

# طراحی سیستم مدیریت انرژی در یک ریزشبه با حضور واحدهای تجدیدپذیر

حسین سیفی<sup>۱</sup>، محمدحسن مرادی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۹۳/۸/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۴/۱/۱۸

## چکیده:

با ازدیاد منابع انرژی پراکنده در قالب واحدهای تولید پراکنده، ذخیره سازی پراکنده و ترکیبی از این دو، مفهوم ریزشبهک بیشتر از پیش نمایان شده است. برای بهره برداری بهینه از ریزشبهکها، مدیریت بهینه منابع انرژی پراکنده در آنها لازم است. هماهنگ سازی واحدهای تولید پراکنده و بارها در یک ریزشبهک، نیازمند استفاده از هوش مصنوعی به صورت پراکنده می باشد. خدماتی که ریزشبهکها در آینده فراهم می آورند شامل مدیریت انرژی های نو و برنامه های پاسخ دهی به بار می باشد. مصرف کنندگان نیز می بایست در مدیریت بار، صرفه جویی در انرژی و بهره برداری اقتصادی شرکت کنند. در بسیاری از سناریوهای مربوط به این خدمات، سیستم مدیریت انرژی بخشی حیاتی جهت هماهنگ سازی ادوات گوناگون موجود در ریزشبهکهای توزیع می باشد. در این مطالعه، ریزشبهک یک ساختمان مسکونی است. اجزای این ریزشبهک معرفی و مدل سازی شده و هدف ارائه راهبرد بهینه مدیریت انرژی منابع موجود در ریزشبهک برای ۲۴ ساعت آینده با در نظر گرفتن معیارها و قیود فنی و اقتصادی است. تأثیر باتری در شرکت ریزشبهک در برنامه های پاسخ گویی بار به وضوح نشان داده می شود. همچنین اثر تعرفه های مختلف قیمت بازار روی هزینه بهره برداری ریزشبهک و چگونگی تبادل با شبکه در حالت های مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرد.

## کلمات کلیدی:

بهره برداری، پاسخ گویی بار، تولید پراکنده، ریزشبهک هوشمند، قیود فنی

h.seyfi@rightel.ir  
mh\_moradi@yahoo.co.uk

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه (نویسنده مسئول)  
(۲) استادیار گروه مهندسی برق - قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

## مقدمه

بحران کمبود انرژی در سراسر دنیا به یکی از جدی‌ترین مشکلات پیش روی جامعه بشری در قرن ۲۱ تبدیل شده است. از میان راه‌های موجود برای مقابله با این بحران می‌توان به بهبود بازده در مصارف انرژی صنعتی، تجاری و خانگی به عنوان کارآمدترین راه‌ها اشاره کرد. بر طبق گزارش‌های وزارت انرژی آمریکا، در کشورهای توسعه یافته حدود ۴۰ درصد از کل انرژی در ساختمانها مصرف می‌شود که از این ۴۰ درصد، ۶۸ درصد آن از نوع انرژی الکتریکی می‌باشد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که با بهره‌برداری و مدیریت بهینه و بدون نیاز به تغییرات ساختاری در سیستم تأمین انرژی ساختمان می‌توان بین ۲۰ تا ۳۰ درصد در مصرف انرژی ساختمان صرفه جویی کرد. امکان صرفه جویی مقادیر کلانی از انرژی مصرفی ساختمانها با مدیریت و بهره‌برداری بهینه وجود دارد. [۱] شرکت‌های برق، الگوهای قیمت‌گذاری بازار از جمله RTP<sup>۱</sup> و TOU<sup>۲</sup> را به منظور ایجاد انگیزه در مشتریان برای شرکت فعال در برنامه‌های پاسخ‌دهی بار طراحی کرده‌اند.

بعلاوه، سیستم مدیریت انرژی خانگی، امکان کنترل و مشاهده روشن یا خاموش بودن و تغییر فناوری ریزشبکه امکان‌پذیر می‌کند. بار و تولید را در سطح مصرف‌کنندگان به منظور صرفه جویی در انرژی، کاهش هزینه شبکه فراهم می‌آورد.

فناوری ریزشبکه، زیرساخت و موقعیتی مناسب برای بهبود بازده مصرف انرژی در ساختمانها فراهم می‌آورد. یک ریزشبکه معمول ساختمانی مجموعه‌ای از بارها و منابع تولید انرژی گرمایی و الکتریکی را شامل می‌شود. منابع تغذیه انرژی می‌توانند اعم از شبکه توزیع انرژی، ژنراتورهای مستقل (مانند سیستم‌های CHP)، منابع انرژی نو (مانند پنل‌های PV<sup>۳</sup> و توربین‌های بادی) و تجهیزات ذخیره‌ساز انرژی مانند باتری‌ها و مخزن‌های آب باشند. [۱]

## کنترل و بهره‌برداری Micro-CHP

واحد مبدل انرژی با ظرفیتی کوچکتر از ۱۵ kW که توان گرمایی و الکتریکی تولید می‌کند برای اینکه بتوان بهره‌برداری و کنترل هوشمندانه Micro-CHP را ارزیابی کرد، می‌بایست یک حالت مرجع از هر دو جنبه کنترل و امکان‌پذیری اقتصادی بهره‌برداری از Micro-CHP وجود داشته باشد. در اینجا چنین حالت مرجعی معرفی می‌شود که در آن Micro-CHP با راهبرد Heat-led control بهره‌برداری می‌شود. Heat-led control به این معنی است که کنترل روی مصرف گرمایی ساختمان متمرکز است.

- 1) Real Time Pricing
- 2) Time of Use
- 3) Photo Voltaic

در مطالعات انجام شده، پروفیل بار گرمایی ساختمان به صورت پیش فرض در نظر گرفته شده و اشاره ای به بار گرمایی دقیق مورد نیاز ساختمان نشده است. برای مثال، در بسیاری از مطالعات، بار گرمایی مورد نیاز برای گرمایش هوای داخل ساختمان در فصول سرد سال با توجه به مساحت ساختمان به دست می آید که به ازای هر متر مربع مقدار مشخصی توان گرمایی در نظر می گیرند. اما در این مقاله با توجه به اینکه مورد مطالعه یک ساختمان مسکونی است و

مصرف گرمایی آن در یک روز زمستانی، آب داغ و دمای هوای مطلوب برای داخل ساختمان می باشد، معادلات ترمودینامیکی مربوط به دمای هوای داخل ساختمان و دمای آب مخزن ذخیره سازی انرژی گرمایی به صورت قیود در حل مساله در نظر گرفته شده است. واضح است که نتایج این نوع حل مساله بسیار دقیق تر خواهند بود. در مطالعات انجام شده، برای بهره برداری از Micro-CHP از تعرفه ثابت خصوصاً برای فروش توان به شبکه استفاده شده است. در این مطالعه با در نظر گرفتن تعرفه RTP برای شبکه و ملاحظات مربوط به Micro-CHP پاسخ دهی بار در بهره برداری از Micro-CHP در نظر گرفته شده است

#### معادلات ترمودینامیکی

در این مطالعه گام های زمانی برای معادلات دینامیکی یک ساعت ( $h$ ) در نظر گرفته شده است، اساس مطالعات بر مبنای مرجع [۲] است.

