

کاهش زمان بازگشت سرمایه از طریق مدیریت هوشمند توان مصرفی در مرکز داده دارای انرژی خورشیدی

سمیه طاهری^۱، مازیار گودرزی^۲

چکیده: توجه به مسئله رشد هزینه و پیامدهای منفی مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی را به اولویتی اساسی در مراکز داده تبدیل کرده است. اگرچه استفاده از این منابع موجب کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود، هزینه زیاد راه‌اندازی نیروگاه و طبیعت نوسانی این منابع، استفاده از آن را محدود می‌کند؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از گردانندگان مراکز داده ترجیح می‌دهند از منابع برق شهری استفاده کنند. در این مقاله روش‌های مدیریت توان مصرفی و کاهش هزینه با هدف کاهش زمان بازگشت سرمایه، مانند بهره‌مندی از فرصت‌های برآمده از الگوی محاسبه هزینه انرژی و مدل توزیع شده برق اضطراری (UPS)، بررسی شده است. واحد مدیریت هوشمند توان مصرفی (SPMU) پیشنهاد شده، در هر فاصله زمانی با توجه به میزان انرژی خورشیدی در دسترس، قیمت برق شهری و وضعیت باتری‌های توزیع شده UPS، توزیع بهینه‌ای از توان ذخیره شده هر منبع ارائه می‌دهد و مدیریت شارژ و تخلیه باتری‌ها را برعهده می‌گیرد. بر اساس نتایج، این روش زمان بازگشت سرمایه را بین ۱/۲ - ۰/۸ سال کاهش می‌دهد که به‌طور متوسط ۳۶ درصد کمتر از روش مرسوم است.

واژه‌های کلیدی: الگوی محاسبه هزینه انرژی، مدل توزیع شده برق اضطراری، مرکز داده، منبع انرژی تجدیدپذیر.

۱. دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۳۱

نویسنده مسئول مقاله: مازیار گودرزی

E-mail: Goudarzi@sharif.ir

مقدمه

مراکز داده از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در جهان‌اند. بیش از ۱/۲ درصد از کل انرژی مصرفی سالانه آمریکا در سال ۲۰۰۵ و حدود ۰/۸ درصد کل انرژی مصرفی این سال، در مراکز داده مصرف شده است (کومی، ۲۰۰۷). از سویی، همزمان با توسعه فناوری اطلاعات، بر سرعت مصرف انرژی در این بخش افزوده شده است؛ به گونه‌ای که بر اساس گزارش جهانی صلح سبز (صلح سبز، ۲۰۰۸)، این میزان در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰، بیش از ۴۰ درصد رشد داشته است. مسئله بحران انرژی و پیامدهای مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر نشان می‌دهد در آینده نزدیک، تأمین انرژی عامل محدودکننده توسعه پایدار خواهد بود.

از لحاظ آثار مخرب زیست‌محیطی، شایان توجه است فقط در سال ۲۰۰۶، مراکز داده بیش از ۱۱۶/۲ میلیون تن گاز دی‌اکسیدکربن تولید کرده‌اند (گزارش کنگره آمریکا، ۲۰۰۶). از لحاظ اقتصادی نیز، هزینه تأمین انرژی در مرکز داده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل هزینه‌های جاری سالانه آن برآورد می‌شود (باراسو، کلیداراس و هولزل، ۲۰۱۳: ۹۴). از این رو کاهش مصرف انرژی در مرکز داده، موضوع مهم برخی از تحقیقات صورت گرفته است. طراحی و به‌کارگیری سخت‌افزارهایی با توان مصرفی متناسب با بار کاری^۱ (یورگانکار، نیلی و سیواسابرامانیا، ۲۰۱۱؛ گودرزی، قاسم آذر و پدرام، ۲۰۱۲؛ باراسو و هولزل، ۲۰۰۷؛ فن، وبر و باراسو، ۲۰۰۷؛ لفارگی، ونگ و وار، ۲۰۰۷ و مینزر، گلد و ونیسچ، ۲۰۰۹)، استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری زمان‌بندی و انتساب منابع به‌صورت آگاه از انرژی^۲ (چنگ، رن و وزواناتان، ۲۰۱۰؛ آردانا، پانی کوکی، ترولیان و ژانگ، ۲۰۱۲؛ گودرزی و پدرام، ۲۰۱۱ و تولیا، ونگ، مروا، بش، رانگاناتان، ۲۰۰۸)، مجازی‌سازی^۳، مهاجرت^۴ و مجتمع‌سازی^۵ (لیو، ونگ، جین، هی و چن، ۲۰۰۵ و آریلت، بش، بلاگودارو، چن، کریستین، ۲۰۱۲) و روش‌هایی از این دست، نمونه‌هایی از تحقیقات صورت گرفته با هدف کاهش میزان انرژی مصرفی در مرکز داده است.

افزایش آگاهی‌های عمومی و وضع قوانین مالیاتی - تشویقی در ازای مدیریت و کاهش مصرف انرژی یا استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر از سوی دولت‌ها، سبب شده است گردانندگان مراکز داده به استفاده بهینه از منابع انرژی و به‌کارگیری منابع جدید انرژی تمایل پیدا کنند. با این همه، هزینه گزاف راه‌اندازی نیروگاه انرژی تجدیدپذیر، سود اقتصادی چنین تصمیم‌هایی را

-
1. Power Proportional
 2. Energy-Aware
 3. Virtualization
 4. Migration
 5. Consolidation

کاهش می‌دهد. هرچند دولت‌ها قوانین تشویقی و اعطای وام‌های کم‌بهره را در دستور کار خود قرار داده‌اند، تعرفه پایین انرژی برق شهری همچنان مانع گسترش این موضوع می‌شود. علاوه بر این، با توجه به ماهیت نوسانی و غیرقابل پیش‌بینی منابع تجدیدپذیر، راه‌اندازی نیروگاه‌های ترکیبی یا استفاده از منابع ذخیره‌ساز، امری ضروری است که علاوه بر ایجاد چالش‌های مدیریتی، هزینه را نیز افزایش می‌دهد. با وجود این، روند رو به کاهش هزینه ساخت و توسعه نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر و افزایش هزینه تولید و فروش انرژی الکتریسته و بحران انرژی، چشم‌اندازهای جدیدی را برای تأمین انرژی پیش‌روی گردانندگان صنعت قرار می‌دهد.

این مقاله روش هوشمندی برای مدیریت توان و کاهش هزینه‌های اولیه و جاری و افزایش سودآوری انرژی خورشیدی در مرکز داده با هدف کاهش زمان بازگشت سرمایه، پیشنهاد داده است. روش پیشنهادشده تلاش می‌کند اول؛ منابع موجود در مرکز داده را تا حد امکان برای رفع چالش‌های استفاده از انرژی خورشیدی به کار گیرد و از این طریق سرمایه‌گذاری اولیه را کاهش دهد. دوم؛ از طریق مدیریت توان مصرفی مرکز داده با توجه به الگوی محاسبه هزینه انرژی، هزینه‌های جاری را کاهش دهد و سوم؛ با بررسی راهکارهای موجود برای انرژی خورشیدی (استفاده، ذخیره یا فروش) و اتخاذ تصمیم بهینه، سودآوری این بخش را حداکثر کند.

