ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی منابع پاسخ‌گوی بار و خودروهای برقی بر برنامه‌ریزی مشارکت تولید

سحر مبشری [۱]،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان [۱]،
sahar.mobasheri@yahoo.com

علیمراد خواجه زاده [۲]
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان [۲]
alikhajezadeh@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

امروزه با توجه به روند رو به رشد مصرف، افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. از طرفی تجدیدساختار راهکارهای متنوعی را در راستای مدیریت بار، پیش‌رو برنامه‌ریزان قرار می‌دهد. از جمله این موارد می توان از برنامه های مدیریتی بار و خودروهای برقی نام برد، که فوایدی از جمله کاهش پیک بار، کاهش هزینه بهره‌برداری و آلایندگی و هم‌چنین به تعویق انداختن احداث نیروگاه‌های جدید را به دنبال خواهند داشت. در مقاله پیش‌رو، از منابع پاسخ‌گویی بار به عنوان منبعی مجازی برای تدارک رزرو استفاده شده است. بنابراین به منظور بررسی اثرات توأمان منابع پاسخ‌گو بار و خودروهای برقی بر برنامه‌ریزی تولید مشارکت نیروگاها از دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی، مدلی خطی آمیخته با اعداد صحیح ارائه شده‌است. مدل ارائه شده با استفاده از بهینه‌ساز *CPLEX* در محیط نرم‌افزار *GAMS* حل شده است. در مدل پیشنهادی؛ برنامه‌ریزی هم‌زمان انرژی و رزرو، وضعیت تعهد واحدها، سهم تأمین تقاضا با بهره‌گیری از خودروهای برقی، و میزان مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های پاسخ-گویی بار در افق تحت مطالعه با هدف کمینه‌سازی هم‌زمان هزینه و آلایندگی مشخص می‌گردد. ساختار پیشنهادی به شبکه ۱۰ واحدی *IEEE* اعمال شده و نتایج حاصله حاکی از مؤثر بودن مدل پیشنهادی در کاهش آلاینده‌های انتشاریافته و هزینه‌های سیستم می‌باشد.

واژه های کلیدی: برنامه‌ریزی انرژی و رزرو ، برنامه تعهد تولید، برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح ، خودروهای برقی ،منابع پاسخ‌گوی بار.

۱-مقدمه

امروزه با افزایش مصرف انرژی و هم‌چنین اهمیت ملاحظات زیست‌محیطی، زمان و میزان مصرف انرژی به چالش مهمی مبدل شده است. در محیط تجدید ساختاریافته، مدیریت سمت تقاضا یکی از گزینه‌های اثرگذار بر سیاست‌های حوزه تصمیم‌گیری انرژی می‌باشد. پاسخ تقاضا (DR) را می‌توان ایجاد تغییر در مصرف توسط مشترکین از حالت طبیعی مصرف آن‌ها در پاسخ به تغییرات قیمت برق در طول زمان تعریف کرد. انجمن انرژی آمریکا، پاسخ‌گویی تقاضا را تغییر در الگوی مصرف انرژی توسط مصرف‌کنندگان، در پاسخ به تغییر قیمت برق در طول زمان، یا برنامه‌های اقتصادی طرح شده برای تشویق به عدم مصرف در زمان افزایش قیمت و یا کاهش قابلیت اطمینان؛ معرفی کرده است. به‌طور کلی برنامه‌های پاسخ‌گویی بار به دو دسته کلی

www.SID.ir

برنامه‌های تشویقی محور و برنامه‌های تعرفه زمانی تقسیم می‌شوند که هریک به زیر گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]. برنامه‌های پاسخ‌گویی فوایدی را از جمله کاهش هزینه، کاهش آلایندگی، بهبود قابلیت اطمینان، کاهش وابستگی به منابع فسیلی و افزایش درآمد ناشی از کاهش سرمایه‌گذاری بر روی احداث نیروگاه‌های جدید را به دنبال خواهند داشت [۲].

از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع فسیلی و آلاینده بودن این منابع، بخشی از تمرکز مطالعات سیستم های قدرت بر روی منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی می‌باشد. یکی از این روش های پیشنهادی استفاده از خودروهای برقی می‌باشد که تا حدودی این مشکلات را مرتفع می‌سازد. خودروهای برقی با قابلیت اتصال به شبکه، خودروهایی هستند که در صورت اتصال به شبکه قابلیت مبادله دو جهته توان را دارا می‌باشند [۳]. اگر تعداد قابل توجهی از خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه به صورت هماهنگ تحت مدیریت هوشمندانه یک نهاد مشترک به شبکه متصل شوند، با توجه به سخت‌افزارهایی که در این نوع خودروها و همچنین پارکینگ‌ها نصب شده است، می‌توانند همانند یک نیروگاه مجازی کوچک با سرعت راه‌اندازی بسیار بالا و بدون هزینه راه‌اندازی رفتار کنند (V2G). همچنین این نوع خودروها هنگام شارژ باتری همانند یک بار مصرفی رفتار کرده و از شبکه انرژی دریافت می‌کنند (G2V). از جمله فواید این تکنولوژی می‌توان به مسطح نمودن پروفیل بار تدارک رزرو سیستم، تنظیم فرکانس و پیک‌سایی اشاره نمود [۴].

