

## طراحی ریزمنابع یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریزشبکه<sup>۱</sup>

### چکیده:

ریز شبکه سناریوهای مهم شبکه هوشمند می باشند. به همین ترتیب ساختمان های آینده نیز ساختمان های هوشمند خواهند بود. همچنین، یک ساختمان هوشمند یکپارچه شده با ریز شبکه بسیار راحت تر (دارای آسایش بیشتر) بوده و مصرف انرژی کمتری دارد. با این حال، قدرت خروجی میکرو منابع در ریز شبکه مورد استفاده در ساختمان هوشمند تصادفی، دارای عدم قطعیت و غیر قابل کنترل است. بنابراین، طراحی میکرو منابع در یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریز شبکه یک موضوع مهم می باشد. بر همین اساس در این مقاله، یک مدل ریاضی برای بهینه سازی ظرفیت های میکرو منابع که قابلیت تواند انرژی سبز از منابع انرژی تجدید پذیر<sup>۲</sup> (RER) را دارند ارائه شده است. در مدل ارائه شده، ضریب هزینه انرژی<sup>۳</sup> (ECC) به عنوان تابع هدف مساله مینیم سازی (F) بوده و به صورت نسبت بین هزینه های انرژی ساختمان هوشمند و انرژی خروجی RES ها تعریف شده است. باید توجه داشت که ECC با تابع هدف مرسوم C که برای به حداقل رساندن هزینه های کل پروژه بکار می رود متفاوت است. در نتیجه، یک مدل چند هدفه با F و C برای برآوردن نیازها و اهداف مختلف کاربران معرفی و مورد بحث قرار گرفته است. جهت اعتباربخشی به امکان اجرای روش پیشنهادی یک مثال عددی بکار برده شده است. به طور همزمان، جنبه پارتو<sup>۴</sup> مدل چند هدفه با استفاده از LINGO<sup>۵</sup> به دست آمده است.

### ۱-مقدمه

مصرف مداوم سوخت های فسیلی، آلودگی زیست محیطی و گرم شدن کره زمین را در پی داشته است. بنابراین تولید انرژی سبز، کم کربن با انتشار زیست محیطی و اولویت ضروری سیستم قدرت الکتریکی می باشد. [1]. از طرف دیگر، حوادثی چون قطع برق شدید و بلایای طبیعی امنیت و پایداری شبکه برق را با چالش های جدیدی مواجه نموده است [۲،۳]. از دید تولید و انتقال برق، ریز شبکه ها که شامل منابع انرژی تجدید پذیر (RER)، ادوات ذخیره سازی انرژی، اجزای برقراری و کنترل ارتباط می باشند، به دلیل مزایای متعدد مسیر پیش روی سیستم برق آینده را تشکیل می دهند. [۴،۵]. از نظر مصرف برق، ساختمان ها، مصرف کننده اصلی برق می باشد. به عنوان مثال، بیش از ۷۰ درصد از کل برق ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسط ساختمان ها مصرف شده است [۶،۷]. بنابراین، ساختمان های هوشمند یکپارچه با منابع تجدید پذیر نسل آینده ساختمان ها را تشکیل می دهند [۸-۱۶]، که ضمن راحتی بیشتر و مصرف انرژی کمتری را دارند [۱۷]. اخیراً، استفاده از ریز شبکه در صرفه جویی در انرژی و افزایش بازدهی انرژی در ساختمان های هوشمند توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده است [۱۸-۲۱]. ساختمانهای پایدار<sup>۶</sup>، ساختمان های تجدید پذیر<sup>۷</sup> و یا ساختمان های سبز یکپارچه شده با ریز شبکه جنبه های بسیار مهم ساختمان های هوشمند می باشد.

<sup>1</sup> - Zheng Zeng , Rongxiang Zhao, Huan Yang , "Micro-sources design of an intelligent building integrated with micro-grid", Energy and Buildings 57 (2013) 261-267

<sup>۲</sup> - renewable energy resources

<sup>۳</sup> - energy cost coefficient

<sup>۴</sup> - Pareto fronts

<sup>۵</sup> - Linear Interactive and General Optimizer

<sup>۶</sup> - sustainable buildings

<sup>۷</sup> - renewable buildings

یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریز شبکه از تعداد زیادی بار محلی و میکرو منبع (یعنی، دستگاه های ذخیره سازی و منابع انرژی تجدید پذیر، مانند توربین های بادی و آرایه های فتوولتائیک و غیره) تشکیل می شود. انرژی خروجی آرایه های PV مربوط به دما و تابش خورشید وابسته است. به طور مشابه، یک WT شدیداً به سرعت باد وابسته می باشد. بنابراین، تصادفی بودن، عدم قطعیت و غیر قابل کنترل بودن ویژگی های خاص RES ها می باشند. این مشخصات از پیچیدگی زیادی را برای طراحی میکرو منابع در ساختمان های هوشمند یکپارچه با ریز شبکه ایجاد می کند و آن را کاملاً متفاوت از طراحی شبکه های توزیع و یا انتقال می نماید. در طول این سالها، چگونگی طراحی میکرو منابع در آنها به شدت مورد توجه قرار گرفته است [۲۶-۲۲]. هدف تحقیقات موجود عمدتاً به حداقل رساندن هزینه اقتصادی انرژی و به حداقل رساندن تلفات انرژی ریز شبکه می باشد، در حالی که صرفاً حداکثر استفاده از انرژی خروجی از RES نیز می تواند به عنوان هدف در نظر گرفته شود.

هدف اصلی این مقاله ارائه یک مدل ریاضی برای طراحی میکرو منابع در یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریز شبکه می باشد که همزمان با آن، نسبت انرژی خروجی RES شامل انرژی سرمایه گذاری، انرژی بهره برداری و تعمیر و نگهداری (OM) نیز حداقل می گردد. بنابراین، از طریق این مدل آزادانه می توان به هدف دستیابی به انرژی بیشتر از RES و حصول حداکثر مزایای ممکن RES دست یافت. در پایان، یک مثال عددی و یک بحث مفصل به منظور بررسی امکان سنجی این مدل ارائه شده است.