پیشینه پژوهش

پیشینه تجربی

پژوهش‌های بررسی‌شده در دو دسته کلی روش‌های کاهش هزینه از طریق توجه به الگوی محاسبه هزینه انرژی و راهکارهای افزایش سودآوری انرژی‌های تجدیدپذیر تشریح می‌شود. مقاله ونگ و همکارانش (ونگ، هوانگ، لین و محسنیان‌راد، ۲۰۱۳) از الگوی زمان حقیقی برای محاسبه هزینه انرژی استفاده می‌کند و با توجه به قیمت واحد انرژی و میزان بار پیش‌بینی‌شده نیروگاه محلی، سقف توان اختصاص داده‌شده به مرکز داده را تخمین می‌زند. توان تخصیص داده‌شده باید به‌گونه‌ای باشد که در وهله اول، اطمینان حاصل شود نیروگاه محلی اضافه‌بار ندارد و دوم، هزینه مصرف انرژی در مرکز داده بهینه خواهد شد. از این رو باید انرژی لازم برای مرکز داده و بار شبکه برق محلی به‌درستی برآورد شود. واضح است که پیاده‌سازی این روش زمانی امکان‌پذیر است که بیش از یک مرکز داده (با نیروگاه‌های محلی مختلف) وجود داشته باشد؛ در غیر این صورت ممکن است در مواردی توان تخصیص داده‌شده برای اجرای درخواست‌ها کافی نباشد.

واضح است در الگویی که ثابت نیست، محاسبه هزینه انرژی در بازه‌هایی از زمان، قیمت انرژی کمینه است. بر این اساس، یورگانکار و همکاران (۲۰۱۱) برای ذخیره انرژی ارزان قیمت از باتری استفاده کردند و از طریق الگوریتم برخط، با توجه به تعرفه انرژی و میزان تقاضا، مقدار انرژی لازم را از شبکه برق یا باتری‌ها تأمین کردند. در چنین حالتی سیستم باید پیش‌بینی درستی از نیاز و قیمت انرژی داشته باشد و باتری‌ها به خوبی مدیریت شود؛ هرچند استفاده از باتری‌های افزونه سبب افزایش هزینه راه‌اندازی سیستم می‌شود.

افزایش سودآوری انرژی خورشیدی را گوری و همکارانش بررسی کردند (گوری، کاتساک، لی، نگوبین و بیانچینی، ۲۰۱۳). آنان در مرکز داده‌ای با ابعاد کوچک و مجهز به نیروگاه خورشیدی، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را بررسی کردند و از طریق محاسبه میزان صرفه‌جویی و سود فروش مازاد انرژی خورشیدی، به توجیه اقتصادی طرح پرداختند. همچنین آزمایش‌های گوناگونی درباره مدیریت بار کاری با هدف افزایش سودآوری انجام دادند. با این حال، الگوی محاسبه هزینه انرژی تنها برای بررسی توجیه اقتصادی طرح استفاده شد و از فرصت‌های ناشی از آن در راستای کاهش هزینه‌های جاری، بهره‌ای برده نشد. مجموعه باتری استفاده شده در این طرح نیز محدود بود و هزینه اولیه آن در کانون توجه نبود.

زمان‌بندی درخواست‌ها (به‌ویژه درخواست‌های دسته‌ای با قابلیت اجرا با تأخیر) به‌منظور افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه در مقاله آرلیت و همکارانش بررسی شده است (آرلیت و همکاران، ۲۰۱۳). هرچند این راهکار در افزایش سودآوری انرژی خورشیدی مؤثر است، هنگام مقایسه، سایر عوامل تأثیرگذار (مانند تعرفه و الگوی محاسبه هزینه انرژی، فروش انرژی خورشیدی و مواردی از این دست) نیز باید بررسی شوند.

موضوع استفاده از باتری‌های UPS توزیع شده با هدف کاهش اتکا به شبکه برق شهری نیز در مقاله‌های متعددی بررسی شده است. استفاده از انرژی ذخیره شده در این مجموعه از باتری‌ها، در موقعیتی که توان لازم برای مرکز داده از حداکثر مجاز توان مصرفی بیشتر می‌شود، پیشنهادی است که گوویندان و همکارانش مطرح کردند. بر این اساس، این باتری‌ها در موقعیت‌های اضطراری و به اندازه اختلاف بین توان لازم و حد مجاز مصرف توان، تخلیه می‌شوند. علاوه بر این، بخشی از ظرفیت باتری‌ها نیز برای تأمین برقی که مرکز داده نیاز دارد، در موارد بروز خطا در شبکه برق اندوخته می‌شود (گوویندان، ونگ، سیواسابرامانیام و یورگانکار، ۲۰۱۳). البته در این مقاله به الگوی محاسبه هزینه انرژی توجهی نشده است، از این رو زمان مناسب برای شارژ مجدد باتری‌ها نیز مشخص نیست.

از آنجا که در هر مرکز داده به ازای میزان مشخصی از توان تخصیص داده شده، می‌توان تعداد مشخصی سرور راه‌اندازی کرد و همچنین توجه به این نکته که سرورهای مرکز داده اغلب با

ظرفیتی کمتر از ظرفیت حداکثر کار می‌کنند، کونتورونیز و همکارانش پیشنهاد کردند اگر تعداد سرورهای مرکز داده به ازای میزان توان مشخص افزایش یابد، می‌توان هزینه کل مالکیت^۱ را کاهش داد و در موقعیت‌های اضطراری، از انرژی ذخیره‌شده در مجموعه باتری‌های توزیع‌شده استفاده کرد (کونتورونیز، سمپسون، ژانگ، اکسانلی و همایونی، ۲۰۱۲). این مقاله نیز درباره زمان مناسب شارژ باتری‌ها با هدف کاهش هزینه، اظهار نظری نمی‌کند.

اگرچه پژوهش‌های بررسی‌شده به کاهش هزینه انرژی و افزایش سودآوری انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته‌اند، توجه به زمان بازگشت سرمایه و استفاده از نتایج به‌دست‌آمده به‌منظور کاهش آن، موضوعی است که کمتر در کانون توجه بوده است. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین نمونه‌های بررسی‌شده و پیشنهاد این مقاله مشاهده می‌شود.

جدول ۱. مقایسه کارهای پیشین و روش ارائه‌شده

مرجع	دیدگاه حل مسئله		انرژی نو	استفاده از باتری	تنوع الگوهای محاسبه هزینه
	کاهش هزینه	افزایش سود			
ونگ و همکاران (۲۰۱۳)	*			-	*
یورگانکار و همکاران (۲۰۱۱)	*			باتری افزونه	*
گوری و همکاران (۲۰۱۳)		*	*	باتری افزونه	
گوویندان و همکاران (۲۰۱۳)	*			UPS توزیع‌شده	
کونتورونیز و همکاران (۲۰۱۲)	*			UPS توزیع‌شده	
پیشنهاد	*	*	*	UPS توزیع‌شده	*

بر اساس جدول ۱ هدف روش ارائه‌شده در این مقاله، استفاده از همه امکانات و راه‌حل‌های موجود در راستای کاهش زمان بازگشت سرمایه است؛ موضوعی که در مقاله‌های پیش‌گفته کمتر در کانون توجه قرار گرفته است.

