بررسی و تحلیل اثر استفاده از نرخ بارگیری سریع به منظور تأمین ذخیره‌ی اولیه بر قیمت برق و نوسانات آن

مصطفی رجبی مشهدی[1] محمدصادق قاضی زاده[2] محمدحسین جاویدی[3]

۱- استادیار، موسسه آموزش عالی سجاد مشهد و شرکت برق منطقه ای خراسان، مشهد، ایران
mrajabim@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران
ghazizadeh_ms@yahoo.com

۳- استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده: از مسائل مهم و مورد توجه طرحان بازار برق، کاهش قیمت برق و نوسانات آن در کوتاه‌مدت می باشد. کاهش قیمت برق و نوسانات آن موجب کاهش ریسک بازار و افزایش امنیت خرید انرژی برای مصرف کنندگان می‌گردد. در این مقاله، فن‌آوری انتخاب و بکارگیری نرخ بارگیری سریع واحدهای نیروگاهی پیشرفته در برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره اولیه کنترل فرکانس اولیه معرفی شده و سپس نقش آن در کاهش هزینه خرید انرژی و ذخیره‌ی اولیه کنترل فرکانس مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج حاصله از شبیه سازی برای سناریوهای مختلف قیمت دهی فروشندگان نشان می‌دهند که در صورت بکارگیری نرخ بارگیری سریع، قیمت انرژی تمام شده و نیز نوسانات آن کاهش می‌یابد. به علاوه، نتایج حاصله از شبیه سازی در بارهای مختلف نشان می‌دهند که در بسیاری از موارد ممکن است استفاده از نرخ بارگیری سریع در بارحداقل ضرورتی نداشته باشد، درحالی‌که در بارهای زیاد(پیک) امری ضروری است. از طرفی، بکارگیری نرخ بارگیری سریع از نظر اقتصادی در بارهای میانی نزدیک پیک توجیه پذیر بوده و در بارهای کمتر بسته به هزینه های استهلاک نرخ بارگیری سریع، ممکن است توجیه پذیر گردد.

کلمات کلیدی: نرخ بارگیری سریع، نوسان قیمت، ذخیره‌ی اولیه، برنامه‌ریزی همزمان، کنترل فرکانس

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۸۹/۱/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: مصطفی رجبی مشهدی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشگاه فردوسی مشهد و شرکت برق منطقه ای خراسان، مشهد، ایران

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

نرخ بارگیری[۱] برای هر واحد نیروگاهی به حداکثر میزان افزایش یا کاهش تولید در واحد زمان اطلاق می‌گردد. افزایش نرخ بارگیری تأثیر جدی در خستگی[۲] روتور واحدهای نیروگاهی دارد. از اینرو، نرخ بارگیری یکی از محدودیت های مهم واحدهای نیروگاهی در مسئله‌ی برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت تولید واحد نیروگاهی به شمار می‌رود. با اعمال این محدودیت، افزایش یا کاهش بار واحد نیروگاهی از حد مجازی که توسط طراحان تعیین می‌شود، کمتر خواهد بود. تجاوز از محدودیت نرخ بارگیری، ریسک کاهش طول عمر روتور، که یک تجهیز گران قیمت می باشد، را به دنبال دارد[۱]. در صورت بارگیری کمتر از حد نرخ بارگیری، هزینه اضافه‌ای به بهره بردار واحد نیروگاهی تحمیل نمی‌شود. با این حال، در صورتی‌که هزینه‌های ناشی از افزایش نرخ بارگیری نسبت به نرخ بارگیری عادی جبران گردد، می‌توان انتظار داشت بهره‌بردار واحد، نرخ بارگیری واحد نیروگاهی خود را افزایش دهد. در برخی از واحدهای نیروگاهی، امکان استفاده از نرخ بارگیری سریع، که حدود دو تا سه برابر میزان نرخ بارگیری عادی است، فراهم شده است[۲].