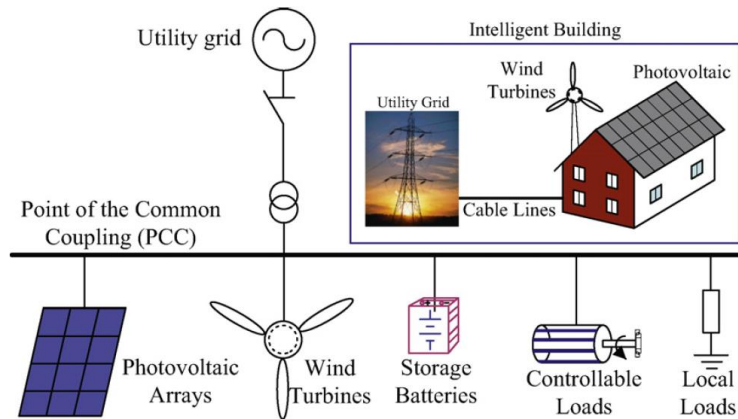
## نام گذاری

F	تابع هدف ضریب هزینه انرژی	$q_i$	ظرفیت نصب هر منبع $i = s, w, b$
C	تابع هدف هزینه اقتصادی	$N_i, M_i, S_i$	انرژی سرمایه گذاری، انرژی بهره برداری و تعمیر و نگهداری، انرژی باز یافتی منبع $i$ ، در حالی که $C_i, H_i, R_i$ به ترتیب (از چپ به راست) ظرفیت نصب پروپونیت شده هر یک می باشد
$W_g(t)$	انرژی مبادله بین شبکه برق و ساختمان هوشمند در ساعت $t$ ، بر حسب کیلووات ساعت	$Nc_i, Mc_i, Sc_i$	هزینه سرمایه گذاری، هزینه بهره برداری و تعمیر و نگهداری، هزینه باز یافتی منبع $i$ ، در حالی که $Np_i, Mp_i, Sp_i$ به ترتیب (از چپ به راست) ظرفیت نصب پروپونیت شده هر یک می باشد
$W_i(t)$	انرژی تولید شده و یا مصرف شده توسط منابع توان یا بارها در ساعت $t$ ، بر حسب کیلووات ساعت، جایی که $i = s, w, b, d$ به ترتیب (از چپ به راست) نشان دهنده آرایه فتوولتائیک، توربین های بادی، باتری های ذخیره ساز، و بارهای کنترلی است.	$\beta, \gamma, \varepsilon$	به ترتیب (از چپ به راست) نرخ تورم، بهره، و نرخ تعدیل <sup>۱</sup>

## ۲- مدل ریاضی

پیکربندی الکتریکی یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریز شبکه در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می شود که این ساختمان هوشمند شامل آرایه های PV، WT، ها، ادوات ذخیره سازی (در این مقاله یعنی، باتری ها)، بارهای محلی ساختمان هوشمند و بارهای کنترل پذیر (CLها) (مانند فن ها، ماشین های یخ ساز، و غیره). انرژی خروجی RES ها ابتدا بارهای محلی را تغذیه می کند. پس از آن، انرژی برق مازاد برای شارژ باتری های ذخیره ساز (SBها)، تامین برق شبکه و تغذیه CLها مورد استفاده قرار می گیرد. در مقابل، کسری انرژی الکتریکی ساختمان از طریق باتری و شبکه برق تامین می گردد. در این مقاله، کل مساله طراحی بهینه میکرو منابع ساختمان هوشمند به صورت یک مساله بهینه سازی تعریف شده است، که در آن نسبت بین انرژی سرمایه گذاری و همچنین انرژی بهره برداری و انرژی خروجی از RES ها مینیمم می گردد. لازم به ذکر است که مساله بهینه سازی شامل قیودی نیز می باشد که در ادامه ذکر خواهد شد.

<sup>۱</sup> - escalation rate



شکل ۱- پیکربندی یک میکروگرید

### ۲-۱ تابع هدف

ضریب هزینه انرژی (ECC) ساختمان هوشمند (F) به عنوان تابع هدف مینیمم سازی در نظر گرفته شده است. ECC به صورت نسبت بین هزینه های انرژی ساختمان هوشمند و انرژی خروجی RES ها تعریف می شود، در حالی که هزینه انرژی شامل انرژی سرمایه گذاری، انرژی OM و برخی از انرژی های دیگر شامل انرژی مصرف شده توسط CL ها و برق خریداری شده از شبکه می باشد. تابع هدف پیشنهادی بایستی بگونه ای معرفی گردد که هزینه های تولید انرژی را در یک دوره بهینه مینیمم کند. در اینجا، دوره بهینه یک روز، و مقیاس زمانی ساعتی می باشد. بنابراین تابع هدف می تواند به صورت رابطه (۱) تعریف شود.

$$\min F = \frac{E}{\sum_{t=1}^{24} [W_s(t) + W_w(t)]} \quad (1)$$

که در آن E هزینه انرژی بوده و بصورت  $E = \alpha \sum_{i=s,w,b,c} (N_i - S_i + M_i) + \sum_{t=1}^{24} W_g(t) + W_d(t)$  تعریف می شود.  $\alpha = 1/(365T)$  بوده و T بیانگر طول عمر پروژه در یک سال است.  $W_g(t)$  انرژی مبادله شده بین ساختمان و شبکه (بر حسب kWh) می باشد. اگر ساختمان هوشمند انرژی به شبکه برق بدهد  $W_g(t)$  منفی بوده و اگر ساختمان هوشمند انرژی از شبکه انرژی جذب کند مثبت می باشد.  $W_d(t)$  انرژی مصرف شده CL ها در ساعت t، بر حسب کیلووات ساعت است.  $W_s(t)$  و  $W_w(t)$  انرژی خروجی از PV و WT ها در ساعت t می باشند.  $W_s(t)$  توسط تابش خورشیدی تعیین می شود و از رابطه زیر بدست می آید:

$$W_s(t) = \eta_s q_s S(t) \quad (2)$$

که  $q_s$  مساحت PV (بر حسب  $m^2$ ) است که بایستی بهینه شود S(t) تابش خورشیدی در ساعت (بر حسب  $kW/m^2$ ) می باشد.  $\eta_s = 12\%$  بازده PV می باشد. به طور مشابه،  $W_w(t)$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$W_w(t) = \eta_w q_w P_w(t) \quad (3)$$

که در آن  $q_w$  مساحت جاروب WT ها (بر حسب  $m^2$ ) و  $\eta_w = 50\%$  بازده WT می باشد  $P_w(t)$  انرژی خروجی WT در مساحت جاروب ۱ متر مربع در ساعت t بر حسب  $kW/m^2$  بوده و بصورت رابطه (۴) تعریف می شود.

$$P_w(t) = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \\ av^3 - bP_n & v_{ci} \leq v < v_r \\ P_n & v_r \leq v < v_{co} \\ 0 & v_{co} \leq v \end{cases} \quad (۴)$$