پیشینه نظری

برق اضطراری توزیع‌شده

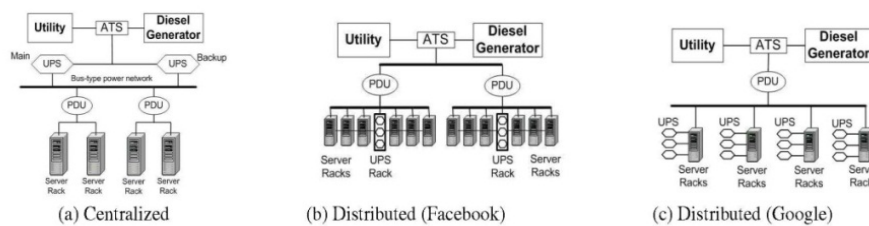
در این بخش به دلیل اهمیت و تأثیر برق اضطراری توزیع‌شده، به توضیح مفهوم آن پرداخته می‌شود. به‌طور کلی مراکز داده برای افزایش قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری در صورت بروز اشکال در شبکه تأمین برق، از باتری‌های UPS استفاده می‌کنند. این باتری‌ها به‌منظور پرکردن

1. Total Cost of Ownership (TCO)

خلاء زمانی بین رخداد قطع برق تا زمان در مدار قرار گرفتن دیزل ژنراتور، استفاده می‌شوند. در ضمن، این باتری‌ها وظیفه تنظیم توان ورودی و تصمیم‌گیری درباره منبع مناسب تغذیه‌کننده مرکز داده (شبکه برق یا دیزل ژنراتور) را برعهده دارند. با وجود این، در صورت مدیریت کارا می‌توان این منابع ذخیره‌ساز انرژی را برای مقاصد دیگری نیز استفاده کرد.

به‌طور مرسوم مجموعه باتری‌های UPS به‌صورت متمرکز نگهداری و مدیریت می‌شوند. ایده استفاده از باتری‌های UPS توزیع‌شده را اولین بار گوگل^۱ مطرح کرد. این شرکت پیشنهاد داد که به ازای هر سرور، از باتری جداگانه‌ای استفاده شود و باتری هر سرور در کنار آن و پس از واحد توزیع‌کننده توان^۲ قرار گیرد (گوگل، ۲۰۰۹).

در همین حال، شرکت فیس‌بوک^۳ از انتساب یک مجموعه باتری نیمه متمرکز به مجموعه‌ای مشتمل بر شش قفسه از سرورها استفاده کرد (فیس‌بوک، ۲۰۱۱). شکل ۱ سه ایده متفاوت از پیاده‌سازی باتری‌های UPS را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. روش‌های استقرار باتری تغذیه بی‌وقفه در مرکز داده. (a) استقرار باتری به‌شکل متمرکز و قبل از واحد توزیع توان؛ (b) استقرار باتری به‌شکل توزیع‌شده برای مجموعه سرورها؛ (c) هر سرور باتری مخصوص به خود را دارد.

استفاده از باتری توزیع‌شده در مجاورت سرورها و تجهیز سرورها به ورودی جریان مستقیم، تبدیل جریان متناوب به مستقیم در ورودی باتری و برعکس در ورودی سرور را غیرضروری می‌کند. شایان توجه اینکه تبدیلات صورت‌گرفته بین ۴ تا ۱۰ درصد اتلاف توان در حالت عملکرد ایده‌آل را به‌همراه دارد (کوتورونیز و همکاران، ۲۰۱۲) و تأثیر این روش بر کارایی واحد توزیع توان و کاهش اتلاف انرژی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، توزیع باتری‌ها سبب بهبود مدیریت و امکان تعریف کاربردهای جدید برای آنها می‌شود.

1. Google
2. Power Distributed Unit (PDU)
3. Facebook

روش ارائه شده

این مقاله از طریق مدیریت توان مصرفی و تصمیم‌گیری درباره توزیع بهینه توان گرفته شده از هر منبع (انرژی تجدیدپذیر، انرژی برق شهری و انرژی ذخیره شده در باتری‌های توزیع شده) با هدف کاهش هزینه و افزایش سودآوری انرژی خورشیدی، زمان بازگشت سرمایه را کاهش می‌دهد. در ادامه پس از مطرح کردن مسئله به کمک روابط ریاضی، به بررسی راه حل آن پرداخته می‌شود.

بیان مسئله

هدف روش ارائه شده، کمینه‌سازی زمان بازگشت سرمایه از طریق کاهش هزینه‌های جاری مصرف انرژی و افزایش سودآوری انرژی خورشیدی است. در بیان مسئله از نمادهای زیر استفاده شده است:

- CAPEX System: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم پیشنهادی؛
- OPEX Energy Reduction: میزان کاهش هزینه‌های جاری در بخش انرژی؛
- Solar Selling Profit: سود به دست آمده از فروش انرژی خورشیدی؛
- Break even Time: زمان بازگشت سرمایه اولیه؛
- Energy Price (T): قیمت واحد انرژی در فاصله زمانی T ام؛
- Solar Selling Price (T): قیمت فروش واحد انرژی خورشیدی در فاصله زمانی T ام؛
- Esolar (T): میزان انرژی خورشیدی در دسترس در فاصله زمانی T ام (KWh)؛
- EBattery (T): میزان انرژی ذخیره شده در مجموعه باتری‌ها در فاصله زمانی T ام (KWh)؛
- Price Solar Panel: قیمت هر صفحه خورشیدی؛
- Price Additional Battery: قیمت هر باتری اضافه؛
- Number Solar Panel: تعداد صفحه خورشیدی استفاده شده؛
- Number Additional Battery: تعداد باتری‌های اضافه استفاده شده؛
- Used Solar Power (T): توان متوسط خورشیدی استفاده شده در فاصله زمانی T ام (KW)؛
- Sold Solar Power (T): توان متوسط خورشیدی فروخته شده در فاصله زمانی T ام (KW)؛
- P Charge (T): توان متوسط مصرف شده برای شارژ باتری‌ها در فاصله زمانی T ام (KVA)؛
- Power Forecast (T): توان لازم پیش‌بینی شده در فاصله زمانی T ام بر حسب (KW)؛
- P Discharge (T): توان متوسط گرفته شده از باتری‌ها در فاصله زمانی T ام بر حسب (KVA)؛
- B (T): حداکثر انرژی خورشیدی برای یک روز آفتابی در فاصله زمانی T ام (KWh)؛
- Cloud Cover (T): درصد ابرناکی هوا در فاصله زمانی T ام؛
- Powerth(T): آستانه توان مصرفی برای استفاده از انرژی خورشیدی در فاصله زمانی T ام (KW)؛

Battery Capacity: ظرفیت هر باتری (VAh)؛

N Total: تعداد کل باتری‌ها؛

N Available (t): تعداد باتری‌های قابل استفاده در زمان t؛

N Charge (T): تعداد باتری شارژ شده در فاصله زمانی T؛

N Discharge (T): تعداد باتری تخلیه شده در فاصله زمانی T؛

DOD: عمق تخلیه باتری برای جبران آثار شارژ و تخلیه مداوم باتری، به منظور افزایش عمر آن؛

Energy Cost (T): هزینه انرژی بر اساس الگوی محاسبه هزینه در فاصله زمانی T (ریال)؛

Power Brown (T): توان گرفته شده از شبکه برق شهری در فاصله زمانی T (KW)؛

Allowable Power: حداکثر توان مصرفی مجاز (KW)؛

Battery Losses: ضریب اتلاف انرژی ذخیره شده در باتری.

