

ارائه الگویی مناسب در جهت مشارکت خودروی برقی در ریز شبکه به منظور کاهش

هزینه تولید توان با استفاده از الگوریتم HBB-BC

سید حسن حسینی¹، محمد طلوع عسکری^{2*}

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

2- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

m.askari@semnan.ac.ir

چکیده

ارائه یک برنامه ریزی جامع برای حضور خودروهای الکتریکی در یک ریز شبکه با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه و خودروها و همچنین اهداف اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله الگوریتم هیبرید بیگ بنگ بیگ کرانچ به منظور ارائه زمانبندی حضور خودروهای الکتریکی در شبکه با هدف کاهش هزینه‌ها پیشنهاد داده شده است. به منظور تأیید عملکرد روش پیشنهادی، مطالعات در یک دوره 24 ساعته بر روی یک سیستم توزیع و در حضور خودروهای الکتریکی با الگوهای حرکتی واقعی انجام پذیرفته است. تأثیرپذیری و سودمندی تکنیک پیشنهادی زمانبندی منابع در یک دوره 24 ساعته بر روی یک ریز شبکه نمونه تست شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی شارژ/تخلیه EV می‌تواند هم هزینه عملیات را کاهش دهد.

کلید واژگان

خودروی برقی، مدیریت شارژ و دشارژ، کاهش هزینه، الگوریتم هیبرید بیگ بنگ بیگ کرانچ

Proposing a suitable scheduling to use electrical vehicle in micro-grid to decrease cost by using HBB-BC algorithm

S.H.Hoseinifar¹, M.T.Askari^{2*}

Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

* P.O.B. 3518767497, Semnan, Iran, m.askari@semnaniau.ac.ir

Abstract

Provide a comprehensive plan for the electric vehicles in a micro-grid with regard to network limitations and vehicles as well as economic goals of the utmost importance. In this paper, the Hybrid Big Bang to Big Crunch algorithm has been used to provide scheduling for electric vehicle presence in the network to reduce costs. In order to verify the proposed method, studies in a 24 hour period on a distribution system and in the presence of electric vehicles have been done with real movement patterns. Effectiveness and usefulness of the proposed technique scheduling resources in a 24 hour period on a micro-grid sample tested. The results show that the proposed method of charging / discharging EV can reduce operating costs.

Keywords

Electrical vehicle, Charge/discharge management, reduce cost, Hybrid Big Bang- Big Crunch algorithm

1- مقدمه

استفاده از تولیدات پراکنده برای تولید برق، یکی از راه‌هایی است که امروزه برای تامین توان مورد نیاز مصرف کننده پیشنهاد می‌شود. محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی و آلودگی هوا از مشوق‌های اصلی گسترش این فناوری است. تولید برق در نزدیکی محل مصرف، علاوه بر کاهش تلفات در سیستم، می‌تواند انعطاف بیشتری برای ارائه خدمات گوناگون به مصرف‌کنندگان پدید آورد. در واقع ریز شبکه مجموعه‌ای از بارها و تولیدکننده‌ها است که می‌توان به طور جزیره‌ای و یا متصل به شبکه کار کند. تولیدکنندگان ریز شبکه عموماً بخاطر بار کم و ماهیت ریز شبکه به صورت تولید کننده با منابع پراکنده هستند. این منابع می‌تواند سلول‌های خورشیدی، توربین بادی، میکروتوربین، باتری و... باشند. از موضوعات مهم در زمینه ریز شبکه، بحث هزینه‌های تولید توان و آلودگی زیست محیطی ناشی از ریز شبکه می‌باشد که بایستی با دقت بالایی به این موضوعات پرداخت.

در شبکه‌های سنتی، تامین توان الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده، به صورت مجتمع و در فاصله‌های دورتر از مصرف کننده تولید می‌شود که این امر سبب بروز مشکلاتی شده است. از جمله این مشکلات می‌توان به هزینه بالای احداث نیروگاه‌ها و خطوط انتقال در ظرفیت‌های بالاتر و همچنین تلفات زیاد این گونه از شبکه‌ها اشاره کرد. از دیگر معایب شبکه‌های سنتی کم بودن قابلیت اطمینان این قبیل شبکه‌ها می‌باشد. زیرا در صورت بروز خطا و قطع شدن خطوط انتقال، امکان آن وجود دارد که تعداد زیادی از مصرف‌کنندگان بی برق شوند. در نتیجه برای غلبه بر چنین مشکلی توجهات به سمت و سوی تولیدات پراکنده بیشتر شده است.

این ساعات می‌باشد. (مانند واحدهای گازی) و یا بسیار آلاینده می‌باشند (مانند دیزل ژنراتورها). این واحدهای تولیدی به دلیل بازده کمتر، توان را با هزینه و قیمت بیشتری تولید و عرضه می‌نمایند و از همین رو تنها در ساعات پیک مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. لذا در سیستم‌های قدرت سعی بر آن است که با افزایش بازده کل سیستم، میزان استفاده از چنین واحدهایی کاهش یابد. در این حالت، اگر خودروهای الکتریکی انرژی ذخیره شده در باتری خود را در ساعات پرباری به شبکه بازگردانند، می‌توانند تا در حد زیادی جایگزین واحدهای تولیدی که در ساعات اوج مصرف مورد استفاده قرار می‌گیرند، شوند. در این صورت، صاحبان خودروها نیز می‌توانند با خرید انرژی در ساعات کم‌باری که قیمت‌ها پایین است و فروش آن در ساعات پرباری که قیمت‌ها بالا می‌رود، سود قابل توجهی به دست آورند. همچنین با استفاده از ظرفیت باتری خودروهای برقی، پستی و بلندی‌های منحنی بار کاهش می‌یابد. به همین دلیل می‌توان خودروهای برقی را بار قابل کنترل نامید.

در [1] سه سناریوی مختلف برای فرایند شارژ خودروهای الکتریکی اشاره شده است که عبارت‌اند از: شارژ فوری: هنگامی که زیرساخت‌های لازم برای اجرای بحث پاسخ تقاضا فراهم نباشد، مصرف‌کننده تمایلی به تغییر زمان شارژ خودروی برقی خود ندارد. بنابراین مصرف‌کننده به محض رسیدن از محل کار به خانه، خودروی خود را به شارژ می‌زند. از قضا بازه‌ی زمانی بازگشت به خانه با پیک‌بار انطباق داشته و این عامل خود باعث افزایش پیک‌بار شده است. شارژ با تأخیر زمانی: یک راه حل ارزان و ساده برای تعویق انداختن شارژ باتری خودروها این است که از یک تایمر استفاده شود تا هنگامی که مصرف‌کننده به خانه مراجعت می‌نماید، خودروی خود را به برق بزند اما شروع فرایند شارژ با یک تأخیر زمانی که توسط تایمر تنظیم می‌شود، از ساعات پیک به ساعات غیر پیک تغییر نماید. در [1] اشاره شده است که بهره‌وری این روش هنگامی بیشتر می‌شود که مصرف‌کنندگان زمان تأخیر یکسانی را برای شارژ خودروی خود در نظر نگیرند.