در رابطه فوق  $v_{ci} = 2.5 \text{ m/s}$  و  $v_r = 12.5 \text{ m/s}$  و  $v_{co} = 20 \text{ m/s}$  به ترتیب سرعت cut-in و سرعت نامی و سرعت cut-off باد در WT ها می باشند.  $P_n = 4 \text{ kW/m}^2$  توان نامی هر WT در واحد مساحت جاروب می باشد. ضرایب  $a$  و  $b$  به ترتیب از روابط  $a = P_n / (v_r - v_{ci})^3$  و  $b = v_{ci}^3 / (v_r - v_{ci})^3$  بدست می آیند.  $N_i$  انرژی سرمایه گذاری هر منبع بر حسب کیلووات ساعت،  $S_i$  انرژی بازیافتی هر منبع بر حسب کیلووات ساعت است، که انرژی با ارزش میکرو منبع پس از طول عمر  $T$  پروژه و  $M_i$  انرژی مصرف شده OM هر منبع بر حسب کیلووات ساعت می باشد.  $N_i$  از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$N_i = q_i C_i \quad (۵)$$

که در آن  $q_i$  ظرفیت نصب و راه اندازی هر دستگاه بر حسب متر مربع یا کیلووات بوده و متغیری است که لازم است که بهینه شود. اندیس های  $i = s, w, b, d$  به ترتیب بر PV, WT, SB, CL و دلالت می کنند.  $C_i$  ضریب انرژی سرمایه گذاری<sup>۱</sup> و ضریب انرژی بازیافتی هر تجهیز را نشان می دهد. این ضریب برای PV ها و WT ها بر حسب  $\text{kWh/m}^2$  بوده و برای SB ها و CL ها بر حسب  $\text{kWh/kW}$  بیان می شود.  $S_i$  بصورت زیر قابل بیان می باشد.

$$S_i = q_i R_i [(1 + \beta) / (1 + \gamma)]^T \quad (۶)$$

که در آن  $R_i$  ضریب انرژی بازیافتی هر تجهیز بوده و  $M_i$  بصورت زیر قابل بیان است:

$$M_i = q_i H_i \sum_{k=1}^T \left( \frac{1 + \varepsilon}{1 + \gamma} \right)^k \quad (۷)$$

که در آن  $H_i$  ضریب انرژی OM هر دستگاه می باشد. این ضریب برای PV ها و WT ها بر حسب  $\text{kWh/m}^2 \text{ year}$  بوده و برای SB ها و CL ها بر حسب  $\text{kWh/kW year}$  بیان می شود.  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$  به ترتیب نرخ تورم، بهره، و نرخ افزایش (تعدیل) می باشند. لازم به ذکر است که  $\sum_{i=s,w,b,c} (N_i - S_i + M_i)$  فقط مقدار مربوط به کل طول عمر پروژه می باشد. با این حال، دوره بهینه یک روز است بنابراین  $\alpha = 1 / (365T)$  خواهد بود.

## ۲-۲-۲- قیود

### الف) قیود شارش توان:

انرژی مصرف شده توسط بارهای محلی و توان عرضه شده توسط میکرو منابع و شبکه برق باید به صورت دینامیکی برابر باشد. برای  $t > 1$  می توان نوشت:

$$W_w(t) + W_s(t) + W_{sb}(t) + W_g(t) - W_d(t) = W_1(t) \quad (۸)$$

این رابطه به ازای  $t = 1$  بصورت زیر قابل بیان است:

$$W_w(t) + W_s(t) + W_g(t) - W_d(t) = W_1(t) \quad (۹)$$

در رابطه های بالا  $W_1(t)$  و  $W_g(t)$  انرژی مبادله شده با شبکه و انرژی مصرف شده توسط بارهای محلی در ساعت  $t$  بر حسب kWh می باشند.  $W_{sb}(t) = W_{bsoc}(t) - W_{bsoc}(t-1)$  انرژی فراهم شده توسط باتری در ساعت  $t$ ، و  $W_{bsoc}(t)$  وضعیت شارژ باتری<sup>۲</sup> (SOC) می باشد. برای راحتی،  $W_{bsoc}(1) = q_b$  فرض شده است که بیانگر این است که باتری در ساعت اول دوره بهینه شارژ یا دشارژ نمی شود. به عبارت دیگر  $W_{sb}(1) = 0$  می باشد.

<sup>1</sup> -investment energy coefficient

<sup>2</sup> -state of charge

**ب) قیود شارژ و دشارژ باتری ها**

به دلیل عملکرد دینامیکی باتری ها، شارژ و دشارژ باتری محدود است. این محدودیت بصورت زیر قابل بیان می باشد:

$$|W_{soc}(t) - W_{soc}(t-1)| \leq W_{bmax} \quad t > 1 \quad (10)$$

که در آن حداکثر نرخ شارژ یا دشارژ باطری های ذخیره ساز می باشد. فرض می شود که فرآیند شارژ و دشارژ باتری ها یکنواخت است. اگر زمان شارژ SB ها از  $W_{soc} = 0$  تا  $W_{soc} = q_b$ ،  $T_c$  باشد از رابطه  $W_{bmax} = q_b / T_c$  محاسبه می گردد. شرایط مهم دیگر بهره برداری از باتری و همچنین محدودیتهایی وجود دارد. علاوه بر این محدودیت های شرطی دیگری نیز برای عملکرد باتری های قابل تعریف است در فرآیند دشارژ، یک آستانه برای انرژی باقی مانده در باتری تعریف می شود. به عبارت دیگر همه انرژی موجود در باتری قابل تخلیه نیست. این محدودیت بصورت زیر قابل تعریف است:

$$W_{socmin} \leq W_{soc}(t) \leq q_b \quad (11)$$

که در آن حداقل انرژی باقی مانده در باتری است، و برابر با پنج درصد از ظرفیت SB ها ( $q_b$ ) در نظر گرفته می شود.