بنابراین داریم:

$$\text{CAPEX}_{\text{System}} = \text{Price}_{\text{Solar Panel}} \times \text{Number}_{\text{Solar Panel}} + \text{Price}_{\text{Additional Battery}} \times \text{Number}_{\text{Additional Battery}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{OPEX}_{\text{Energy Reduction}}(T) = f(\text{Energy Price}(T), \text{Used Solar Power}(T), P_{\text{Charge}}(T), P_{\text{Discharge}}(T)) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{Solar Selling Profit}(T) = g(\text{Sold Solar Power}(T), \text{Solar Selling Price}(T)) \quad \text{رابطه (۳)}$$

طرح مسئله

در هر فاصله زمانی T و به ازای قیمت واحد انرژی مطابق Energy Price (T)، پیش‌بینی میزان انرژی خورشیدی در دسترس مطابق $E_{\text{solar}}(T)$ ، قیمت فروش آن مطابق Solar Selling Price(T)، انرژی ذخیره شده در باتری‌ها مطابق $E_{\text{Battery}}(T)$ و همچنین پیش‌بینی توان متوسط لازم مطابق Power Forecast(T)، واحد هوشمند مدیریت توان مصرفی (SPMU) برای تعیین توزیع بهینه توان گرفته شده از هر منبع، میزان فروش انرژی خورشیدی و وضعیت شارژ یا تخلیه باتری‌ها، به گونه‌ای تصمیم می‌گیرد که ضمن تأمین توان پیش‌بینی شده، از طریق کاهش هزینه‌های جاری و افزایش سودآوری انرژی خورشیدی، زمان بازگشت سرمایه را کمینه سازد. تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌شود:

Objective: Minimize (Break even Time)
Where Break even Time is the time when

$$CAPEX_{System} = \sum_{T=0}^{Break\ even\ Time} (OPEX_{Energy}\ Reduction(T) + Solar\ Selling\ Profit(T)) \quad \text{رابطه ۴}$$

Subject to Data Center Power Requirement Constraint

$$\forall T: Power_{Brown}(T) + Used\ Solar\ Power(T) + P_{Discharge}(T) \geq Power\ Forecast(T) + P_{Charge}(T) \quad \text{رابطه ۵}$$

شیوه حل مسئله

شبه کد زیر نحوه عملکرد SPMU را نمایش می دهد.

جدول ۲. شبه کد SPMU

Algorithm 1. Pseudo Code For SPMU

1. **Function** Smart Power Management
 2. **If** $T \in low\ cost\ Interval$
 3. **While** (Power Forecast(T) < Allowable Power)
 4. Charge Empty Batteries;
 5. Power Forecast(T) += $P_{Charge}(T)$;
 6. **End If**;
 7. **If** $T \in High\ cost\ Interval$
 8. **While** (Assigned Power < Power Forecast(T) && $N_{Available}(t) > 0$)
 9. Discharge Available Batteries;
 10. Assigned Power += $P_{Discharge}(T)$;
 11. **End While**;
 12. **End If**;
 13. **While** (Assigned Power < Power Forecast(T) && Solar Selling Profit < Energy Cost(T))
 14. Use Available Solar Energy;
 15. Assigned Power += Used Solar Power (T);
 16. **End While**;
 17. **While** (Assigned Power < Power Forecast(T))
 18. Use Brown Energy;
 19. Assigned Power += Power Brown (T);
 20. **End While**;
 21. **End Function**;
-

مطابق شبه کد، ابتدا وضعیت تخلیه یا شارژ باتری ها بسته به بازه زمانی مد نظر و الگوی محاسبه هزینه (شرط if خط ۲ و ۷) مشخص می شود (خط ۴ و ۹). سپس SPMU برای انرژی خورشیدی با توجه به سود ناشی از فروش آن و قیمت تمام شده انرژی تصمیم گیری می کند (خط ۱۴). در پایان نیز چنانچه توان پیش بینی شده تأمین نشده باشد، شبکه برق شهری برای منبع

تأمین انرژی انتخاب می‌شود (خط ۱۸). در ادامه به نحوه تعیین وضعیت انرژی خورشیدی و باتری‌ها پرداخته می‌شود.

انرژی خورشیدی

مطابق مدل SHARMA (گوری، ۲۰۱۲)، میزان انرژی خورشیدی در فاصله زمانی T ام، تابعی از درصد ابرناکی هوا و حداکثر انرژی مورد انتظار به ازای یک روز آفتابی در آن بازه است. بنابراین:

$$E_{\text{Solar}}(T) = B(T) * (1 - \text{Cloud Cover}(T)) \quad \text{رابطه ۶}$$

در این مقاله سه تصمیم ممکن برای انرژی خورشیدی (مصرف، ذخیره یا فروش) در نظر گرفته شده است. مادامی که سود فروش انرژی خورشیدی بیشتر از هزینه مصرف انرژی برق شهری باشد، انرژی خورشیدی فروخته می‌شود؛ در غیر این صورت، انرژی به دست آمده مصرف خواهد شد. در چنین حالتی، SPMU به اندازه نیاز پیش‌بینی شده از آن استفاده می‌کند و مازاد انرژی را به فروش می‌رساند یا در شرایطی که سود ناشی از فروش با توجه به تعرفه برق در سایر بازه‌های پیش‌رو، بسیار کم باشد، آن را ذخیره می‌کند. رابطه‌های ۷ تا ۱۰ نحوه محاسبه میزان استفاده شده انرژی خورشیدی و مازاد آن را در فاصله زمانی T ام نشان می‌دهد.

$$\forall T: (\text{Sold Solar Power}(T) + \text{Used Solar Power}(T)) \times \text{Duration}(T) = E_{\text{Solar}}(T) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\text{Used Solar Power}(T) = \text{Min} \left(\text{Power Forecast}(T) - \text{Power}_{\text{th}}(T), \frac{E_{\text{Solar}}(T)}{\text{Duration}(T)} \right) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\text{Used Solar Power}(T) \geq 0 \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\text{Sold Solar Power}(T) \geq 0 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

واضح است که بسته به الگوی محاسبه هزینه انرژی و قیمت فروش انرژی خورشیدی و رابطه آن با تعرفه برق، ممکن است SPMU از آستانه توان مصرفی مشخصی به بعد تصمیم به استفاده از انرژی خورشیدی بگیرد. در رابطه ۸، پارامتر $\text{Power}_{\text{th}}(T)$ به این مطلب اشاره دارد.