در این مقاله، در راستا بررسی فواید اقتصادی و زیست‌محیطی برنامه‌های مدیریتی سمت تقاضا و خودروهای برقی، مدلی هزینه-آلاینده محور از برنامه‌ریزی تعهد تولید واحدهای نیروگاهی در حضور منابع پاسخ‌گویی بار و خودروهای برقی ارائه شده است.
مسئله برنامه‌ریزی تولید با هدف تعیین وضعیت راه‌اندازی اقتصادی نیروگاه‌ها در بازه زمانی تحت مطالعه و درنظرگیری محدودیت‌های مربوطه انجام می‌گیرد. به‌طور کلی برنامه‌ریزی تعهد تولید واحدهای تولیدی یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده با ماهیت برنامه‌ریزی مختلط با اعداد صحیح می‌باشد. در دهه‌های اخیر روش‌های متنوعی شامل روش‌های قطعی، ابتکاری و ترکیبی برای حل مسئله مذکور به‌کار گرفته شده است. روش‌های قطعی مبتنی بر روش‌های ریاضی‌محور می‌باشند و توانایی یافتن جواب در مسائلی با مقیاس بزرگ را در بازه زمانی تعریف‌شده ندارند [۵]-[۶]. این محدودیت منجر به معرفی روش‌های ابتکاری گردید [۷]-[۸]. گرچه روش‌های ابتکاری قادر به حل مسائل پیچیده می‌باشند اما الزاماً یافتن جواب بهینه را تضمین نمی‌نمایند [۹]. با توجه به نیاز به یافتن جواب بهینه در مسائل برنامه‌ریزی تولید، روش‌های ترکیبی مورد توجه قرار گرفتند [۱۰]-[۱۱]. علاوه براین در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از نرم‌افزار تجاری GAMS در حل این مسئله مورد توجه قرار گرفته است [۲]-[۱۲].

در مقاله پیش‌رو، به منظور بررسی اثرات توأمان منابع پاسخ‌گوی بار و خودروهای برقی بر روی برنامه‌ریزی مشارکت تولید، ساختاری اقتصادی-زیست‌محیطی محور ارائه شده است. در این جا از منابع پاسخ‌گویی بار به عنوان منبعی مجازی برای تدارک رزرو استفاده شده است. هم‌چنین فرض را بر این گرفته که شارژ خودروهای برقی از طریق منابع تجدیدپذیر صورت گرفته است، لذا هیچ‌گونه هزینه‌ای را بر سیستم تحمیل نمی‌کنند. ساختار پیشنهادی؛ وضعیت تعهد واحدها، برنامه‌ریزی رزرو و انرژی، میزان مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و سهم تأمین تقاضا با بهره‌گیری از خودروهای برقی به نحوی تعیین می‌کند که هزینه کل سیستم و میزان آلایندگی به‌طور هم‌زمان کمینه گردند. ساختار روش پیشنهادی در قالب یک مسأله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح (MILP) پیاده‌سازی می‌شود. شاخصه مهم روش MILP انعطاف‌پذیری، قابلیت مدلسازی صحیح و اندازه‌گیری مستقیم بهینگی یک جواب می‌باشد. امروزه روش‌های متعددی برای حل مسائل MILP به‌کار می‌روند. در این‌جا از بهینه‌ساز CPLEX برای حل مسئله مذکور، استفاده شده است.

در این مقاله به صورت زیر ساختار یافته است: مدل پیشنهادی مسئله برنامه‌ریزی مشارکت تولید واحدهای نیروگاهی در حضور منابع پاسخ‌گویی و خودروهای برقی در بخش دوم به تفصیل بیان شده‌است. سومین بخش نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد و سرانجام نتیجه‌گیری بحث در بخش آخر بیان شده است.

