

هماهنگی روز-پیش عملیات خودروهای الکتریکی و منابع انرژی بادی در برنامه-ریزی امنیت مقید مشارکت واحدها (SCUC)

محمد جواد عبدالهی^(۱) - مجید معظمی^(۲)

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۰

خلاصه: در این مقاله برنامه‌ریزی امنیت مقید مشارکت واحدها (SCUC) در حضور همزمان منابع انرژی بادی^۲ و خودروهای قابل اتصال به شبکه (PEV) مورد مطالعه قرار گرفته است. برنامه‌ریزی SCUC موجب فراهم آوردن یک جدول زمان‌بندی بهینه برای مشارکت واحدهای تولیدی با هدف حداکثر کردن امنیت و حداقل‌سازی هزینه و همچنین ارضای قیود شبکه و واحدها، در یک بازه زمانی، به عنوان یکی از زمینه‌های بسیار مهم تحقیقاتی در سیستم‌های قدرت است. امروزه ارتباط بین ذخیره‌کننده‌های انرژی و شبکه توجه بسیاری از پژوهشگران و بهره‌برداران شبکه را به خود معطوف کرده است. از جمله نوین‌ترین راه کارهای پیشنهادی برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی خودروهای الکتریکی و انرژی بادی برای تامین توان است و در حال حاضر یکی از راهبردهای موثر برای بررسی اثرات ناشی از اتصال V2G^۴ و مزرعه بادی در بهره‌برداری بهینه از شبکه تولید، اجرای SCUC بر روی شبکه‌های قدرتی است که V2G و مزرعه بادی به شین‌های آن متصل‌اند. در این مقاله از روش تئوری بازیها برای حل مسئله روز-پیش مشارکت واحدها به صورت قطعی با در نظر گرفتن قید امنیت در حضور همزمان V2G و واحد بادی استفاده شده است. مسئله در دو سناریوی مختلف کنترل خودروها به دست بهره‌بردار و مصرف‌کننده در سه روز متفاوت با بارهای کم، متوسط و زیاد بررسی شده است. نتایج حاصل از مطالعات عددی نشان دهنده تاثیر حضور V2G و انرژی بادی بر کاهش هزینه‌های تولید و بهبود شاخص‌های بهره‌برداری سیستم قدرت می‌باشد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قید امنیت (SCUC)، خودروهای قابل اتصال به شبکه (V2G)، انرژی باد.

Day-Ahead Coordination of Vehicle-to-Grid Operation and Wind Power in Security Constraints Unit Commitment (SCUC)

Mohammad Javad Abdollahi⁽¹⁾ - Majid Moazzami⁽²⁾

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Isfahan, Iran

m.abdollahi1370@gmail.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Isfahan, Iran

m_moazzami79@yahoo.com

In this paper security constraints unit commitment (SCUC) in the presence of wind power resources and electrical vehicles to grid is presented. SCUC operation prepare an optimal time table for generation unit commitment in order to maximize security, minimize operation cost and satisfy the constraints of networks and units in a period of time, as one of the most important research interest in power systems. Today, the relationship between power network and energy storage systems is interested for many researchers and network operators. Using Electrical Vehicles (PEVs) and wind power for energy production is one of the newest proposed methods for replacing fossil fuels. One of the effective strategies for analyzing of the effects of Vehicle 2 Grid (V2G) and wind power in optimal operation of generation is running of SCUC for power systems that are equipped with V2G and wind power resources. In this paper, game theory method is employed for deterministic solution of day-ahead unit commitment with considering security constraints in the simultaneous presence of V2G and wind power units. This problem for two scenarios of grid-controlled mode and consumer-controlled mode in three different days with light, medium and heavy load profiles is analyzed. Simulation results show the effectiveness of the presence of V2G and wind power for decreasing of generation cost and improving operation indices of power systems.

Index Terms: Security constraints unit commitment (SCUC), vehicle 2 grid (V2G), wind energy.

نویسنده مسئول: مجید معظمی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، نجف‌آباد، اصفهان، ایران، m_moazzami79@yahoo.com

RDRi	نرخ شیب کاهش واحد i	CF	تابع هزینه
K	اندیس تکه‌ای از منحنی	L	اندیس خطوط
Si,t	شیب تکه‌ای K ام از منحنی خطی شده	t	اندیس زمان
Pi,k	توان خروجی واحد i ام از تکه‌ی k	i	اندیس واحد حرارتی
V	اندیس خودرو	Pi,t	توان تولیدی واحد i در زمان t
NV2G,t	تعداد خودروهای متصل به شبکه در زمان t	Pi,tmax	حداکثر توان تولیدی واحد i در زمان t
XL	اندوکتانس خط L	Ui,t	وضعیت روشن بودن (۱) و خاموش بودن (۰) واحد i در زمان t
SOC	سطح شارژ	Dt	میزان بار در زمان t
Pl,t	توان منتقل شده از خط L در زمان t	SUCi	هزینه‌ی راه‌اندازی واحد i
Plmax	حداکثر ظرفیت خط	SDCi	هزینه‌ی خاموش کردن واحد i
Plmin	حداقل ظرفیت خط	Rt	رزرو سیستم در زمان t
b	اندیس باس	RURi	نرخ شیب افزایشی واحد i

۱- مقدمه

امروزه با افزایش روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی توسط مصرف کنندگان و با توجه به متغیر بودن توان مصرفی سیستم در طول شبانه-روز و با ایام هفته، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق جهت بهره‌برداری مناسب از نیروگاه‌ها جز نیازمندی‌های اساسی در راهبری سیستم‌های قدرت محسوب می‌شود. در یک سیستم قدرت، مقدار بار عموماً در طی روز و اوایل شب که بارهای صنعتی فعال و سیستم‌های روشنایی روشن هستند بالا و در اواخر شب و صبح زود، پایین است. در طی هفته نیز مصرف انرژی الکتریکی متغیر است و بار در روزهای کاری نسبت به روزهای تعطیل متفاوت می‌باشد. لذا با توجه به متغیر بودن بار و عدم امکان ذخیره انرژی الکتریکی، ارائه‌ی روش دقیق جهت در مدار قرار دادن تعداد کافی واحدهای نیروگاهی به منظور تامین بار با کمترین هزینه تولید توان و انرژی الکتریکی امری ضروری به حساب می‌آید [۱-۳].

