دانشگاه آزاد اسلامی واحد الکترونیکی
مجله فناوری اطلاعات و امنیت شبکه

برداشت و مدیریت انرژی مصرفی موردنیاز سیستم های اینترنت اشیاء

پریسا دانشجو [۱]، محمدمهدی یادگار [۲]

دانشیار،دانشکده فنی مهندسی،دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران غرب،تهران،ایران ۱، Daneshjoo.p@wtiau.acir

دانشگاه آزاد اسلامی واحد الکترونیکی [۲] , m.yadegar@iauec.ac.ir

چکیده – این مقاله مجموعه مقالات، جنبه‌های مختلف برداشت انرژی و مدیریت توان برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء (IoT) را بررسی می‌کند. هدف کلی، افزایش کارایی و پایداری سیستم‌های اینترنت اشیاء از طریق تکنیک‌های نوآورانه برداشت انرژی و راهبردهای مدیریت توان موثر است.

روش‌های مورد استفاده در این مطالعات شامل طراحی معماری‌های کارآمد اینترنت اشیاء، کاوش در تکنیک‌های مختلف برداشت انرژی (مانند روش‌های خورشیدی و فتوولتائیک)، پیاده‌سازی سیستم‌های ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) و ابداع الگوریتم‌های زمان‌بندی کار موثر برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء برداشت‌شده انرژی است. این مطالعات همچنین به مکانیسم‌های مدیریت و کنترل انرژی، با تمرکز بر دستگاه‌های اینترنت اشیاء خودران که قادر به کار در محیط‌های راه دور یا سخت هستند، می‌پردازد.

یافته‌های مهم در سراسر مقالات، پیشرفت‌هایی را در برداشت انرژی خورشیدی برای دستگاه‌های IoT، بهبود ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از ابرخازن‌ها و سلول‌های لیتیومی، و توسعه دستگاه‌های اینترنت اشیای بی‌سیم با توان بسیار کم نشان می‌دهد. یک مطالعه به طور خاص نمونه اولیه دستگاه IoT خودران را برجسته می کند و عملکرد آن را در برنامه‌های از راه دور با ظرفیت عملیاتی گسترده نشان می دهد.

نتیجه اصلی حاصل از این مطالعات امکان‌سنجی و اثربخشی سیستم‌های اینترنت اشیای خودپایدار از طریق تکنیک‌های پیشرفته برداشت انرژی و استراتژی‌های مدیریت انرژی است. این نوآوری‌ها کاهش قابل توجه وابستگی به منابع انرژی سنتی را وعده می‌دهند و در نتیجه راه را برای اکوسیستم‌های IoT قوی‌تر، کارآمدتر و پایدارتر در کاربردهای مختلف، از جمله محیط‌های راه دور و چالش‌برانگیز هموار می‌کنند.

کلید واژه ها – اینترنت اشیاء، انرژی خورشیدی، برداشت انرژی، فناوری پایدار، مدیریت قدرت

مقدمه - در عصر فناوری و پیشرفت‌های روزافزون، اهمیت بهره‌برداری بهینه و پایدار از فناوری‌های اینترنت اشیاء (IoT) به شکل چشمگیری افزایش یافته‌است. این تحقیق، با تمرکز بر روی راهبردهای مدیریت انرژی و فناوری‌های برداشت انرژی در دستگاه‌های IoT، به بررسی جامعی از پیشرفت‌ها و چالش‌های موجود در این حوزه می‌پردازد. با توجه به ضرورت فزاینده استفاده از منابع انرژی پایدار و کاهش وابستگی به منابع سنتی، این مطالعه، راهکارهای نوین در زمینه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و سایر منابع تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار می‌دهد.