#### مدل سازی Micro-CHP

توان الکتریکی تولیدی Micro-CHP در هر ساعت با  $e_{CHP}(h)$  نمایش داده می شود و گاز مصرفی Micro-CHP در هر ساعت از رابطه زیر به دست می آید:

$$g_{CHP}(h) = G_{ref} \cdot \frac{e_{CHP}(h)}{y_e} \quad (1)$$

که در این رابطه،  $G_{ref}$  مقدار گاز مصرفی ( $m^3$ ) به ازای تولید ۱ kWh انرژی می باشد و  $y_e$  بازدهی الکتریکی و  $y_{th}$  بازدهی گرمایی Micro-CHP می باشد. گرمای تولیدی Micro-CHP برابر است با:

$$H_{CHP}(h) = \frac{g_{CHP}(h)}{G_{ref}} \cdot y_{th} = e_{CHP}(h) \cdot \frac{y_{th}}{y_e} \quad (2)$$

## مدل سازی باتری

$$SOC(h+1) = SOC(h) + ((1 - z_{db}(h)) \times y_{ch} - \frac{z_{db}(h)}{y_{dch}}) \times \frac{P_{bat}(h)}{E_{bat}} \quad (۳)$$

$SOC(h)$ : میزان انرژی الکتریکی موجود در باتری در ساعت  $h$ .

$z_{db}(h)$ : متغیر باینری نشانگر حالت دشارژ باتری است به طوری که اگر یک باشد یعنی باتری در حال دشارژ است و صفر یعنی باتری در حال شارژ است. شایان ذکر است که چون باتری مورد نظر با توجه به قیود شارژ و دشارژ خود می تواند مقدار صفر را نیز به خود بگیرد عملاً حالت بیکار نیز برای باتری در نظر گرفته شده است.

$P_{bat}(h)$ : میزان توان مبادله شده با باتری (شارژ یا دشارژ) در هر ساعت.

$E_{bat}$ : ظرفیت کل باتری.

$y_{dch}$  و  $y_{ch}$ : بازدهی شارژ و دشارژ باتری هنگام تبادل با ریزشبکه و شبکه اصلی.

## خودروهای هیبریدی

اما تفاوت اصلی مدل سازی خودروهای هیبریدی در مقایسه با باتری ها، مربوط به سیگنال سفر خودروهای هیبریدی یا در دسترس پذیری آنها در ریز شبکه می باشد به طوری که این خودروها هنگامی که در ریز شبکه حضور ندارند نباید در معادلات بهینه سازی شرکت داده شوند. به همین منظور در این مقاله دو نوع سیگنال سفر برای مالکان خودرو در ریز شبکه مورد نظر در نظر گرفته شده است: یک سیگنال مربوط به ساکنانی است که رفتاری همچون کارمندان دارند به طریقی که از ساعت ۷ صبح از خانه خارج و ساعت ۴ بعد از ظهر وارد خانه می شوند، دسته دیگر مربوط به ساکنانی با شغل آزاد است به طوری که ساعت ۱۰ صبح از خانه خارج و ساعت ۲ بعد از ظهر به خانه بازمی گردند. سپس ساعت ۵ مجدداً از خانه خارج و ساعت ۱۰ به خانه باز می گردند. معادلات باتری خودروهای هیبریدی با در نظر گرفتن سیگنال دسترس پذیری خودروهای مورد نظر در زیر آورده شده است.

برای خودروهای دسته اول داریم:

for  $(1 \leq h \leq 7)$  or  $(16 \leq h \leq 24)$

$$Q_{PHEV_1}(h+1) = Q_{PHEV_1}(h) + ((1 - z_{dpl}(h)) \times y_{ch} - \frac{z_{dpl}(h)}{y_{dch}}) \times P_{PHEV_1}(h) \quad (۴)$$

برای خودروهای دسته دوم نیز داریم:

$$for(1 \leq h \leq 10) or (14 \leq h \leq 17) or (22 \leq h \leq 24)$$

$$Q_{PHEV_2}(h+1) = Q_{PHEV_2}(h) + ((1 - z_{dp2}(h)) \times_{ch} - \frac{z_{dp2}(h)}{dch}) \times P_{PHEV_2}(h) \quad (5)$$

$P_{PHEV_1}(h)$ : میزان توان مبادله شده با باتری خودرو (شارژ یا دشارژ) در هر ساعت.

$Q_{PHEV_1}(h)$ : میزان انرژی الکتریکی قابل دسترس باتری در ریزشبه در ساعت  $h$ .

نکته اساسی در بهبود بازده انرژی مصرفی ساختمان، هماهنگ سازی و بهینه کردن بهره برداری از بارها و منابع انرژی مختلف است. با وجود این، مشکلات بسیاری باید از پیش دیده شوند. اولاً، بهره برداری منابع مختلف انرژی اعم از گرمایی و الکتریکی که هرکدام تجهیزات متنوع مخصوص به خود را دارند مانند واحدهای CHP و انرژی‌های نو به یکدیگر مرتبطند و باید بخوبی هماهنگ سازی شوند. عملکرد منابع انرژی و بارهای قابل کنترل نیز در زمان به یکدیگر مرتبطند و باید طی زمان به خاطر وجود تجهیزات ذخیره ساز انرژی گرمایی و الکتریکی هماهنگ سازی شوند. ثانیاً، بدیهی است که منابع انرژی نو مانند پنل‌های خورشیدی و انرژی بادی در معرض نوسانات تصادفی قابل ملاحظه ای می‌باشند. بعلاوه، بار مصرفی (مانند سیستم روشنایی و گرمایی) نیز می‌تواند بسته به شرایط محیطی و احتیاجات رفاهی که به رفتار ساکنین ساختمان وابسته است در معرض ناپیوستگی‌هایی باشد. در این مقاله زمانبندی ۲۴ ساعت آینده منابع تولیدی در یک ریزشبه مسکونی با هدف حداقل کردن هزینه کلی برق و گاز طبیعی مصرفی و با برآوردن قید تعادل توان و دیگر قیود پیچیده ای که هرکدام از منابع انرژی دارند، صورت می‌گیرد.

