سال سوم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۵، ص ص ۴۵ - ۵۰
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۹

مدیریت انرژی ساختمان هوشمند با تغذیه‌ی منابع تجدیدپذیر

الهام سماواتی

کارشناسی ارشد، مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
*یزد، صندوق پستی:۸۹۱۵۱۶۱۸۹۳، e.samavati2010@yahoo.com

چکیده

امروزه روبه‌رویی با مشکل افزایش تقاضا با وجود زیرساخت شبکه برق کنونی قابل حل نیست. همچنین آلودگی های زیست محیطی به دلیل وجود نیروگاه‌های تجدیدناپذیر رو به فزونی است. بهترین راهکار به منظور کاهش تلفات در شبکه انتقال و توزیع الکتریسیته و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تولید آن، این است که هر ساختمان از منابع انرژی تجدیدپذیر خانگی منحصر به فرد خود که در ساختمان نصب شده تغذیه کند. این مقاله از جنبه های گوناگون همچون مدیریت انرژی در ساختمان و کنترل لوازم خانگی و انرژی الکتریکی، به بررسی یک ساختمان هوشمند با منابع انرژی تجدیدپذیر مختلف و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی پرداخته است. همچنین تاثیر استفاده از سیستم مدیریت هوشمند ساختمان با ترکیب انرژی های تجدیدپذیر را بررسی می کند. به منظور رسیدن به این شکل بار، بارها باید توسط مصرف کنندگان به درستی برنامه ریزی شودژ به طوری که وسایل پر مصرف در طول ساعات اوج روشن نشوند. در واقع در این مقاله از روش انتقال بار برای هموار کردن منحنی بار مصرفی استفاده می‌شود. یکی از اهداف این مقاله این است که در ساعات اوج مصرف برق، حداقل وابستگی به شبکه برق و حداکثر استفاده از منابع تجدید پذیر را داشته باشیم . در این مقاله یک روش جدید مدیریت انرژی با استفاده از انتقال بار برای ساختمان های هوشمند با تغذیه‌ی منابع تجدیدپذیر پیشنهاد می‌شود. با بکارگیری الگوریتم مدیریت انرژی در یک ساختمان با تغذیه‌ی منابع تجدیدپذیر، حدود ۲۸٪ در هزینه‌ی برق ساختمان صرفه‌جویی می‌شود.

کلیدواژگان: مدیریت، تجدیدپذیر، تغذیه، ساختمان، هوشمند

Energy Management of Smart Building with Renewable Energy Sources Supplying

Elham Samavati

Department of Electrical Engineering, Khaje Nasiradin Toosi University, Tehran, Iran
* P.O.B. 8915161893 Yazd, Iran, e.samavati2010@yahoo.com
Received: 28 December 2015 Accepted: 17 April 2016

Abstract

Today, meeting increased power demand and solving the integration problems of fossil energy sources do not seem to be possible with today's power grid infrastructure. As well as environmental pollution due to non-renewable energy is increased, so the best way to reduce the transmission and distribution losses and environmental pollution is that each building is supplied by its own unique renewable energy sources. This paper investigate the various aspects of building energy management and control systems of home appliances and electrical energy and review a smart building with renewable energy sources and energy storage systems. The effect of use of smart building management systems with renewable energy is studied. In fact, in this study, the method of load shifting has been used to smooth the load profile. One goal of this paper is to minimize dependence on the power grid during peak hours of electricity consumption and maximize the use of renewable resources. In order to overcome these problems and saving money, a new method of energy management has been proposed for smart building with renewable sources using load shifting. The results show 28% saving on the cost of electricity using proposed energy management system in smart building with renewable energy.