اهداف اصلی این تحقیق شامل توسعه سیستم‌های IoT خودکفا با استفاده از فناوری‌های نوآورانه در برداشت انرژی، ارتقاء کارایی مدیریت انرژی و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد و طول عمر دستگاه‌های IoT می‌باشد. این مطالعه، ضمن ارائه یک پیشینه تحقیق گسترده، به بیان اهمیت و نوآوری‌های موجود در این حوزه می‌پردازد و در نهایت، راهکارهایی را برای پیشبرد این فناوری‌ها در جهت دستیابی به یک محیط پایدارتر و کارآمدتر ارائه می‌دهد.

۱. بررسی فناوری‌های بهره‌برداری از انرژی:

۱.۱. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی: انرژی خورشیدی، که فراوان‌ترین منبع است، از طریق اثرات فتوولتائیک بهره‌برداری می‌شود. انواع مختلف سلول‌های خورشیدی، مانند تک‌کریستال و پلی‌کریستال، کارایی‌ها و هزینه‌های متفاوتی را ارائه می‌دهند. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی که از اثر فتوولتائیک (PV) استفاده می‌کند، یکی از امیدبخش‌ترین راه‌ها برای پایداری دستگاه‌های IoT است. مطالعه‌ای که با شماره ۲۰۱۸,۸۷۱۰۱۷۱ANTS.@۱۰,۱۱۰۹ منتشر شده، یک دستگاه IoT خودتأمین را با استفاده از یک پنل خورشیدی کوچک (۶۳ mm۶۳mm x، W۰,۳۶) نشان می‌دهد که قادر است یک سال با یک باتری سکه‌ای ۱۲۰mAh کاملا شارژ شده کار کند. به طور مشابه، مایر و همکاران در سال ۲۰۲۰ استفاده از طراحی مبتنی بر میکروکنترلر برای تبدیل کارآمد انرژی خورشیدی را نشان دادند که قادر به کارکرد در محدوده زیر میکرو وات است. این پیشرفت‌ها، بر ظرفیت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان دستگاه‌های IoT، به ویژه در کاربردهای دوردست، تأکید می‌کنند.

۱.۲. بهره‌برداری از انرژی RF: بهره‌برداری از انرژی RF، همانطور که در مقاله سانیسلاو و همکاران در سال ۲۰۲۱ بیان شده، شامل تبدیل سیگنال‌های RF از منابعی مانند اینترنت بی‌سیم، رادیو، و ایستگاه‌های ماهواره‌ای به انرژی الکتریکی است. این روش به ویژه به دلیل در دسترس بودن دائمی آن، صرف نظر از زمان روز، مزیت دارد. با این حال، چالش‌هایی مانند تراکم انرژی پایین و کارایی، به ویژه در فواصل دور، باید مورد توجه قرار گیرند. راه‌حل‌های نوآورانه در بهره‌برداری از انرژی RF می‌تواند کارایی انرژی دستگاه‌های IoT مستقر در محیط‌هایی با منابع RF فراوان را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

۱.۳. ارتعاشات مکانیکی: ارتعاشات مکانیکی به دلیل داشتن تراکم انرژی بالا، یک جایگزین معتبر برای انرژی خورشیدی در برخی از استقرارهای IoT است. طبق مطالعات مرور شده در سانیسلاو و همکاران (۲۰۲۱)، فناوری‌هایی مانند تبدیل‌کننده‌های انرژی پیزوالکتریک و الکترومغناطیسی برای تبدیل انرژی از ارتعاشات به قدرت الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تبدیل‌کننده‌ها به دلیل تراکم قدرت بالا و قابلیت کاربرد در محدوده فرکانس وسیع، مفید هستند. به عنوان مثال، تبدیل‌کننده‌های الکترومغناطیسی ولتاژ پایین برای تأمین انرژی دستگاه‌های IoT به صورت مؤثر مورد استفاده قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده کاربرد عملی این روش بهره‌برداری در سناریوهای واقعی است.