در یک ریزشبه، تولیدات پراکنده باید جزئی از سیستم مدیریت انرژی باشند چرا که استفاده از تولیدات پراکنده با هزینه پایین و مقیاس بالا مسلماً در بهینه سازی تابع هزینه دخیل خواهد بود و این خود ریز شبکه ها را سکوی مناسبی برای رسیدن به بحث مدیریت هوشمند قرار داده است. هدف از طرح سیستم مدیریت انرژی، تصمیم گیری برای تولید توان بر مبنای بهترین استفاده ممکن از واحدهای تولیدی است. بنابراین نیاز است تا با استفاده از روش‌های ساده پیش‌بینی، میزان بار مصرفی ریزشبه و توان تولیدی توسط واحدهای خورشیدی و بادی نیز محاسبه شوند.

### تابع هدف و قیود مساله

تابع هدف در این مساله از نوع هزینه است و مجموع هزینه‌ی گاز مصرفی Micro-CHP و بویلر کمکی و هزینه برق خریداری شده از شبکه یا فروخته شده به آن می‌باشد. در ادامه فرمولاسیون مساله با در نظر گرفتن قیود مختلف ارائه

می‌شود که در واقع حل این مساله توسط ماژول بهینه سازی صورت می‌گیرد. با توجه به معادلات ارائه شده، واضح است که مساله از نوع غیر خطی است و حل آن بسیار زمانبر و بعلاوه جواب مساله یکتا و نهایی نمی‌باشد. برای رفع این مشکل از یک حلال بسیار قدرتمند (CPLEX SOLVER) استفاده شده و مساله به شکل MINLP<sup>۱</sup> و با استفاده از نرم افزار GAMS<sup>۲</sup> حل شده است.

$$J = \sum_{h=1}^{24} [TOU(h) \cdot (P_{buy}(h) - P_{sell}(h)) \cdot (1 \text{ hour}) + Gas_p(h) \cdot (g_{CHP}(h) + g_{aux}(h))] \quad (6)$$

تابع هدف ( $J$ ) در این مساله از نوع هزینه است و مجموع هزینه گاز مصرفی Micro-CHP و بویلر کمکی و هزینه برق خریداری شده از شبکه یا فروخته شده به آن در ۲۴ ساعت می‌باشد.

$TOU(h)$ : قیمت برق شبکه در ساعت  $h$  ( $\$/kWh$ ) (قیمت برق برای خرید و فروش از/به ریزش شبکه یکسان است).

$P_{buy}(h)$   $P_{sell}(h)$ : به ترتیب عبارتند از توان خریداری شده از شبکه و فروشی به آن در ساعت  $h$  (kW).

$Gas_p(h)$ : قیمت گاز مصرفی در ساعت  $h$  ( $\$/m^3$ ).

$g_{CHP}(h)$   $g_{aux}(h)$ : به ترتیب عبارتند از گاز مصرفی توسط Micro-CHP و بویلر کمکی در ساعت  $h$  ( $m^3$ ).

#### قید تعادل توان الکتریکی

$$P_{buy}(h) - P_{sell}(h) - P_{batt}(h) + (2' z_{dp1}(h) - 1)' P_{PHEW1}(h) + (2' z_{dp2}(h) - 1)' P_{PHEW2}(h) + e_{CHP}(h) + e_{pv}(h) = D_e(h) \quad (7)$$

در هر ساعت مجموع توان الکتریکی تولیدی توسط منابع تولید پراکنده و منابع ذخیره انرژی می‌بایست با توان الکتریکی مورد نیاز ریزش شبکه برابر باشد که در آن،  $D_e(h)$  توان الکتریکی مورد نیاز ریزش شبکه در ساعت  $h$  می‌باشد (kW) و در این حالت جابجایی بار در نظر گرفته نشده است.

#### قیود مربوط به توان خروجی Micro-CHP

با معرفی متغیر باینری ( $V_{CHP}(h)$ ) که نشاندهنده روشن یا خاموش بودن Micro-CHP در ساعت می‌باشد.

1) Mixed Integer Non-Linear Programming

2) General Algebraic Modeling System

$$\begin{aligned} e_{CHP\_min} \times V_{CHP}(h) &\leq e_{CHP}(h) \leq e_{CHP\_max} \times V_{CHP}(h) \\ H_{CHP\_min} \times V_{CHP}(h) &\leq H_{CHP}(h) \leq H_{CHP\_max} \times V_{CHP}(h) \end{aligned} \quad (۸)$$

### قید توان خروجی بویلر کمکی

با معرفی متغیر باینری ( $U_{aux}(h)$ ) که نشاندهنده روشن یا خاموش بودن بویلر کمکی در هر ساعت می‌باشد،

$$H_{aux\_min} \times U_{aux}(h) \leq H_{aux}(h) \leq H_{aux\_max} \times U_{aux}(h) \quad (۹)$$

### قیود دمای منبع آب و گرمایش هوای داخل ساختمان

به منظور کنترل هوشمند و پیاده سازی پاسخ بار در بهره برداری Micro-CHP، شروط زیر می‌بایست برقرار باشد:

$$\begin{aligned} T_{storage\_min} &\leq T_{storage}(h) \leq T_{storage\_max} \\ T_{in\_min} &\leq T_{in}(h) \leq T_{in\_max} \end{aligned} \quad (۱۰)$$

که در آن،  $T_{storage\_min}$ ،  $T_{in\_min}$ ،  $T_{in\_max}$ ،  $T_{storage\_max}$  به ترتیب حداکثر دمای منبع آب، حداکثر دمای هوای داخل ساختمان، حداقل دمای فضای داخل ساختمان و حداقل دمای منبع آب است. این حدود حداکثر و حداقل دما به منظور ایجاد بار منعطف گرمایی برای بهره برداری بهینه از Micro-CHP می‌باشد. این تغییرات دما به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که برای ساکنین خانه مشکلی ایجاد نشود.