شارژ با مدیریت بهره‌بردار ناوگان: در سناریوی آخر، بهره‌بردار ناوگان یا تجمیع‌کننده¹ مسئولیت تعیین نحوه شارژ خودروها را عهده‌دار می‌شود. خواسته‌های مالک خودرو برای نحوه شارژ باتری وسیله نقلیه‌اش از طریق مفاد قراردادی که با بهره‌بردار ناوگان یا تجمیع‌کننده منعقد نموده است، لحاظ می‌شود. هرگاه خودرو به شبکه وصل شود، تجمیع‌کننده یک برنامه شارژ برای خودرو در نظر می‌گیرد که از زمان اتصال آغاز و تا زمان تخمینی انفعال از شبکه تداوم می‌یابد.

3- فناوری خودرو به شبکه (V2G)

در حال حاضر، شبکه‌های قدرت از سیستم‌های ذخیره‌ساز بسیار ناچیزی برخوردار هستند و به همین دلیل، تطابق دادن میزان تولید و مصرف در آن‌ها نیازمند مدیریت و کنترل دائمی واحدهای تولیدکننده انرژی الکتریکی می‌باشند. از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان داده‌اند که به طور کلی خودروها تنها در 4% از زمان‌های یک روز برای

استفاده از خودروهای برقی در سال‌های اخیر در سامانه حمل و نقل کشورهای پیشرفته به سرعت افزایش یافته است. بطوری که شرکت‌های بزرگ خودروسازی تمایل بالایی به تولید انبوه این گونه خودروها دارند. در سال‌های اخیر در زمینه باتری‌های قابل شارژ که جز مهمی از خودروهای برقی را تشکیل می‌دهند، تحقیقاتی زیادی انجام شده است. زیرا این باتری‌ها ضمن تأمین انرژی مورد نیاز خودرو، محل مناسبی برای ذخیره انرژی الکتریکی محسوب می‌شوند.

در شبکه‌های هوشمند تلاش می‌شود که با توجه به منحنی بار شبکه و تفاوت قیمت برق در ساعات مختلف شبانه‌روز زمان‌بندی شارژ و دشارژ خودروها مدیریت شود. این روند به گونه‌ای است که شارژ خودرو عمدتاً به زمان غیر پیک و ارزانی برق سوق داده شده و بخشی از انرژی ذخیره شده در این منابع در ساعات پیک مصرف به شبکه فروخته گردد. این اقدام می‌تواند متضمن منافع متقابل طرفین باشد.

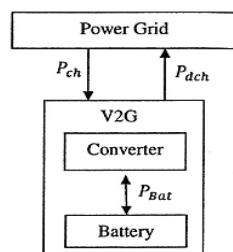
2- نقش خودروهای برقی در شبکه

اگرچه خودروهای الکتریکی، گزینه‌ی مناسبی برای جایگزینی خودروهای معمولی هستند، اما نگرانی عمده‌ای که در استفاده از این خودروها وجود دارد این است که در صورت فراگیر شدن این خودروها و اتصال آن‌ها به شبکه‌ی قدرت در زمان اوج مصرف، امکان اختلال در عملکرد شبکه و بروز خسارت به تجهیزات فراهم می‌شود. با توجه به این که زمان بازگشت این خودروها به محل سکونت، به دلیل پایان زمان کار اداری، با زمان اوج مصرف تداخل و همزمانی پیدا کند، این مشکل نمود پیدا خواهد کرد.

خودروهای برقی در ساعاتی که بار شبکه کم و قیمت انرژی پایین است، معمولاً در شب بهتر است شارژ شوند زیرا در ساعات کم‌باری که تقاضا پایین است، برخی از واحدهای تولید انرژی الکتریکی به ناچار در کمتر از ظرفیت نامی خودکار می‌کنند و برخی نیز متوقف می‌شوند. هنگامی که میزان تولید نیروگاه‌ها از مقدار تولید بهینه آن‌ها کمتر می‌شود، بازدهی آن‌ها نیز کاهش پیدا می‌کنند. از سوی دیگر، راه‌اندازی مجدد واحدهایی که متوقف شده‌اند نیز مستلزم مصرف مقداری سوخت بدون تولید انرژی الکتریکی است. علاوه بر این، توقف و راه‌اندازی مداوم واحدهای تولید و تغییر میزان توان تولیدی آن‌ها باعث فرسودگی و کاهش عمر مفید تجهیزات شده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را نیز افزایش می‌دهد. همچنین از آن‌جا که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث واحدهای تولید بسیار زیاد است، استفاده از آن‌ها در کمتر از ظرفیت نامی و یا استفاده از آن‌ها تنها در بخشی از ساعات روز، از نظر اقتصادی به صرفه نبوده و باعث افزایش هزینه‌های کل انرژی الکتریکی تولیدی می‌شود و همین موضوع برای تجهیزات سیستم انتقال نیز صادق است. تمامی این عوامل باعث می‌شوند که با کاهش شدید مصرف در ساعات کم‌باری، بازدهی و کارایی سیستم نیز کاهش پیدا کند. از سوی دیگر، همان‌طور که کاهش مصرف در ساعات کم‌باری تأثیرات نامطلوبی بر کارکرد شبکه ایجاد می‌کند، افزایش مصرف در ساعات پرباری نیز مشکلات فراوانی را به وجود می‌آورد. پایین بودن بازده تولید انرژی الکتریکی در ساعات پیک یکی از مشکلات اصلی صنعت برق در سراسر جهان محسوب می‌شود. علت اصلی این امر پایین بودن بازده واحدهای تأمین توان در

به شبکه را داشته و مطابق با نیازمندی‌ها و استانداردهای شرکت‌های عملیاتی در حوزه برق‌رسانی طراحی و ساخته شوند. دسته دیگر زیرساخت‌ها مربوط به نیازمندی‌های ارتباطی و اندازه‌گیری شبکه هوشمند است. برای راه‌اندازی V2G با تمامی کارکردها و مزایایی که پیش از این بدان پرداخته شد نیازمند شبکه‌ای هوشمند برای مدیریت و کنترل شارژ و دشارژ ماشین‌ها هستیم. راه‌اندازی شبکه هوشمند خود نیاز به اندازه‌گیری‌های هوشمند و سیستم‌های مخابراتی دارد. سیستم‌های مخابراتی در شبکه هوشمند با در نظر داشتن خودروهای الکتریکی می‌تواند به دو صورت PLC و بی‌سیم تشکیل گردد.