۱.۴. بهره‌برداری از انرژی انسانی: بهره‌برداری از انرژی انسانی یک حوزه نوآورانه، به ویژه برای دستگاه‌های پوشیدنی و قابل کاشت IoT است. بدن انسان، از طریق حرکت و فیزیولوژی، منبع تأمین انرژی جایگزین را ارائه می‌دهد. با این حال، به دلیل طبیعت تصادفی حرکت انسانی و تغییرات دمای بدن، چالش‌هایی پیش می‌آید. ادغام بهره‌برداری از انرژی در دستگاه‌های پوشیدنی نیازمند توجه دقیق به اندازه، وزن، و حداقل تداخل با عملکردهای طبیعی بدن است.

۱.۵. بهره‌برداری از انرژی هیبریدی: سیستم‌های بهره‌برداری انرژی هیبریدی چندین منبع انرژی را ترکیب می‌کنند تا تأمین انرژی مداوم را تضمین کنند. سانیسلاو و همکاران در سال ۲۰۲۱ در مورد سیستم‌های هیبریدی که انرژی خورشیدی، بادی و حرارتی را ترکیب می‌کنند بحث کردند که به دستگاه‌های IoT خودمختاری انرژی را می‌بخشد. به عنوان مثال، یک گره شبکه حسگر بی‌سیم خودتأمین‌شده با استفاده از انرژی بادی، خورشیدی، و حرارتی توسعه یافته، انرژی بیشتری از مصرف خود تولید می‌کرد که نشان‌دهنده کارآمدی رویکرد هیبریدی است.

در جدول زیر مقایسه ای بین انواع تکنیک‌های برداشت انرژی آورده شده است:

Energy source	Technology	Power density	Advantages	Disadvantages	Application domains
Solar	PV cell	10 - 100 mW / cm^2 (outdoor) < 100 µW / cm^2 (indoor)	High-output voltage Low fabrication costs Predictable	Unavailable at night Non-controllable	Environment monitoring, healthcare, agriculture
RF	Antenna	0.01 - 0.1 µW / cm^2 1- 10 mW / cm^2	Available anywhere, anytime Predictable Controllable	Distance dependent Low-power density	Environment monitoring
Mechanical vibrations and pressure	Piezoelectric	4 - 250 µW / cm^3	High-power density No external voltage source Simplicity design and fabrication Controllable	Highly variable output Unpredictable	Infrastructure monitoring, automotive
	Electromagnetic	300 - 800 µW / cm^3	High-output currents Robustness Low-cost design Controllable	Relatively large size Unpredictable	
	Electrostatic	50 – 100 µW / cm^3	High-output voltage Relatively larger output power density Possibility to build low-cost devices Controllable	Requires bias voltage Unpredictable	
Human heat	Piezoelectric Pyroelectric	< 35 µW / cm^2	Sustainable and reliable Available Controllable	Low-power density Unpredictable	Healthcare
Biomechanical	Electromagnetic Piezoelectric Triboelectric Electrostatic	< 4 µW / cm^3 < 300 µW / cm^3	Available Controllable	Low-power density Unpredictable	Healthcare
Bio [102]	Metal electrodes	Extremely low wattage	Available Controllable	Extremely low wattage Suitable for nanoscale electrical devices	Environmental sensing in agricultural applications

جدول ۱: آنالیز تکنیک های برداشت انرژی

در نتیجه، این تکنیک‌های بهره‌برداری از انرژی، راه‌حل‌های متنوع و نوآورانه‌ای را برای تامین انرژی پایدار دستگاه‌های IoT ارائه می‌دهند. انتظار می‌رود که کارآمدی و کاربردپذیری این روش‌ها با پیشرفت فناوری بهبود یابد و زمینه‌ساز پایداری و خودمختاری بیشتر در حوزه IoT شود.