در Heat-Led-Control شروط بالا به این صورت در می‌آید:

$$\begin{aligned} T_{storage}(h) &= T_{storage\_des} \\ T_{in}(h) &= T_{in\_des} \end{aligned} \quad (۱۱)$$

### محدودیت میزان شارژ و دشارژ باتری

$$\begin{aligned} \underline{SOC} &\leq SOC(h) \leq \overline{SOC} \\ \underline{P}_{bat} &\leq P_{bat}(t) \leq \overline{P}_{bat} \end{aligned} \quad (۱۲)$$

که در آن  $\underline{P}_{bat}$  و  $\overline{P}_{bat}$  به ترتیب حداقل و حداکثر توان قابل تبادل با ریزشبكة و  $\underline{SOC}$  و  $\overline{SOC}$  به ترتیب حداقل و حداکثر میزان مجاز شارژ موجود در باتری می‌باشد.

### محدودیت خودروهای هیبریدی

$$\begin{aligned} PHEV\_Trip_i(h) \times P_{PHEV}^{min} &\leq P_{PHEV_i}(h) \leq PHEV\_Trip_i(h) \times P_{PHEV}^{max} \\ PHEV\_Trip_i(h) \times Q_{PHEV}^{min} &\leq Q_{PHEV_i}(h) \leq PHEV\_Trip_i(h) \times Q_{PHEV}^{max} \end{aligned} \quad (۱۳)$$

$PHEV\_Trip_i(h)$ : دسترس‌پذیری خودروها در ساعت  $h$  ام.

$P_{PHEV}^{min}$ : حداقل توان قابل تبادل در ریزشبكة در ساعت.

$P_{PHEV}^{max}$ : حداکثر توان قابل تبادل در ریزشبكة در ساعت.

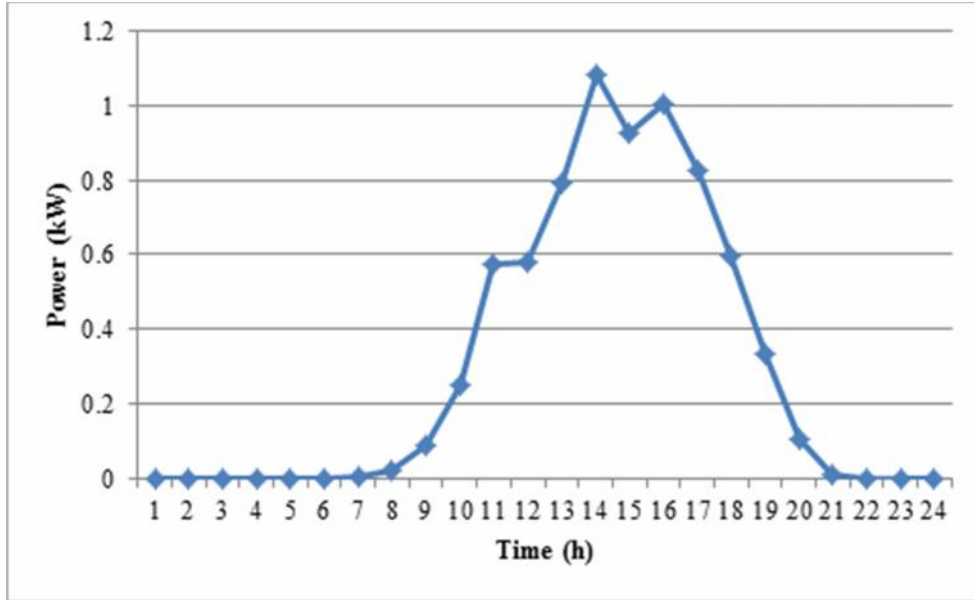
$Q_{PHEV}^{min}$ : ظرفیت حداکثر باتری.

$Q_{PHEV}^{max}$ : ظرفیت حداقل باتری.

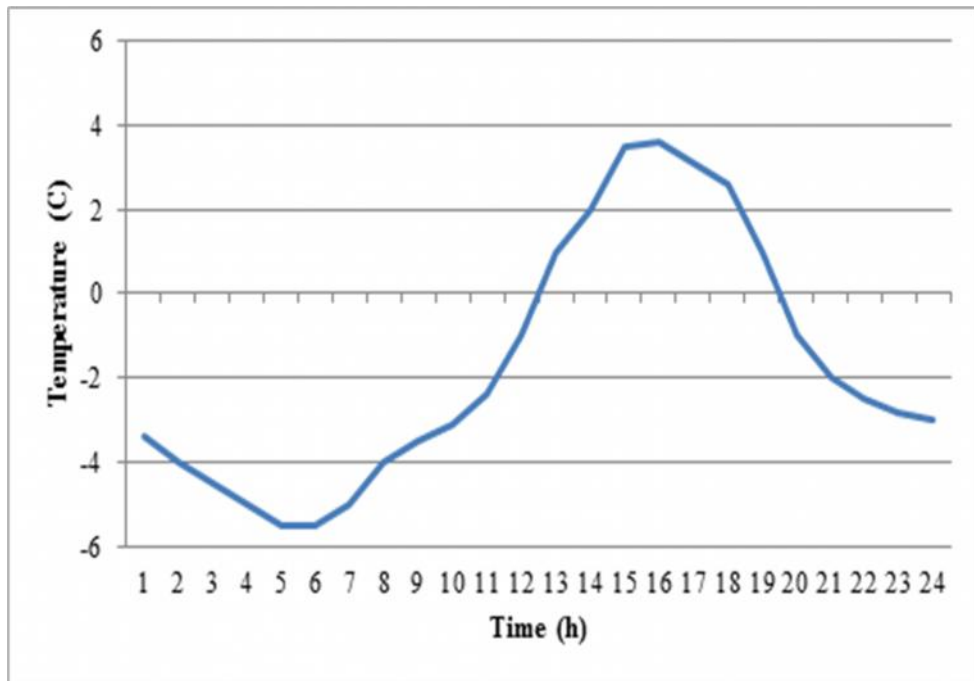
### نتایج

در این مقاله، یک ریزشبكة خانگی هوشمند در ایالت اونتاریوی کانادا می‌باشد که منابع تولید و ذخیره انرژی الکتریکی این ریزشبكة عبارتند از یک واحد Micro-CHP به ظرفیت ۳ کیلووات الکتریکی و یک پنل PV با تولید ۱ کیلو وات، یک باتری با ظرفیت ۸ کیلووات ساعت و دو خودروی هیبرید الکتریکی که مجهز به باتری با ظرفیت ۶/۸۶ کیلووات ساعت. منبع ذخیره انرژی گرمایی در این ریزشبكة یک مخزن آب با حجم ۱۵۰ لیتر می‌باشد. شبیه سازی با استفاده از داده‌های [۲] انجام شده است، با این تفاوت که بازده گرمایی Micro-CHP ۰/۷ و حداکثر توان دشارژ باتری و خودروی هیبریدی ۱/۹۶ کیلووات و حداقل توان شارژ و دشارژ به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۰۰۵ کیلووات است و همچنین منحنی پیش‌بینی شده تولید توان PV و دمای خارج ساختمان در شکل‌های (۱) و (۲) نمایش داده شده است.