**ج) قیود ظرفیت**

به دلیل محدودیت های سایز نصب و مقیاس طراحی، ظرفیت هر میکرو منبع محدود می باشد. محدوده کاری WT ها می تواند به صورت زیر بیان گردد:

$$q_{wmin} \leq q_w \leq q_{wmax} \quad (12)$$

به طور مشابه، محدوده کاری آرایه های PV بصورت زیر بیان می شود:

$$q_{smin} \leq q_s \leq q_{smax} \quad (13)$$

ضمناً محدوده کاری SB ها بصورت زیر تعریف می گردد:

$$0 \leq q_b \leq q_{bmax} \quad (14)$$

**د) قیود انرژی مبادله شده:**

مشخصه خروجی ناپایدار PV و WT ها تاثیر قابل توجهی در نوسانات برق شبکه دارد. علاوه بر این، ظرفیت محدود ادوات ذخیره ساز به طور موثر قادر به مهار نوسانات سیستم نیست. بنابراین، برای اطمینان از پایداری شبکه برق، تعداد منابع RES متصل به شبکه و انرژی تامین شده از طریق آنها نمی تواند بیش از حد بالا باشد [۲۷] به ویژه اگر شبکه ضعیف باشد. بنابراین، انرژی مبادله شده میان ساختمان های هوشمند و شبکه برق محدود می باشد. این محدودیت بصورت زیر قابل بیان است:

$$W_{gmin} \leq W_g(t) \leq W_{gmax} \quad (15)$$

**ه) قیود عملکرد بارهای قابل کنترل :**

به دلیل محدودیت ظرفیت بار قابل کنترل، مصرف انرژی آن را در ساعت  $t$  محدود به بازه زیر می باشد:

$$0 \leq W_d(t) \leq q_c \quad (16)$$

که در آن انرژی مصرفی CL ها در ساعت  $t$  می باشد. به طور خلاصه، معادلات (۱) تا (۱۶) مدل بهینه سازی پیشنهادی را ارائه می نمایند.

## ۳- مثال عددی و تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به سیستم ریز شبکه شکل ۱، یک مثال عددی به منظور بررسی امکان سنجی استفاده از مدل بهینه سازی پیشنهادی بکار برده شده است. پارامترهای مهم سیستم در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱ مشاهده می شود که انرژی سرمایه گذاری، بهره برداری و نگهداری WT ها بیشتر از آرایه PV می باشد. انرژی سرمایه گذاری باتری ها در مقایسه با ادوات دیگر بالاتر می باشد. بنابراین ادوات ذخیره سازی انرژی نمی تواند منبع اصلی توان در یک ریزشبکه باشد. باید توجه داشت که طول عمر پروژه ۲۰ سال است ( $T = 20$ ) در حالی که طول عمر SB ها ۱۰ سال می باشد. بنابراین لازم است که باطری در طول دوره عمر پروژه عوض شود. به عبارت دیگر هزینه سرمایه گذاری SB ها باید دو بار محاسبه شود.

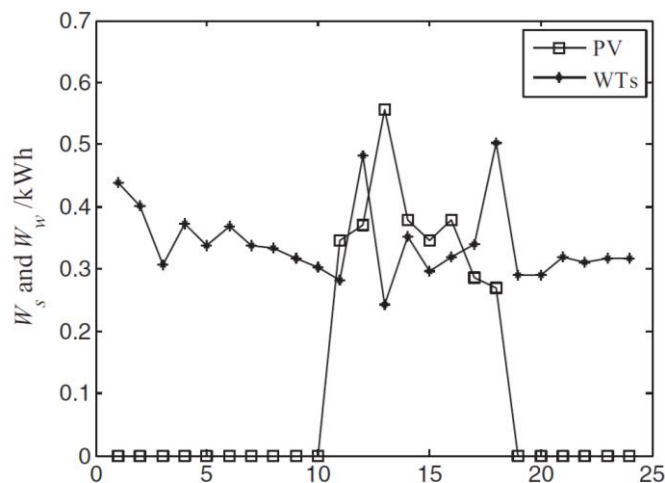
جدول ۱- پارامترهای مهم سیستم ریزشبکه

میکرو منابع پارامترها	PV	WT ها	SB ها	CL ها
$C_i$	3000kWh/m <sup>2</sup>	5000kWh/m <sup>2</sup>	15000kWh/kW	1000kWh/m <sup>2</sup>
$R_i$	300kWh/m <sup>2</sup>	500kWh/m <sup>2</sup>	0kWh/kW	0kWh/kW
$H_i$	100kWh/(m <sup>2</sup> year)	160kWh/(m <sup>2</sup> year)	20kWh/(kW year)	0.15kWh/(kW year)
طول عمر	۲۰ سال	۲۵ سال	۱۰ سال	۲۵ سال

پارامترهای قیود به شرح زیر می باشد.

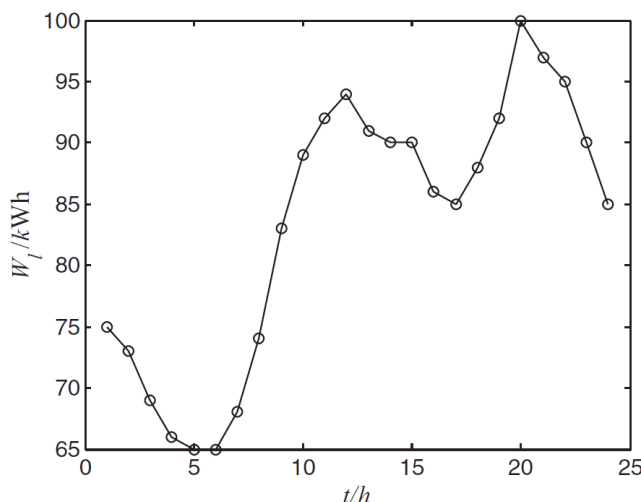
- حد بالا و پایین انرژی بین ساختمان هوشمند و شبکه برق  $W_{g\max} = 200\text{kWh}$  و  $W_{g\min} = -20\text{kWh}$  می باشد که در آن علامت منفی نشان می دهد که ساختمان هوشمند انرژی به شبکه برق تزریق می کند.
- قید ظرفیت برای WT ها، آرایه PV، SB ها و CL ها بصورت زیر می باشد:  
 $0 \leq q_w \leq 1500\text{m}^2$  ,  $0 \leq q_s \leq 1500\text{m}^2$  ,  $0 \leq q_b \leq 200\text{kW}$  ,  $0 \leq q_c \leq 5\text{kW}$
- نرخ تورم، بهره، و نرخ افزایش (تعدیل) به شرح زیر در نظر گرفته شده است :  
 $\beta = 9\%$  ,  $\gamma = 12\%$  ,  $\varepsilon = 12\%$
- ظرفیت میکرو منابع  $q_w, q_s, q_b, q_c$  متغیرهای بهینه سازی می باشند که بایستی بهینه شوند. این پارامترها مستقیماً به انرژی خروجی از میکرو منابع در ساعت  $t$  مربوط می باشند.

نمونه انرژی خروجی روزانه PV و WT ها در هر متر مربع ظرفیت نصب در شکل ۲ نشان داده شده است. به دلیل نوسانات دما و تابش خورشید، انرژی خروجی از PV به شدت تغییر می کند. انرژی خروجی WT ها نوسانات در مقایسه با PV ها مسطح تر و صاف تر است که این امر عمدتاً مربوط به سرعت باد می باشد.