۲. مدل‌سازی بهره‌برداری از انرژی و طراحی سیستم:

۲.۱. مدل‌های بهره‌برداری از انرژی: هر دو مدل تعیینی و تصادفی برای مدیریت قدرت در دستگاه‌های EH استفاده می‌شوند. مدل‌های تعیینی به پیش‌بینی‌های دقیق انرژی نیازمندند، در حالی که مدل‌های تصادفی با عدم قطعیت‌های ذاتی در بهره‌برداری از انرژی سازگاری دارند.(Maximum Power Point Tracking) MPPT مدل‌هایی هستند که بیشتر به عنوان مدل‌های تعیینی در نظر گرفته می‌شوند. این بدان معناست که آن‌ها بر اساس مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و قواعد مشخص عمل می‌کنند تا نقطهٔحداکثر توان را در سیستم‌های فتوولتائیک پیدا کنند. هرچند، برخی از روش‌های پیشرفته MPPT مانند استفاده از منطق فازی یا الگوریتم‌های یادگیری ماشین، ممکن است عناصر تصادفی و پیش‌بینی‌ناپذیری را در بر گیرند تا به خوبی با تغییرات محیطی و شرایط متغیر کنار آیند. اما در اصل، MPPTها بر پایهٔ اصول تعیینی ساخته شده‌اند.

تکنیک‌های مختلفی برای Maximum Power Point Tracking (MPPT) در سیستم‌های خورشیدی وجود دارد که هرکدام ویژگی‌ها و تفاوت‌های خاص خود را دارند:

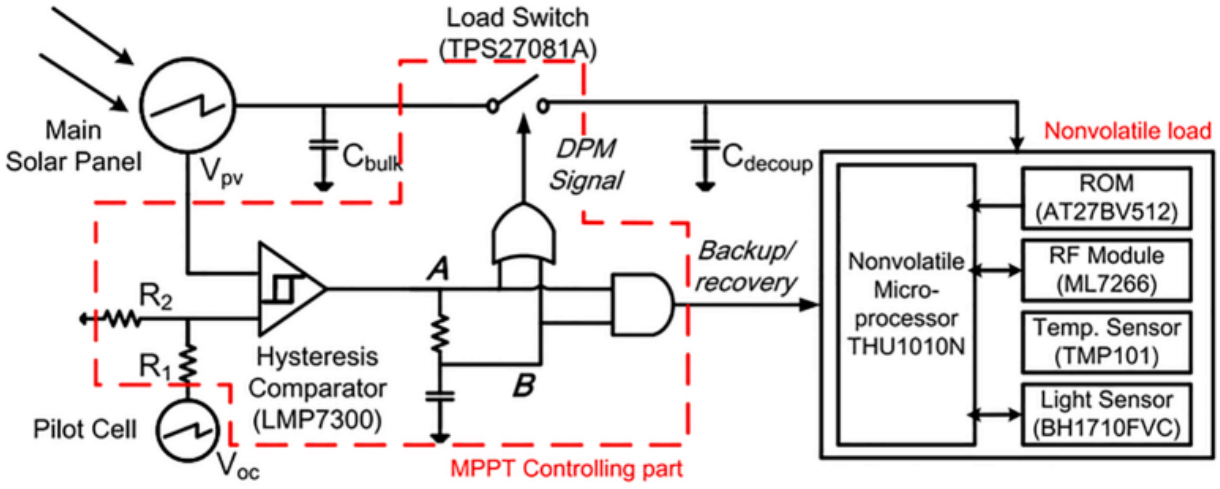
۱. **Perturb and Observe (P&O)**: این روش با تغییر دادن ولتاژ و نظارت بر تغییرات توان خروجی، نقطه حداکثر توان را پیدا می‌کند. اگرچه ساده و رایج است، اما در شرایط نور متغیر ممکن است به نقطه حداکثر توان واقعی نرسد.

۲. **Incremental Conductance (IncCond)**: این روش با محاسبه تغییرات شیب خط قدرت و ولتاژ، نقطه حداکثر توان را تشخیص می‌دهد. به‌ویژه در شرایط نور متغیر، دقت بیشتری نسبت به P&O دارد.

۳. **Constant Voltage (CV)**: این روش بر این فرض استوار است که نقطه حداکثر توان در نزدیکی یک ولتاژ ثابت خاصی قرار دارد. این تکنیک ساده است اما دقت کمتری دارد.