شکل (۱) منحنی پیش بینی شده تولید توان  $p_v$



شکل (۲) دمای خارج ساختمان در روز مورد نظر

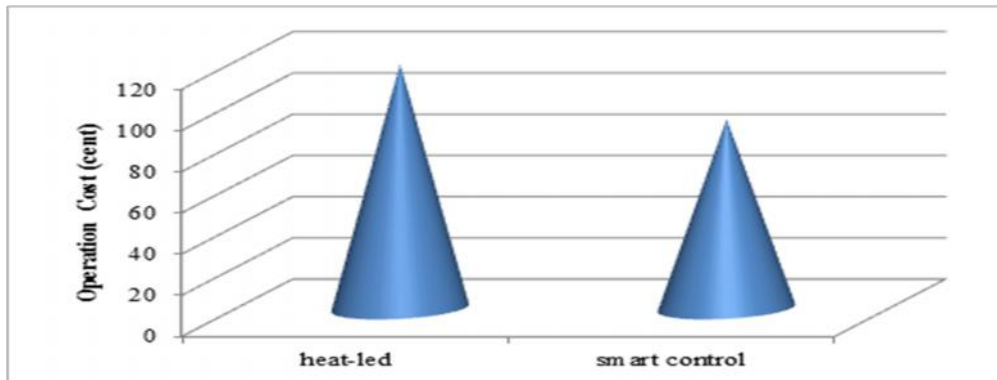
تعرفه های برق در طول ساعات یک شبانه روز در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) تعرفه های برق در ساعات روز

h	TOU(¢/kWh)	FIX(¢/kWh)	RTP(¢/kWh)
۱	۳/۲	۵/۱	۲/۸۶
۲	۳/۲	۵/۱	۲/۸۳
۳	۳/۲	۵/۱	۲/۹
۴	۳/۲	۵/۱	۲/۷۷
۵	۳/۲	۵/۱	۲/۷۵
۶	۳/۲	۵/۱	۲/۶۶
۷	۳/۲	۵/۱	۲/۶۴
۸	۷/۸	۵/۱	۶/۰۲
۹	۷/۸	۵/۱	۶/۲
۱۰	۷/۸	۵/۱	۶/۹
۱۱	۷/۸	۵/۱	۷/۰۳
۱۲	۶/۲	۵/۱	۶/۸۹
۱۳	۶/۲	۵/۱	۶/۸۸
۱۴	۶/۲	۵/۱	۶/۸۷
۱۵	۷/۸	۵/۱	۷/۰۲
۱۶	۷/۸	۵/۱	۷/۰۴
۱۷	۶/۲	۵/۱	۶/۹۵
۱۸	۶/۲	۵/۱	۶/۴۵
۱۹	۶/۲	۵/۱	۶/۱۷
۲۰	۳/۲	۵/۱	۵/۷۳
۲۱	۳/۲	۵/۱	۵/۸۱
۲۲	۳/۲	۵/۱	۶/۱۹
۲۳	۳/۲	۵/۱	۴/۸۸
۲۴	۳/۲	۵/۱	۴/۱۵

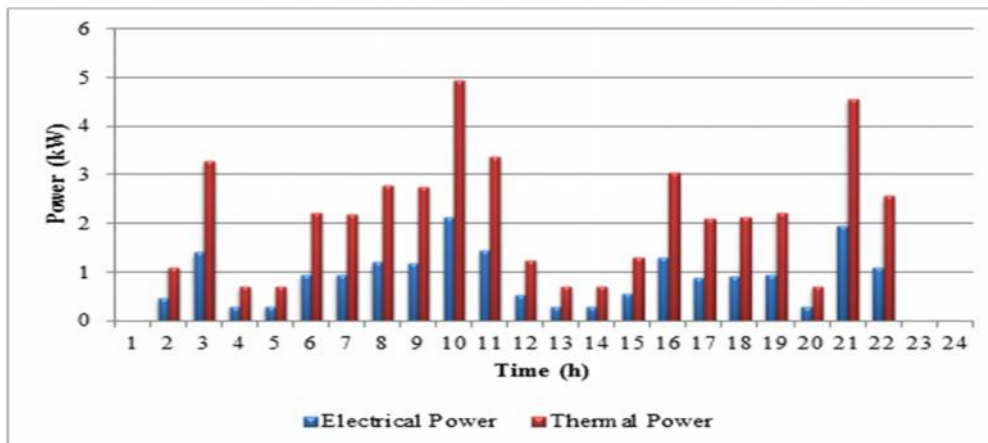
همانطور که پیشتر اشاره شد، به منظور تأثیر هوشمند شدن ریزشبه در ابتدا برنامه ریزی ریزشبه به صورت Heat-led control صورت می گیرد به این معنی که دمای داخل ساختمان و مخزن آب داغ باید در مقدار ثابتی باقی بماند. سپس ریزشبه را به صورت هوشمند با در نظر گرفتن بار گرمایشی منعطف بهره برداری می کنیم. شایان ذکر است که تعرفه قیمت تبادل با شبکه در حالت پایه به صورت RTP در نظر گرفته شده است. در شکل (۳) هزینه بهره برداری ریزشبه در دو راهبرد Heat-led و هوشمند با بار منعطف گرمایی با تعرفه RTP نمایش داده شده است. همانطور که از

این شکل مشخص است، با در نظر گرفتن بار منعطف گرمایی و در نظر گرفتن پاسخ گویی بار، هزینه بهره برداری ریزشبکه به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.