شکل ۲- انرژی خروجی روزانه PV و WT ها در هر متر مربع ظرفیت نصب

شکل ۳ تقاضای انرژی بارهای محلی را نشان می دهد. مشاهده می شود که پیک و دره منحنی بار به ترتیب ۱۰۰ kWh و ۶۵ kWh می باشند.



شکل ۳ - تقاضای انرژی بارهای محلی

بر اساس مدل بهینه سازی که قبلاً ذکر شد، می توان دریافت که مدل ارائه شده یک مسئله بهینه سازی غیر خطی پیچیده است. بنابراین برای حل این مساله یک بهینه ساز خوب و قوی مورد نیاز می باشد. بهینه ساز تعاملی خطی و عمومی (LINGO) از یک الگوریتم بیضوی<sup>۱</sup> تشکیل می شود که می تواند راه حل بسیار مناسب و سریعی را برای حل مسائل بهینه سازی خطی، غیر خطی (محدب و غیر محدب / سراسری)، درجه دوم<sup>۲</sup> و تصادفی<sup>۳</sup> ارائه نماید. این بهینه ساز را برای حل مساله بهینه سازی پیچیده این مقاله بسیار مناسب است. LINGO یک محصول بسیار عالی از شرکت سیستم لیندو<sup>۴</sup> در ایالات متحده است. در نرم افزار LINGO، ده ها عدد تابع داخلی، که برای ترجمه مدل بهینه از مدل ریاضی به زبان کامپیوتر مورد نیاز می باشد وجود دارد. علاوه بر این، در LINGO به راحتی امکان تبادل داده ها بین اکسل، TXT، پایگاه داده، و برخی از نرم افزارهای دیگر وجود دارد. LINGO می تواند فایل های dll را فراخوانی نماید. در نتیجه کاربران می توانند توابع جدید خود را بنویسند و توابع موجود در LINGO را افزایش دهند. بنابراین با توجه به مزایایی از قبیل زبان برنامه نویسی راحت و ساده، الگوریتم کارآمد و عملکرد تو در توی انعطاف پذیر و...، LINGO بطور گسترده ای در مدل سازی ریاضی، حل مدل های بهینه سازی و برخی از زمینه های دیگر به کار می رود. به کمک LINGO و بر اساس داده های انرژی تقاضای بار و تولید آرایه های PV و WT ها در یک روز نوعی، نتایج بهینه سازی سراسری بصورت زیر بدست آمده است:

$$q_w = 239.73m^2, q_s = 9.843m^2, q_b = 21.03kW, q_c = 5kW$$

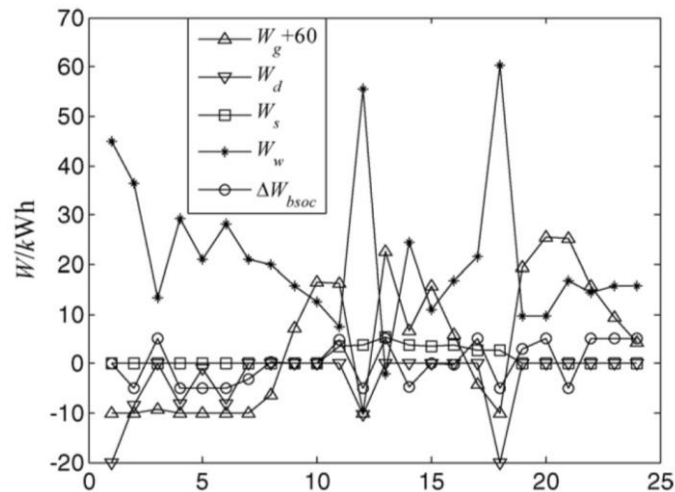
مقدار مینیمم تابع هدف نیز  $F = 0.1039$  بدست آمده است. بنابراین ۱۰،۳۹٪ از انرژی خروجی PV و WT ها بابت هزینه انرژی پرداخت می شود. در نتیجه ۸۹،۶۱٪ باقیمانده انرژی های تجدید پذیر سود این پروژه می باشد. شکل ۴ انرژی منابع توان و انرژی مصرف بارها را در این روز نشان می دهد.

<sup>۱</sup> - ellipsoid algorithm

<sup>۲</sup> - quadratic

<sup>۳</sup> - stochastic optimization

<sup>۴</sup> - Lindo System Company

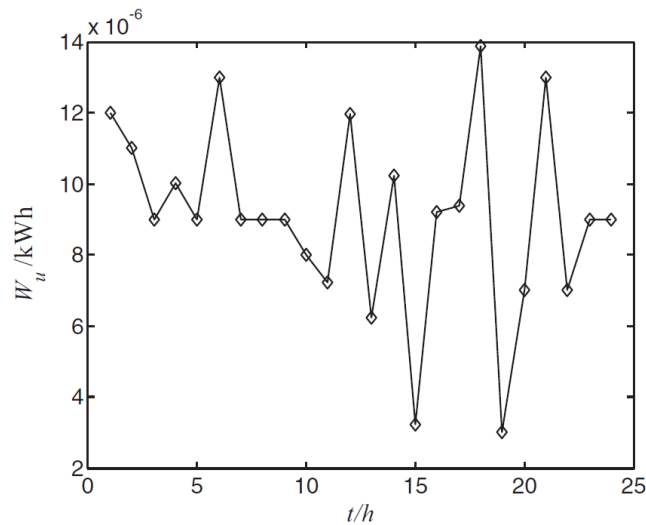


شکل ۴- انرژی منابع توان و مصرف بارها

انرژی نامتعادل<sup>۱</sup> به صورت انحراف بین تقاضای انرژی تمام بارها و انرژی تامین شده منابع در ساعت  $t$  تعریف شده و به شکل زیر قابل تعریف است:

$$W_u(t) = W_l(t) + W_d(t) - [W_w(t) + W_s(t) + W_{sb}(t) + W_g(t)] \quad (17)$$

انرژی نامتعادل در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده می شود که انرژی نامتعادل به اندازه کافی کوچک است. بنابراین می توان گفت انرژی تقاضا شده بار به خوبی تامین می شود.