زمانی که خودروها در وضعیت پارک هستند، سرمایه‌ی بدون استفاده محسوب می‌شوند و حتی ممکن نیست موجب تحمیل هزینه‌هایی از قبیل هزینه پارک و ... گردند. V2G مفهومی است که برای بهره‌برداری از این سرمایه بلااستفاده طراحی شده است [5]. هر V2G دارای یک مبدل و یک باتری است و ساختار هر V2G را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت [6].



شکل 2 ساختار داخلی خودرو به شبکه.

توان تبادل V2G با شبکه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$P_{Ch} = \frac{P_{Bat}}{\eta c} \quad (1)$$

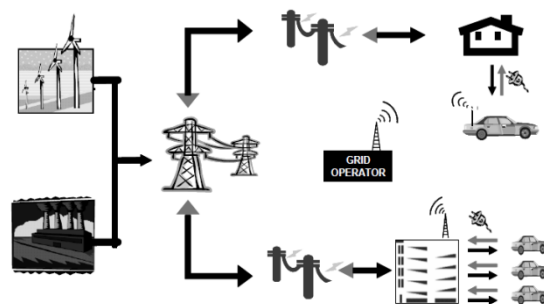
$$P_{dch} = P_{Bat} * \eta d$$

P_{Bat} مقدار توانی است که V2G می‌تواند به مبدل تحویل داده و یا از آن دریافت نماید. با راندمان ηc باتری را شارژ و راندمان ηd برق باتری را به شبکه تحویل می‌دهد. رابطه (1) نشان می‌دهد که اگر ηc و ηd واحد نباشند V2G باید توان بیشتری از آنچه ذخیره می‌کند برای شارژ باتری خود خریداری کرده و در حالی که توانی که به شبکه تحویل می‌دهد کمتر از توان ذخیره شده در باتری می‌باشد. بنابراین هرچه ηc و ηd به یک نزدیک‌تر باشد صاحب V2G از به کارگیری ظرفیت باتری خود، سود بیشتری به دست می‌آورد [7].

4- مدل‌سازی مسئله مدیریت تولید و ذخیره توان

در این بخش روابط ریاضی مسئله مدیریت انرژی تجدیدپذیر توصیف می‌شود. مسئله مدیریت انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با عدد صحیح می‌باشد. هزینه عملیاتی کل شبکه هوشمند که در آن تعداد زیادی تولیدات پراکنده و خودروهای الکتریکی یکپارچه شده است به صورت تابع زیر مدل شده است باید مینیمم شود. تابع هدف هزینه به صورت زیر شرح داده می‌شود.

حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند و در 96% درصد از ساعات روز بدون استفاده رها می‌شوند. با کمی دقت می‌توان دریافت که با افزایش تعداد خودروهای الکتریکی در سال‌های آینده، باتری‌های این خودروها می‌توانند یک سیستم ذخیره‌سازی قدرتمند با دسترس پذیری بالا را برای شبکه قدرت فراهم کنند. بدین صورت یک سرمایه بدون استفاده، به عنوان یک عنصر فعال در شبکه عمل کرده و انرژی ذخیره شده در باتری خود را در اختیار شبکه قرار دهند. آن چه سبب می‌شود خودروهای برقی مورد توجه ویژه قرار بگیرد، مفهوم فناوری خودرو به شبکه $V2G^2$ است. مفهوم V2G در ابتدا به دو سیستم بزرگ و مستقل از هم مربوط می‌شود، سیستم تولید توان و سیستم حمل و نقل. این مفهوم از طریق ارتباط دوجبهته بین این دو سیستم در محیط شبکه هوشمند تکمیل می‌شود. به عبارت دیگر، V2G به این معنی است که خودروهای الکتریکی توانایی گذر توان از شبکه به خودروها در زمان شارژ و انتقال توان از خودروها به شبکه را در حالتی که از این خودروها به عنوان ذخیره‌ساز استفاده می‌شود، دارا می‌باشد.



شکل 1 مفهوم خودرو به شبکه.

پس از عرضه خودروهای الکتریکی و هیبریدی که تنها قادر به دریافت برق از شبکه بودند با ایجاد تغییراتی ساده در مدارات قدرت این خودروها طرحی مرسوم به خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه V2G مطرح گردید. به نحوی که آن‌ها را قادر ساخت که بتوانند انرژی ذخیره شده در باتری خود را هنگام پارک به شبکه منتقل نمایند [2]. بنابراین V2G می‌تواند تبادل دوسویه‌ای با شبکه داشته و بدین ترتیب موجب ایجاد فرصت‌ها و موقعیت‌های مناسب زیادی می‌شود که باعث افزایش کارایی و قابلیت اطمینان بیشتری نیز می‌شود [3]. شبکه الکتریکی باید برای ایجاد گذر دو جهته‌توان و داده‌های مربوط به توان در بین اجزای شبکه و مصرف‌کنندگان جمع‌آوری اطلاعات انجام دهند، که نیاز به تهیه زیرساخت‌های شارژ و دشارژ، می‌باشد. نتیجه این پیچیدگی در گذر داده‌ها و انرژی، نیاز به گسترش استانداردهای هر قسمت از زنجیره ارزشمند V2G می‌باشد. این استانداردها شامل زیرساخت‌های فیزیکی در کنار استانداردهای مجازی که ارتباطات، امنیت داده‌ها، راحتی و انتقال اطلاعات در بین ذینفعان را در برمی‌گیرد، می‌باشد [4].

یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های لازم برای سیستم V2G، ایستگاه‌های شارژ و دشارژ سریع ماشین‌هاست که نیاز به استفاده از فناوری‌های نوین برای تولید آن‌ها دارد. این ایستگاه‌ها باید قابلیت اتصال دوسویه

²Vehicle to Grid

$X(v,t)$ و $Y(v,t)$ به ترتیب متغیرهای باینری مربوط به خودرو v ، حالت دشارژ و شارژ توان در یک دوره زمانی را نشان می‌دهد. در باتری هر خودروی برقی باید تعادل انرژی وجود داشته باشد. در حالت شار $E_S(v,t)$ انرژی ذخیره شده در باتری خودرو تا پایان دوره t است. $E_{trip}^{v,t}$ انرژی پایانی باتری خودروها قبل از حرکت در طول دوره t می‌باشد [8].

$$(6)$$

$$E_S(v,t) = E_S(v,t-1) + \eta_{EV}^C \times P_{EV}^{ch}(v,t) - E_{trip}^{v,t} - \frac{1}{\eta_{EV}^D} \times P_{EV}^{Dch}(v,t)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T\} \forall v \in \{1, \dots, N_v\}$$

η_{EV}^D و η_{EV}^C به ترتیب بازده شارژ و دشارژ برای خودرو v است. در هنگام شارژ و دشارژ به این مقدار تعریف شده تلفات داریم. محدوده شارژ و دشارژ برای هر خودروی برقی با توجه به نرخ شارژ و دشارژ باتری به شرح زیر است [8].

$$(7)$$

$$P_{EV}^{Dch}(v,t) \leq P_{Dch,v}^{Max} \times X(v,t)$$

$$P_{EV}^{ch}(v,t) \leq P_{ch,v}^{Max} \times Y(v,t) \forall t \in \{1, \dots, T\} \forall v \in \{1, \dots, N_v\}$$

$P_{Dch,v}^{Max}$ و $P_{ch,v}^{Max}$ حداکثر توان دشارژ و شارژ v امین خودروی برقی است.

در باتری خودروهای برقی برای جلوگیری از آسیب رسیدن به باتری، امکان تخلیه تا مینیمم سطح (ψ_v^{min}) و امکان شارژ تا ماکزیمم سطح (ψ_v^{max}) را دارد.

$$E_S(v,t) \leq \psi_v^{max} \quad (8)$$

$$E_S(v,t) \geq \psi_v^{min}$$

ψ_v^{min} و ψ_v^{max} به محدوده ظرفیت باتری برای هر خودروی برقی بستگی دارد و به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$(9)$$

$$\psi_v^{max} = \phi_v^{max} \times E_{Bat,v}^{max}$$

$$\psi_v^{min} = \phi_v^{min} \times E_{Bat,v}^{max}$$

$$\forall v \in \{1, \dots, N_v\}$$

ϕ_v^{min} و ϕ_v^{max} ماکزیمم ظرفیت باتری خودروی برقی است. حداکثر و حداقل ظرفیت باتری به درصد بیان شده است. مقدار انرژی ذخیره شده در باتری خودروهای برقی در آخرین دوره اتصال به شبکه قبل حرکت باید طوری باشد که انرژی موردنیاز برای حرکت را تأمین کند [8].

$$E_S(v,t_{last}^q) \geq E_{trip,q}^{v,t} \quad (10)$$

t_{last}^q نشان دهنده آخرین دوره زمانی که خودروی برقی به شبکه متصل شود و قبل از شروع q امین سفر زمان است.

5- الگوریتم Hybrid Big Bang-Big Crunch

الگوریتم BB-BC اولین بار در سال 2006 توسط Erol و Eksin ارائه شده است [9]. این الگوریتم از پدیده چگونگی آغاز و پایان کائنات به نام انفجار بزرگ در جهان هستی که مربوط به پیدایش

$$(2)$$

$$F^{cost} = \sum_{t=1}^T [P_{grid}(t) \times \Omega(t) + \sum_{i=1}^I U_i(t) \times P_{Gi}(t) \times B_{Gi}(t) + S_{Gi}(U_i(t) - U_i(t-1))] + \sum_{v=1}^{N_v} P_{EV}(v,t) \times \Omega(t)$$

$P_{grid}(t)$ و $\Omega(t)$ به ترتیب توان اکتیو موردنیاز خریداری شده از شبکه اصلی و قیمت برق در ساعات روز در طول دوره t است. I تعداد تولیدات پراکنده، P_{Gi} و B_{Gi} به ترتیب مقدار توان تولیدشده توسط تولیدات پراکنده برحسب کیلووات و نیز قیمت برق تولیدات پراکنده می‌باشد. S_{Gi} هزینه راه‌اندازی تولیدات پراکنده در دوره t زمانی است.

N_v تعداد خودروهای برقی $P_{EV}(v,t)$ مقدار توان خودرو در زمان t است. در این مطالعه، دوره تناوب t برابر با یک ساعت در نظر گرفته شده است. اگر خودرو در حال شارژ شدن باشد به عنوان بار وارد شبکه شده و سبب افزایش تابع هزینه می‌شود و اگر خودرو در حال دشارژ باشد، با علامت منفی وارد می‌شود و سبب کاهش تابع هدف می‌گردد.

4-1-1-4 قیود مسئله

4-1-1-4 تعادل بار

$$(3)$$

$$P_{grid}(t) + \sum_{i=1}^I P_{Gi}(t) + \sum_{v=1}^{N_v} P_{EV}^{Dch}(v,t) = D_t + \sum_{v=1}^{N_v} P_{EV}^{ch}(v,t)$$

به ترتیب مقدار شارژ و دشارژ خودرو $\forall t \in \{1, \dots, T\} \forall v \in \{1, \dots, N_v\}$ $P_{EV}^{ch}(v,t)$ و $P_{EV}^{Dch}(v,t)$ D_t کل توان اکتیو تقاضا شده در زمان t می‌باشد.

4-1-2-2 ظرفیت تولیدی توان اکتیو

توان خروجی که از هر تولیدات پراکنده خارج می‌شود در محدود بین حداقل و حداکثر مقدار توان تولیدی تعریف شده قرار دارد. همچنین در هر ساعت مقدار توان شبکه اصلی بین حداقل و حداکثر تعریف شده تجاوز نمی‌کند [8].

$$P_{Gi,min}(t) \leq P_{Gi}(t) \leq P_{Gi,max}(t) \quad (4)$$

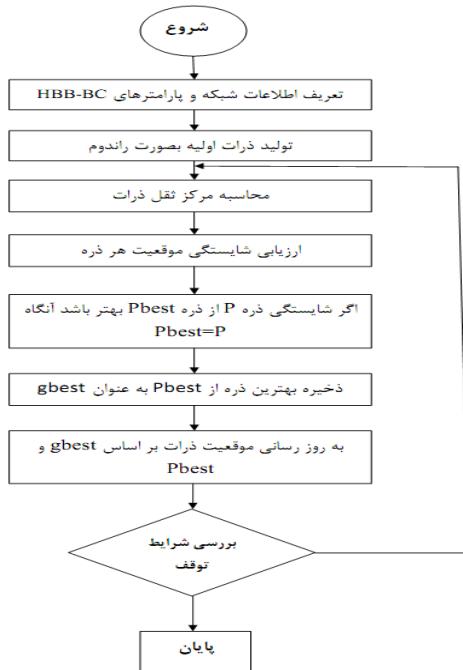
$P_{Gi,min}(t)$ و $P_{grid,min}(t)$ به ترتیب حداقل توان اکتیو I امین تولید پراکنده و شبکه در زمان t است که می‌توانند به شبکه موردنظر تزریق کنند. به طور مشابه $P_{Gi,max}(t)$ و $P_{grid,max}(t)$ حداکثر توان اکتیو I امین تولید و شبکه در ساعت t است. بیشتر از این مقدار نمی‌توانند در یک ساعت به شبکه موردنظر تزریق کنند.