۲-توصیف مدل

در مدل پیشنهادی برقراری ارتباط بین منابع متداول تولید نیروگاهی، خودروهای برقی و منابع مجازی تولید سمت مصرف حائز اهمیت می‌باشد. سازوکار مدل بدین صورت می‌باشد که در ابتدا مشخصات واحدهای نیروگاهی، بار، خودروهای برقی و پیشنهادات سمت تقاضا برای شرکت در برنامه‌های DR در اختیار اپراتور مستقل سیستم (ISO) قرار می‌گیرند. پس از دریافت کلیه اطلاعات، ISO برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای نیروگاهی را در حضور منابع DR و خودروهای برقی انجام می‌دهد. تابع هدف پیشنهادی مسئله به صورت (۱) می‌باشد که w_c و w_e به ترتیب ضرایب وزنی مربوط به ترم هزینه و آلایندگی می‌باشند.

$$\begin{aligned} &Minimize\ O.F. \\ &w_c\begin{pmatrix} Cost_{OP}+Cost_{ST}+ \\ Cost_{RE}+Cost_{DR} \end{pmatrix}+w_e\left(Emitted_{PO}\right). \qquad (۱) \\ &where: \quad w_e+w_c=1. \end{aligned}$$

توضیحات مربوط به ترم‌های تابع هدف در ادامه بیان شده است.
هزینه سوخت واحدهای تولیدی تابعی درجه دو از توان تولیدی می‌باشد که در (۲) نشان داده شده و می‌توان آن را با چندین

Archive of SID

www.SID.ir

بلوک تکه‌ای خطی تخمین زد که در (۳) فرموله شده است. $a(i)$، $b(i)$ و $c(i)$ ضرایب تابع سوخت و $P(i,t)$ توان تولیدی نیروگاه می‌باشد. $\underline{F}(i)$ حد پایین هزینه به ازاءِ مینیمم تولید، و $P_m(i,t)$ و $b_m(i)$ نیز به ترتیب، توان تولیدی در قسمت m تابع سوخت خطی در دوره t، و شیب بخش m در تابع سوخت خطی نیروگاه i می‌باشند. تعداد بلوک‌های تابع هزینه خطی و تعداد نیروگاه‌ها به ترتیب با N_{SF} و N_G نشان داده می‌شوند. وضعیت تعهد نیروگاه i در هر دوره با $u(i,t)$ مدل شده است؛ اگر واحد تولیدی در مدار باشد $u(i,t)$ یک و در غیر این‌صورت صفر می‌باشد.

$$Cost_{OP}:\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_G}\Big(a(i)+b(i)P(i,t)+c(i)P^2(i,t)\Big). \quad (۲)$$

$$Cost_{OP}:\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_G}\left(\underline{F}(i)u(i,t)+\sum_{m=1}^{N_{SF}}P_m(i,t)b_m(i)\right). \quad (۳)$$

هزینه راه‌اندازی واحدهای متعهد در (۴) مدل شده است.

$$Cost_{ST}:\Big[1-u(i,t-1)\Big]\begin{cases}HSC(i); & if:\\ T_{i,t}^{D}\le MD_i^{ON}\le T_{i,t}^{D}+C_i^{ST}\\ CSC(i); & if:\\ T_{i,t}^{D}>T_{i,t}^{D}+C_i^{ST}\end{cases} \quad (۴)$$

هر نیروگاه قیمتی را برای تدارک رزرو سیستم، $\pi(i)$، پیشنهاد می‌دهد. لذا با توجه به قیمت‌های پیشنهادی انرژی و رزرو، سطح ظرفیت رزرو هر واحد، $url(i,t)$ ، مشخص می‌گردد.

$$Cost_{RE}:\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_G}url(i,t)\pi(i) \quad (۵)$$

هزینه پرداختی به مشترکین در ازاءِ کاهش بار و مشارکت در برنامه‌های مدیریتی تقاضا در (۶) مدل شده است. در صورت مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های مدیریتی تقاضا، حداقل میزان مشارکت در هر دوره زمانی $\underline{\sigma}(t)$ میبایستی از یک مقدار از پیش تعیین شده که توسط ISO تعیین می‌گردد، بزرگتر باشد. در (۶) مدلی خطی از استراتژی قیمت‌دهی در برنامه‌های پاسخ-گویی بار ارائه شده است. $\vartheta(\nu,t)$ متغیری باینری می‌باشد که وضعیت پیشنهاد کاهش بار را با قیمت پیشنهادی در بلوک ν نشان می‌دهد. در صورت پذیرش قیمت و قطع بار $\vartheta(\nu,t)$ یک و در غیر این صورت صفر می‌باشد. $\sigma(\nu,t)$ و $\hat{\lambda}(\nu,t)$ به ترتیب برابر با میزان بار قابل قطع و هزینه پرداختی به مشتری در ازاء قطع بار در ν^{th} بلوک می‌باشند. $\hbar_{DR}(t)$ نیز میزان کل مشارکت مصرف کنندگان در برنامه‌های پاسخ‌گویی می‌باشند. تعداد بلوک‌های قیمت‌دهی مصرف‌کنندگان به وسیله N_{SDR} نشان داده می‌شوند [۱۳].