انرژی ذخیره شده در باتری‌های اضطراری توزیع شده

در این مقاله علاوه بر باتری منبع تغذیه بی‌وقفه، از باتری‌های UPS توزیع شده برای منابع ذخیره کننده انرژی با هدف کاهش هزینه استفاده شده است. مدیریت باتری‌ها و تصمیم‌گیری

کاهش زمان بازگشت سرمایه از طریق مدیریت هوشمند توان... ۸۱۵

برای زمان مناسب شارژ یا تخلیه آنها برعهده SPMU است. رابطه‌های ۱۱ تا ۱۳ نحوه محاسبه انرژی ذخیره‌شده در مجموعه باتری‌ها و انرژی شارژ و تخلیه را نمایش می‌دهد.

$$E_{\text{Battery}}(T) = (\text{Battery Capacity} \times (1 - \text{Battery Losses}) \times \text{DOD} \times N_{\text{Available}}(T)) \quad (\text{رابطه } ۱۱)$$

$$E_{\text{Charge}}(T) = (\text{Battery Capacity} \times (1 - \text{Battery Losses}) \times \text{DOD} \times N_{\text{charge}}(T)) \quad (\text{رابطه } ۱۲)$$

$$E_{\text{Discharge}}(T) = (\text{Battery Capacity} \times (1 - \text{Battery Losses}) \times \text{DOD} \times N_{\text{Discharge}}(T)) \quad (\text{رابطه } ۱۳)$$

در رابطه‌های بالا، DOD سبب کاهش اثر شارژ و تخلیه مداوم باتری در طول عمر آن می‌شود و همچنین می‌توان از شارژ باقی‌مانده در باتری‌ها در موقعیت اضطراری استفاده کرد. به‌منظور کاهش هزینه انرژی، باتری‌ها در بازه زمانی با تعرفه انرژی کمینه شارژ شده و در بازه زمانی با بیشترین تعرفه تخلیه می‌شوند. محاسبه میزان شارژ و تخلیه باتری‌ها به‌صورت زیر است:

$\forall T \in \text{High cost Interval:}$

$$P_{\text{Discharge}}(T) = \min \left(\frac{E_{\text{Discharge}}(T)}{\text{Duration}(T)}, \text{Power Forecast}(T) \right) \quad (\text{رابطه } ۱۴)$$

$\forall T \in \text{low cost Interval:}$

$$P_{\text{Charge}}(T) = \min \left(\frac{E_{\text{Charge}}(T)}{\text{Duration}(T)}, (\text{Allowable Power}(T) - \text{Power Forecast}(T)) \right) \quad (\text{رابطه } ۱۵)$$

محدودیت‌های زیر در هر فاصله زمانی T و همچنین لحظه t برقرار است. واضح است که در هر فاصله زمانی، مجموعه باتری تنها در یکی از دو وضعیت شارژ یا تخلیه قرار دارد.

$\forall T_i \in \text{Low cost Interval:}$

$$N_{\text{Available}}(t + T_i) = N_{\text{Available}}(t) + N_{\text{Charge}}(T_i) \quad (\text{رابطه } ۱۶)$$

$$N_{\text{Discharge}}(T_i) = 0 \quad (\text{رابطه } ۱۷)$$

Where $(0 \leq N_{\text{Charge}}(t + T_i) \leq N_{\text{Total}}(t) - N_{\text{Available}}(t))$

$\forall T_j \in \text{High cost Interval}$

$$N_{\text{Available}}(t+T_j) = N_{\text{Available}}(t) - N_{\text{Discharge}}(T_j) \quad \text{رابطه ۱۸}$$

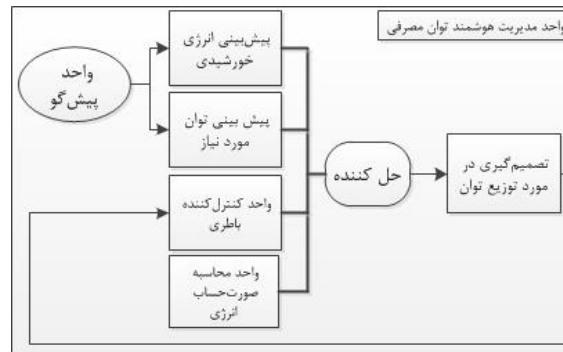
$$N_{\text{Charge}}(T_j) = 0 \quad \text{رابطه ۱۹}$$

Where $(0 \leq N_{\text{Discharge}}(t + T_j) \leq N_{\text{Available}}(t))$

یافته‌های پژوهش

جزئیات شبیه‌سازی

روش ارائه‌شده با توسعه یکی از برنامه‌های شبیه‌ساز با زبان برنامه‌نویسی ++C شبیه‌سازی شده است. بر اساس بلوک دیاگرام (شکل ۲)، واحد مدیریت توان ابتدا در هر فاصله زمانی T ، مقداری انرژی برای اجرای درخواست‌ها و همچنین انرژی خورشیدی در دسترس را پیش‌بینی می‌کند. سپس بر اساس مقادیر پیش‌بینی‌شده و با توجه به الگوی محاسبه قیمت انرژی و وضعیت باتری‌ها، منابع تأمین انرژی و میزان توان متوسط گرفته‌شده از هر یک را با هدف کاهش هزینه انرژی و افزایش سودآوری، مشخص می‌کند. در پایان هر بازه نیز، وضعیت باتری‌ها به‌روزرسانی می‌شود.



شکل ۲. نمودار بلوکی واحد مدیریت هوشمند توان مصرفی

شبیه‌سازی در مرکز داده‌ای با ۵۰۰ سرور از نوع Intel E۵۵۰۶ و حداکثر توان مصرفی ۱۵۰kW دارای باتری‌های UPS توزیع‌شده و مشخصات جدول ۳ صورت گرفت.

جدول ۳. مشخصات باتری استفاده‌شده

نوع	مشخصات	درصد عمق تخلیه	جریان ناشی	قیمت
باتری لید اسید	۱۲ ولت، ۱۰ آمپر ساعت	۷۰ درصد	۰/۱ آمپر	۲/۲ دلار بر آمپر ساعت

فرض شد مرکز داده در کشور ایران قرار دارد. الگوی محاسبه قیمت انرژی بر اساس الگوی سه‌تعرفه‌ای ایران و سقف مجاز توان مصرفی در هر لحظه، برابر با رابطه ۲۰ در نظر گرفته شد. بر اساس این الگو، علاوه بر تعرفه‌های مختلف در بازه‌های زمانی متفاوت، سقف مجاز توان مصرفی از قبل مشخص است و مصرف توان بیش از این مقدار، مشمول پرداخت جریمه می‌شود. ۴ ساعت ابتدای شب برابر با دوره پرباری، ۸ ساعت بعد دوره کم‌باری و ۱۲ ساعت باقی‌مانده مقارن با دوره میان‌باری است. تعرفه انرژی مطابق جدول ۴ و بر اساس متوسط داده‌های بین‌المللی در نظر گرفته شد (اطلاعات انرژی آمریکا، ۲۰۱۴).

$$\text{Energy Cost} = \text{Energy Price}(t) \times \text{Duration}(t) \times \text{Power}(t) + \text{Peak Penalty} \times (\text{Peak}(T) - \text{Max Peak}) \quad (\text{رابطه } 20)$$