ذخیره کنترل فرکانس اولیه یا ذخیره اولیه[۳]، سریعترین ذخیره‌ای است که واحدهای نیروگاهی به آن، در طی چند ثانیه اول پس از یک اغتشاش بزرگ پاسخ می‌دهند. از طرفی، میزان ذخیره‌ی اولیه آماده هر واحد نیروگاهی به میزان انحراف فرکانس ناشی از هر اغتشاش و همچنین مشخصه‌ی گاورنر واحد بستگی دارد. این میزان با نرخ بارگیری واحد و یا ظرفیت مجاز واحد برای مشارکت در کنترل فرکانس محدود می شود[۳]. از اینرو نرخ بارگیری یکی از عوامل مؤثر برای تعیین میزان ظرفیت ذخیره‌ی اولیه آماده برای مشارکت در کنترل فرکانس خواهد بود که در برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه در نظر گرفته می‌شود.

تجدید ساختار صنعت برق در سالهای اخیر، تغییرات جدی در بار مصرفی و قیمت برق و قیمت ذخیره‌های برق و سایر خدمات مرتبط ارائه شده در بازار کوتاه مدت را به همراه داشته است که این امر مطلوب مصرف کنندگان نمی‌باشد. به همین دلیل طراحان بازار در سال‌های اخیر به تثبیت قیمت‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌های بهره-برداری توجه کرده‌اند. این مسئله، ریسک خریداران را در خرید، کمتر می‌کند. از طرفی، ایجاد فضای رقابتی و تجدید ساختار صنعت برق، استفاده از مکانیزم‌های جبران هزینه و پرداخت سود رقابتی را برای بکارگیری نرخ بارگیری بیش از نرخ بارگیری عادی را فراهم نموده است.

مطالعات مختلفی درباره تأثیر نرخ بارگیری بر مسئله برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت واحدهای نیروگاهی و در مدار قرار گرفتن نیروگاهها[۴] صورت پذیرفته است[۴-۷]. با تجدید ساختار صنعت برق، نرخ بارگیری به صورت یک خدمت جانبی[۵] مورد تأکید قرار گرفته است[۸]. همچنین، به منظور جلوگیری از قدرت بازار[۶]، محدودیت‌های نرخ بارگیری توسط فروشندگان نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است[۹]. همچنین، محدودیت نرخ بارگیری در تخصیص میزان ذخیره‌ی اولیه آماده در برنامه‌ریزی همزمان[۷] انرژی و ذخیره‌ی اولیه و ثالثیه مورد بررسی قرار گرفته است[۳]. تغییر مشخصات واحدهای نیروگاهی از جمله نرخ بارگیری می‌تواند در تخصیص ذخیره‌های فرکانسی تأثیرگذار باشد[۱۰]. بهمین دلیل، قابلیت‌های واحدهای نیروگاهی از جمله انتخاب نرخ بارگیری عادی[۸] و یا نرخ بارگیری سریع[۹] در فرمول بندی مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه لحاظ شده و نقش آن مورد بررسی قرار گرفته است[۱۱]. با اینحال تاکنون به قابلیت نرخ بارگیری سریع و تأثیر آن بر قیمت برق، هزینه‌های بهره‌برداری، نوسانات[۱۰] قیمت برق و قیمت ذخیره‌ی برق کمتر توجه شده است.

علاوه بر پژوهش‌های فوق، محدودیت‌های انتقال شبکه نیز در برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌ی اولیه لحاظ شده است. در مرجع[۱۲]، میزان تولید و منابع ذخیره‌ی اولیه به کمک الگوریتم درخت تصمیم و با در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه و پایداری، تعیین می‌گردد. همچنین در مرجع [۱۳]، ذخیره‌ی اولیه به گونه‌ای به هر واحد نیروگاهی اختصاص می‌یابد که در صورت خروج یک واحد تولیدی، بار خطوط انتقال از محدوده مجاز خارج نشود. در هر دو مقاله فوق [۱۲ و ۱۳]، ابتدا مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌ی اولیه حل می‌گردد. سپس، با توجه به میزان تولید تعیین شده، بار خطوط محاسبه می-گردد. در صورت تخطی میزان بار خطوط از حد مجاز آن، میزان تولید با استفاده از روش‌های تکرار و محاسبه ضرایب جابجائی تولید تا رهایی از قید محدودیت انتقال خطوط تغییر می‌نماید.