$Cost_{DR}$:

$$\sum_{t=1}^{T}\left(\underline{\hat{\lambda}}(t)\underline{\sigma}(t)\underline{\vartheta}(t)+\sum_{\nu=1}^{N_{SDR}}\sigma(\nu,t)\hat{\lambda}(\nu,t)\vartheta(\nu,t)\right). \quad (۶)$$

where:

$$\hbar_{DR}(t)=\underline{\sigma}(t)\underline{\vartheta}(t)+\sum_{\nu=1}^{N_{SDR}}\sigma(\nu,t)\vartheta(\nu,t).$$

آلایندگی واحدهای تولیدی نیز عموماً تابعی درجه دو از توان تولیدی، مطابق با (۷) در نظر گرفته شده؛ که در (۸) فرم خطی شده آن ارائه شده است. $\alpha(i)$، $\beta(i)$ و $\gamma(i)$ ضرایب تابع آلودگی در واحد نیروگاهی می‌باشند. $\underline{e}(i)$ حد پایین انتشار به ازاءِ مینیمم تولید است. $\Upsilon_m(i,t)$ و $e_m(i)$ به ترتیب، توان تولیدی در قسمت m تابع خطی‌شده، و شیب بخش m تابع انتشار خطی نیروگاه می‌باشد. تعداد بلوک‌های تابع انتشار خطی به وسیله N_{SE} نشان داده می‌شود.

$Emitted_{PO}$:

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_G}\Big(\alpha(i)+\beta(i)P(i,t)+\gamma(i)P^2(i,t)\Big). \quad (۷)$$

$Emitted_{PO}$:

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_G}\left(\underline{e}(i)u(i,t)+\sum_{m=1}^{N_{SE}}\Upsilon_m(i,t)e_m(i)\right). \quad (۸)$$

تابع هدف بیان شده در (۱) از محدودیت‌های زیر تبعیت می‌کند.

قیود برنامه‌ریزی تولید و مشارکت واحدها

- توازن بار

$$\sum_{i=1}^{N_G}P(i,t)+P_v(t)N_{v2g}(t)=P_D(t)-\hbar_{DR}(d,t). \quad (۹)$$

- محدوده مجاز توان تولیدی در نیروگاه

$$\underline{P}(i)u(i,t)+\sum_{m=1}^{N_{SF}(i)}P_m(i,t)\le\bar{P}(i)u(i,t)-url(i,t). \quad (۱۰)$$

- تدارک رزرو سیستم

$$\sum_{i=1}^{N_G}u(i,t)\bar{P}(i)+P_{v\max}N_{v2g}(t)\ge P_D(t)-\hbar_{DR}(t)+SR(t). \quad (۱۱)$$

- حداکثر نرخ شیب افزایشی.

$$P^i(t)-P^i(t-1)\le u^i(t)\{1-u^i(t-1)\}\underline{P}^i+\left[1-u^i(t)\{1-u^i(t-1)\}\right]UR^i \quad (۱۲)$$

- حداکثر نرخ شیب کاهشی.

$$P^i(t-1)-P^i(t)\le u^i(t-1)\{1-u^i(t)\}\underline{P}^i+\left[1-u^i(t-1)\{1-u^i(1)\}\right]DR^i \quad (۱۳)$$

- حداقل زمان روشن و خاموش بودن واحدها.

Archive of SID

www.SID.ir

$$\left\{X^i_{ON}(t-1)-T^i_{ON}\right\}\left(u^i(t-1)-u^i(t)\right)\geq 0$$
$$\left\{X^i_{OFF}(t-1)-T^i_{OFF}\right\}\left(u^i(t)-u^i(t-1)\right)\geq 0 \quad (۱۴)$$

قیود مرتبط با خودروهای برقی

- تعداد کل خودروهای برقی با قابلیت دشارژ در شبکه در طول افق برنامه‌ریزی تعداد معینی می‌باشند. شارژ خودروها از طریق منابع تجدیدپذیر انجام گرفته است.

$$\sum_{t=1}^{T} N_{v2g}(t) = N^{max}_{v2g} \quad (۱۵)$$

- حداکثر تعداد خودرو قابل دشارژ در یک دوره از یک حد مشخص بیشتر نمی‌تواند باشد..

$$N_{v2g}(t) \leq N^{max}_{v2g}(t) \quad (۱۶)$$

- فرکانس شارژ و دشارژ هر خودرو برقی در بازه زمانی تحت مطالعه (۲۴ ساعت) معین می‌باشد.
- مقدار بازده خودروهای برقی، ξ ، نیز می‌بایستی در فرآیند شارژ و دشارژ درنظر گرفته شود.
- حداکثر میزان دشارژ هر خودروهای برقی در شبکه، ψ ، مشخص می‌باشد.