جدول ۴. تعرفه انرژی

تعرفه کم‌باری	تعرفه میان‌باری	تعرفه پرباری	جریمه عبور از سقف مجاز توان	تعرفه فروش انرژی خورشیدی
\$/kWh ۰/۰۴۵	\$/kWh ۰/۰۹	\$/kWh ۰/۱۸	\$/kW ۰/۱۲۶	\$/kWh ۰/۱۳

برای محاسبه اندازه نیاز توان شامل توان ایستا و پویای سرورها در مرکز داده، از محک دست‌ساز استفاده شده است. محک طراحی شده، توان مصرفی و وضعیت سرورهای مرکز داده را مطابق با الگوی درخواست‌های رسیده به سرویس جست‌وجوی گوگل از طرف کاربران کشور ایران، طی ۲۴ تا ۲۶ می ۲۰۱۴ مطابق شکل ۳ دنبال می‌کند. به کمک این محک و با توجه به پارامترهای توان مصرفی ایستا و پویای سرورها، توان مصرفی مرکز داده در هر بازه زمانی، محاسبه شد.

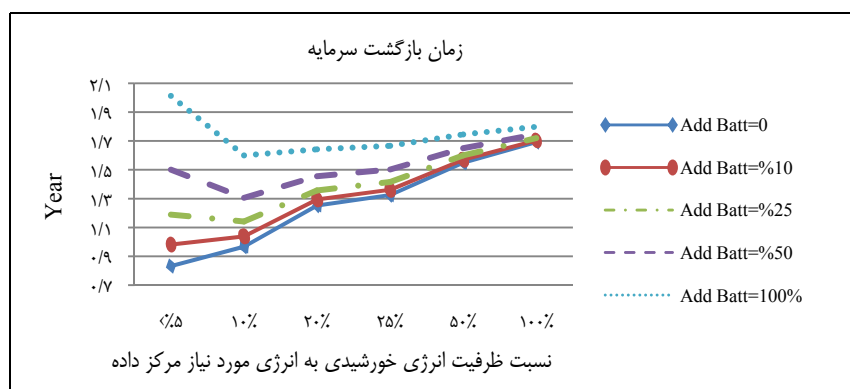


شکل ۳. ترافیک دسترسی کاربران ایران به سرویس جست‌وجوی گوگل
منبع: گزارش گوگل، ۲۰۱۴

اطلاعات هواشناسی و درصد ابرناکی هوا برای تخمین میزان انرژی خورشیدی نیز به کمک مرجع پیش‌بینی هوای جهانی (۲۰۱۴) به دست آمد. همچنین قیمت پایه صفحات خورشیدی بر اساس متوسط قیمت جهانی آن و برابر $\$/W \cdot 0.85$ برای صفحه خورشیدی با قابلیت جذب $W100$ توان حداکثر در نظر گرفته شد (کمپانی سان، ۲۰۱۴). بازه زمانی ارزیابی سیستم نیز نیم‌ساعته است ($(T) = 0.5$).

نتایج شبیه‌سازی

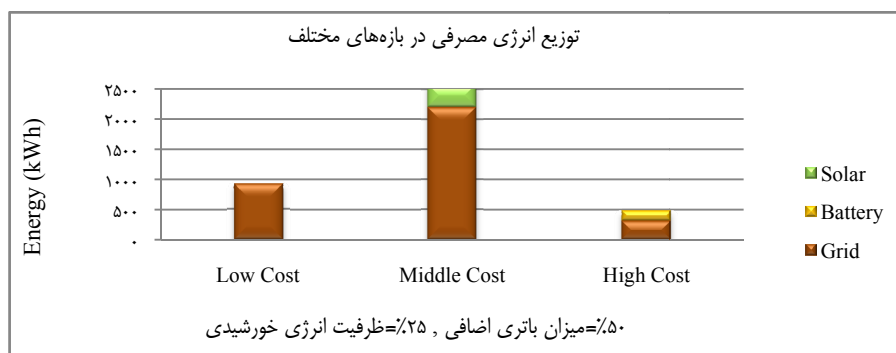
با توجه به فرضیه‌های در نظر گرفته شده، به بیان نتایج شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. شکل ۴ زمان بازگشت سرمایه را به صورت تابعی از ظرفیت نیروگاه خورشیدی و ظرفیت باتری‌های اضافه نمایش می‌دهد. بر اساس این نمودار با داشتن ظرفیت مشخص از نیروگاه خورشیدی، هرچه ظرفیت باتری بیشتر شود، هزینه اولیه افزایش می‌یابد و زمان بازگشت سرمایه نیز بیشتر می‌شود. نکته شایان توجه اینکه، افزایش ظرفیت باتری به نسبت مشخص زمان بازگشت سرمایه را افزایش نمی‌دهد. برای مثال، با داشتن نیروگاه خورشیدی معادل ۲۰ درصد نیاز مرکز داده، اضافه کردن باتری با ظرفیت ۱۰ درصد در مقایسه با افزودن تعداد باتری بیش از این، بر زمان بازگشت سرمایه تأثیر ناچیزی دارد. به بیان دیگر، اگرچه افزایش باتری سبب افزایش هزینه اولیه می‌شود، توجیه اقتصادی این تصمیم و مدیریت بهینه آن، تأثیر مستقیمی بر زمان بازگشت سرمایه دارد. این مسئله را می‌توان به طور واضح‌تر و با در نظر گرفتن ظرفیت ثابت از باتری و افزایش ظرفیت نیروگاه خورشیدی مشاهده کرد؛ برای مثال با داشتن ظرفیت بالای باتری (۵۰ درصد یا ۱۰۰ درصد نیاز مرکز داده) افزایش ظرفیت نیروگاه خورشیدی از کمتر از ۵ درصد به ۱۰ درصد، سبب کاهش زمان بازگشت سرمایه می‌شود.



شکل ۴. زمان بازگشت سرمایه به ازای ظرفیت‌های متغیر نیروگاه خورشیدی و باتری اضافی

این نمودار همچنین نقش SPMU را در مدیریت بهینه باتری‌ها و تأثیر آن بر زمان بازگشت سرمایه نشان می‌دهد. در این حالت با داشتن ظرفیت خوب و مناسب نیروگاه خورشیدی (برابر با نیاز مرکز داده)، اغلب استفاده از باتری با وجود افزایش هزینه اولیه، زمان بازگشت سرمایه را نسبت به زمانی که از باتری استفاده نمی‌کنیم، کاهش می‌دهد.

نمودار شکل ۵ توزیع انرژی مصرفی در بازه‌های مختلف را از سه منبع انرژی خورشیدی، باتری و شبکه برق نمایش می‌دهد. بر اساس نمودار، در بازه کمترین تعرفه قیمت، انرژی از شبکه برق تأمین شده است که بخشی از آن برای اجرای درخواست‌ها و بقیه در باتری ذخیره می‌شود. در بازه میانگین تعرفه قیمتی که مقارن با در دسترس بودن انرژی خورشیدی است، مادامی که انرژی خورشیدی به صرفه باشد، از این منبع استفاده می‌شود و سپس انرژی از شبکه برق شهری تأمین می‌شود. SPMU با توجه به تعرفه زیاد انرژی در بازه سوم، ابتدا به تخلیه باتری اقدام می‌کند و سپس به استفاده از شبکه برق شهری روی می‌آورد.