در این مقاله، فن آوری انتخاب و بکارگیری نرخ بارگیری عادی و یا سریع واحدهای نیروگاهی در میزان ذخیره‌ی اولیه‌ی آماده معرفی شده و نقش آن در هزینه‌های بهره‌برداری و نوسانات قیمت انرژی و قیمت ذخیره‌ی اولیه در سناریوهای مختلف بار و قیمت دهی فروشندگان مورد بررسی قرار می گیرد.

در بخش سوم این مقاله، قابلیت انتخاب نرخ بارگیری سریع و نقش آن در ذخیره‌ی اولیه کنترل فرکانس ارائه شده است. فرمول‌بندی مسئله با در نظر گرفتن محدودیت های واحد نیروگاهی و شبکه در بخش چهارم ارائه شده و نتایج شبیه سازی برای سه سناریوی قیمت دهی و در بارهای مختلف در بخش پنجم مورد بحث قرار گرفته است. نهایتاً، بخش ششم شامل جمع بندی و نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- قابلیت انتخاب نرخ بارگیری سریع و نقش آن میزان ذخیره‌ی اولیه آماده

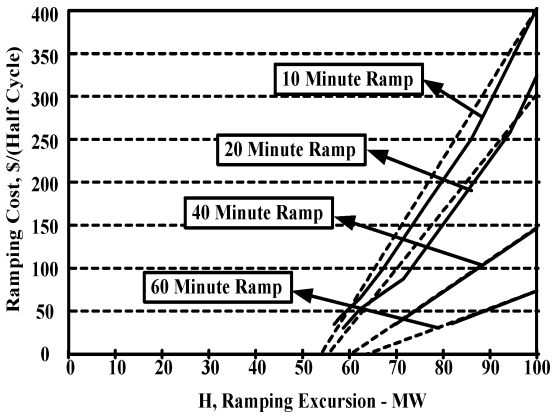
به منظور جلوگیری از خستگی روتور واحدهای نیروگاهی و به تبع آن کاهش عمر آنها، نرخ بارگیری به حد ارتجاعی[۱۱] روتور که به نرخ بارگیری عادی مشهور است، محدود می‌گردد. افزایش بیشتر نرخ بارگیری سبب کاهش عمر روتور و متناسباً افزایش هزینه های بهره-برداری خواهد شد. از طرفی، در صورت رعایت محدودیت نرخ بارگیری

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012

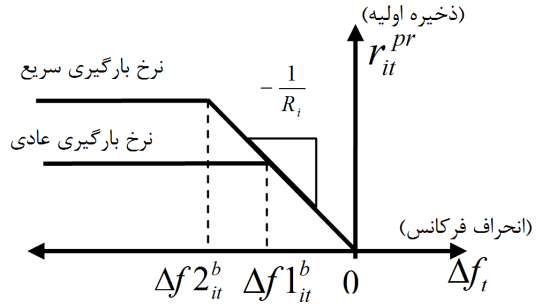
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

عادی در برنامه‌ریزی کوتاه مدت تولید، ممکن است نتوان حتی در شرایط عادی بهره‌برداری آرایش بهینه‌ای برای تولید به‌دست آورد. در چنین شرایطی ممکن است واحدهای جدیدی در مدار قرار گیرند که هزینه‌ی آنها بیشتر از هزینه‌ی نرخ بارگیری سریع یا به عبارت دیگر عدم رعایت این قیود باشد. از اینرو نرخ بارگیری بهینه می‌تواند از تعامل بین هزینه تخطی از نرخ بارگیری عادی و هزینه بهره برداری از واحدهای نیروگاهی حاصل شود. شکل ۱، میزان افزایش هزینه واحد نیروگاهی را متناسب با افزایش نرخ بارگیری نشان می دهد[۱].