قیود مرتبط با برنامه‌های پاسخ‌گویی بار

- میزان بار قطع‌شده در هر دوره می‌بایستی از یک حد از پیش تعیین شده (ماکزیمم بار قابل قطع هر دوره) یعنی $\eta(t)$، کمتر باشد.

$$\hbar_{DR}(t) \leq \eta(t). \quad (۱۷)$$

- میزان بار قطع شده در طول دوره زمانی مورد مطالعه با توجه به (۱۸) محدود می‌شود.

$$\sum_{t=1}^{T} \hbar_{DR}(t) \leq \overline{D}_{\mathrm{LC}}. \quad (۱۸)$$

۳- مطالعه موردی و آنالیز نتایج شبیه‌سازی

مدل پیشنهادی به سیستم ۱۰ واحدی استاندارد IEEE با افق زمانی تحت مطالعه یک روز (۲۴ ساعت) و پیک بار ۱۵۰۰ MW اعمال شده است. تابع سوخت و آلایندگی واحدهای تولیدی توسط ۲۰ بلوک خطی بین ماکزیمم و مینیمم ظرفیت تولید تقریب‌زده شده‌اند. سایر اطلاعات مربوط به واحدهای نیروگاهی از [۲] اتخاذ شده است. حداقل سطح رزرو سیستم برابر با ۱۰٪ میزان بارگذاری هر ساعت می‌باشد. حداکثر بار قابل قطع در هر دوره برابر با ۵٪ بار آن دوره و ماکزیمم مشارکت روزانه مصرف‌کنندگان در هر باس بار برابر با ۳٪ بار کل شبکه در روز لحاظ شده است. استراتژی قیمت دهی مربوط به برنامه‌های پاسخ‌گویی بار در «جدول ۱» آورده شده است [۱۳]. هم‌چنین فرض را بر این گرفته که خودروهای برقی از طریق منابع تجدیدپذیر شارژ می‌شوند [۱۴] و سپس در شبکه دشارژ می‌گردند. لذا هیچ هزینه‌ای را بر سیستم تحمیل نمی‌کنند. سایر مشخصات خودروها عبارتند از: حداکثر ظرفیت باتری ۲۵ kwh، حداقل ظرفیت باتری ۱۰ kwh، میانگین ظرفیت باتری ۱۵ kwh، تعداد کل خودروهای قابل اتصال به شبکه ۵۰۰۰۰ در طول شبانه‌روز، حداکثر تعداد خودرو قابل دشارژ در هر ساعت ۱۰٪ تعداد کل خودروها می‌باشد. علاوه بر این بازده ۸۵٪، حالت انحراف از شارژ (ψ) ۵۰٪، و فرکانس شارژ و دشارژ یک در نظرگرفته شده است [۱۲]. در این‌جا، مطالعات موردی مختلفی به منظور بررسی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و خودروهای برقی بر برنامه‌ریزی مشارکت تولید انجام شده است.

جدول ۱: استراتژی قیمت‌دهی منابع سمت تقاضا

ν	$\sigma(\nu)$	$\hat{\lambda}(\nu)$
۰	٪۳۳ کل پاسخ‌گویی بار	۱۱
۱	٪۶۶ کل پاسخ‌گویی بار	۱۲
۲	٪۱۰۰ کل پاسخ‌گویی بار	۱۳

سناریو ۱: برنامه‌ریزی مشارکت واحدها بدون درنظرگیری حضور منابع پاسخ‌گویی و خودروهای برقی انجام می‌گیرد.

سناریو ۲: برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با درنظرگیری خودروهای برقی انجام می‌گیرد و از اثر منابع پاسخ‌گویی صرف‌نظر شده است.

سناریو ۳: برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با درنظرگیری توأمان منابع پاسخ‌گویی و خودروهای برقی انجام می‌گیرد.

در هر سه سناریو مذکور به منظور برقراری مصالحه بین ترم‌های هزینه و آلایندگی، ضرایب w_c و w_e برابر با ۰/۵ درنظرگرفته شده‌اند.

در سه سناریو فوق‌الذکر با اعمال CPLEX 12.4.0 ؛ مقدار تابع هدف، هزینه کل سیستم شامل هزینه بهره‌برداری (مجموع هزینه تولید و راه‌اندازی)، هزینه رزرو و هزینه DR و هم‌چنین میزان آلایندگی، مطابق با جدول ۲ به دست آمده است.

همان طور که در جدول ۲ مشخص است، خودروهای برقی و منابع پاسخ‌گویی بار منجر به کاهش چشم‌گیر هزینه می‌گردند.