Keywords: Smart Building, Energy Management, Renewable Energy

۱- مقدمه

به منظور استفاده بهینه از شبکه توزیع، مدیریت سمت مصرف، بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه، کنترل هوشمند افزایش یافته است. در میان بخش های مختلف مربوط به شبکه های هوشمند، ساختمان‌های هوشمند به دلیل قابلیت مدیریت کلیه تجهیزات داخل ساختمان از اهمیت به سزایی برخوردار هستند. امروزه ساختمان‌ها انرژی بیشتری (۴۱٪) نسبت به دیگر بخش های مصرف‌کننده مانند صنعت (۳۰٪) و انتقال(۲۹٪) مصرف می کنند. تحقیقات نشان داده که حتی بهبود کمی در بهروری انرژی ساختمان تاثیر زیادی در انرژی مصرفی ساختمان دارد. بیشترین انرژی مصرفی یک ساختمان به فرم برق(۷۰٪) است که توسط نیروگاه های آلوده کننده هوا تولید می شود. همچنین مطالعات نشان داده که تقریباً نیمی(۴۷٪) از انرژی برق در مسیر تولید تا مصرف کننده‌ی نهایی در انتقال و توزیع تلف خواهد شد. بهترین راه برای کاهش این تلفات انتقال و توزیع و آلودگی های زیست محیطی این است که هر ساختمان از منابع انرژی تجدید پذیر خانگی منحصر به فرد خود که در ساختمان نصب شده تغذیه کند[۱].

یک ساختمان هوشمند ساختمانی است که در بر دارنده محیطی پویا و مقرون به صرفه به وسیله ی یک پارچه کردن چهار عنصر اصلی یعنی سامانه‌ها، ساختار، سرویس‌ها، مدیریت و رابطه میان آن‌ها است. به عبارت دیگر ساختمان هوشمند ساختمانی است که کلیه اجزای داخلی آن به واسطه‌ای یک پارچه و ایجاد منطقی سازگار با محیط در تعامل با یکدیگرند. از سوی دیگر، سیستم مدیریت انرژی (EMS[1]) می‌تواند در حدود ۱۰٪ تا ۳۰٪ کاهش هزینه و قیمت در پی‌داشته باشد. هوشمند سازی ساختمان علمی است که توسط آن می توان اکثر تجهیزات داخلی و یا خارجی ساختمان را توسط پروتکل‌های مرتبط با نوع تجهیزات به کار رفته کنترل و مدیریت نمود. هوشمندسازی ساختمان تشکیل شده از چندین علم برق، تاسیسات ساختمانی، الکترونیک، شبکه های کامپیوتری و برنامه نویسی می‌باشد.

بابکارگیری سیستم‌هایی ساختمان را می‌توان به یک ساختمان هوشمند تبدیل کرد. ساختمان هوشمند ساختمانی است که کلیه اجزای داخلی آن به واسطه‌ی سیستمی یکپارچه و ایجاد منطقی سازگار با محیط در تعامل با یکدیگرند[۲].

اجرای پاسخگویی بار از روش های مختلفی انجام می شود که یکی از آن ها پر کردن دره ها و پیک سایی بار است که مستقیما بر کاهش پیک تقاضا اثر دارد. به منظور رسیدن به این شکل بار، بارها باید توسط مصرف کنندگان به درستی برنامه ریزی شود، به طوری که وسایل پر مصرف در طول ساعات اوج روشن نشوند. در واقع در این مقاله از روش انتقال بار برای هموار کردن منحنی با مصرفی استفاده می‌کنیم. یکی از اهداف این مقاله این است که در ساعات اوج مصرف برق حداقل وابستگی به شبکه برق و حداکثر استفاده از منابع تجدید پذیر را داشته باشیم [۳].

در یک ساختمان هوشمند سرور خانگی با استفاده از داده‌های انرژی فراهم شده می‌تواند برنامه زمان‌بندی استفاده از وسایل خانگی را طوری ترتیب دهد تا به حداقل هزینه انرژی دست یابد. کاربر می‌تواند از طریق وسایل هوشمند به اطلاعات انرژی دسترسی داشته باشد. سیستم مدیریت انرژی هوشمند(REMS[2]) مقایسه و تحلیل هر استفاده کننده انرژی در ساختمان را فراهم می‌کند. با درنظر گرفتن هر دو بخش تولید و مصرف در این معماری انتظار می‌رود که معماری ارائه شده باعث بهبود مدیریت انرژی ساختمان و صرفه جویی در هزینه شود[۴،۵].