4-1-3-3 قیدهای مربوط به خودروهای برقی

در یک دوره زمانی باتری خودروهای برقی همزمان شارژ و دشارژ نمی‌شوند.

$$X(v,t) + Y(v,t) \leq 1 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (5)$$

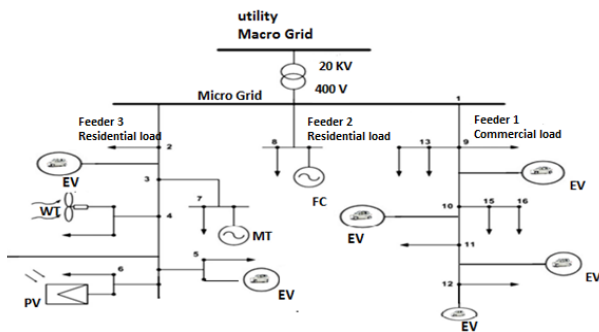
$$X, Y \in \{0, 1\} \forall v \in \{1, \dots, N_v\}$$



شکل 3 فلوچارت کلی الگوریتم بهینه‌سازی HBB-BC [12]

6- نتایج شبیه‌سازی

ریزشبکه مورد مطالعه در شکل (4) نشان داده شده است. این ریزشبکه، شامل شبکه اصلی و ده تولید پراکنده از جمله دو سیستم فتوولتائیک (PV)، دو پیل سوختی (PAFC)، چهار عدد میکروتوربین (MT)، چهار توربین بادی (WT) و همچنین در برخی از زمان‌ها خودروهای برقی تأمین‌کننده انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان می‌باشد.



شکل 4 شبکه توزیع مورد مطالعه

در شکل (5) منحنی بار قابل مشاهده است و همچنین قیمت انرژی در ساعات مختلف در شکل (6) نشان داده شده است. با توجه به منحنی بار، اوج مصرف برابر با 5072 کیلووات می‌باشد. در این شبکه قیمت برق در ساعات مختلف یکسان نیست در ساعت کم‌باری ارزان و در ساعات اوج مصرف قیمت برق بالا می‌باشد. استفاده از چند نرخی بودن قیمت برق به دلیل تشویق مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان می‌باشد تا با این کار مصرف در زمان پیک کمتر و تولید را افزایش دهند.

جهان است و انقباض بزرگ یا انهدام بزرگ که مربوط به درهم فرو رفتن عالم و پایان عمر آن است، الهام گرفته شده است. الگوریتم BBBC از دو مرحله تشکیل شده است و از لحاظ تولید جمعیت اولیه مشابه الگوریتم‌های تکاملی دیگر است.

مرحله تولید جمعیت اول را بیگ بنگ می‌گویند که در آن جمعیت بصورت تصادفی و یکنواخت روی کل فضای جستجو پخش می‌شوند. پس از آن نوبت به فاز بیگ کرانچ می‌رسد که در واقع یک عملگر همگرا کننده است [10]. این عملگر با تعداد زیادی ورودی، فقط یک خروجی دارد که به آن مرکز جرم گفته می‌شود و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X_i^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{X_j^{(k,j)}}{f_j}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{f_j}}, \quad i=1, 2, 3 \dots c \quad (11)$$

که در آن $X_i^{(k)}$ ، آمین جزء از مرکز ثقل در تکرار k ام می‌باشد، $X_i^{(k,j)}$ نیز جزء i ام از آمین ذره تولید شده در تکرار k ام می‌باشد. f_j مقدار تابع هدف نقطه j و n تعداد نقاط یا ذرات و c تعداد متغیرهای کنترلی می‌باشند.

اما در الگوریتم پیشنهادی HBB-BC با استفاده از ظرفیت‌های الگوریتم اجماع ذرات (PSO)، قابلیت جستجوی الگوریتم BB-BC بهبود می‌یابد و مانع به دام افتادن در نقاط بهینه محلی می‌شود. در الگوریتم HBB-BC همانند الگوریتم PSO برای یافتن مرکز از نقاط بهینه محلی و نقاط بهینه کلی برای تولید نقاط جدید استفاده می‌شود [11].

(12)

$$X_i^{(k+1,j)} = \alpha_2 X_i^{(k)} + (1 + \alpha_2)(\alpha_3 X_i^{gbest(k)} + (1 - \alpha_3) X_i^{pbest(k,j)}) + \frac{r_j \alpha_1 (X_{imax} - X_{imin})}{K + 1}$$

در رابطه (12) $A_i^{pbest(k,j)}$ بهترین مکان ذره i ام تا تکرار k ام می‌باشد و $A_i^{gbest(k)}$ بهترین مکان کلی تا تکرار k ام می‌باشد. ضرایب α_2 و α_3 پارامترهای قابل تنظیم می‌باشند که تاثیر نقاط بهینه محلی و کلی را کنترل می‌کنند. فلوچارت الگوریتم HBB-BC در شکل (3) نشان داده شده است.

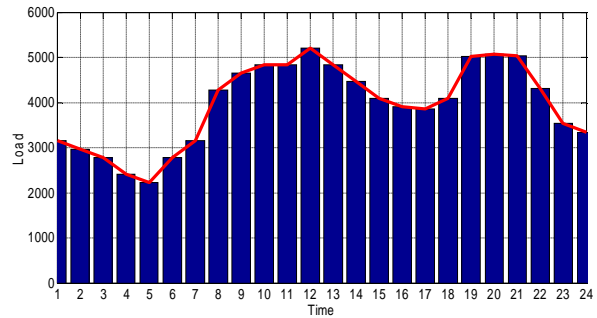
در این شبکه از 1000 خودروی برقی استفاده شده است که بر اساس شرایط یکسان صاحبان خودروها، در هفت گروه تقسیم بندی شده است [13]. در شبیه سازی انجام شده، اتصال خودرو در شبکه را با عدد یک، حضور نداشتن خودروها در شبکه با هدف حرکت را با عدد صفر و عدد دو برای حالت stand by در نظر گرفته شده است. حالت stand by حالتی است که خودروها متصل به شبکه مورد بررسی نبوده و همچنین در حرکت نیز نیستند (در شارژ و دشارژ شرکت نمی کند). در جدول (1) حضور و عدم حضور خودروهای برقی در شبکه نمایش داده شده است.