جدول ۲: میزان هزینه ($) و آلایندگی (Ton) در سناریوهای ۱-۳

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
بهره‌برداری	۵۷۴۲۰۷/۶۹۳	۵۶۲۸۱۶/۰۳	۵۴۰۴۷۰/۹۷
رزرو نیروگاهی	۴۶۲۰۷/۳۲۹	۴۶۲۱۷/۸۵۵	۳۵۰۶۱/۲۸
منابع DR	---	---	۷۵۱۸/۵۷۵
کل رزرو	۴۶۲۰۷/۳۲۹	۴۶۲۱۷/۸۵۵	۴۲۵۷۹/۸۵۵
کل سیستم	۶۲۰۴۱۵/۰۲۲	۶۰۹۰۳۳/۸۸۵	۵۸۳۰۵۰/۸۲۵
آلایندگی	۲۲۴۴۵/۵۸	۲۲۳۱۳/۴۱۸	۲۳۳۴۱/۶۲۱
تابع هدف	۳۲۱۴۳۰/۳۰۱	۳۱۵۶۷۳/۶۵۱	۳۰۳۱۹۶/۲۲۳

در سناریو ۲ و سناریو ۳، به ترتیب به میزان ۱/۸۳٪ و ۶/۰۲٪ نسبت به سناریو ۱، کاهش هزینه را داریم. علاوه بر این میزان آلایندگی نیز در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ کاهش یافته است. حال آن که در سناریو ۳، میزان آلایندگی افزایش یافته است؛

Archive of SID

www.SID.ir

دلیل این امر وابسته به انتخاب ضرایب w_c و w_e و هم‌چنین توابع ترم‌های آلایندگی و هزینه می‌باشد. اما همان طور که در جدول ۲ مشخص است، مقدار تابع هدف در سناریو ۳، از دو سناریو دیگر کمتر می‌باشد که دلیلی بر صحه‌گذاری اثرات مثبت منابع پاسخ‌گویی بار و خودروهای برقی بر برنامه‌ریزی تولید واحدهای نیروگاهی می‌باشد. در جدول ۳، میزان مشارکت خودروهای برقی در تأمین بار در سناریوهای ۲ و ۳ در بازه زمانی تحت مطالعه آورده شده است. میزان مشارکت خودروهای برقی در ساعات پیک می‌باشد، تا مانع راه‌اندازی نیروگاه‌های گران‌قیمت شود.

جدول ۳: میزان مشارکت خودروهای برقی (MW) در تأمین بار

زمان	سناریو ۲	سناریو ۳	زمان	سناریو ۲	سناریو ۳
۳	۲۵	۲۵	۱۳	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵
۴	۵	۵	۱۴	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵
۶	۱۳/۷۵	۲۴	۱۵	---	۹/۷۵
۹	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵	۲۰	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵
۱۰	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵	۲۱	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵
۱۱	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵	۲۲	۲۰	---
۱۲	۳۱/۸۷۵	۳۱/۸۷۵			

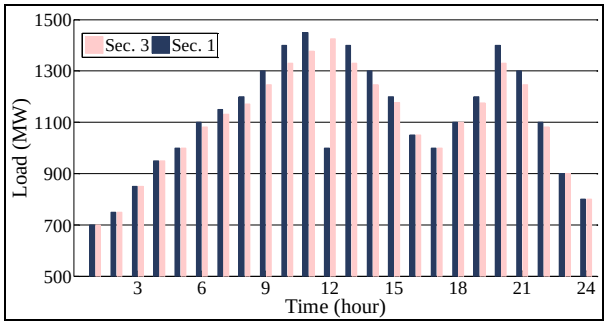
در جدول ۴، سهم مشارکت منابع نیروگاهی و منابع سمت تقاضا در تدارک رزرو سیستم برای سناریو ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که سهم رزرو در هر دوره ۱۰٪ بار آن دوره در نظر گرفته شده است که از طریق مشارکت توأمان نیروگاه‌ها و منابع پاسخ‌گویی بار فراهم می‌گردد. در دوره‌های کم باری منابع پاسخ‌گویی بار هیچ‌گونه مشارکتی در تأمین رزرو ندارند، لذا سهم نیروگاه‌ها در تدارک رزرو ۱۰۰٪ می‌باشد (به عنوان مثال دوره ۱)

جدول ۴: مشارکت (٪) منابع نیروگاهی و پاسخ‌گویی بار در تدارک رزرو

زمان	Unit	DR	زمان	Unit	DR
۱	۱۰۰	---	۱۳	۵۰	۵۰
۲	۱۰۰	---	۱۴	۵۸/۵۵	۴۱/۴۵
۳	۱۰۰	---	۱۵	۱۹/۴۸	۸۰/۵۲
۴	۱۰۰	---	۱۶	۱۰۰	---
۵	۱۰۰	---	۱۷	۱۰۰	---
۶	۸۳/۵	۱۶/۵	۱۸	۱۰۰	---
۷	۸۳/۵	۱۶/۵	۱۹	۷۹/۲۲	۲۰/۷۸
۸	۷۶/۵	۲۳/۵	۲۰	۵۰	۵۰
۹	۵۸/۵۵	۴۱/۴۵	۲۱	۵۸/۵۵	۴۱/۴۵
۱۰	۵۰	۵۰	۲۲	۸۳/۵	۱۶/۵
۱۱	۵۰	۵۰	۲۳	۱۰۰	---
۱۲	۵۰	۵۰	۲۴	۱۰۰	---