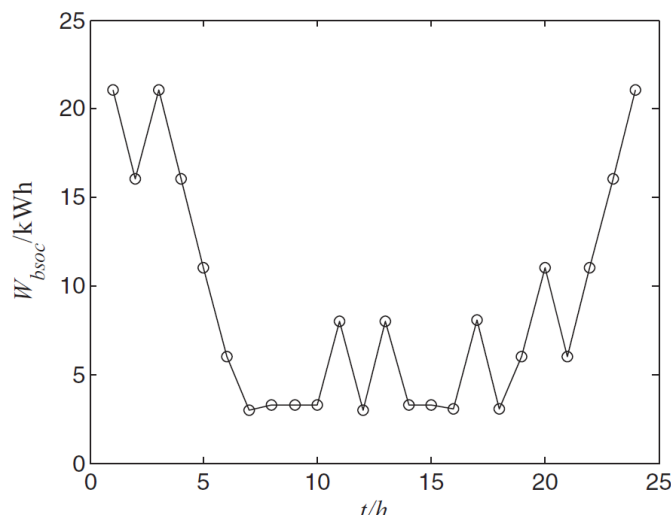


شکل ۵- انرژی نامتعادل

شکل ۶، SOC باتری ها را در دوره بهینه نشان می دهد. مشاهده می شود که حداقل SOC بر اساس معادله (۱۱) محدود شده است. در همین حال، در مقایسه با شکل ۴ می توان دریافت که روند شارژ و دشارژ باتری به شدت بر اساس معادله (۱۰) محدود شده است. علاوه بر این، مشاهده می شود که SB ها بطور عمیق شارژ و دشارژ می شوند که این ویژگی خوبی برای عملکرد باتری محسوب می شود و می تواند طول عمر آنها را افزایش دهد.

<sup>۱</sup> - unbalanced energy





شکل ۶- SOC باتری ها را در یک روز نوعی

از آنجا که درجه حرارت، تابش خورشیدی، و سرعت باد در هر روز و ساعت تغییر می کند، بهینه سازی مدل در روزهایی که داده ها در آن در طول عمر پروژه در دسترس نیست ضروری نمی باشد. یک روش معمول در پروژه حداکثر  $q_i$  فصل های یک سال در ضریب حاشیه  $\eta_i$  را به عنوان آخرین نتیجه بهینه مطلوب در نظر می گیرد. (ترجمه مشکوک!!!) در این مقاله، این روش اعمال شده است و ظرفیت طراحی شده میکرو منابع  $i$  ام  $Q_i = \eta_i q_{\max,i}$  انتخاب شده است ( $i = s, w, b$ ) که در آن  $\eta_i > 1$  ضریب حاشیه میکرو منابع  $i$  ام و  $q_{\max,i}$  حداکثر مقدار بهینه سازی شده در یک روز نوعی در هر فصل می باشد. جدول ۲ نتایج بهینه شده داده را در هر فصل شرح می دهد.

جدول ۲- نتایج بهینه یک روز نوعی در هر فصل

Season	PV	WTs	SBs	F
Spring	113.49	598.59	12.31	0.16
Summer	67.60	407.88	18.00	0.31
Autumn	80.77	838.82	28.00	0.27
Winter	72.71	758.43	30.14	0.19

از جدول ۲، مشاهده می شود که به دلیل تاثیر عوامل آب و هوایی، ظرفیت نصب بهینه آرایه PV، WT، و SB ها در فصول مختلف یکسان نیست. با این حال، الگوهای واضحی بر آن ها حاکم است. در واقع ظرفیت نصب بهینه آرایه های PV از چند ده متر مربع تا  $100m^2$  می باشد. در حالی که ظرفیت بهینه WT ها چند صد متر مربع و ظرفیت SB ها ده ها کیلووات ساعت است. در مجموع، بزرگی (دامنه) ظرفیت نصب بهینه آرایه های PV، WT، و SB ها در فصول مختلف روشن است، اما به دلیل نوسانات تابش نور خورشید و سرعت باد، در یک محدوده بزرگ در نوسان می باشد. برای تطبیق این نوع از نوسانات، ضرایب حاشیه بسیار مهم است. اگر هر ضرایب حاشیه  $\eta_i = 1.5$  انتخاب شود نتایج نهایی طراحی بهینه به شرح زیر خواهد بود:

$$q_w = 1258.2m^2, q_s = 170.24m^2, q_b = 45.21kW$$

## ۴- بحث و بررسی

تبدیل انرژی های تجدید پذیر به برق هدف اصلی آرایه PV و WT ها است، بنابراین استفاده از انرژی برای ارزیابی مقادیر سرمایه گذاری، بهره برداری و تعمیر و نگهداری و بازیافتی مناسب تر از استفاده از پول است. در این مساله انرژی مفهوم جامع تری است. به عنوان مثال، به دلیل هزینه های پایین کار در چین، هزینه پولی یک WT در چین بسیار کمتر از آمریکا است. با این حال، به دلیل عقب تر بودن تکنولوژی و آگاهی ضعیف حفاظت از محیط زیست در چین هزینه WT مشابه بر حسب انرژی در چین بسیار بالاتر از آمریکا می باشد. بنابراین، اندازه گیری ارزش WT با استفاده از پول مغایر با استفاده از انرژی می باشد. با این وجود، با توجه به مساله مهار گرمایش جهان، مردم نگران این مساله هستند که چه مقدار انرژی برای ایجاد WT مصرف شده است و این سیستم چه مقدار انرژی تجدید پذیر باید تبدیل شود تا انرژی مصرفی را تامین نماید. اما توجه کمتری به پول و هزینه آن دارند. بنابراین اندازه گیری مقادیر آرایه های PV و WT با استفاده از انرژی در چنین شرایطی مناسب تر از پول می باشد. متاسفانه، اندازه گیری مقدار ادوات رابط انرژی تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، باد و غیره یک زمینه تحقیقاتی کاملاً جدید می باشد. بنابراین، چگونگی محاسبه پارامترهای  $C_i, H_i, R_i$  این ادوات نیاز به کار بیشتر و خارج از محدوده اصلی این مقاله دارد، و این نقطه ضعف این مقاله می باشد. بنابراین، اطلاعات جدول ۱ فقط نتایج فرض در یک محدوده مناسب است، اما با محصولات واقعی مطابقت ندارد.