جدول 1 حضور و عدم حضور خودروهای برقی در شبکه [13]

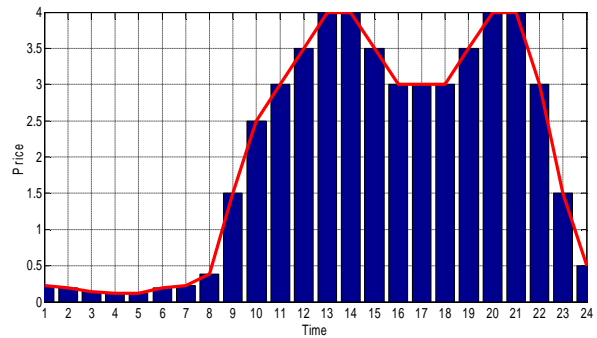
زمان	EV 1	EV 2	EV 3	EV 4	EV 5	EV 6	EV 7
1	1	1	1	1	1	2	7
2	1	1	1	1	1	2	6
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	1
5	1	1	1	1	1	2	1
6	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	2	2	1	1	0
9	1	1	2	2	1	1	0
10	1	1	2	2	1	1	0
11	1	1	2	2	1	1	1
12	1	1	2	2	1	1	1
13	1	1	2	2	1	1	1
14	1	1	2	2	1	1	1
15	1	1	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0	0	1
17	1	1	1	1	1	1	0
18	1	1	1	1	1	1	2
19	1	1	1	1	1	1	0
20	1	1	1	1	1	1	0
21	1	1	0	0	1	0	2
22	1	1	0	0	1	0	2
23	1	1	1	1	1	1	2
24	1	1	1	1	1	1	2

با توجه با اطلاعات مربوط به تعداد خودروهای برقی و زمان اتصال به شبکه، در این مقاله فرض بر این است که صاحبان خودروهای الکتریکی با سرعت ثابت حرکت کرده و هر خودرو در هنگام حرکت به طور متوسط در هر ساعت سه کیلووات توان مصرف کنند. نکته ای که در بررسی شبکه های هوشمند با وجود خودروهای الکتریکی باید به آن توجه کرد، انرژی ذخیره شده در باتری خودروها به منظور پوشش مسافت سفر است که باید به اندازه کافی باشد. در این مقاله خودرو شرکت نیسان با ظرفیت 24 کیلووات را مورد مطالعه قرار داده ایم و از مشخصات این خودروها استفاده کرده ایم.

برای تولیدات پراکنده و گروه های مختلف خودروهای برقی حداکثر و حداقل محدود تغییرات توان در هر ساعت در جدول (2) آورده شده

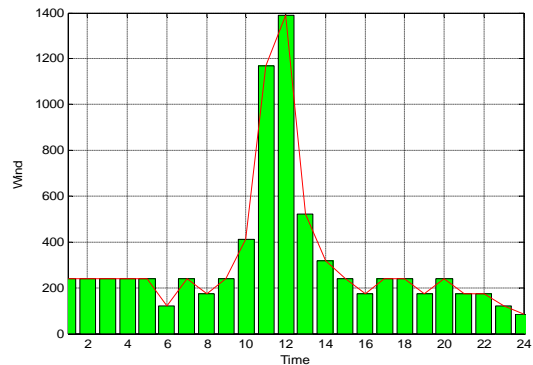


شکل 5 منحنی کل بار الکتریکی در شبکه مورد مطالعه [8]

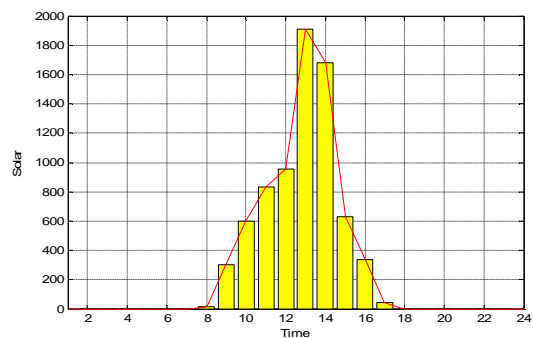


شکل 6 منحنی قیمت انرژی در 24 ساعت [8]

توربین های بادی (WT) و سیستم های فتوولتاییک (PV) در کل ساعات از شبانه روز نمی توانند مقدار ثابت تولید کنند. در شکل (7) منحنی تولید توان توسط توربین بادی و در شکل (8) منحنی تولید توان توسط سیستم فتوولتاییک مشخص شده است.



شکل 7 توان تولید شده توسط توربین بادی [8]



شکل 8 توان تولید شده سیستم فتوولتاییک [8]

است. محدوده تغییرات شارژ و دشارژ توان خودروهای برقی در هر ساعت با توجه به تعداد خودرو در هر دسته و مقدار توان چهار کیلووات به ازای هر خودرو انتخاب شده است.

جدول 2 حداکثر و حداقل محدوده تغییرات تولیدات پراکنده و خودروهای برقی در هر ساعت

تولید پراکنده	حد ماکزیمم	حدمینیم
MT	1000	200
PAFC	1000	200
PV	2000	0
WT	2000	0
EV1	800	-800
EV2	800	-800
EV3	400	-400
EV4	800	-800
EV5	600	-600
EV6	400	-400
EV7	200	-200
Network	10000	-10000

محدوده تغییرات شارژ و دشارژ هر گروه از خودروها تعیین شده است. مقدار مثبت در جدول (2) نشان دهنده مقدار توانی که خودروها در حالت شارژ می‌توانند دریافت کنند و مقدار منفی نشان دهنده مقدار توانی است که خودروها در حالت دشارژ می‌توانند تحویل دهند. حدود تغییرات مثبت و منفی برای شبکه اصلی بدین منظور است که امکان خریداری توان از شبکه مورد مطالعه وجود دارد.