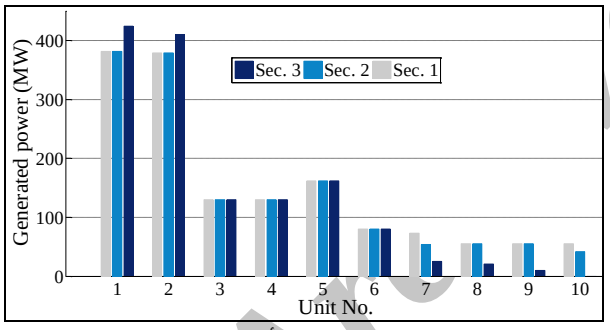
منابع پاسخ‌گویی بار در زمان‌های پیک مشارکت می‌نمایند تا از راه‌اندازی نیروگاه‌های هزینه‌بر جلوگیری نماید و هزینه‌های سیستم کاهش یابد. به عنوان مثال در دوره ۶، از ۱۱۰ مگاوات رزرو مورد نیاز سیستم، ۱۸/۱۵ مگاوات آن از طریق منابع پاسخ‌گو (۱۶/۵٪ کل رزرو مورد نیاز سیستم) و مابقی آن (۸۳/۵٪ سطح رزرو) از طریق نیروگاه‌ها تأمین می‌گردد.

در شکل ۱، اثرات برنامه‌های پاسخ‌گویی بار بر پروفیل تقاضا در سناریو ۳ نشان داده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است سطح مشارکت مصرف‌کنندگان در سناریو ۳ در دوره‌های پیک در مقایسه با سایر دوره‌ها بیشتر می‌باشد تا هزینه سیستم به حداقل مقدار ممکن خود برسد.



شکل ۱: تغییرات منحنی بار در حضور منابع پاسخ‌گو بار

در ادامه در شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب، نحوه تخصیص بار و رزرو را در بین واحدهای نیروگاهی در سناریوهای ۱-۳ برای بار پیک نشان می‌دهد.

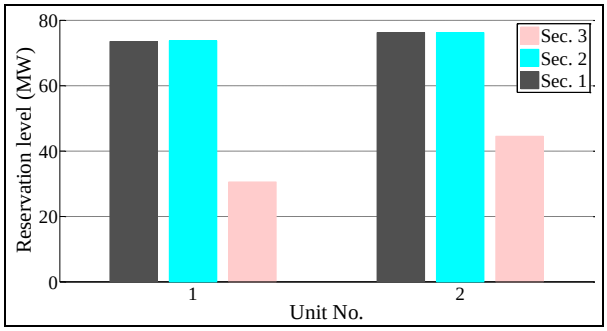


شکل ۲: میزان مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین بار در سناریوهای ۱-۳

با توجه به شکل ۲، مشخص است که وضعیت توان تولیدی در سناریو ۱ و سناریو ۲ تقریباً مشابه است و صرفاً توان تولیدی نیروگاه‌های ۷ و ۱۰ متفاوت می‌باشد. این اختلاف به علت مشارکت ۳۱/۸۷۵ مگاواتی خودروهای برقی در پیک بار در سناریو ۲ می‌باشد. در سناریو ۳، به علت حضور توأمان منابع پاسخ‌گویی بار و خودروهای برقی، گرچه در مقایسه با سناریو ۱، سطح توان تولیدی نیروگاه‌های ارزان‌قیمت ۱ و ۲ افزایش یافته است، علاوه بر خاموش شدن نیروگاه ۱۰، با کاهش تولید در نیروگاه‌های ۷، ۸، و ۹ مواجه می‌شویم. با مراجعه به شکل ۳ مشخص است که سطح تأمین رزرو در سناریو ۳ در مقایسه با سناریو ۱ و سناریو ۲ کاهش یافته است. این امر به علت مشارکت ۷۵ مگاواتی منابع پاسخ‌گویی در تدارک رزرو در ساعت پیک بار می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: میزان مشارکت نیروگاه‌ها در تدارک رزرو در سناریوهای ۱-۳

