghi Nadushan, R., and Mola, M., (2016). optimization of energy consumption in smart home based on Internet of Things, second national conference of applied research in computer electrical engineering and information technology, Shiraz, Kharazmi Higher Institute of Science and Technology. <https://civilica.com/doc/660817/>
- Behrouzi, A., Abdyazdan, M., and Nouri Mehr, M.R., (2018). optimization of energy consumption in smart building using fuzzy decision tree based on Internet of Things, 5th National Conference on Distributed

- Computing and Big Data Processing, Tabriz, Shahid Madani University of Azerbaijan. <https://civilica.com/doc/961945/>
- Behrouzi, A., Abdyazdan, M., and Nouri Mehr, M.R., (2018). Presentation of Fuzzy-Neural Algorithm based on Internet of Things for Energy Optimization in Smart Building, 5th National Conference on Distributed Computing and Big Data Processing, Tabriz, Shahid Madani University of Azerbaijan. <https://civilica.com/doc/961944/>
- Bistline, J. E. T. , Blanford, G. J. , 2021. Impact of carbon dioxide removal technologies on deep decarbonization of the electric power sector. *Nat. Commun.* vol. 12 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23554-6>
- Cao, J. and Yang, M. , 2013, December. Energy internet–towards smart grid 2. 0. In *Networking and Distributed Computing (ICNDC), 2013 Fourth International Conference on* (pp. 105-110). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNDC.2013.10>
- Choi, Hyo-Sub, and Kyeo-Rae Yeom. "Study on an Energy-IoT Service Platform for Energy Saving in Legacy Manufacturing Site. " In *2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pp. 811-813. IEEE, 2018. <https://doi.org/10.1109/ICUFN.2018.8436969>
- Collier, S. E. , 2015, April. The emerging enernet: Convergence of the smart grid with the internet of things. In *Rural Electric Power Conference (REPC), 2015 IEEE* (pp. 65-68). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2016.2600737>
- Cui, S., Wang, Y. W., & Xiao, J. W. (2019). Peer-to-peer energy sharing among smart energy buildings by distributed transaction. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(6), 6491-6501. <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2906059>
- Ejaz, W. , Naeem, M. , Shahid, A. , Anpalagan, A. , & Jo, M. (2017). Efficient energy management for the internet of things in smart cities. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 84-91. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600218CM>
- El-Saadawi, E., Abohamama, A. S., & Alrahmawy, M. F. (2024). IoT-based Optimal Energy Management in Smart Homes using Harmony Search Optimization Technique. *International Journal of communication and computer Technologies*, 12(1), 1-20.
- Hsia, Chih-Hsien, Shih-Chieh Yen, and Jing-Han Jang. "An Intelligent IoT-based Vision System for Nighttime Vehicle Detection and Energy Saving. " *Sensors and Materials* 31, no. 6 (2019): 1803-1814. <https://doi.org/10.18494/SAM.2019.2351>
- Jang, H. , Kang, B. , Cho, K. , hee Jang, K. , & Park, S. "Design and Implementation of IoT-based HVAC and Lighting System for Energy Saving. " In *MATEC Web of Conferences*, vol. 260, p. 02012. EDP Sciences, 2019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926002012>
- Jha, B. K., Tiwari, A., Kuhada, R. B., & Pindoriya, N. M. (2024). IoT-enabled Smart Energy Management Device for Optimal Scheduling of Distributed Energy Resources. *Electric Power Systems Research*, 229, 110121.
- John, A. , Rajput, A. , & Babu, K. V. (2017, April). Energy saving cluster head selection in wireless sensor networks for internet of things applications. In *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* (pp. 0034-0038). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286486>
- Kayseri, M., Hosseini, S., and Vahdat, D., (2013). the role of modern Internet of Things technology in the field of energy consumption of smart homes, *National Conference on Sustainable Architecture and Urban Development*, Bukan, Sazeh Kavir Company. <https://civilica.com/doc/214416/>
- Li, J., Herdem, M. S., Nathwani, J., & Wen, J. Z. (2023). Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management. *Energy and AI*, 11, 100208
- Liu, Y. , Yang, C. , Jiang, L. , Xie, S. , & Zhang, Y. (2019). Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities. *IEEE Network*, 33(2), 111-117. <https://doi.org/10.1109/MNET.2019.1800254>
- Liu, J. (2024). The energy storage and optimal dispatch supply chain for new energy grids using edge computing and the internet of things. *Expert Systems*, 41(5), e13266.