به منظور افزایش عمر باتری، در هنگام دشارژ خودروها بهتر است حداقل 15% از شارژ باتری باقی بماند. مقدار شارژ باتری نیز نباید بیشتر از 90 درصد ظرفیت باتری باشد. در هر ساعت باید بررسی شود اگر خودروها به عنوان تحویل دهنده توان هستند، بعد از تحویل توان در هر ساعت توان هر گروه از خودروها نباید از حد مینیمم تعریف شده در جدول (3) کمتر شود و اگر به عنوان مصرف کننده باشند، با جذب توان در هر ساعت، مقدار توان جذب شده توسط هر گروه از خودروها نباید از حد ماکزیمم تعریف شده در جدول (4) بیشتر شود. در انتخاب این مقادیر با توجه به تعداد خودرو در هر گروه و نوع باتری خودروها و راندمان شارژ و دشارژ انتخاب شده است.

جدول 3 حداکثر و حداقل ظرفیت باتری

EV7	EV6	EV5	EV4	EV3	EV2	EV1	
1080	2160	3240	4320	2160	4320	4320	حد ماکزیمم
120	240	360	480	240	480	480	حد مینیمم

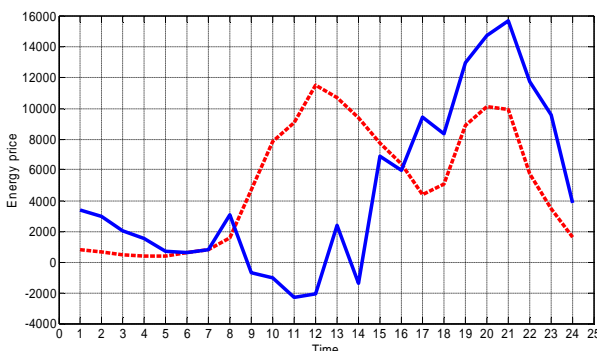
در جدول (4) هزینه تولید توان المان‌های تولیدکننده و همچنین هزینه راه‌اندازی به ازای هر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است.

جدول 4 هزینه تولید المان‌های تولیدکننده

WT	PV	PAFC	MT	
1/073	2/584	0/295	0/457	هزینه تولید توان
0	0	1/65	0/96	هزینه راه‌اندازی

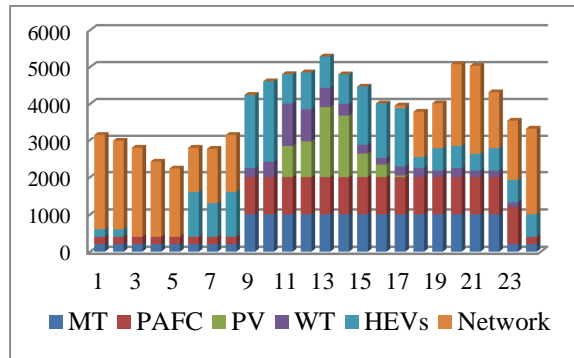
هزینه‌ی شارژ و دشارژ خودروهای برقی به ازای هر کیلووات برابر با 0/7 یورو در نظر گرفته شده است. این هزینه مربوط به هزینه اولیه، نگهداری، پارکینگ و... می‌باشد.

پس از ارائه الگوی مناسب شارژ و دشارژ خودروها توسط الگوریتم HBB-BC نتایج ثبت شده است. شکل (9) مربوط به هزینه کل شبکه مورد نظر در حالت بدون در نظر گرفتن خودرو و با در نظر گرفتن خودرو می‌باشد. منحنی خط چین قرمز مربوط به هزینه انرژی شبکه بدون در نظر گرفتن خودرو و منحنی خط آبی مربوط به هزینه انرژی در حالت با خودرو می‌باشد. در نمودار زیر مقدار منفی بیانگر سود برای صاحبان خودروهای برقی است. در ساعات 1 تا 5 منحنی خط آبی بالاتر از منحنی خط چین قرمز است این بدان معناست که با وجود خودروهای برقی هزینه افزایش پیدا کرده است. زیرا در این ساعات علاوه بر تأمین توان مورد نیاز مصرف کننده بایستی خودروها را نیز شارژ کنیم و این خود مستلزم پرداخت هزینه بیشتر خواهد شد. در ساعت اوج مصرف یعنی ساعات 11 تا 16 در نمودار زیر قابل مشاهده است که منحنی خط چین قرمز بالاتر از منحنی آبی می‌باشد. این بدان معناست با اضافه شدن خودروهای برقی به شبکه مورد نظر بخشی از انرژی مورد نیاز مصرف کننده را خودروهای برقی تأمین می‌کنند و خودروهای برقی به عنوان یک تولیدکننده عمل می‌کنند. ساعات 16 تا 22 هزینه انرژی با وجود خودروهای برقی نسبت به هزینه انرژی بدون خودروهای برقی بیشتر شده است. به این معناست که خودروهای برقی توان کافی برای دشارژ شدن را ندارند. معمولاً به عنوان مصرف کننده عمل می‌کنند. در ساعت 23 و 24 نیز به دلیل پایین بودن قیمت برق در این ساعات خودروهای برقی شارژ شده و به عنوان یک مصرف کننده عمل می‌کنند.



شکل 9 مقایسه هزینه انرژی شبکه با وجود خودروی برقی و بدون خودرو برقی

مجموع هزینه انرژی الکتریکی در 24 ساعت برای هر گروه از خودروها در جدول 5 نمایش داده شده است. می‌توان از مقادیر مثبت



شکل 11 مقادیر توان هر یک از تولیدکنندگان برای تأمین مصرفکنندگان

با توجه به تابع هدف، که به حداقل رساندن هزینه می‌باشد، بیان می‌کند در هر ساعت برای تأمین انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان چه مقدار توان از شبکه اصلی، تولیدات پراکنده و خودروهای برقی باشد تا هزینه حداقل شود. در این نمودار توان هر یک از تولیدات پراکنده و شبکه اصلی و خودروهای برقی بارنگ‌های مختلف نشان داده شده است.

7- نتیجه‌گیری

شبکه مورد نظر برای تأمین انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان علاوه بر شبکه اصلی از تولیدات پراکنده و سیستم ذخیره‌ساز استفاده کرده است. خودروهای برقی سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی هستند که می‌توانند به‌عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده ذخیره‌گردان و توان شبکه مورد توجه قرار بگیرند. از این رو با توجه به رویکرد هوشمند سازی در صنعت برق جهان، به‌کارگیری این منابع بیشتر از گذشته امکان‌پذیر شده است. از آن‌جا که باتری خودروها می‌توانند در مدت‌زمان چند میلی‌ثانیه بکار گرفته شوند، می‌توانند به‌خوبی و حتی باکیفیت بیشتر از منابع ذخیره نیروگاهی، به‌عنوان ذخیره‌گردان مدنظر قرار بگیرد. به همین جهت در این مقاله نقش باتری‌های خودروهای متصل به شبکه به‌عنوان تأمین‌کننده بار پیکربندی شده است.