شکل ۳) مقایسه هزینه بهره برداری ریزشبکه در دو راهبرد هوشمند و Heat-led

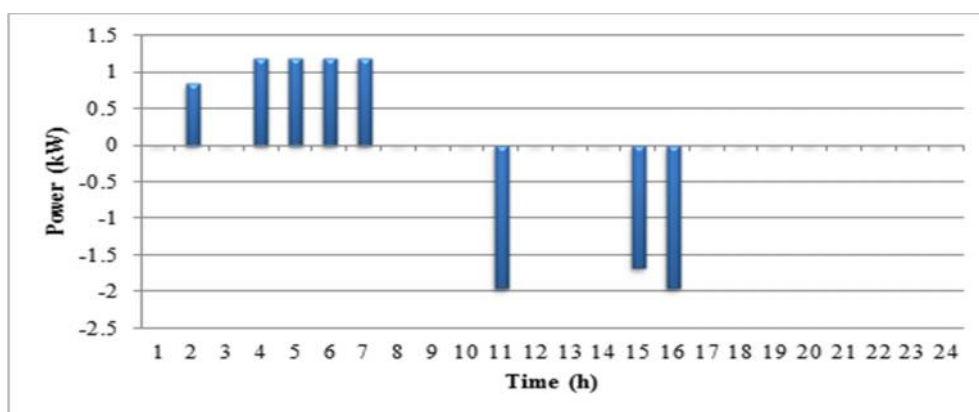
در شکل (۴) توان الکتریکی و گرمایی خروجی Micro-CHP در حالت کنترل هوشمند نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود، با توجه به منعطف بودن بار گرمایی، Micro-CHP به نحوی کنترل شده است که توان تولیدی در ساعات اوج مصرف و قیمت از ساعات دیگر بیشتر باشد و ریزشبکه قادر باشد نه تنها بار خود را تأمین کند بلکه در صورت امکان مازاد تولیدی را به شبکه به فروش رساند.



شکل ۴) توان الکتریکی و حرارتی خروجی micro-CHP

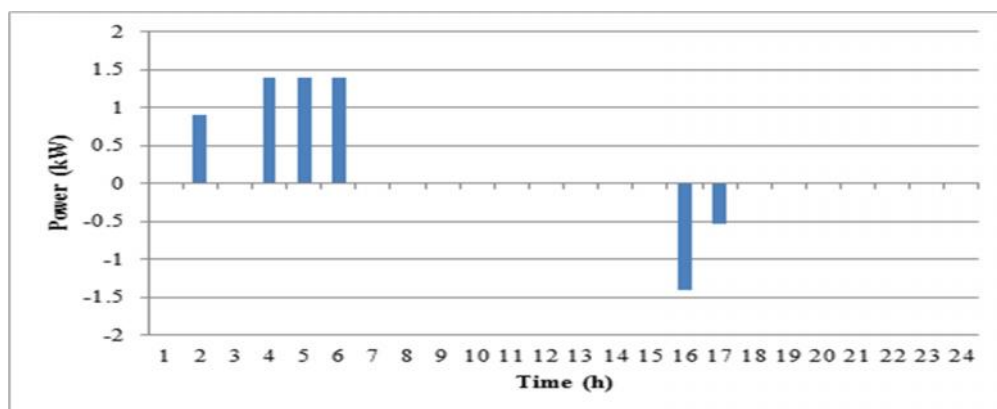
توان مبادله شده توسط باتری در ریزشبکه در شکل (۵) نمایش داده شده است. یکی از ادوات مهم جهت شرکت ریزشبکه در پاسخ گویی بار باتری است. همانگونه که ملاحظه می شود، باتری نقش مؤثری جهت ذخیره انرژی در ساعات

اوج مصرف و آزاد کردن این انرژی در ساعات اوج مصرف و ساعات با قیمت بالای خرید از شبکه ایفا می کند. چگونگی ذخیره انرژی در ساعات اولیه بامداد و تخلیه انرژی توسط آن در ساعات ۱۱، ۱۵ و ۱۶ که میزان بار و قیمت خرید از شبکه به نسبت بالاتر است، در شکل (۵) مشخص است. مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشاندهنده خرید از/فروش به شبکه هستند.



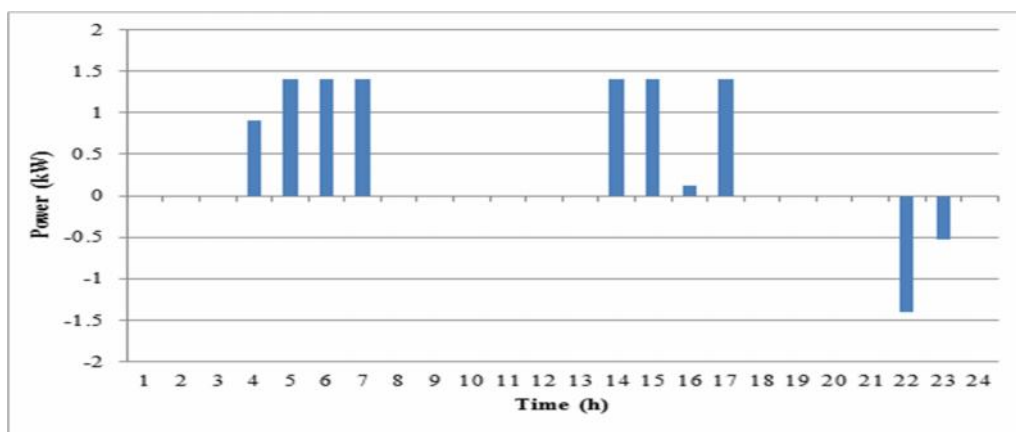
شکل ۵) توان مبادله شده توسط باتری با ریزشبه

در شکل (۶) توان مبادله شده بین خودروی هیبریدی نوع اول با ریزشبه دلیل آنکه توان گرفته شده از شبکه بیشتر از توان تخلیه شده در شبکه است مربوط به این موضوع است که فرض شده است خودروی هیبریدی عمده تخلیه اش در خارج ریزشبه هنگام سفر صورت می گیرد. همچنین فرض کردیم که مالک خودرو در ساعت ۷ صبح قصد خروج از ریزشبه را دارد. بنابراین، در این ساعت خودرو باید حتماً به صورت کامل شارژ باشد. در ساعات پیک نیز خودرو انرژی خود را جهت شرکت در پاسخ گویی بار تخلیه می کند و به کاهش هزینه های بهره برداری کمک می کند.