در مدار قرار دادن نیروگاه‌ها وضعیت روشن و خاموش بودن هر واحد را برای هر ساعت از یک دوره مشخص تعیین می‌کند و توزیع بار را برای بار مورد نیاز و ذخیره‌ی چرخان انجام می‌دهد. موضوع دیگر، تاثیر قید آلودگی بر میزان تولید واحدها و همچنین وضعیت روشن و خاموش بودن واحدها در طول دوره‌ی مورد بررسی است [۴].

هدف از حل مساله UC به حداقل رساندن هزینه عملکرد نیروگاه‌ها با توجه به تامین بار در یک دوره‌ی مشخص می‌باشد. هزینه‌ی کل برای هر واحد نیروگاهی، شامل هزینه سوخت، هزینه راه‌اندازی و همچنین هزینه‌ی خاموشی واحدها می‌باشد.

در پژوهش‌های گذشته، تکنیک‌های بسیاری به منظور حل پیچیدگی‌های مساله مشارکت واحدها بکار گرفته شده است. در این راستا، روش‌های بهینه‌سازی لیست حق تقدم^۱ [۱]، روش رهاسازی لاگرانژ^۳ [۳]، روش شاخه و کران^۴ [۴]، برنامه‌ریزی پویا^۵ [۵]، برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی (MIP)^۶ [۶] برای حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها پیشنهاد شده است. در مراجع [۷] و [۸] روش لیست حق تقدم به منظور تعیین حالت مشارکت انتخاب واحدها توسعه داده شده است. در [۸] حق تقدم واحد تولیدی بر اساس هزینه‌های تولید متوسط آنها

تعیین شده و پس از یکایک‌شماری از تمام ترکیبات واحد در سطح بار به دست آمده می‌توان لیست حق تقدم را طراحی کرد. در مراجع [۸] و [۹] استفاده از یک لیست حق تقدم ابتکاری برای واحدها در زمان راه‌اندازی و مرتب‌سازی بر اساس هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های انتقال برای حل UC پیشنهاد شده است. در [۱۰] از روش رهاسازی لاگرانژ برای حل مسئله بهینه‌سازی ترکیبی غیرخطی و عدد صحیح UC واحدهای حرارتی استفاده شده است. استفاده از برنامه‌ریزی خطی و روش شاخه و کران در مرجع [۱۱] برای حل UC ارائه شده است.

مسئله برنامه‌ریزی به مدار آمدن واحدهای حرارتی با توجه به قیود سیستم و بهره‌برداری شامل توازن توان، رزرو چرخان، نرخ شیب محدوددهی تولید توان واحدها و غیره فرمول‌بندی می‌شود. مسئله مشارکت واحدها معمولاً به صورت یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی غیرخطی با اعداد صحیح فرمول‌بندی می‌شود [۱۲]. معمولاً هدف شرکت‌های تولید کننده توان فراهم آوردن خدمات با حداقل هزینه‌ی تولید و بهره‌برداری است. در این برنامه‌ریزی، توان تولیدی باید تقاضای بار مورد نظر را تامین کند. اگر در حل مسئله UC حفظ امنیت مورد تاکید باشد، مسئله جدید، برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قید امنیت (SCUC) نامیده می‌شود. در این برنامه‌ریزی، سه پارامتر تامین بار، حداکثرسازی امنیت و حداقل‌سازی هزینه به عنوان اهداف نهایی مسئله حاضر در نظر گرفته می‌شود، به طوری که در SCUC، تامین بار قیدی سخت و اجباری است. برای بهره‌برداری ایمن از شبکه قدرت، واحدهای تولیدی باید به گونه‌ای توزیع شده باشند که بتوان عبوری از خطوط انتقال از حدود خود خارج نشوند. حداکثرسازی امنیت اغلب با حفظ محدوددهی فلوی خطوط تامین می‌شود. در حالی که حداقل‌سازی هزینه با مشارکت واحدهای ارزان‌تر و توزیع اقتصادی بار در میان واحدهای شرکت‌کننده، تامین می‌شود [۱۳].

پیشرفت سریع تکنولوژی در سالهای اخیر، موجب توجه بیش از پیش بهره‌برداران شبکه‌های قدرت به بکارگیری هم‌زمان منابع جدید تولید انرژی است. فناوری خودرو به شبکه (V2G) یکی از منابع جدید انرژی است. خودروهای الکتریکی هیبرید با قابلیت اتصال به شبکه، نوعی از

توان این مزارع با یک نسبت قابل توجهی از ظرفیت تولید واحدهای حرارتی در شبکه نصب شود باعث بروز عدم قطعیت‌های بیشتری در بهره‌برداری از شبکه قدرت می‌گردد. به طوری که منابع نیروگاهی متداول برای جبران این تغییرات دچار چالش‌های فراوانی می‌شوند.