قابلیت اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه منجر به چالش‌های جدید در مدیریت سیستم‌های قدرت شده است. داشتن روش‌های مناسب برای بهبود مدیریت شبکه هنگامی که تعداد زیادی از منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد مهم است. این مقاله بر روی مدیریت شبکه‌های الکتریکی با استفاده زیاد خودروهای الکتریکی که می‌توانند در فرایند V2G شرکت کنند متمرکز شده است.

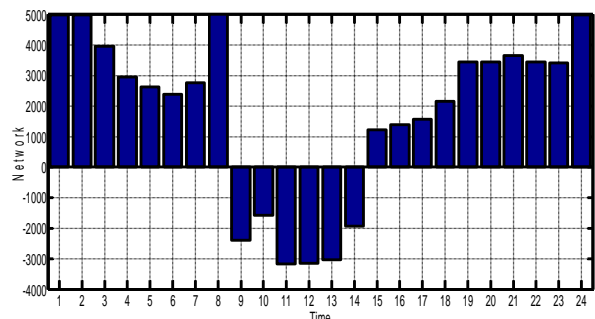
در این مقاله از الگوریتم HBB-BC به منظور مدیریت انرژی خودروهای برقی استفاده شده است. ابتدا شبکه مورد مطالعه مدل‌سازی شده و سپس با در نظر گرفتن قیود مربوط به امان‌های تولید و یا ذخیره انرژی، مدیریت بهینه انجام پذیرفته است. خودرو-های الکتریکی در زمان کم‌باری شارژ شده و در زمان اوج مصرف، توان ذخیره‌شده را در اختیار شبکه قرار داده در نتیجه سودی برای صاحبان خودروها به‌دست آمده است.

به این نتیجه رسید که هزینه خودروها بیشتر از درآمد شده است شارژ و دشارژ در ساعات مختلف به‌صورت بهینه انجام نشده است، این گروه از خودروها صرفه اقتصادی ندارد. مقادیر منفی بدان معناست که درآمد ناشی از فروش برق بیشتر از هزینه خودرو است. می‌توان گفت شارژ و دشارژ به‌درستی انجام شده است و بهینه‌ترین نتایج حاصل شده است.

نوع خودرو	هزینه کل
EV1	-۲۶۷۲/۰۵
EV2	-۲۰۳۲/۰۴
EV3	-۳۷۲/۶۴
EV4	-۳۰۸۲/۵۱
EV5	-۱۳۱۲/۲۷
EV6	-۲۴۲۰/۷۰
EV7	۲۴۷/۸۰

جدول 5
برای هر گروه

هزینه کل انرژی الکتریکی شبکه مورد بررسی با وجود خودروهای الکتریکی برابر 11644/42- محاسبه شده است. می‌توان به این نتیجه رسید که با وجود خودروها، هزینه کل کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه منفعت برای صاحبان خودرو حاصل می‌شود. در شکل (10) میزان توان مبادله شده با شبکه نشان داده شده است.



شکل 10 نمودار مربوط به توان شبکه اصلی

با توجه به تعریف انجام شده، شبکه اصلی این توانایی را دارد که توان به شبکه مورد نظر تزریق کرده و همچنین از شبکه مورد نظر توان جذب کند. در ساعات یک تا هشت به دلیل پایین بودن قیمت برق، شبکه اصلی به‌عنوان تزریق‌کننده توان محسوب شده است. در ساعات نه تا 14 مطابق نمودار، مقادیر منفی است که نشان می‌دهد نه تنها شبکه اصلی در این ساعات توان تزریق نکرده بلکه در این ساعات از شبکه مورد بررسی توان جذب کرده است. در ساعات 15 تا 24 نیز شبکه اصلی به‌عنوان تزریق‌کننده توان محسوب می‌شود. در شکل (11) نمودار مربوط به مقادیر توان هر یک از تولیدکنندگان در هر ساعت نشان داده شده است.

مراجع

- 8- Moghaddam.A ,Seifi .A, Niknam .T, "Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source"Contents lists available at SciVerseScienceDirect .Energy vol .36 p.p. 6490-6507, 2011.
- 9- Erol, O. and Eksin, I., 'New optimization method: Big Bang-Big Crunch', Elsevier, Advances in Engineering Software, vol. 37, pp. 106-111, 2006.
- 10- Camp, C.V., 'Design of space trusses using Big Bang – Big Crunch optimization', Journal of Structural Engineering, vol.133, no. 7, pp. 999-1008, 2007.
- 11- Kaveh, A. and Talatahari, S., 'Size optimization of space trusses using Big Bang – Big Crunch algorithm', Computers and Structures, vol.87, pp. 1129-1140, 2009.
- 12- Sedighzadeh, M., Ahmadi, S., Sarvi, M., 'An Efficient Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Multi-objective Distribution System Reconfiguration in Fuzzy Framework' Electric power components and system. Vol. 41, pp. 75-99, 2013.
- 13- Zakariazadeh,A ; Jadid, Sh ; Siano ,P. " Multi-objective scheduling of electric vehicles in smart distributionsystem"Energy Conversion and Management vol 79 ,p.p.43-53, 2013.
- 1-Hay ,C. Togeby, M. Bang, N, C. Sondergren ,C. Hansen, L,H. "Introducing Electric Vehicles into the Current Electricity Markets" ,Edison consortium, 2010.
- 2-Tomic, J.; Kempton ,W. "Using fleets of electric-drive vehicles for grid support". Journal of Power Sources ;Vol168, p.p.459-68, 2007.
- 3-Katraš ti k, T" Energy conversion phenomena in plug-in hybrid-electric vehicles". Energy Convers Manage, vol :52 p.p.2637-2650 ,2011.
- 4- Mark Leo, KripalKavi, Hanns Anders, Brian Moss, "Ancillary Service Revenue Opportunities from Electric Vehicles via Demand Response", April 2011.
- 5-Moura , F.; Schratzenholzer, L. "Driving energy system transformation with vehicle-to-grid power", International Institute for Applied Systems Analysis, Tech. Rep, 2006
- 6-C.Hutson, et al, "Intelligent scheduling of hybrid and electric vehicle storage capacity in a parking lot for profit maximization in power transactions, ", Vol.64, pp 1-8, 2008
- 7-Abolfazli, M.; Bahmani, M.H. ;Afsharnia, S. ; Ghazizadeh, M.S., "A probabilistic method to model PHEV for participation in electricity market", Electrical Engineering (ICEE) conference, pp. 1-5, 2011.