۴. **Artificial Intelligence (AI) based Methods یا Fuzzy Logic**: این روش‌ها با استفاده از منطق فازی یا الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به تنظیم MPPT می‌پردازند. این روش‌ها انعطاف‌پذیری بیشتر و عملکرد بهتری در شرایط محیطی متغیر دارند.

هریک از این تکنیک‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و انتخاب آن‌ها به شرایط کاربردی و نیازهای خاص سیستم بستگی دارد.



شکل ۱ . سیستم برداشت انرژی بدون ذخیره سازی – بدون مبدل

۲.۲. برخی از دستگاه‌های PV-EH-IoT و مدارهای مجتمع که در این مقاله بررسی شده‌اند عبارتند از:

Heliomote: یک دستگاه IoT با تمرکز بر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی.

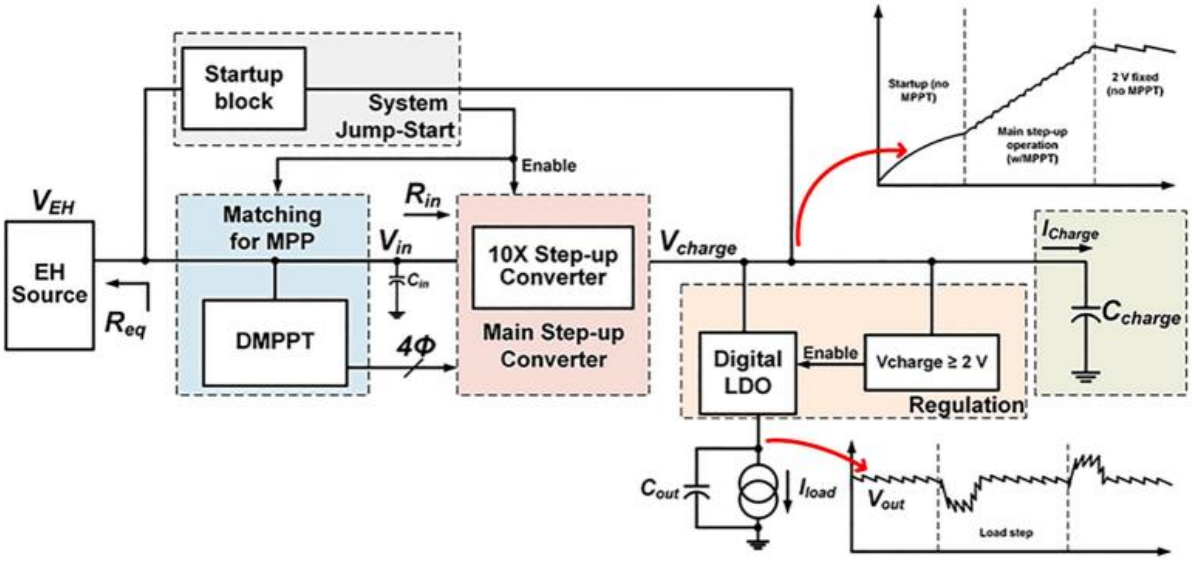
Prometheus: یک سیستم بهره‌برداری انرژی خورشیدی با کاربردهای مختلف.

AmbiMax: دستگاهی که از فناوری پیشرفته برای بهره‌برداری از انرژی استفاده می‌کند.

Everlast و Fleck 1: سیستم‌های بهره‌برداری انرژی برای IoT با تمرکز بر طول عمر و کارایی بالا.

Solar Biscuit و Sunflower: دستگاه‌هایی با طراحی‌های نوآورانه برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی.

Hydrowatch: دستگاهی متمرکز بر رصد و بهره‌برداری از منابع انرژی آبی.



شکل ۲ . برداشت کننده انرژی مستقل برای اینترنت اشیاء با بلوک شروع (start block)

۲.۳. ملاحظات طراحی سیستم: راهبردهای مدیریت انرژی مؤثر، مانند چرخه‌بندی وظیفه، برنامه‌ریزی خواب و مقیاس‌بندی ولتاژ پویا حیاتی هستند. طراحی باید توان تولید شده و ذخیره‌شده را با نیازهای مصرفی متعادل کند.