در این مقاله به برنامه‌ریزی همزمان روز پیش مسئله SCUC به همراه خودروهایی برقی قابل اتصال به شبکه در سه سطح بار کم، متوسط و زیاد پرداخته شده است. در حقیقت، این پژوهش به بررسی کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از به کارگیری خودروهایی الکتریکی و وارد مدار شدن همزمان واحدهای تولید سنتی می‌پردازد. مسئله SCUC-V2G، یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی با قیود متغیرهای باینری و پیوسته است. با توجه به آنکه حل مسئله SCUC در زمینه محاسبات نرم به عنوان یک مسئله پیچیده شناخته می‌شود، اضافه شدن V2G و واحد بادی به این مسئله، موجب افزایش ابعاد و پیچیدگی‌های بیشتر محاسباتی آن خواهد شد. در این راستا، مسئله حاضر به صورت یک مسئله غیرخطی با متغیرهای پیوسته و گسسته فرمول‌بندی و از تکنیک برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح و غیر صحیح استفاده شده است [۱۴] و [۱۵]. برای اجرای بهینه‌سازی از نرم‌افزار GAMS و روش CPLEX که در حل مسائل ترکیب اعداد صحیح بسیار کارا می‌باشد، استفاده شده است [۱۷]. این مقاله شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

در بخش ۲ فرمول‌بندی همزمان SCUC در حضور خودروهایی قابل اتصال به شبکه و واحد بادی بیان شده و مطالعات موردی و نتایج شبیه‌سازی در بخش ۳ بیان شده است. در انتها به نتیجه‌گیری این مطالعه پرداخته شده است.

۲- فرمول‌بندی مسئله SCUC به همراه نیروگاه بادی و خودرو

برقی (V2G) در حالت قطعی

۱-۲- فرمول‌بندی مسئله SCUC-V2G

مسئله SCUC یک مسئله بهینه‌سازی عددی صحیح ترکیبی است. به علت پیچیدگی قابل ملاحظه مسئله حاضر و همچنین فراهم‌سازی امکان حل توسط نرم‌افزار GAMS، تابع هدف و کلیه قیود غیرخطی مسئله باید به صورت خطی و در قالب حل‌کننده MIP برای برنامه GAMS تبدیل شود.

۲-۲- تابع هدف

تابع هدف مسئله SCUC-V2G به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود. قسمت اول این رابطه مربوط به هزینه‌های بهره‌برداری شبکه و قسمت دوم هزینه‌های خودروها می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری شبکه شامل هزینه تولید، هزینه خاموشی و هزینه راه‌اندازی واحدها می‌شود. در این ساختار هزینه راه‌اندازی معمولاً به عنوان تابعی از میزان ساعاتی که واحد مربوطه از مدار خارج بوده بیان می‌شود. هدف از رابطه (۱) حداقل کردن هزینه بهره‌برداری شبکه در ارتباط با سیستم و ارضا کردن محدودیت‌های حاکم است.

خودروهایی الکتریکی هیبرید هستند که قادر هستند تا انرژی الکتریکی را از شبکه الکتریکی دریافت کرده و برای سیستم محرکه خودرو استفاده نمایند. خودروهایی برقی با قابلیت اتصال به شبکه با توجه به دارا بودن سیستم ذخیره‌کننده انرژی، به عنوان منابعی ارزشمند که قابلیت ارائه خدمات مختلفی به سیستم قدرت را دارند، شناخته می‌شوند. این خودروها در زمان‌هایی که پارک و به شبکه وصل هستند می‌توانند به شبکه انرژی بدهند و یا به عنوان یک منبع تامین کننده ذخیره گردان مورد استفاده واقع شوند. از جمله مزایای دیگر استفاده از خودروهایی برقی می‌توان به مواردی مانند تولید برق اضطراری منازل، تولید برق در زمان پیک مصرف، سرویس‌های کمکی مورد نیاز شبکه مانند رزرو چرخان، کنترل اتوماتیک تولید توان راکتیو و پایداری خطوط اشاره کرد. از مهمترین مزایای آن می‌توان به قیمت پایین انرژی الکتریکی و مسایل زیست محیطی اشاره کرد.

با پیشرفت فناوری‌های مربوط به ذخیره‌سازهای الکتریکی و مباحث الکترونیک قدرت، شرکت‌های بزرگی مانند تویوتا، شورلت و تسلا تصمیم به تولید انبوه خودروهایی الکتریکی گرفته‌اند. به طوری که نسل جدیدتر این خودروها با قابلیت اتصال به شبکه‌ی الکتریکی تولید شده‌اند که امکان تبادل انرژی الکتریکی با شبکه قدرت را برای مشترکین صاحبان این نوع خودروها فراهم می‌آورد. با توجه به برنامه‌هایی که برای گسترش هر چه بیشتر این فناوری در آینده نزدیک و در کشورهای گوناگون تدوین شده است [۱۴]، پرداختن به ابعاد مختلف تاثیرگذاری این فناوری بر شبکه‌ی قدرت ضروری به نظر می‌رسد. در چند سال اخیر با توجه به بحران نفت و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی به ویژه در کشورهای صنعتی موضوع جایگزینی اتومبیل‌های کنونی با خودروهایی برقی مورد توجه جدی قرار گرفته است.