۴-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

روند رو به رشد مصرف انرژی، برنامه‌ریزی منابع تولید متداول نیروگاهی را به موضوعی چالش برانگیز در مطالعات سیستم قدرت مبدل ساخته است. از طرفی با توجه به تجدیدساختار و امکان مدیریت بار، و هم‌چنین امکان بهره‌گیری از تکنولوژی‌های از جمله خودروهای برقی، برنامه‌ریزی تعهد تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقاله حاضر اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی خودروهای برقی و منابع پاسخ‌گویی بار بر برنامه‌ریزی مشارکت تولید مورد بررسی قرار گرفته است. در این‌جا، از منابع سمت تقاضا به عنوان منبع مجازی برای تدارک رزرو مورد نیاز سیستم استفاده شده است. در ساختار پیشنهادی، برنامه‌ریزی رزرو و انرژی با هدف کمینه‌سازی هم‌زمان هزینه و آلایندگی انجام می‌پذیرد. هم‌چنین وضعیت تعهد واحدهای نیروگاهی، میزان مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و سهم تأمین تقاضا با بهره‌گیری از خودروهای برقی تعیین می‌گردند. کاربردی بودن روش پیشنهادی با اعمال به سیستم ۱۰ واحدی IEEE نشان داده شده‌است. نتایج بدست‌آمده مؤید این مطلب می‌باشد که به کارگیری منابع پاسخ‌گویی بار و تکنولوژی خودرو برقی سبب کاهش هزینه‌های سیستم و آلایندگی، و همچنین تغییر در وضعیت راه‌اندازی و تولید نیروگاه‌ها می‌شود.

مراجع

[1] Staff Report, FERC., Assessment of demand response and advanced metering. On the WWW, at http://www.FERC.gov,Aug. PDF file, 2006.

[2] Abdollahi, A., Parsa Moghadam, M., Rashidinejad, M., Sheikh-El-Eslami, M.K., "Investigation of Economic and Environmental-Driven Demand Response measures Incorporating UC". *IEEE Transaction on Smart Grid*, Vol. 3,No. 1, pp. 12-25, 2012.

[3] Kempton, W., and Tomic, J, "Vehicle-to-Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-Scale Renewable Energy". *Journal of Power Sources*, 1(144), June, pp. 280-294, 2005.

[4] Han, S., and Sezaki, K., "Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency regulation". *IEEE Transaction on Smart Grid* ,Vol. 1, no. 1, pp. 65-72, 2010.

[5] Padhy, N.P., "Unit Commitment - A Bibliographic Survey". *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 19, No. 2, pp. 1196–1205, 2004.

[6] Ouyang, Z., and Shahidehpour, S.M., "An Intelligent Dynamic Programming for unit Commitment Application". *IEEE Transaction on Power Systems*, 3(6), Vol. 6, No.3 , pp. 1203–1209, 1991.

[7] Huang, S.J., "Enhancement of hydroelectric Generation Scheduling Using Ant Colony System Based Optimization Approaches". *IEEE Transaction on Energy Conversions*, Vol. 16, No. 3, pp. 296-301, 2001.

[8] Mantawy, A.H., Abdel-Magid, Y.L., and Selim, S.Z., "Integrating Genetic Algorithms, Tabu Search and Simulated Annealing for the Unit commitment problem". *IEEE Transaction on Power Systems*,Vol. 14, No. 3, pp. 829–836, 1999.

[9] Orero, S.O., and Irving, M.R., "A Genetic Algorithm Modeling Framework and Solution Technique for Short term Optimal Hydrothermal Scheduling". *IEEE Transaction on Power Systems*, 2(13),Vol. 13, No. 2, pp. 501–518, 1998.

[10] Huang, S.J., and Huang, C.L., "Application of Genetic Based Neural networks to Thermal unit Commitment". *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 654–660, 1997.

[11] Yamin, H.Y., and Shahidehpour, S.M., "Unit commitment Using a Hybrid Model between Lagrangian Relaxation and Genetic Algorithm in Competitive Electricity Markets". *Electric power System Researches*, 2(68), Feb, pp. 83–92, 2003.

[12] Talebizadeh, E., Rashidinejad, M., and Abdollahi, A., "Evaluation of Plug-in Electric Vehicles Impact on Cost Based Unit Commitment". *Journal of Power Sources*, 248, Feb, pp. 545–552, 2014.

[13] Sahin, C., Shahidehpour, M., and Erkmen, I., "Allocation of Hourly Reserve Versus Demand Response for Security-Constrained Scheduling of Stochastic Wind Energy". *IEEE Transaction On Sustainable Energy*, Vol. 4, No. 1, Jan, pp. 219-228, 2013.

[14]] Saber, A.Y., and Venayagamoorthy, G.K.,"Intelligent Unit Commitment with Vehicle-to-Grid-ACost-Emission Optimization". *Journal of Power Sources*, 3(195), Feb, pp. 898-911, 2010.

Archive of SID

www.SID.ir