در این مقاله از یک الگوریتم جدید مدیریت انرژی با استفاده از روش انتقال بار برای ساختمان های هوشمند پیشنهاد می‌کنیم. برای این هدف از یک سری داده های واقعی یک ساختمان ساخته شده در آزمایشگاه استفاده می‌کنیم. الگوریتم پیشنهادی از یک سری از شاخص های از پیش تعریف شده استفاده می‌کند. این شاخص‌ها شامل وضعیت خاموش/روشن شبکه، تعرفه های برق و وضعیت شارژ(SOC[3]) باتری ها است. این سیستم مدیریت انرژی ساختمان بر سیستم عامل تمام ساختمان های هوشمند با و بدون منابع انرژی تجدیدپذیر قابل اجرا است. برای بررسی عملکرد این الگوریتم چند حالت در محیط سیمولینک نرم افزار MATLAB پیاده سازی شده است.

۲- الگوریتم پیشنهادی مدیریت انرژی ساختمان هوشمند

برای مطالعات شبیه سازی، مدل سیمولینک توسط داده های جدول ۱ ایجاد شده است. برای سادگی، کل بار مصرفی ساختمان به عنوان یک منبع جریان کنترل پذیر مدل شده است، به جای اینکه تمام جزئیات بار مدل شود.در واقع داده های سرعت باد، شدت تابش خورشید در طول ۲۹۰ روز در منطقه ای که ساختمان بوده اندازگیری شده است و در مدل منابع تجدیدپذیر استفاده شده است.

جدول ۱ جزئیات منابع انرژی

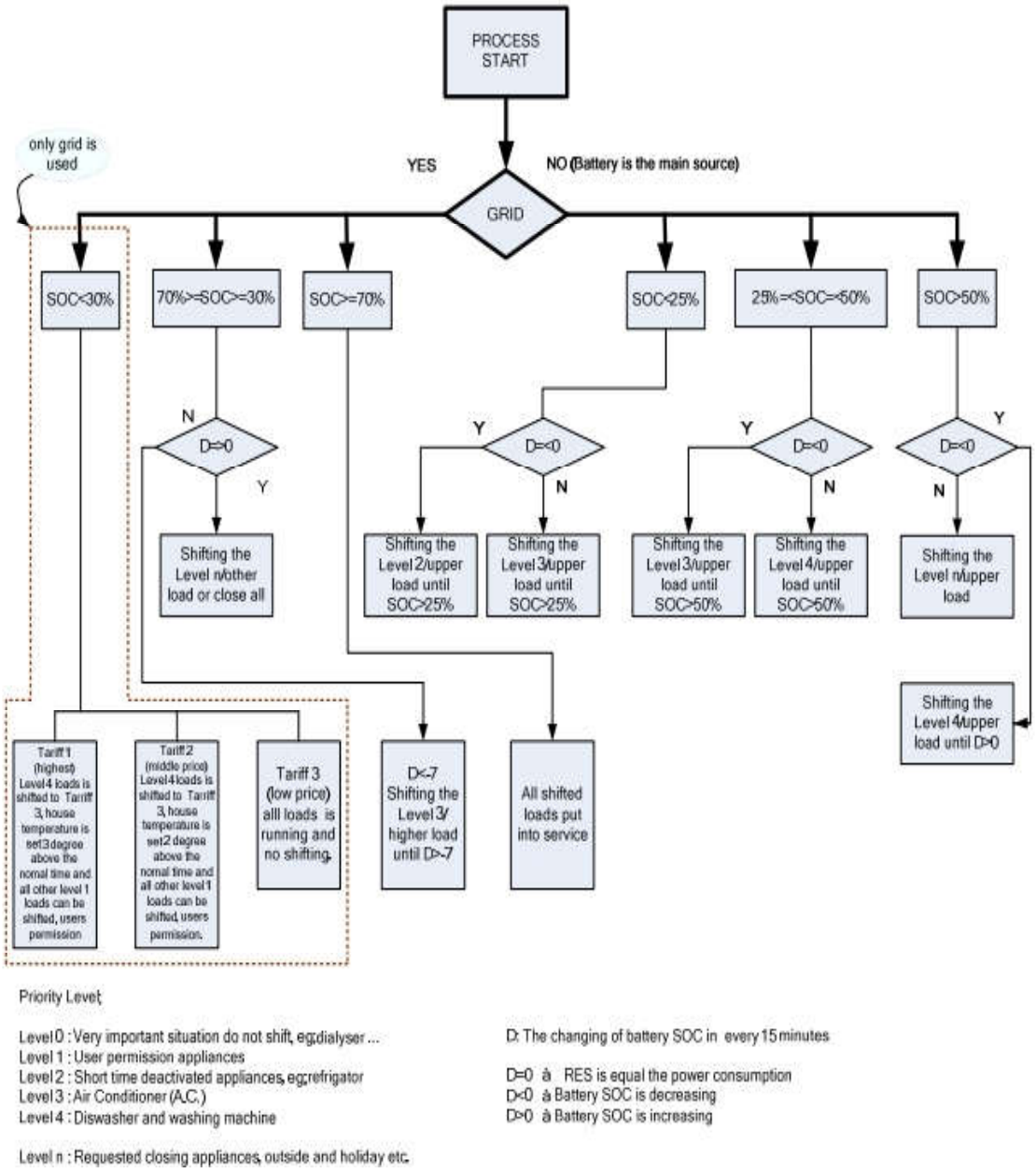
اندازه	نوع	منبع
210x16 W	چندکریستالی	سیستم فتوولتاییک
2.4 kW maximum Output	مغناطیس دائم بدون جاروبک	توربین بادی
8x230Ah	ترمینال A	بانک باتری