همانطور که قبلاً ذکر شد، مدل بهینه سازی ارائه شده بر اساس هدف ECC بنا شده است که بر خلاف مدل های معمول که هزینه را حداقل می کنند می باشد. در اینجا، بحث دقیق روی تفاوت مدل ارائه شده در این مقاله و مدل معمول ضروری می باشد. تابع هدف معمول (بر مبنای هزینه) می تواند به صورت زیر بیان شود [۲۶]

$$\min C = \alpha \sum_{i=s,w,d} (N_{ci} - S_{ci} + M_{ci}) + \sum_{t=1}^{24} C_g [W_g(t) + W_d(t)] \quad (18)$$

که در آن  $N_{ci} = N_{pi}q_i$  و  $S_{ci} = S_{pi}q_i$  و  $M_{ci} = M_{pi}q_i$  به ترتیب دلالت بر هزینه های سرمایه گذاری، ارزش بازگشتی و هزینه OM  $i$  امین میکرو منابع دارند، در حالی که  $N_{ci}$ ،  $S_{pi}$  و  $M_{pi}$  مقادیر پریونیت ظرفیت مربوط به هر کدام هستند.  $C_g = 0.12\$/kWh$  قیمت توان شبکه برق می باشد. این پارامترها در جدول ۳ [۲۶] ذکر شده است. معادلات (۱۸) و (۲) تا (۱۶) مدل بهینه سازی برای به حداقل رساندن هزینه اقتصادی ریز شبکه برای طراحی میکرو منابع را تشکیل می دهند. با استفاده از داده های روز نوعی یکسان ذکر شده در بالا، نتایج بهینه زیر با استفاده از LINGO قابل دستیابی می باشد:

$$q_w = 656.52m^2, q_s = 47.73m^2, q_b = 11.66kW, q_c = 5kW$$

مقدار مینیمم تابع هدف  $C$  نیز  $C_{min} = 350.23\%$  بدست آمده است. توجه شود که مقدار تابع هدف ECC در این روش  $F = 0.348$  می باشد که بزرگتر از مقداری است که پیش از این بهینه سازی شده است. در مقابل، مقداری از  $q_i$  که منجر به حداقل شدن  $F$  می شوند، مقدار  $C$  را برابر با  $C = 368.27\%$  می سازند که با نتیجه بهینه حاصل از تابع هدف برابر نیست. با مقایسه نتایج فوق در می یابیم که دو تابع هدف و پاسخ های آنها متفاوت است و با یکدیگر مطابقت ندارند. بنابراین، تعیین این که کدام تابع هدف بهتر است، سخت می باشد. برای برآورد نیاز و اهداف از کاربران متعدد مختلف، یک مدل بهینه سازی چند هدفه در ارتباط با دو هدف که قبلاً ذکر شد مفید است. معمولاً، برای پیدا کردن یک راه حل مناسب که بتواند نیاز های بیش از دو تابع هدف متفاوت را بطور همزمان تامین کند، یک مدل بهینه سازی چند هدفه می تواند بهترین انتخاب باشد. یک مدل بهینه سازی چند هدف مشترک بصورت زیر تعریف می شود:

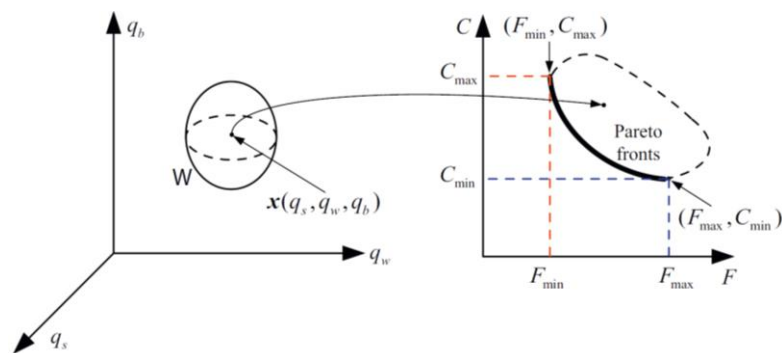
$$\begin{aligned} \min / \max \quad & f_i(x), \quad i=1,2,\dots,M; \\ \text{subject to} \quad & g_j(x) \geq 0, \quad j=1,2,\dots,J; \\ & h_k(x) = 0, \quad k=1,2,\dots,K; \end{aligned} \quad (19)$$

که در آن  $x \in R^n$  متغیر تصمیم،  $f_i(x) \in R$  تابع هدف،  $g_j(x), h_k(x)$  قیود مساوی و نامساوی و  $M, J$  و  $K$  تعداد آنها می باشند. هدف از بهینه سازی چند هدفه پیدا کردن متغیر تصمیم  $x$  در فضای شدنی مدل  $\Omega$ ، که می تواند تابع هدف را به مقدار مینیمم یا ماکزیمم برساند می باشد. با این حال، این که تمام توابع هدف به حد اکثر مقدار ممکن خود در نقطه  $x$  برسند سخت می باشد. بنابراین جبهه پارتو در [۲۸] معرفی شده است. جهت معرفی جبهه پارتو دو تعریف زیر لحاظ می گردد:

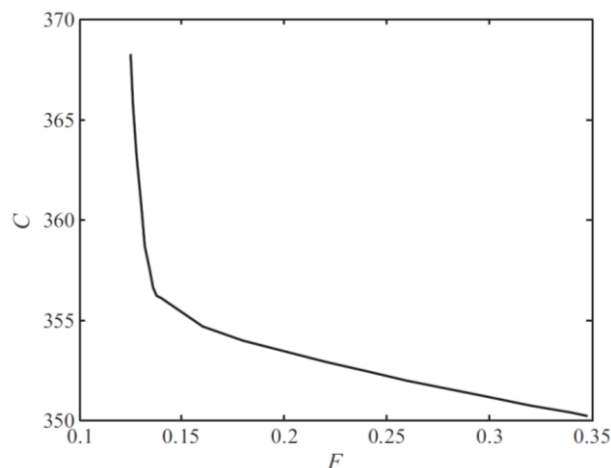
**تعریف ۱.** اگر  $x_1, x_2 \in \Omega$ ،  $x_1$  برای تابع هدف  $f_i(x)$  بهینه تر از  $x_2$  می باشد اگر به ازای  $f_i(x_1) \geq f_i(x_2), \forall j \neq i$  و  $f_j(x_1) > f_j(x_2)$  باشد.

**تعریف ۲.**  $x_0$  پاسخ پارتو نامیده می شود در صورتی که هیچ  $x \in \Omega$  بهینه تر از  $x_0$  نباشد.

در مدل بهینه سازی چند هدفه، وجود دارد فقط پاسخ بهینه مطلق برای تمام توابع دارد. بنابراین انتظار می رود برخی از پاسخ های پارتو در جبهه پارتو جایگزین بهینه مطلق شوند. پاسخ ها در در حاشیه ای به نام جبهه پارتو جمع می شوند. شکل ۷ نشان می دهد روابط متغیر تصمیم گیری، فضای شدنی، توابع هدف و جبهه پارتو را نشان می دهد. به کمک LINGO و با استفاده از اطلاعات مربوط به روز نوعی که قبلا ذکر شد، جبهه پارتو این مساله بصورت شکل ۸ بدست می آید.