با افزایش روز افزون قیمت سوخت‌های فسیلی و با توجه به مشکلات زیست محیطی مرتبط با بکارگیری منابع تولید سنتی انرژی، منابع تولید به‌خصوص تولید انرژی به روش بادی به صورت چشمگیری مورد توجه قرار گرفته است. سریع‌ترین رشد از منابع انرژی تجدیدپذیر را انرژی باد داشته است [۱۵]. نفوذ انرژی بادی باعث کاهش هزینه بهره‌برداری و انتشار گازهای خطرناک گلخانه‌ای شده است. با این حال تغییر پذیری انرژی باد می‌تواند اثرات سوء بر امنیت دینامیکی و استاتیکی سیستم‌های قدرت تحمیل کند. مرجع [۱۶] ذخیره‌سازی یکپارچه برای کاهش تاثیر تغییرات انرژی باد ساعتی در سیستم‌های قدرت را مورد مطالعه قرار داده است. یکی از مشکلات بهره‌برداری در هنگام استفاده از انرژی باد که موجب نگرانی می‌شود، عدم قطعیت در سرعت باد و در نتیجه تولید توان بادی است. این امر از ماهیت احتمالی وزش باد می‌باشد. تغییرات زیاد، کنترل‌پذیری کم از جمله مواردی است که در زمان استفاده از انرژی باد باید به آن توجه شود. به دلیل خصوصیات تصادفی انرژی باد، ورود چنین منابعی به چرخه تولید به پیچیدگی‌های مربوط به برنامه‌ریزی‌های شبکه می‌افزاید، همچنین به دلیل متغیر بودن سرعت باد در مزرعه بادی، در شبکه‌هایی که تولید

$$\sum_{i \in B_b^i} P_{i,t} + \sum_{v \in B_b^v} P_v \cdot N_{V2G,t} - \sum_{D_b} D \quad (9)$$

$$= \sum_{i \in L_{f,b}} P_{1,t} - \sum_{i \in L_{1,b}} P_{1,t}$$

- محدوده‌ی فلوی گذرا از خطوط توان منتقل شده از هر خط باید در محدوده‌ی مجاز باشد.

$$- P_1^{\max} \leq P_{1,t} \leq P_1^{\max} \quad (10)$$

$$P_{1,t} = \frac{\theta_b - \theta_{b0}}{X_1} \quad (11)$$

بهای تراکم انتقال زمانی رخ می‌دهد که سیستم توسط محدودیت‌های فیزیکی، مقید شود. بنابراین، یک روش منطقی قیمت‌گذاری انتقال باید برخی سیگنال‌های اقتصادی را برای انعکاس بها به علت قیود فیزیکی، تأمین کند. یک گزینه این است که بها را بر اساس قیمت‌های محلی نهایی (LMP) قرار دهیم. یعنی اینکه، بهای تراکم برای مسیر مشخص مساوی حاصلضرب توان انتقالی مسیر و اختلاف قیمت بین دو انتهای مسیر باشد.

LMP، هزینه نهایی عرضه افزایش بعدی انرژی الکتریکی در یک شین بخصوص با ملاحظه هزینه نهایی تولید و ویژگی‌های فیزیکی سیستم انتقال است. در تعریف دیگر LMP، هزینه اضافی برای تأمین یک مگاوات اضافی در یک گره بخصوص است. با استفاده از LMP، خریداران و فروشندگان، قیمت واقعی تحویل انرژی به نقاط موجود در سیستم انتقال را تجربه می‌کنند. با استفاده از معادله (۱۱) می‌توان LMP های مربوط به باس‌ها را به دست آورد.

$$\sum_{i \in B_b^i} P_{i,t} + \sum_{w \in B_b^w} P_{w,t} + \sum_{v \in B_b^v} P_{v,t} \quad (12)$$

$$- \sum_{d \in D_b} P_{D,t}^d = \sum_{l \in L_{f,b}} PL_{1,t} - \sum_{l \in L_{1,b}} PL_{1,t}$$

تابع هدف در رابطه (۱) با توجه به قیودی که مطرح شد حداقل می‌شود.

۳- مطالعه موردی

۳-۱- شبکه ۶ باسه

در این بخش، به منظور ارزیابی اثر بخشی روش پیشنهادی در کاهش هزینه‌ی بهره‌برداری ناشی از مشارکت بهینه‌ی واحدهای حرارتی و خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه، یک شبکه ۶ باسه قدرت مورد مطالعه قرار داده شده است.

$$\min CF = \min \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T [fc_i \cdot P_{i,t} + SUC_{i,t} + SDC_{i,t}] U_{i,t} \quad (1)$$

$$+ \sum_{t=1}^T (P_v \cdot N_{V2G} \cdot Price)$$

در رابطه (۱) f_{Ci} هزینه‌ی سوخت واحدهای حرارتی می‌باشد که به صورت یک تابع درجه دوم و غیرخطی بیان می‌شود.

$$fc_i(P_{i,t}) = a_i + b_i P_{i,t} + C_i \cdot P_{i,t}^2 \quad (2)$$

در صورتی که از رابطه (۲) در مسئله بهینه‌سازی استفاده شود یک مسئله غیرخطی ترکیبی با اعداد حقیقی به دست می‌آید.