علاوه بر آنکه میزان نرخ بارگیری در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت تولید تأثیرگذار می‌باشد، در میزان ذخیره اولیه‌ی بکارگرفته شده نیز نقش مؤثری دارد. بطوریکه، ذخیره‌ی اولیه در صورت خروج یک واحد نیروگاهی و یا افزایش ناگهانی بار، متناسب با میزان انحراف فرکانس و مشخصه دروپ گاورنر به صورت خطی افزایش می‌یابد و با میزان حداکثر ظرفیت تولید مجاز برای مشارکت در کنترل فرکانس و یا نرخ بارگیری واحد هر کدام که کمتر بود، محدود می گردد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، چنانچه واحد نیروگاهی در نرخ بارگیری سریع بهره‌برداری شود، میزان ذخیره‌ی اولیه‌ای(r_{it}^{pr}) که می‌تواند به منظور مشارکت در کنترل فرکانس در اختیار بهره بردار شبکه قرار دهد، بیشتر خواهد بود.



شکل (۱): اثر افزایش نرخ بارگیری در افزایش هزینه [۱]



شکل (۲): ذخیره‌ی اولیه بکار گرفته شده با نرخ بارگیری سریع و عادی متناسب با انحراف فرکانس

میزان ذخیره‌ی اولیه متناسب با میزان انحراف فرکانس با رابطه ۱ توصیف شده است. $\Delta f1_{it}^{b}$ و $\Delta f2_{it}^{b}$ به ترتیب میزان انحراف فرکانس شکست[۱۲] در نرخ بارگیری عادی و سریع می باشد. $\overline{gn_{it}}$ و $\overline{gf_{it}}$ که با روابط ۲ و ۳ توصیف شده اند به ترتیب حداکثر میزان تولید واحد نیروگاهی با نرخ بارگیری عادی و سریع واحد را در هنگام مشارکت در کنترل فرکانس توصیف می نمایند.

$$r_{it}^{pr}=\begin{cases}-\frac{1}{R_i}\Delta f_t, & if \quad \Delta f1_{it}^{b}\le\Delta f_t\le 0\\ (1-w_{it}).(\overline{gn_{it}}-g_{it})-(\frac{1}{R_i}\Delta f).w_{it}, & if\ \Delta f2_{it}^{b}\le\Delta f_t\le\Delta f1_{it}^{b}\\ (1-w_{it}).\overline{gn_{it}}+w_{it}.\overline{gf_{it}}-g_{it}), & if \quad \Delta f_t\le\Delta f2_{it}^{b}\end{cases} \qquad (۱)$$

$$,\forall i,t$$

$$\overline{gn_{it}}=\min(u_{it}.v_{it}.g_i^{pr-\max}, g_{it}+r_i^{normal-pr}.u_{it}.v_{it}) \qquad (۲)$$

$$\overline{gf_{it}}=\min(u_{it}.v_{it}.g_i^{pr-\max}, g_{it}+r_i^{fast-pr}.u_{it}.v_{it}) \qquad (۳)$$

خوشبختانه، با توسعه نرم افزاری سیستم کنترل واحدهای نیروگاهی، امکان انتخاب نرخ بارگیری عادی و سریع در هر لحظه توسط بهره بردار واحد فراهم شده است[۲]. در اینگونه واحدها معمولاً نرخ بارگیری سریع، حدود دو تا سه برابر نرخ بارگیری عادی بوده و بهره‌بردار نیروگاه در صورت نیاز می‌تواند در هر لحظه بدون توقف واحد نرخ بارگیری عادی یا سریع را انتخاب نماید.

۳- فرمول‌بندی مسئله

در این بخش، فرمول‌بندی مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای یک شبکه با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های واقعی واحدهای نیروگاهی و همچنین محدودیت انتقال شبکه توصیف می‌گردد.