اولین قدم قبل از این که الگوریتم پیشنهادی بتواند برای یک ساختمان اجرا شود، تنظیم اولویت های بار و ترجیحات ساکنین ساختمان است. یک مثال تنظیمات اولویت بار و ترجیحات صاحب ساختمان در یک روز تابستانی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ اولویت های بار و ترجیحات ساکنین ساختمان

ترجیحات ساکنین ساختمان	اولویت بار	لوازم برقی ساختمان
دمای اتاق: C °(۲۳ ±۲°C)	۱	کولر
دمای آب: C °۳۰ - ۴۰	۲	آبگرمکن
اتمام کار در نیمه شب ماکزیمم زمان خاموشی: ۳۰ دقیقه مینیمم زمان روشن بودن: ۳۰ دقیقه	۳	لباسشویی
پر بودن شارژ در ۸ صبح حداقل مدت شارژ: ۳۰ دقیقه	۴	شارژر(شارژ V ۲۴۰ تکفاز)

[1] Energy Management System
[2] Renewable Energy Management System
[3] State Of Charge



شکل۱ الگوریتم مدیریت انرژی ساختمان

همان طور که مشاهده می‌کنیم کولر بالاترین اولویت را در این ساختمان دارد و بعد از آن آبگرمکن و لباسشویی و شارژر است. سطح راحتی برای هر وسیله جداگانه مشخص شده است [۶]. شکل ۱ جزییات الگوریتم مدیریت انرژی ساختمان را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل نشان داده شده است. پارامتر SOC باتری (وضعیت شارژ باتری) جزء کلیدی الگوریتم است. از آن جایی که هدف اصلی این الگوریتم، کاهش صورت حساب برق مشتریان به جای پیک سایی بار تقاضا است، انرژی های تجدیدپذیر تا جایی که ممکن است مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای این هدف، الگوریتم از سطح SOC باتری ها(میزان شارژ باتری‌ها) استفاده می‌کند که نقش انرژی منابع تجدیدپذیر را نشان می‌دهد. در ساختار ساختمان هوشمند باتری‌ها تنها با منابع تجدیدپذیر شارژ می‌شوند. در هر حال سطح SOC خودش شاخص کافی نیست. شاخص دیگر D برای این است تا بداند که آیا منابع تجدیدپذیر هنوز باتری ها را شارژ می‌کند یا خیر. دلیل تعریف پارامتر D این است که تغییرات سطح SOC با زمان در هر ۱۵ دقیقه محاسبه می شود. در هر حال

مقدار مثبت D نشانگر شارژ باتری است. مقادیر منفی نشان دهنده این است که باتری ها دشارژ شده اند. قبل از این که الگوریتم مدیریت انرژی ساختمان عمل کند، اولویت بار لوازم برقی ساختمان باید از صفر تا N تنظیم شود.