جهت خطی‌سازی، توابع هزینه به صورت تکه‌ای خطی مدل می‌شوند.

$$fc_i(P_{i,t}) = f_i(P_{i,t}^{\min}) U_{i,t} + S_{i,t1} \cdot P_{i,t1} + \dots + S_{i,tn} \cdot P_{i,tn} \quad (3)$$

$$\text{for } k = 1, 2, \dots, n \quad 0 < P_{i,t,k} < P_{i,t,k}^+$$

قیود مسئله

- رزرو چرخان

برای حفظ پایداری شبکه، مقدار تعیین شده رزرو چرخان که در هر زمان مورد نیاز است $P_v^{\max} \cdot N_{V2G,t}$ در رابطه (۴) به عنوان مقدار تولیدی توسط خودروها در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{i=1}^n U_{i,t} \cdot P_{i,t}^{\max} + P_v^{\max} \cdot N_{V2G,t} \geq D_t + R_t \quad (4)$$

- محدوده تولید توان واحد حرارتی

$$P_{i,t}^{\min} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max} \quad (5)$$

- قید نرخ شیب واحدها

خروجی هر ساعت از واحد حرارتی توسط قید نرخ شیب محدود می‌شود.

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq RUR_i \quad (6)$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t} \leq RDR_i \quad (7)$$

- مقدار شارژ (SOC)

هر کدام از $V2G$ ها باید یک سطح مطلوبی از شارژ در زمان اتصال به شبکه داشته باشند.

- محدودیت کاهش توان نیروگاه بادی

$$P_{w,t} + P_{D,w,t} = p_{f,w,t} \quad (8)$$

محدودیت کاهش قطعی باد در رابطه (۸) بیان شده که در آن توان بادی محدود شده و توزیع شده با حالت پیش‌بینی توان بادی یکسان است. قطع واحد بادی از سیستم زمانی رخ می‌دهد که توانایی شیب کاهشی واحدهای حرارتی ناکافی بوده یا تراکم انتقال قابل توجهی برای به کارگیری توان بادی موجود در سیستم قدرت وجود داشته باشد.

- تعادل توان سیستم

تفاضل توان تولیدی و توان مصرفی در همان باس باید برابر با توان‌های ورودی و خروجی از طریق خطوط متصل شده به آن باس باشند. در

$$\text{رابطه (۹)} \quad \sum_{v \in B_b^v} P_v \cdot N_{V2G,t}$$

متصل به شبکه می‌باشد.

Table (1): Hourly load and wind power profile

جدول (۱): پروفیل ساعتی بار و توان تولیدی باد

زمان <i>h</i>	بار کم		بار متوسط		بار زیاد	
	توان بار	توان یاد	توان بار	توان یاد	توان بار	توان یاد
1	133.32	67.2	163.23	10.4	170.84	63.6
2	135.86	67.2	146.5	108	184.52	49.2
3	129.27	75.6	131.8	116.4	194.66	36
4	124.7	76.8	122.8	116.4	203.79	34.8
5	122.8	72	62.118	109.2	210.38	36
6	122.68	63.6	117.1	105.6	214.43	26.4
7	125.21	49.2	117.61	103.2	218.99	49.2
8	130.28	39.6	122.17	97.2	221.53	43.2
9	132.82	44.4	135.86	82.8	222.54	49.2
10	139.91	38.4	161.2	79.2	223.05	45.6
11	147.52	49.2	176.92	75.6	218.99	45.6
12	152.59	44.4	179.96	93.6	211.39	8.40
13	154.61	26.4	178.95	93.6	203.28	34.8
14	154.11	31.2	177.93	79.2	201.76	30
15	151.07	55.2	176.41	51.6	197.2	36
16	148.53	75.6	173.37	38.4	175.9	34.6
17	150.56	66	171.85	40.8	154.11	68.4
18	164.75	46.8	169.82	40.8	139.91	76.8
19	183	75.6	171.34	34.8	131.3	76.8
20	183.51	90	189.59	44.4	126.73	68.4
21	180.47	98.4	203.79	52.8	124.7	55.2
22	174.38	104.4	202.77	42	125.72	26.4
23	164.25	110.4	197.2	56.4	133.32	32.4
24	149.54	103.6	190.1	64.8	154.6	37.2

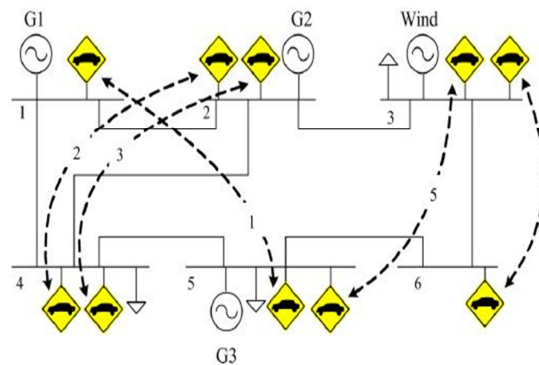
Table (2): Transmission line data

جدول (۲): اطلاعات خطوط انتقال

Line ID	From Bus	To Bus	Impedanc (P.u)	Capacity (MW)
1	1	2	0.170	65
2	1	4	0.258	70
3	2	4	0.197	40
4	5	6	0.140	40
5	3	6	0.018	75
6	2	3	0.037	80
7	4	5	0.037	65

نتایج مربوط به بار زیاد

شکل (۲) توان شارژ و دشارژ خودروها در بار زیاد در ۵ ناوگان را نشان می‌دهد که بالاترین توان شارژ مربوط به ناوگان اول در ساعت ۲۴ و برابر با ۴/۲۱۴۷۶ مگاوات و همچنین بالاترین توان دشارژ مربوط به ناوگان اول در ساعت ۱۹ و برابر با ۱۴/۸۸۵۱ مگاوات به دست آمده است. شکل (۳) LMP های مربوط به باس‌های ۱ و ۳ و ۵ را در بار زیاد نشان می‌دهد. بالاترین LMP در ساعت ۲۴ برابر با ۳۰/۷۴۵ دلار بر مگاوات ساعت می‌باشد که در این ساعت تمام ناوگان‌های خودروها شارژ شده‌اند و کمترین LMP در ساعت ۱۹ اتفاق افتاده است. در این ساعت هر پنج ناوگان دشارژ شده‌اند و مقدار آن برابر ۷/۰۱ دلار بر مگاوات ساعت می‌باشد. با توجه به این مقادیر نتیجه می‌گیریم که شارژ و دشارژ خودروها روی LMP اثر دارند.