چند مورد از این موارد را در زیر بررسی کردیم:

۱. چرخه‌بندی وظیفه (Duty Cycling): این روش شامل تنظیم دوره‌های فعالیت و استراحت برای دستگاه‌های IoT است. به عنوان مثال، یک سنسور(حسگر) محیطی ممکن است برای ۱۰ ثانیه داده‌ها را جمع‌آوری کند و سپس برای ۵۰ ثانیه وارد حالت خواب شود تا مصرف انرژی را کاهش دهد.

۲. برنامه‌ریزی خواب (Sleep Scheduling): در این روش، دستگاه‌ها برنامه‌ریزی می‌شوند تا در زمان‌های غیر ضروری وارد حالت خواب شوند. مثلاً یک دستگاه IoT ممکن است در طول شب یا در زمان‌هایی که فعالیت کمتری لازم است، خاموش شود.

۳. مقیاس‌بندی ولتاژ پویا (Dynamic Voltage Scaling): این استراتژی(راهبرد) به تنظیم ولتاژ و فرکانس پردازنده بر اساس بار کاری دستگاه می‌پردازد. برای مثال، در زمان‌هایی که بار کاری کم است، ولتاژ و فرکانس پردازنده کاهش می‌یابد مصرف انرژی به حداقل برسد.

۳. نتایج و بحث ها:

در مقالاتی که مورد بررسی قرار گرفته اند، بحث‌های مفصلی در مورد نتایج و نوآوری‌های به دست آمده صورت گرفته است. به عنوان مثال، در یک مقاله، نوآوری در زمینه بهبود کارایی انرژی با استفاده از سیستم‌های برداشت انرژی پیشرفته مورد تاکید قرار گرفته است. همچنین، در مورد اعتبارسنجی نتایج، روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه با استانداردهای صنعتی به کار گرفته شده است تا اطمینان حاصل شود که نتایج موثق و قابل اتکاء هستند.

۴. روش‌ها، سؤالات و آمار:

در این تحقیقات، روش‌های گوناگونی برای بهبود کارایی و پایداری دستگاه‌های IoT از طریق فناوری‌های برداشت انرژی و مدیریت بهینه قدرت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سؤالات تحقیق به دنبال بررسی این موضوع هستند که چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های نوآورانه در برداشت انرژی و مدیریت قدرت، کارایی دستگاه‌های IoT را افزایش داد. این مقاله به دنبال پاسخ به این سؤال است که چگونه می‌توان کارایی انرژی در دستگاه‌های IoT را با استفاده از فناوری‌های برداشت انرژی خورشیدی افزایش داد. همچنین به بررسی تأثیر استراتژی‌های مدیریت قدرت بر عمر باتری دستگاه‌های IoT می‌پردازد. جامعه آماری در این تحقیقات شامل مجموعه‌ای از دستگاه‌های IoT و فناوری‌های مربوط به برداشت انرژی و مدیریت قدرت است. فرآیند تحقیق شامل طراحی، آزمایش و تحلیل داده‌های به دست آمده از این دستگاه‌ها و فناوری‌ها است. این مقاله از سیستم‌های پیشرفته MPPT برای بهینه‌سازی کارایی برداشت انرژی خورشیدی استفاده می‌کند و همچنین، رویکردهای مدیریت قدرت در دستگاه‌های IoT را با استفاده از الگوریتم‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری خاص مورد بررسی قرار داده است. ابزار تحقیق شامل مجموعه‌ای از تجهیزات و نرم‌افزارهای تخصصی برای اندازه‌گیری و تحلیل کارایی انرژی در دستگاه‌های IoT است. در نهایت، مسائل و چالش‌های موجود به وسیله تحلیل‌های آماری و مهندسی دقیق حل شده‌اند که شامل بررسی و ارزیابی داده‌های جمع‌آوری شده است. در برخی از مقالات، تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از سیستم‌های PV برای ارزیابی کارایی MPPT انجام شده است و یا با استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، تاثیر الگوریتم‌های مدیریت قدرت بر کارایی کلی دستگاه‌های IoT را مورد بررسی قرار داده‌اند.