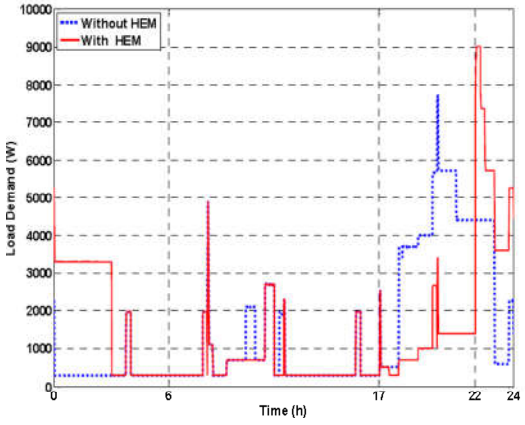
پایین ترین مقدار اولویت بار به این مفهوم است که آن وسیله ضروری ترین برای مصرف کننده است و هر چه مقدار اولویت بار بالاتر باشد برای مصرف کننده استفاده از آن وسیله بی‌اهمیت تر است. بنابراین می تواند تعیین شود که کدام وسیله باید به اولویت انتقال پیدا کند. هنگامی که الگوریتم عمل کرد ابتدا چک می کند که آیا تغذیه سیستم وصل است یا نه. اگر تغذیه سیستم وصل باشد، تعدادی عملیات برای چک کردن سطح SOC انجام می‌شود. اگر SOC از یک سطح مشخص مثلا ۰.۷ بالاتر باشد تمام بار های انتقال داده شده عمل می کنند. اگر SOC از یک مقدار معین مثلا ۳۰٪ پایین تر باشد به این مفهوم است که باتری ها غیر قابل استفاده اند و ساختمان فقط از شبکه سراری تغذیه می شود. در این حالت تعدادی لوازم با توجه به اولویت بارش به تعرفه های ارزان تر انتقال داده می‌شوند. هم اکنون سه نرخ تعرفه در بازار برق ایران وجود دارد، معمولی، ارزان و گران. وقتی SOC بین سطح های مشخص مثلا بیش از ۳۰٪ و کمتر ۷۰٪ باشد، شاخص D روی کار آورده می شود. اگر مقدار D منفی باشد، تعدادی بار، تا زمانی که D به مقدار مشخص برسد به تعویق می افتد. از طرف دیگر تعدادی دیگر بارهایی که اولویت پایین تری دارند، اولویت پیدا می کنند. فرایند بالا برای وضعیت خاموشی شبکه که فقط باتری منبع اصلی تغذیه است، یکسان است. تنها تفاوت آن است که اگر SOC مثلا از ۲۵٪ کمتر باشد انتقال بار باتوجه به مقدار D انجام می شود. البته مقدار تنظیمی SOC باید با حالت تغذیه شبکه کمی اختلاف داشته باشد.

الگوریتم پیشنهادی برای خانه های بدون منابع انرژی تجدیدپذیر(RES[1]) هم انجام می شود. چون در این حالت پارامترهای Dو SOC به عنوان شاخص وجود ندارد، واضح است که تعرفه های چند نرخی شاخص این الگوریتم اند. این وضعیت در شکل با نقطه‌چین نشان داده شده است.

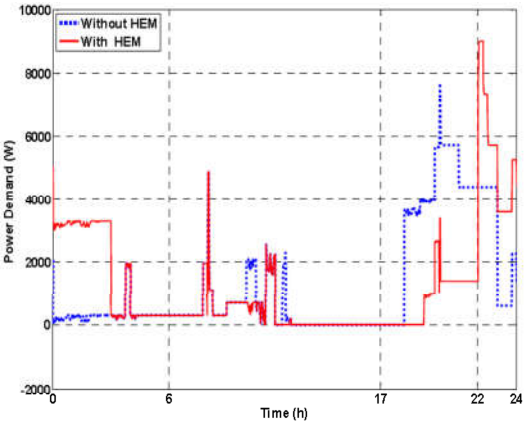
۳- توصیف مدل و نتایج شبیه سازی

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم مدیریت انرژی ساختمان(BEM[2]) ، شبیه سازی ها در محیط سیمولینک انجام شده است. شبیه سازی ها در دو حالت کلی انجام شده است.در این حالت ها ساختمان هوشمند با و بدون RES در نظر گرفته می شود. سیستم مدل شده برای ۲۹۰ روز شبیه سازی شده است . یک سری داده های واقعی برای این دوره را داریم. هزینه انرژی تغذیه شده شبکه طبق قیمت برق فعلی ایران به واحد تومان محاسبه شده است.