شکل (۱): شبکه قدرت ۶ باسه

Fig. (1): 6 Bus power system

سیستم نشان داده شده در شکل (۱)، ادغام PEVها را در شبکه قدرت بررسی می‌کند. در این شکل، ۳ واحد تولیدی حرارتی روی باس‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ خط انتقال و یک واحد بادی روی شین ۳ قرار گرفته و تعداد خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه در ۵ ناوگان، که هر ناوگان تعدادی را به خود اختصاص می‌دهد تقسیم‌بندی شده‌اند که نحوه قرار گرفتن خودروهای برقی در شکل (۱) نشان داده شده است. در جدول (۱) پروفیل ساعتی بار و توان تولیدی بر حسب مگاوات در بازه ۲۴ ساعته برنامه‌ریزی برای سه بارگذاری کم، متوسط و زیاد نشان داده شده است. در جدول (۲) اطلاعات خطوط انتقال سیستم مورد مطالعه آورده شده است.

فرض شده است که از کل بارهای موجود در شبکه، ۳۵٪ روی باس ۳ و ۳۵٪ روی باس ۴ و ۳۰٪ روی باس ۵ قرار دارد. خودروها در موقعیت‌های گوناگون بر اساس ویژگی‌های حرکتی‌شان در ناوگان‌ها دسته‌بندی می‌شوند. انرژی قابل دسترس، ماکزیم/مینیم ظرفیت و شارژ توان و ساعت‌های حرکت و توقف خودروها در ۵ ناوگان در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

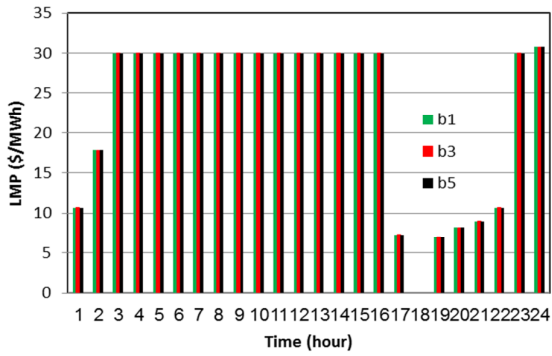
شبکه مورد نظر را در دو حالت مورد مطالعه قرار می‌دهیم:

حالت ۱: حل مسئله به صورت قطعی در حالتی که کنترل خودرو در دست بهره‌بردار شبکه است.

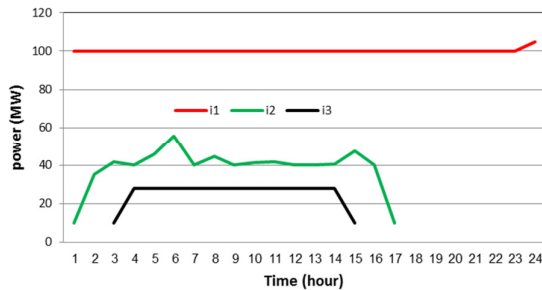
حالت ۲: حل مسئله به صورت قطعی در حالتی که کنترل خودرو در دست مصرف‌کننده یا صاحب خودرو است.

حالت ۱: حل مسئله به صورت قطعی و کنترل خودرو در دست بهره‌بردار شبکه

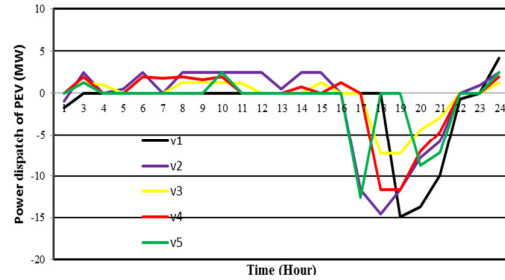
در این مورد ۳ بارگذاری سبک، متوسط و سنگین در بازه برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته و تعداد ۱۰۰۰۰ خودرو برقی روی ۵ ناوگان طبق جدول (۳) با بازه شارژ (نسبت انرژی ذخیره شده در باتری به انرژی گرفته شده از شبکه) ۸۵٪ و انرژی مورد نیاز برای هر PEV، در روز برابر ۹ KWh و انرژی مورد نیاز ساعتی ناوگان‌ها به ترتیب ۷/۶۵، ۹، ۲/۲۵، ۷/۲۰، ۴/۵۰ مگاوات ساعت در نظر گرفته شده است. در ادامه به عنوان نمونه نتایج سناریوی بارگذاری زیاد ارائه و در مورد نتایج آن بحث شده است.