۵. جهت‌گیری‌ها و چالش‌های آینده:

تحقیقات آینده باید بر بهبود کارایی تبدیل انرژی، توسعه راهکارهای ذخیره‌سازی انرژی مستحکم‌تر و خلق الگوریتم‌های مدیریت انرژی انعطاف‌پذیر که قادر به مقابله با ماهیت غیرقابل پیش‌بینی منابع انرژی محیطی باشند، متمرکز شوند. رویارویی با این چالش‌ها راه را برای ایجاد اکوسیستم‌های IoT پایدارتر و دوام‌دارتر هموار می‌کند.

۶. نتیجه‌گیری:

این مطالعه، با بررسی جامعی از تکنیک‌ها و راهبردهای برداشت انرژی و مدیریت قدرت در دستگاه‌های IoT، به ارائه یک چشم‌انداز وسیع و عمیق در زمینه تکامل این فناوری‌ها پرداخته است. استفاده از روش‌های پیشرفته برداشت انرژی خورشیدی، بهینه‌سازی فرآیندهای مدیریت قدرت و توسعه سیستم‌های IoT خودکفا، نشان‌دهنده گام‌هایی بلند برای دستیابی به سیستم‌های پایدارتر و کارآمدتر است. از طرفی، پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریت انرژی مانند چرخه‌بندی وظیفه، برنامه‌ریزی خواب و مقیاس‌بندی ولتاژ پویا به کاهش چشمگیر مصرف انرژی و افزایش طول عمر دستگاه‌های IoT کمک کرده است.

این تحقیقات، ضمن نشان دادن امکانات و قابلیت‌های فناوری‌های موجود، به وضوح، چالش‌ها و محدودیت‌های پیش‌رو در توسعه این سیستم‌ها را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. در نهایت، با تکیه بر دستاوردهای علمی و فناوری به دست آمده، می‌توان توقع داشت که آینده دستگاه‌های IoT در جهت بهره‌برداری مؤثرتر از منابع انرژی و ارائه راهکارهای نوآورانه در مدیریت انرژی گام‌های بزرگتری بردارد. این پیشرفت‌ها نه تنها به بهبود کارایی و پایداری دستگاه‌های IoT کمک می‌کنند، بلکه در راستای تحقق اهداف بزرگتر محیط زیستی و انرژی نیز قرار دارند.

۷. منابع و مراجع

[1] Kjellby, R. A., Cenkeramaddi, L. R., Johnsrud, T. E., Løtveit, S. E., Jevne, G., & Beferull-Lozano, B. (2018). Self-powered IoT Device based on Energy Harvesting for Remote Applications. Department of Information and Communication Technology, University of Agder, Grimstad, Norway. 2018 IEEE.

[2] Mayer, P., Magno, M., & Benini, L. (2020). Smart Power Unit – mW-to-nW Power Management and Control for Self-Sustainable IoT Devices. IEEE.

[3] Ahmad, F. F., Ghenai, C., Bettayeb, M. (2021). Maximum power point tracking and photovoltaic energy harvesting for Internet of Things: A comprehensive review. Received January 26, 2021; Accepted June 18, 2021.

[4] Sanislav, T., Mois, G. D., Zeadally, S., & Folea, S. C. (2021). Energy Harvesting Techniques for Internet of Things (IoT). IEEE. Received February 17, 2021; Published March 4, 2021.

[5] Zeadally, S., Shaikh, F. K., Talpur, A., & Sheng, Q. Z. (2020). Design architectures for energy harvesting in the Internet of Things. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 128, August 2020, 109901.

[6] Sandhu, M. M., Khalifa, S., Jurdak, R., & Portmann, M. (2021). Task Scheduling for Energy Harvesting-based IoT: A Survey and Critical Analysis. IEEE.