شکل ۷- پیکر بندی جبهه پارتو



شکل ۸- جبهه پارتو توابع هدف C و F

## ۵- نتیجه گیری

آسایش و مصرف انرژی مسائل بسیار مهم ساختمان های هوشمند می باشند. برای اطمینان از این که یک ساختمان هوشمند یکپارچه با ریز شبکه می تواند از طریق RES ها تا حد امکان انرژی سبز تولید کند ، یک مدل ریاضی برای طراحی بهینه ظرفیت میکرو منابع بر اساس ECC بکار برده شده است . علاوه بر این ، برای تایید امکان سنجی و کارایی مدل ارائه شده یک مثال عددی استفاده شده است . بر همین اساس ظرفیت های میکرو منابع، یعنی، WT ها، آرایه PV و SB ها در ساختمان هوشمند یکپارچه با میکرو شبکه به نحو درستی انتخاب شده است . لازم به ذکر است که تابع هدف مدل ارائه شده،  $F$ ، با تابع هدف مرسوم  $C$ ، که هزینه کل پروژه را به حداقل می رساند متفاوت می باشد. بنابراین، یک مدل بهینه چند هدفه در ارتباط با توابع هدف  $F$  و  $C$  مورد بحث قرار گرفته است ، که می تواند نیازها اهداف مختلف مصرف کنندگان متعدد را برآورده سازد. علاوه بر این، جبهه پارتو مدل چند هدفه با استفاده از نرم افزار LINGO به دست آمده است.

## مراجع

- [1] S. Rahman, Green power: what is it and where can we find it, IEEE Power and Energy Magazine 1 (2003) 30–37.
- [2] B.A. Carreras, D.E. Newman, I. Dobson, A.B. Poole, Evidence for selforganized criticality in a time series of electric power system blackouts, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers 51 (2004) 1733–1740.
- [3] Q.Q. Chen, X.G. Yin, D.H. You, H. Hou, G.Y. Tong, B. Wang, H. Li, Review on blackout process in China Southern area main power grid in 2008 snow disaster, in: IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, 2009.
- [4] R.H. Lasseter, Microgrids and distributed generation, Journal of Energy Engineering 133 (2007) 144–149.
- [5] N.W.A. Lidula, A.D. Rajapakse, Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 186–202.
- [6] Y. Agarwal, T., Weng, R. K. Gupta, Understanding the role of buildings in a smart microgrid, in: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, Grenoble, 2011.
- [7] California Energy Commission, Buildings sector energy consumption, <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=1.1.1>, November 2, 2011.
- [8] R. Yang, L.F. Wang, Z. Wang, Multi-objective particle swarm optimization for decision-making in building automation, in: IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, 2011.
- [9] A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, Zero energy building—A review of definitions and calculation methodologies, Energy and Buildings 43 (2011) 971–979.
- [10] G. Privitera, A.R. Day, G. Dhesi, D. Long, Optimising the installation costs of renewable energy technologies in buildings: A linear programming approach, Energy and Buildings 43 (2011) 838–843.
- [11] Y. Hamada, K. Takeda, R. Goto, H. Kubota, Hybrid utilization of renewable energy and fuel cells for residential energy systems, Energy and Buildings 43 (2011) 3680–3684.
- [12] T.A.H. Ratlamwala, M.A. Gadalla, I. Dincer, Thermodynamic analyses of an integrated PEMFC–TEARS–geothermal system for sustainable buildings, Energy and Buildings 44 (2012) 73–80.
- [13] S.Y. Wu, Q.L. Zhang, L. Xiao, F.H. Guo, A heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid system and its performance evaluation, Energy and Buildings 43 (2011) 3558–3567.
- [14] N.C. Nair, N. Garimella, Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration, Energy and Buildings 42 (2010) 2124–2130.
- [15] W.S. Louise, Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale—A review of methods of estimating urban wind resource, Energy and Buildings 43 (2011) 1852–1862.
- [16] C. Peng, Y. Huang, Z. Wu, Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China, Energy and Buildings 43 (2011) 3592–3598.
- [17] Z. Wang, R. Yang, L.F. Wang, Multi-agent intelligent controller design for smart and sustainable buildings, in: IEEE Systems Conference, San Diego, CA, 2010.
- [18] X. Guan, Z. Xu, Q.S. Jia, Energy-efficient buildings facilitated by microgrid, IEEE Transactions on Smart Grid 1 (2010) 243–252.
- [19] R. Yang, Z. Wang, L.F. Wang, A heuristic economic optimizer with emission constraints for building energy management, in: IEEE North American Power Symposium, Boston, MA, 2011.
- [20] Z. Wang, R. Yang, L.F. Wang, A. Dounis, Customer-centered control system for intelligent and green building with heuristic optimization, in: IEEE Power Systems Conference and Exposition, Phoenix, AZ, 2011.
- [21] K. Tanaka, K. Uchida, K. Ogimi, T. Goya, A. Yona, T. Senjy, T. Funabashi, K. Chul-Hwan, Optimal operation by controllable loads based on smart grid topology considering insolation forecasted error, IEEE Transactions on Smart Grid 2 (2011) 438–444.
- [22] R. Chedid, H. Akiki, S. Rahman, A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems, IEEE Transactions on Energy Conversion 13 (1998) 76–82.
- [23] S. Gomaa, A.K. Aboul Seoud, H.N. Kneiralla, Design and analysis of photovoltaic and wind energy hybrid systems in Alexandria Egypt, Renewable energy 6 (1995) 643–647.
- [24] B. Ai, H. Yang, H. Shen, X. Liao, Computer-aided design of PV/wind hybrid system, Renewable Energy 28 (2003) 1491–1512.
- [25] W.D. Kellogg, M.H. Nehrir, G. Venkataraman, V. Gerez, Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind photovoltaic and hybrid wind/PV systems, IEEE Transaction on Energy Conversion 13 (1998) 70–75.
- [26] L.F. Wang, C. Singh, Multicriteria design of hybrid power generation systems based on a modified particle swarm optimization algorithm, IEEE Transactions on Energy Conversion 24 (2009) 163–172.
- [27] A. Bhowmik, A. Maitra, S.M. Halpin, J.E. Schatz, Determination of allowable penetration levels of distributed generation resources based on harmonic limit considerations, IEEE transactions on power delivery 18 (2003) 619–625.
- [28] K. Deb, Multi-objective optimization using evolutionary algorithms, John Wiley & Sons, Inc, New York, 2001.