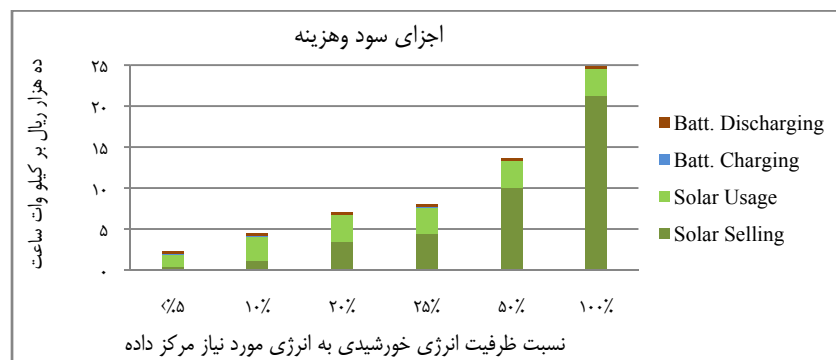


شکل ۵. توزیع توان مصرفی در بازه‌های مختلف تعرفه قیمت انرژی از منابع موجود تأمین‌کننده انرژی

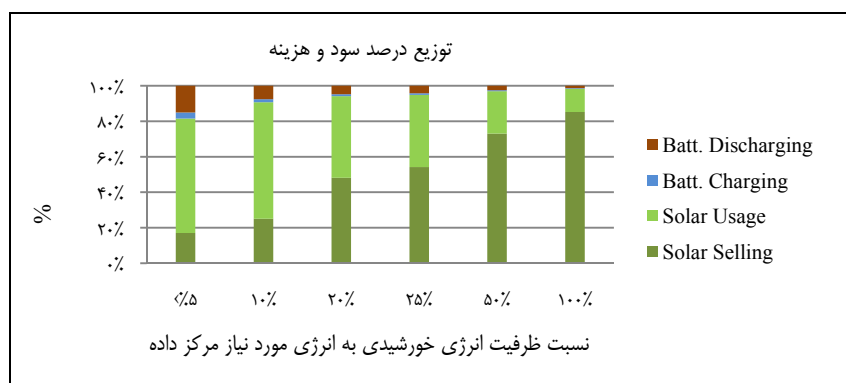
نمودار شکل ۶ اجزای سود (شامل سود ناشی از فروش یا استفاده از انرژی خورشیدی و تخلیه باتری) و هزینه (شامل هزینه شارژ مجدد باتری) را نسبت به تغییر ظرفیت نیروگاه خورشیدی نمایش می‌دهد.

هر یک از میله‌های این نمودار نشان‌دهنده سهمی از تصمیم‌های یادشده در سود و کاهش هزینه‌ها یا هزینه شارژ مجدد باتری است. بر اساس نمودار، به دلیل تصمیم‌گیری بهینه برای انرژی خورشیدی با بزرگ‌تر شدن ظرفیت نیروگاه خورشیدی، سود فروش انرژی به دست آمده نیز افزایش می‌یابد؛ در حالی که سودی که از استفاده انرژی خورشیدی به دست آمده کمابیش ثابت است. به بیان بهتر، از آستانه مشخصی به بعد، فروش انرژی خورشیدی سودآوری بیشتری نسبت

به استفاده از آن دارد. این موضوع از جمله مواردی است که سبب کاهش زمان بازگشت سرمایه در روش ارائه شده در مقایسه با روش های مرسوم می شود. در روش های مرسوم انرژی خورشیدی بدون توجه به سودآوری آن و به میزان نیاز استفاده می شود. در نمودار شکل ۷ که توزیع درصد سود و هزینه را نمایش می دهد، این موضوع به طور واضح مشاهده می شود.



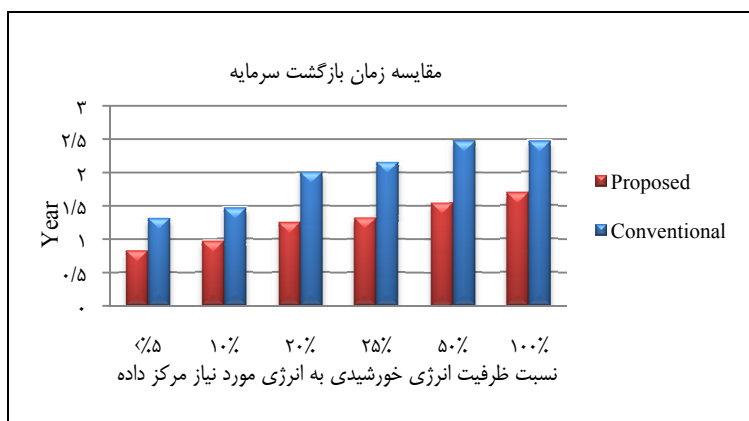
شکل ۶. توزیع سود و هزینه در بخش های مختلف تأمین انرژی سیستم در روش ارائه شده



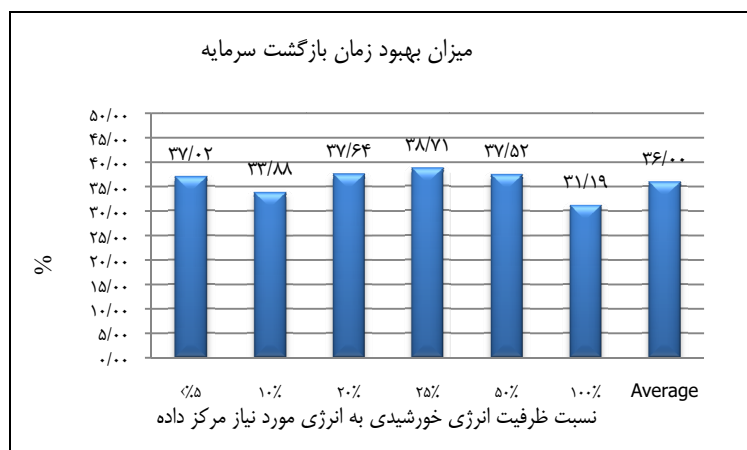
شکل ۷. توزیع درصد سود و هزینه در بخش های مختلف تأمین انرژی سیستم در روش ارائه شده

در نمودار شکل ۸ مقایسه ای بین روش ارائه شده و روش مرسوم استفاده از نیروگاه خورشیدی صورت گرفته است. همان طور که اشاره شد، روش های مرسوم توجهی به افزایش سودآوری انرژی خورشیدی و اتخاذ سیاست های فروش، ذخیره و استفاده از آن را ندارند، ضمن آنکه این روش ها از باتری های موجود در مرکز داده نیز استفاده ای نمی کنند.

همان طور که شکل های ۸ و ۹ نمایش می دهند، به ازای هر ظرفیتی از نیروگاه خورشیدی، استفاده از SPMU و مدیریت هوشمند انرژی (به ویژه انرژی خورشیدی)، زمان بازگشت سرمایه را کاهش می دهد. بر اساس نمودار شکل ۹، استفاده از SPMU به طور متوسط سبب کاهش ۳۶ درصد زمان بازگشت سرمایه می شود.