شکل (۳): LMP های باس‌ها مربوط به بار زیاد
Fig. (3): Buses LMPs for heavy load profile



شکل (۴): توان تولیدی ژنراتورهای حرارتی
Fig. (4): Hourly power generation of thermal generators



شکل (۲): مقادیر ساعتی توان شارژ و دشارژ خودروها
Fig. (2): Hourly charge and discharge power of PEVs

در شکل (۴) توان تولیدی واحدهای حرارتی مربوط به بار زیاد نشان داده شده است. میانگین تولید ژنراتورهای حرارتی ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب ۱۰۰/۲۰۹۰ و ۲۷/۲۵۹۷ و ۱۳/۶۶۶۷ مگاوات و انحراف استاندارد واحدهای حرارتی ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب ۱/۲۳۹۳ و ۲۰/۳۱۹۳ و ۱۳/۷۳۸۷۶ به دست آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که انحراف استاندارد تولید واحد دوم از دو واحد دیگر بیشتر می‌باشد. پس از اعداد انحراف استاندارد می‌توان نتیجه گرفت که تولید توان توسط ژنراتور اول یکنواخت‌تر از دو واحد دیگر است و فقط در ساعات آخر برنامه‌ریزی دچار افزایش تولید توان بوده است و چون واحد اول ارزان‌تر از دو واحد دیگر می‌باشد بیشترین سهم تولید توان را بر عهده داشته است. هزینه بهره‌برداری از سیستم برای بار زیاد برابر ۷۰۴۰۴/۲۸۸۲۴۴ دلار به دست آمده است.

Table (3): Charge and discharge characteristics of PEVs
جدول (۳): مشخصات شارژ و دشارژ PEVها

PEV Fleet No.	Min Cap. (Mwh)	Max Cap. (Mwh)	Min Charge/Discharge (MW)	Max Charge/Discharge (MW)	a (\$/MW ²)	b (\$/MW)	C (\$/h)ss
1	13.152	65.76	7/3/6/2	24/8/21/08	0.17	8.21	0
2	10.96	54.8	7/3/6/2	14/58/12/4	0.20	8.21	0
3	5.48	27.4	7/3/6/2	7/29/6/2	0.41	8.21	0
4	8.768	43.84	7/3/6/2	11/67/9/92	0.25	8.21	0
5	10.96	54.8	7/3/6/2	14/58/12/4	/20	8.21	0

Table (4): PEVs fleet travel characteristics
جدول (۴): مشخصات سفر ناوگان خودروها

PEV Fleet No.	Number Of PEVs	First Trip				Second Tripe			
		Departure		Arrival		Departure		Arrival	
		Time	Bus	Time	Bus	Time	Bus	Time	Bus
1	3400	6:00	5	8:00	1	17:00	1	19:00	5
2	2000	7:00	4	8:00	2	16:00	2	17:00	4
3	1000	5:00	4	7:00	2	16:00	2	18:00	4
4	1600	5:00	6	6:00	3	17:00	3	18:00	6
5	2000	7:00	6	9:00	3	18:00	3	20:00	5

Table (5): Hourly unit commitment in two under study scenario

جدول (۵): مشارکت ساعتی واحدهای حرارتی در دو سناریوی تحت مطالعه

حالات	بارها	ساعت واحد	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
			حالت اول	بار کم	۱ واحد	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
۲ واحد	1	1			1	1	1	1	1	0	0	0	0	0			
۳ واحد	1	1			1	1	1	1	0	0	0	0	0	1			
بار متوسط	۱ واحد	0		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1			
	۲ واحد	1		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
	۳ واحد	1		1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0			
بار زیاد	۱ واحد	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	۲ واحد	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	۳ واحد	0		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
حالت دوم	بار کم	۱ واحد	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1			
		۲ واحد	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0			
		۳ واحد	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1			
	بار متوسط	۱ واحد	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			
		۲ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
		۳ واحد	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	بار زیاد	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
		۲ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
		۳ واحد	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
حالات	بارها	ساعت واحد	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
			بار کم	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
				۲ واحد	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
				۳ واحد	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
			بار متوسط	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				۲ واحد	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				۳ واحد	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
			بار زیاد	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				۲ واحد	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
				۳ واحد	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			حالت دوم	بار کم	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
					۲ واحد	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
					۳ واحد	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
				بار متوسط	۱ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
					۲ واحد	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
					۳ واحد	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
				بار زیاد	۱ واحد	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
					۲ واحد	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
					۳ واحد	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0

و زیاد را نشان می‌دهد که عدد ۰ نشان‌دهنده خاموش و عدد ۱ نشان دهنده روشن بودن واحد است. از جدول (۵) مشخص است که فقط در حالت اول و زمانی که بار سیستم زیاد است باید واحد اول در ۲۴ ساعت برنامه‌ریزی در مدار قرار گیرند و در تأمین بار مورد نیاز شرکت کند. در همین حالت در ۷ ساعت آخر روز واحد دوم هیچ مشارکتی برای تأمین بار مورد نیاز ندارد. همچنین در حالت اول مربوط به بار متوسط واحد اول در ۹ ساعت اول روز خاموش می‌باشد و هیچ توانی تولید نمی‌کند.

مورد ۲: حل مسئله به صورت قطعی در حالتی که کنترل خودرو در دست مصرف کننده یا صاحب خودرو است.

در این مورد فرض بر این است که باتری خودرو زمان ترک خودرو از پارکینگ کاملاً شارژ شده باشد. هزینه بهره‌برداری در بارهای کم و متوسط و زیاد به ترتیب ۴۵۴۸۷/۳۵۶۷ و ۵۳۴۸۷/۳۵۶۲۳ و ۱۲۴۳۵۷/۷۱۸۹۷ دلار به دست آمده است.