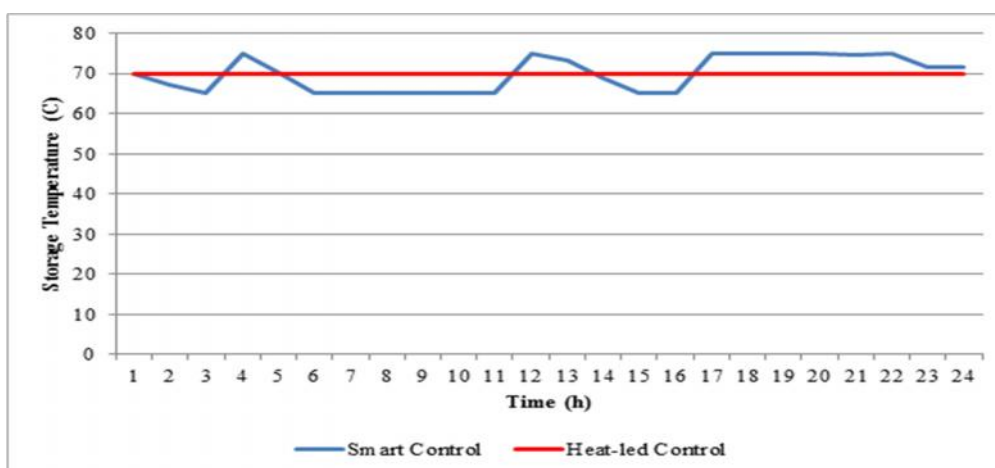
شکل ۶) تبادل توان خودروی هیبریدی نوع اول با ریزشبه

همانطور که پیشتر ذکر شد، برای خودروی نوع دوم رفتاری متفاوت با خودروی نوع اول در نظر گرفته شد به این ترتیب که در پس از شارژ در ساعات اولیه و خروج از ریزشبهه مقداری از شارژ باتری خودرو تخلیه شده و به ریزشبهه وارد می شود. فرض شده است که در ساعت ۱۷ مجدداً مالک خودرو قصد خروج از ریزشبهه را دارد. بنابراین، طی مدت حضور در ریزشبهه باید مجدداً شارژ کامل شود. در نهایت، خودروی مورد نظر در ساعات پایانی روز به ریزشبهه وارد شده و مانده شارژ خود را جهت مصارف داخلی ریزشبهه یا فروش به شبکه اصلی تخلیه می کند. در شکل (۷) تبادل توان خودروی هیبریدی نوع دوم هنگام حضور در ریزشبهه نمایش داده شده است.



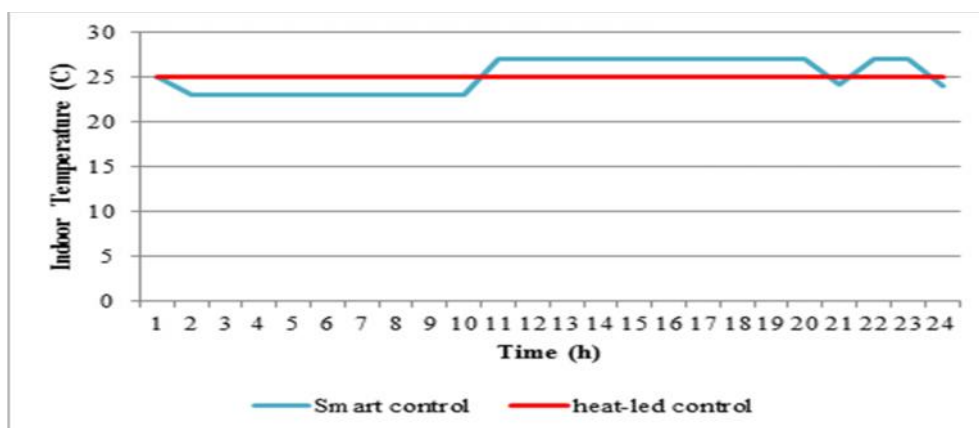
شکل ۷) تبادل توان خودروی هیبریدی نوع دوم با ریزشبهه

دمای مخزن آب داغ برای راهبردهای کنترلی heat-led و هوشمند در شکل (۸) نشان داده شده است.



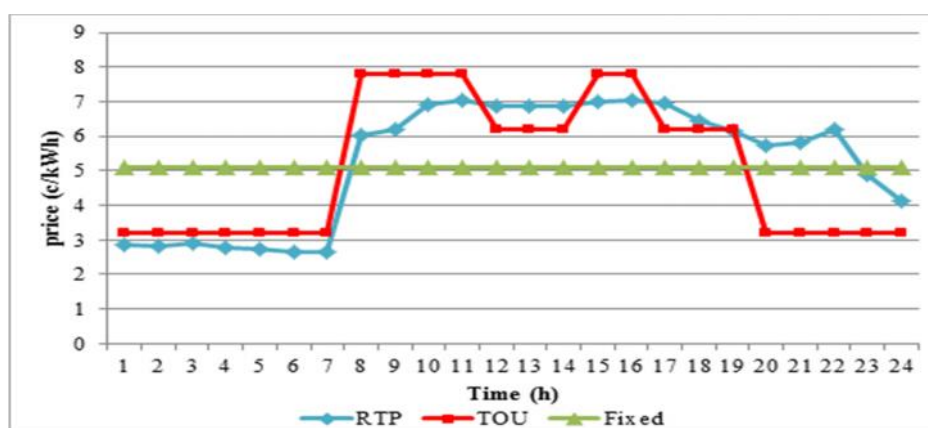
شکل ۸) دمای مخزن آب داغ در دو راهبرد کنترلی هوشمند و Heat-led

دمای داخل ساختمان برای راهبردی کنترل heat-led و هوشمند در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹) دمای داخل ساختمان برای راهبردهای کنترلی heat-led و هوشمند