شکل ۸. مقایسه زمان بازگشت سرمایه در روش ارائه شده و روش مرسوم



شکل ۹. میزان بهبود زمان بازگشت سرمایه در روش ارائه شده نسبت به روش مرسوم

همان‌طور که در نمودارهای قبلی نیز نشان داده شد، کاهش زمان بازگشت سرمایه در روش ارائه‌شده، به دلیل استفاده از منابع و تجهیزات مرکز داده، مدیریت آگاه از هزینه باتری‌ها و توجه به راهکارهای افزایش سودآوری انرژی خورشیدی است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مزیت‌ها و چالش‌های استفاده از انرژی خورشیدی در مراکز داده پرداخته شد. روش ارائه‌شده در این مقاله با استفاده از کاهش هزینه‌های اولیه و افزایش سودآوری انرژی خورشیدی و از طریق مدیریت آگاه از هزینه انرژی گرفته‌شده از شبکه برق شهری، زمان بازگشت سرمایه را که یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی توسعه راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی به‌شمار می‌رود، به میزان شایان توجهی کاهش داد.

از آنجا که یکی از اهداف این مقاله بررسی وضعیت ایران بود، از این رو فرضیه‌های حل مسئله نیز مشابه وضعیت بومی در نظر گرفته شد. در همین حال بررسی گستره وسیع‌تری از مفروضات، مانند الگوهای متنوع محاسبه هزینه انرژی یا میزان جذب انرژی خورشیدی و تحلیل نتایج بر اساس الگوی پویا و وقفی فاصله زمانی بررسی سیستم (Duration(T))، موضوعی است که می‌تواند در ادامه این پژوهش به بررسی آن پرداخته شود. نکته دیگر اینکه استفاده از روش‌های زمان‌بندی و مدیریت بارکاری بر اساس مهلت پاسخگویی، از جمله مواردی است که از طریق انطباق انرژی مورد نیاز با انرژی موجود، بهره‌وری این روش را افزایش می‌دهد و بیش از پیش سبب کاهش زمان بازگشت سرمایه می‌شود.

References

- Ardagna, D., Panicucci, B., Trubian, M. & Zhang, L. (2012). Energy-Aware Autonomic Resource Allocation in Multitier Virtualized Environment, *IEEE Transactions on Services Computing*, 5(1): 2-19.
- Arlitt, M., Bash, C., Blagodurov, S., Chen Y. & Christian, T. (2012). Towards the design and operation of net-zero energy data centers. *13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermo mechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 552 (561), May 2012.
- Barroso, L. A., Clidaras, J. & Hoelzle, U. (2013). *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines*, (2 Ed), Madison: Morgan and Claypool Publishers.
- Barroso, L. A. & Holzle, U. (2007). The Case for Energy-Proportional Computing. *Journal of Computer*, 40(12): 33-37.

- Chang, F., Ren J. & Viswanathan, R. (2010). Optimal Resource Allocation in Clouds, *Proceedings of the 1th International Conference on Cloud Computing*, Miami July 2010.
- Facebook Hacking Conventional Computing Infrastructure. (2011). Available at: <http://opencompute.org/>.
- Fan, X., Weber, W. & Barroso, L. A. (2007). Power Provisioning for a Warehouse-Sized Computer. *Proceedings of the 1th International Symposium on Computer Architecture*, June 2007.
- Goiri, I. (2012). Green Hadoop: Leveraging Green Energy in Data-Processing Frameworks. *7th ACM European Conference on Computer System*, pp. 57-70, New York, April 2012.
- Goiri I., Katsak W., Ley K., Nguyen D. & Bianchini R. (2013). Parasol and Green Switch: Managing Datacenters Powered by Renewable Energy. *18th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pp. 51-64.
- Google Report (2014). Available at: <http://www.google.com/transparencyreport/traffic/explorer>.
- Google Summit (2009). Available at: <http://www.google.Com/corporate /datacenter /events/dc-summit-2009.html>.
- Goudarzi, H., Ghasemazar, M. & Pedram, M. (2012). SLA-based Optimization of Power and Migration Cost in Cloud Computing, *12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*, 172(179): 13-16.
- Goudarzi H., Pedram M. (2011). Multi-dimensional SLA-Based Resource Allocation for Multi-tier Cloud Computing Systems, *Proceedings of the IEEE International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, pp: 324 – 331.
- Govindan, S., Wang, D., Sivasubramaniam, A. & Urgaonkar, B. (2013). Aggressive Datacenter Power Provisioning with batteries. *ACM Transaction on Computer Science*, 31(1), February 2013.
- Greenpeace International. (2008). Available at <http://www.greenpeace.org/international/en/press/releases/Greenpeace-likes-Facebooks- new- datacenter-but- wants- a- greener friendship>.
- Kontorinis, V., Sampson, J., Zhang, L., Aksanli, B., Homayoun, H., Rosing, T. & Tullsen, D. (2012). Battery Provisioning and Associative Costs for Data Center Power Capping. *UCSD Technical Report CS*, July 2012.

- Koomey, G. (2008). Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World, *A report by the Lawrence Berkeley National Laboratory Public Law*, 109-431.
- Lefurgy, C., Wang, X. & Ware, M. (2007). Server-Level Power Control, *Proceedings of the 4th International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, pp: 4-4.
- Liu, L., Wang, H., Liu, X., Jin, X., He, W., Wang, Q. & Chen, Y. (2009). Green Cloud: A new Architecture for Green Datacenter. *Proceedings of the 1th International Conference on Industry Session on Autonomic Computing and Communications, ICAC-INDST'09*, June 2009.
- Meisner, D., Gold, B. T. & Wensich, T. F. (2009). PowerNap: Eliminating Server Idle Power. *Proceedings of the 14th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pp: 205-216.
- Report to Congress on Server and Datacenter Energy Efficiency (2006). *Public Law -U.S. Environmental Protection Agency*. Available at: http://hightech.lbl.gov/documents/data_centers/epadatacenters.pdf.
- Sun Electronics Company (2014). Available at: <http://sunelec.com/solar-panels>.
- Tolia N., Wang Z., Marwah M., C. Bash, P. Ranganathan, and Zhu X. (2008), Delivering Energy Proportionality with Non-Energy Proportional Systems – Optimizing the Ensemble, *Proceedings of the 2008 conference on Power aware computing and systems*, pp: 2-2.
- U.S. Energy Information Administration. (2014). <http://www.eia.gov/electricity>.
- Urgaonkar, R., Urgaonkar, B., Neely M. & Sivasubramaniam, A. (2011). Optimal Power Cost Management using stored Energy in data centers, *ACM SIGMETRICS Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, pp: 221-232.
- Wang, H., Huang, J., Lin X. & Mohsenian-Rad, H. (2013). Exploring Smart Grid and Data Center Interactions for Electric Power Load Balancing. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 41(3): 89-94.
- World Weather Forecast: Available at: <http://www.accuweather.com/en/ir/iran-weather>.