جدول (۵) مشارکت ساعتی واحدهای تولیدی حرارتی را در ۲۴ ساعت برنامه‌ریزی در دو حالت مورد مطالعه و مربوط به بارهای کم و متوسط

۴- نتیجه‌گیری

خواهند کرد. زمانی که مصرف‌کنندگان مقدار شارژ خودروها را تنظیم می‌کنند، هزینه‌های بهره‌برداری شبکه افزایش خواهد یافت و ظرفیت‌های خودروها برای انتقال انرژی بین موقعیت‌ها محدود می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زمانی که کنترل خودرو در دست مصرف‌کننده قرار دارد، هزینه بهره‌برداری نسبت به زمانی که کنترل خودرو در دست بهره‌بردار شبکه می‌باشد افزایش یافته است.

در این مقاله مسئله مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قید امنیت به همراه خودروهای قابل اتصال به شبکه در ۵ ناوگان و حضور انرژی باد در بارهای کم و متوسط و زیاد تجزیه و تحلیل شده است. هنگامی که خودروها به شبکه متصل می‌شوند، می‌توانند انرژی جذب شده را در باتری خود ذخیره کرده و در زمان و مکان‌های دیگر به منظور کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شبکه، انرژی را به شبکه تزریق کنند. به طور واضح مشخص است که هزینه بهره‌برداری شبکه با حل مسئله مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قید امنیت در صورت حضور خودروها کاهش یافته است. خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه می‌توانند به طور مؤثری انرژی را در سراسر شبکه انتقال دهند. خودروها همچنین می‌توانند هزینه عملکرد شبکه را با توجه به فراهم کردن ذخیره انرژی برای منابع انرژی تجدیدپذیر کاهش دهند. هزینه‌های شارژ و دشارژ خودروها، ظرفیت ذخیره محدود، انرژی مورد نیاز برای حرکت خودروها و محدودیت‌های SOC اعمال شده توسط مصرف‌کنندگان، کاهش را در هزینه‌های بهره‌برداری شبکه محدود

پی‌نوشت:

1. Security Constrained Unit Commitment
2. Wind Energy
3. Plug-in Electric Vehicle
4. Vehicle-to-Grid
5. Priority list
6. Lagrangian Relaxation
7. Branch & Bound
8. Dynamic Programming
9. Mixed Integer Programming
10. Locational Marginal Price

References

- [1] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, Power generation operation and control, 2nd ed, New York: Wiley, 1996.
- [2] G. B. Sheble, "Solution of the unit commitment problem by the method of unit periods", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 1, pp. 257-260, Feb. 1990.
- [3] F. Zhuang, F. D. Galiana, "Toward a more rigorous and practical unit commitment by Lagrangian relaxation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 2, pp. 763-772, May 1988.
- [4] A. L. Cohen, M. Yoshimura, "A branch-and-bound algorithm for unit commitment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PAS-102, No. 2, pp. 444-451, Feb. 1983.
- [5] W. L. Snyder, H. D. Power, J. C. Rayburn, "Dynamic programming approach to unit commitment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 2, No. 2, pp. 339-350, May 1987.
- [6] J. A. Muckstadt, R. C. Wilson, "An application of mixed-integer programming duality to scheduling thermal generating systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PAS-87, No. 12, pp. 1968-1978, Dec. 1968.
- [7] C. J. Baldwin, K. M. Dele, R. F. Dittich, "A study of the economic shutdown of generating units in daily dispatch, Part III, Power Apparatus and Systems, Trans. of the American Institute of Electrical Engineers, Vol. 78, No. 4, pp. 1272-1284, 1959.
- [8] R. H. Kerr, J. L. Scheidt, A. J. Fontana, J. K. Wiley, "Unit commitment", IEEE Trans. on Power Apparatus Systems, PAS-85, pp. 417-421, 1966.
- [9] R. R. Shoults, S. K. Chang, S. Helmick, W. M. Grady, "A practical approach to unit commitment, economic dispatch and savings allocation for multiple-area pool operation with import/export constraints", IEEE Trans. on Power Apparatus Systems, Vol. 99, No. 2, pp. 625-633, Mar. 1980.
- [10] F. N. Lee, "Short-term unit commitment-a new method", IEEE Trans. on Power System, Vol. 3, No. 2, pp. 691-698, May. 1988.
- [11] H. Duoa, H. Sasakia, T. Nagatab, H. Fujitac, "A solution for unit commitment using Lagrangian relaxation combined with evolutionary programming", Electric Power Systems Research, Vol. 51, No. 1, pp. 71-77, July 1999.
- [12] G. B. Sheble, G. N. Fahd, "Unit commitment literature synopsis", IEEE Trans. on Power System, Vol. 9, No. 1, pp. 128-135, Feb. 1994.
- [13] Z. Chen, L. Wu, M. Shahidehpour, "Effective load carrying capability evaluation of renewable energy via stochastic long-term hourly-based SCUC", IEEE Trans. on Sustainable Energy, Vol. 6, No. 1, pp. 188-197, Jan. 2015.
- [14] H. Daneshi, A. K. Srivastava, "Security-constrained unit commitment with wind generation and compressed air energy storage", IET Generation, Transmission and Distribution, Vol. 6, No. 2, pp. 167-175, Feb. 2012.
- [15] C. Wang; Z. Lu; Y. Qiao, "A Consideration of the Wind Power Benefits in day-ahead scheduling of wind-coal intensive power systems", IEEE Trans. on Power System, Vol. 28, No. 1, pp. 236-245, Feb. 2013.
- [16] "Global wind 2008 report, Global wind energy Council (GWEC)", Online available: <http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Global%20Wind%202008%20Report.pdf>
- [17] "GAMS user Guide", Online Available: <http://www.Gams.com>.