- Masoudi, A., (2018). Smart and optimizing energy consumption in buildings with Internet of Things technology, *Second International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran*, Tehran, Maragheh University of Technology. <https://civilica.com/doc/973495/>
- Miglinejad, E., and Sarmadi, S., (2016). optimization of energy consumption in smart homes, *second international conference on electrical engineering*, Tehran, Allameh Majlesi University. <https://civilica.com/doc/698698/>
- Mishra, P., & Singh, G. (2023). Energy management systems in sustainable smart cities based on the internet of energy: A technical review. *Energies*, 16(19), 6903.
- Manivannan, R. (2024). Research on IoT-based hybrid electrical vehicles energy management systems using machine learning-based algorithm. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 41, 100943.

- Mylonas, G. , Amaxilatis, D. , Tsampas, S. , Pocero, L. , & Gunneriusson, J. (2019). A Methodology for Saving Energy in Educational Buildings Using an IoT Infrastructure. arXiv preprint arXiv:1907. 07760. <https://doi.org/10.1109/IISA.2019.8900707>
- Oliner, Adam J. , Anand P. Iyer, Ion Stoica, Eemil Lagerspetz, and Sasu Tarkoma. "Carat: Collaborative energy diagnosis for mobile devices. " In Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, p. 10. ACM, 2013. <https://doi.org/10.1145/2517351.2517354>
- Patel, Maulik A. "OCCUPANCY DRIVEN SMART ENERGY SAVING SYSTEM FOR INSTITUTE LIBRARY USING IOT. " LIBRARIANSHIP DEVELOPMENT THROUGH INTERNET OF THINGS AND CUSTOMER SERVICE (2019): 375.
- Prathik, M. , Anitha, K. , & Anitha, V. (2018, February). Smart Energy Meter Surveillance Using IoT. In 2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS) (pp. 186-189). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPECTS.2018.8521650>
- Rifkin, J., The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing are. feelingeurope. eu.
- Rosyidi, L. , & Sari, R. F. (2016, November). Energy harvesting aware protocol for 802. 11-based Internet of Things network. In 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON) (pp. 1325-1328). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848228>
- Raza, A., Jingzhao, L., Ghadi, Y., Adnan, M., & Ali, M. (2024). Smart home energy management systems: Research challenges and survey. Alexandria Engineering Journal, 92, 117-170.
- Saleem, M.U., M.R. Usman, and M. Shakir, Design, implementation, and deployment of an IoT based smart energy management system. IEEE Access, 2021. 9: p. .59649-59664
- Serra, Jordi, David Pubill, Angelos Antonopoulos, and Christos Verikoukis. "Smart HVAC control in IoT: Energy consumption minimization with user comfort constraints. " The Scientific World Journal 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/161874>
- Shapsough, S. , Qatan, F. , Aburukba, R. , Aloul, F. and Al Ali, A. R. , 2015, October. Smart Grid cyber security: Challenges and solutions. In Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE), 2015 International Conference on (pp. 170-175). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2015.7454291>
- Singh, P. P. , Khosla, P. K. , & Mittal, M. (2019). Energy Conservation in IoT-Based Smart Home and Its Automation. In Energy Conservation for IoT Devices (pp. 155-177). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7399-2_7
- Sittón-Candanedo, I. , Alonso, R. S. , García, Ó. , Muñoz, L. , & Rodríguez-González, S. (2019). Edge computing, iot and social computing in smart energy scenarios. Sensors, 19(15), 3353. <https://doi.org/10.3390/s19153353>
- Terroso-Saenz, F. , González-Vidal, A. , Ramallo-González, A. P. , & Skarmeta, A. F. (2019). An open IoT platform for the management and analysis of energy data. Future Generation Computer Systems, 92, 1066-1079. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.046>
- Zhang, D., Liu, S., & Papageorgiou, L. G. (2014). Fair cost distribution among smart homes with microgrid. Energy Conversion and Management, 80, 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.012>
- Zhou, X. , Wang, F. and Ma, Y. , 2015, August. An overview on energy internet. In Mechatronics and Automation (ICMA), 2015 IEEE International Conference on (pp. 126-131). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2015.7237469>