شکل ۲ و۳ به ترتیب بار تقاضای روزانه ی یک ساختمان هوشمند و قدرت تغذیه شده توسط شبکه در زمستان را نشان می دهد.در طول ساعات روز، تعدادی بار به بعد از ساعت ۱۰ شب که دوره تعرفه ارزان قیمت است، انتقال داده می شود. دلیل این عمل این است که سیستم های فتوولتاییک در طول روز انرژی تولید می کنند در نتیجه باتری ها شارژ هستند.

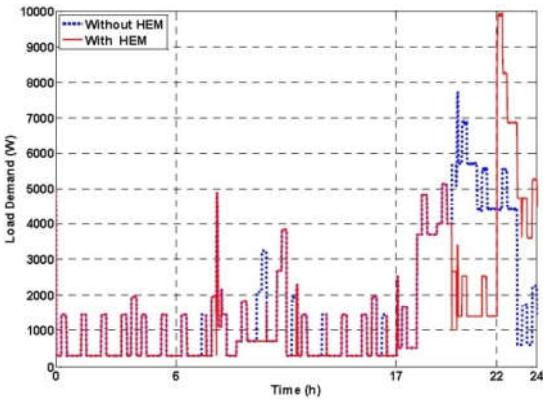


شکل۲ بار تقاضای یک ساختمان هوشمند



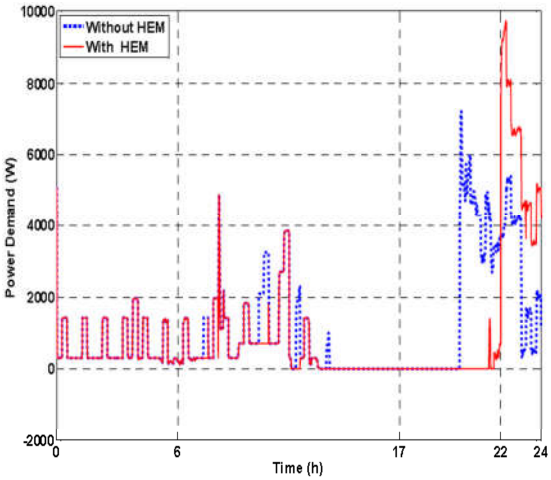
شکل۳توان تغذیه شده ساختمان هوشمند

شکل ۴و۵ به ترتیب بار تقاضای روزانه ی یک ساختمان هوشمند و قدرت تغذیه شده توسط شبکه در فصل تابستان را نشان می دهد. انتظار داریم بار تقاضا به دلیل کار کولر ها افزایش پیدا کند.



شکل ۴ تغییرات بار تقاضا برای یک روز در تابستان

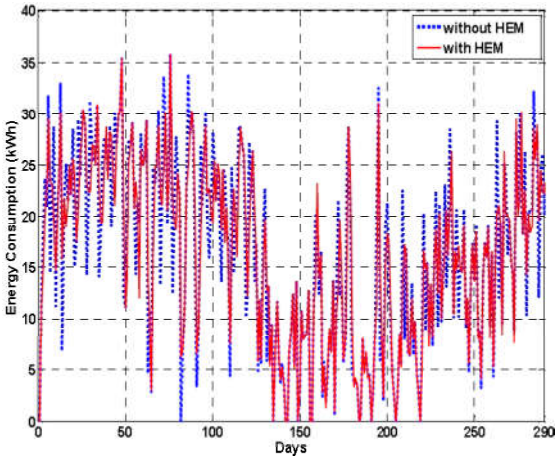
[1] Renewable energy sources
[2] Biulding energy managment



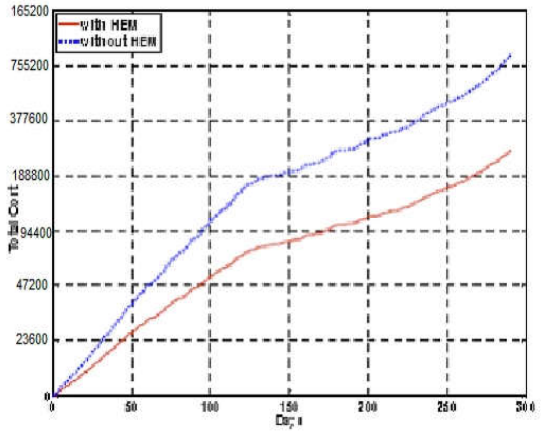
شکل ۵ تغییرات توان تغذیه شبکه برای یک روز تابستانی