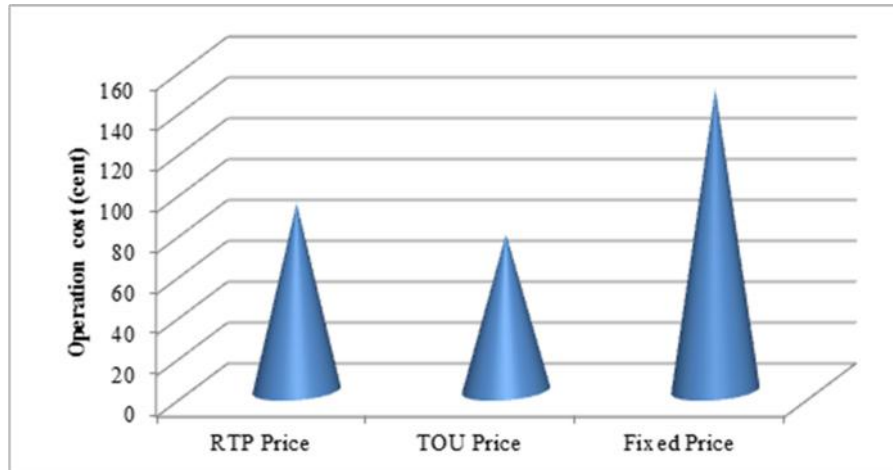
در این قسمت، بهره برداری را برای سه نوع تعرفه قیمت بازار برق انجام داده ایم. تعرفه های در نظر گرفته شده به صورت RTP، TOU، و قیمت تعرفه قیمت بازار برق انجام داده ایم. تعرفه های در نظر گرفته شده به صورت RTP، TOU، و Fixed هستند. منحنی قیمت در سه حالت ذکر شده در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰) منحنی تعرفه قیمت بازار برای حالات قیمت گذاری مختلف

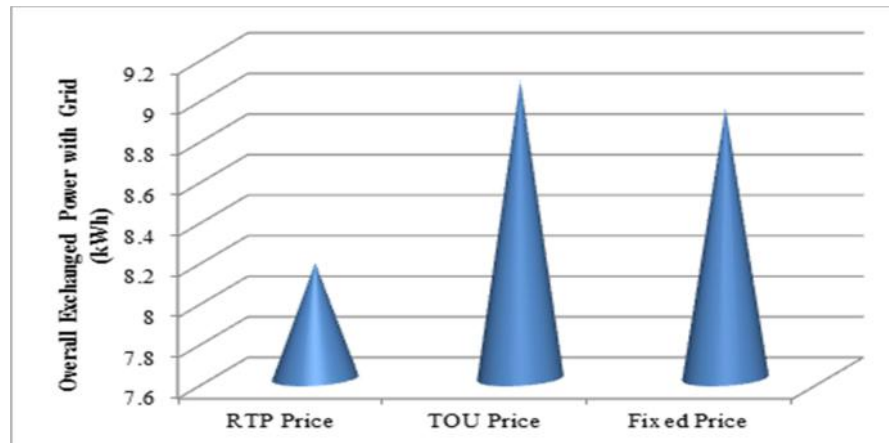
در شکل (۱۱) هزینه بهره برداری برای سه نوع تعرفه مورد نظر آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، کمترین میزان هزینه بهره برداری مربوط به تعرفه TOU و همانطور که انتظار می رفت، بیشترین آن مربوط به تعرفه ثابت

شبکه است. در اینجا به وضوح می توان تأثیر برنامه های پاسخ گویی بار در کاهش هزینه بهره برداری را مشاهده نمود به طوری که در مساله ما حدود ۵۰ درصد هزینه بهره برداری را می توان کاهش داد.



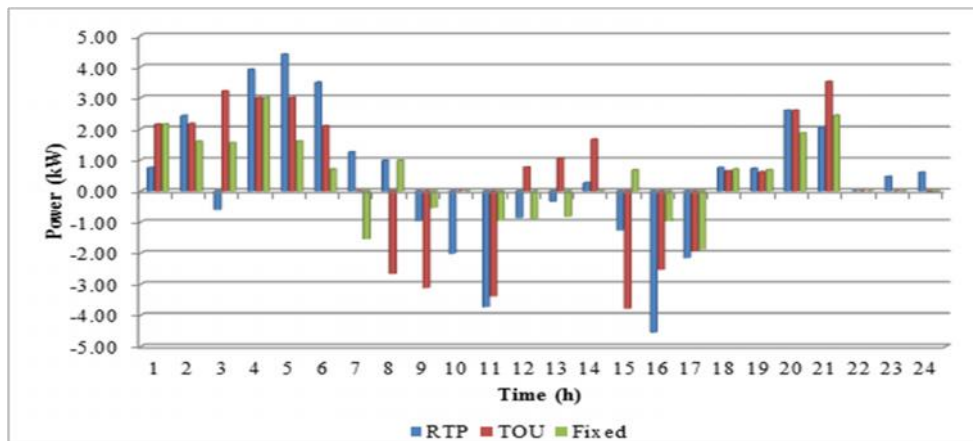
شکل ۱۱) هزینه بهره برداری برای سه نوع تعرفه مورد نظر

کل توان مبادله شده با شبکه برای سه تعرفه گذاری مختلف در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. ملاحظه می شود که در حالت RTP کمترین و در حالت تعرفه TOU بیشترین تبادل با شبکه را داریم.



شکل ۱۲) کل توان مبادله شده با شبکه برای سه نوع مورد نظر

توان مبادله شده در طول ۲۴ ساعت برای سه تعرفه در شکل (۱۳) نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، با تعرفه ثابت کمترین میزان پاسخ دهی به بار و متعاقباً کمترین فروش به شبکه را داریم.



شکل ۱۳) توان مبادله شده در طول ۲۴ ساعت برای سه نوع تعرفه مورد نظر

## منابع

- [1] Xiao Hong Guan; Zhan Xu, Qing-Shan, "JiaEnergy. 2012. "Efficient Buildings Facilitated by Micro grid", *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.1, no.3, pp.243-25.
- [2] Tasdighi, M.; Ghasemi, H.; Rahimi-Kian, A. 2013. "Residential Micro grid Scheduling Based on Smart Meters Data and Temperature Dependent Thermal Load Modeling", *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.2, no.99, pp. 1-9.
- [3] Pedrasa, M.A.A.; Spooner, T.D.; Mac Gil I.I.F. 2010. "Coordinated Scheduling of Residential Distributed Energy Resources to Optimize Smart Home Energy Services", *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.1, no.2, pp.131, 143.
- [4] Katiraei, F., Irvani, R., Hatziaargyriou, N., Dimeas, A. 2008. "Micro grids management", *IEEE Power Energy Mag*, 6, (3), pp. 54-65.
- [5] Z. Jiang, H. Rahimi-Eichi, "Design, modeling and simulation of a green building energy system", presented at the 2009 *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, Calgary, AB, Canada, and PESGM2009-000636.
- [6] Corno, F.; Razzak, F. 2012. "Intelligent Energy Optimization for User Intelligible Goals in smart Home Environments", *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.3, no.4, pp.2128-2130.