شکل ۶ و ۷ کل انرژی مصرفی ساختمان و هزینه انرژی را بر طبق این مصرف برای ۲۹۰ روز را نشان می‌دهد. هنگامی که هزینه انرژی یک ساختمان غیرهوشمند ۱۴۵۷۳۰ تومان باشد، هزینه همان مقدار انرژی برای یک ساختمان هوشمند ۱۰۴۴۳۰ تومان است و این یعنی ۲۸٪ صرفه جویی در هزینه برق است.

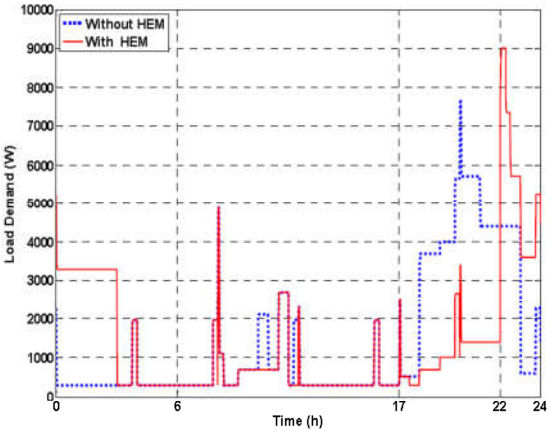
در حالت دوم که ساختمان بدون سیستم مدیریت انرژی است بار تقاضای روزانه برابر توان تغذیه شده شبکه است. بنابراین تنها تغییرات بار تقاضای زمستان و تابستان در شکل ۱۱و۱۰ آورده شده است. انرژی مصرفی و هزینه این انرژی به ترتیب در شکل های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است. برای یک ساختمان با و بدون سیستم مدیریت انرژی به ترتیب ۲۳۱۳۹۸ تومان و۳۰۹۶۳۲ تومان است و کاهش این هزینه حدود ۲۵٪ است.



شکل ۶: انرژی مصرفی کل برای ۲۹۰ روز

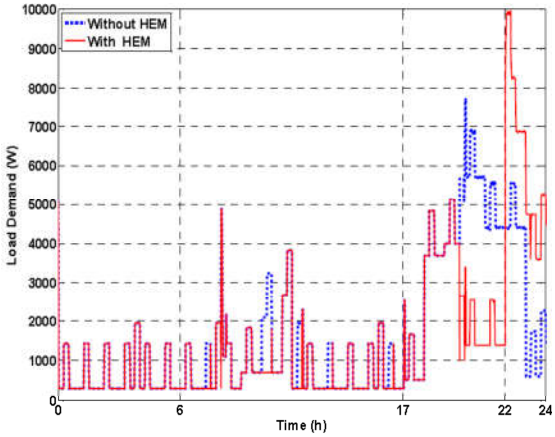


شکل ۷: هزینه انرژی مصرفی برای ۲۹۰ روز

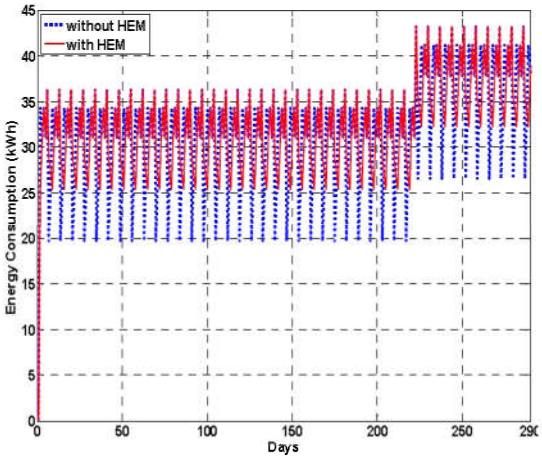


شکل ۸: انحرافات با تقاضا ساختمان هوشمند در یک روز زمستانی

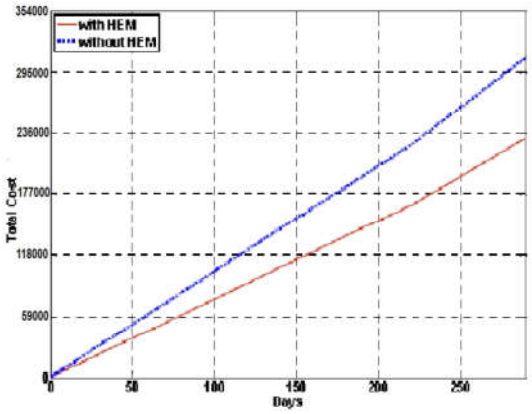
شکل های ۹ تا ۱۱ نتایج شبیه سازی برای فصل تابستان را نشان می دهد.



شکل ۹: تغییرات بار تقاضای ساختمان در یک روز تابستانی



شکل ۱۰: کل انرژی مصرفی ساختمان در ۲۹۰ روز



شکل۱۱: کل هزینه انرژی برای ۲۹۰ روز

جدول هزینه های مصرفی یک ساختمان در طول ۲۹۰ روز را توصیف می کند. همان طور که می‌بینیم الگوریتم پیشنهادی صورت حساب برق مصرفی ساختمان را در هر دو حالت با یا بدون بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

جدول۳: خلاصه نتایج گرفته شده از شبیه سازی

حالت	BEM	RES	هزینه کل(تومان)	میزان صرفه جویی
۱	+	+	۱۰۴۹۰۲	٪۲۸
	−	+	۱۴۵۷۳۰	
۲	+	−	۲۳۱۳۹۸	٪۲۵
	−	−	۳۰۹۶۳۲	

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله یک الگوریتم مدیریت انرژی ساختمان جدید برای ساختمان با تغذیه منابع تجدید پذیر ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از چند مطالعه موردی برای یک ساختمان شامل الگوریتم مدیریت انرژی و تغذیه منابع تجدیدپذیر، صرفه‌جویی در هزینه صورت حساب برق مصرف کننده را نشان می دهد. شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی هزینه برق مشتریان را بیش از ۲۸٪ کاهش می‌دهد. اگر ساختمان تنها از شبکه سراسری برق تغذیه شود، این الگوریتم ۲۵٪ در هزینه برق صرفه جویی می کند. اما اگر منابع تغذیه تجدید پذیر در دسترس ساختمان باشند، صرفه جویی هزینه بدون تاثیر سطح راحتی مصرف کنندگان، افزایش خواهد یافت. اگر تغذیه منابع تجدیدپذیر در دسترس نباشد تنها انتخاب، انتقال بار به دوره تعرفه ارزان قیمت است.

۵- مراجع

[۱] A. Mishra, D.Irwin, P.Shenoy, J.Kurose, T. Zhu, *GreenCharge: Managing Renewable Energy in Smart Buildings*,2013 .

[۲] ساناز غازی، اعظم نادری؛ *بررسی نقش سیستم مدیریت هوشمند(EBMS) در بهینه سازی مصرف ساختمان*، صفحه ۴۹-۵۲، ۱۳۹۰،

[۳] A.Radhakrishnan, M.P. Selvan, *Load Scheduling For Smart Energy Management in Residential Buildings with Renewable Sources* , Hybrid Electrical Systems Laboratory,Department of Electrical and Electronics Engineering National Institute of Technology Tiruchirappalli, 2014.

[۴] مهدی تقی زاده ، سلمان حاجی آقایی، ساناز اردیبهشتی ، *مدیریت تقاضای مبتنی بر پیش بینی منابع تجدیدپذیر در ساختمان های مسکونی توسط سیستم خان ه های هوشمند*، نخستین همایش ملی سیستم های هوشمند مدیریت ساختمان با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی، ۱۳۹۳ .

[5] J.Han, C.Choi, W.Park, I.Lee, S.Kim, *Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC* , *Consumer Electronics, IEEE Trans,* vol. 60 ,pp. 198 - 202, 2014.

[6] M.Pipattanasomporn , M.Kuzlu, S.Rahman, *An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis*, IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 3, NO. 4, 2012.