حل این مسئله بهینه‌سازی، میزان تولید و ظرفیت ذخیره‌ی اولیه تخصیص یافته و نرخ بارگیری برای واحدهای مشارکت‌کننده در کنترل فرکانس را مشخص می‌نماید. مدل بازار انتخابی، حوضچه[۱۳] توان و نحوه‌ی بسته شدن بازار خرید انرژی و ذخیره‌ی اولیه بر اساس سازوکار پرداخت به ازای پیشنهاد[۱۴] در نظر گرفته شده است (علت انتخاب این سیستم، بازار برق ایران می‌باشد.). فروشنده ظرفیت آماده و همچنین مشخصات واحد خود را برای مشارکت در کنترل فرکانس به همراه قیمت انرژی و ذخیره‌ی اولیه متناسب با نرخ بارگیری به مدیر بازار پیشنهاد می‌کند. شبکه در حالت عادی و در فرکانس نامی بهره‌برداری شده و انرژی و ذخیره‌ی اولیه به صورت همزمان توسط بهره‌بردار بازار[۱۵] خریداری می‌گردد. معیار کفایت تخصیص ذخیره اولیه در هر ساعت عدم عملکرد رله‌های فرکانس پائین، در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، در صورت وقوع یک حادثه[۱۶]، ظرفیت ذخیره اولیه پذیرفته شده آماده واحدهای مشارکت کننده در کنترل فرکانس در هر ساعت بایستی به اندازه‌ای باشد تا تغییرات فرکانس در محدوده مجاز

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

باقی بماند و منجر به بارزدائی[۱۷] نشود. میزان انحراف فرکانس مجاز یک درصد فرکانس نامی در نظر گرفته شده است. از طرفی در این برنامه‌ریزی، از اثر گذراهای سیستم در حین افت فرکانس پس از رخداد حادثه صرف نظر شده و فرض بر آن است که میزان انحراف فرکانس پس از ۵ تا ۱۰ ثانیه اول به حالت دائمی رسیده است. علاوه بر این، فرض می‌گرددکه AGC در شبکه مورد مطالعه پیاده‌سازی نشده و ذخیره ثالثیه نیز در سایر حراجها معامله شده است. در نتیجه, ذخیره‌ی ثانویه و ثالثیه در فرمول‌بندی لحاظ نمی‌شوند.

تابع هدف مسئله، هزینه‌ی کل تأمین انرژی و ذخیره‌ی اولیه در افق برنامه‌ریزی می‌باشد که بوسیله رابطه ۴ معرفی شده است.

$$Min \sum_t \sum_i \{y_{it}.C_{it}^{su}.+z_{it}.C_{it}^{sd}+ +C_{it}(g_{it},u_{it})\}+\sum_i \sum_t \{C_{it}^{pr}(r_{it}^{pr},u_{it},v_{it},w_{it})\}] \quad (۴)$$

بخش اول این رابطه شامل هزینه‌های راه‌اندازی، توقف و بهره‌برداری بوده و بخش دوم آن، هزینه‌ی تأمین ذخیره‌ی اولیه را در بر می‌گیرد (رابطه ۵). هزینه‌ی بهره‌برداری به صورت تابعی درجه دوم از میزان تولید g_{it} و با ضرائب ثابت a_i ، b_i و c_i در نظر گرفته شده است (رابطه ۶).

$$C_{it}^{pr}(r_{it}^{pr}) = ((1-w_{it})q0_{it}^{pr} + w_{it}.q1_{it}^{pr}).r_{it}^{pr}.v_{it} \quad ,\forall i,t \quad (۵)$$

$$C_{it}(g_{it},u_{it}) = u_{it}C_i + a_i.g_{it} + \frac{1}{2}b_i(g_{it})^2, \forall i,t. \quad (۶)$$

قیود این مسئله بهینه‌سازی عبارتند از:

الف) تعادل مصرف شبکه (d_t) و مجموع تولید (شبکه بدون تلفات):

$$\sum_i g_{it} = d_t, \forall t. \quad (۷)$$

ب) محدودیت تولید مجاز هر واحد:

$$\left.\begin{array}{l}(g_i^{\min}.(1-v_{it}) + g_i^{pr-\min}.v_{it}).u_{it}. \le g_{it} \\ (g_i^{\max}.(1-v_{it}) + g_i^{pr-\max}.v_{it}).u_{it} \ge g_{it}\end{array}\right\}, \forall i,t \quad (۸)$$

ج) محدودیت حداکثر ذخیره‌ی اولیه آماده:

$$\left.\begin{array}{l}0 \le r_{it}^{pr} \le u_{it}v_{it}.g_{it}^{pr-\max} - g_{it} \\ r_{it}^{pr} \le v_{it}.(r_i^{normal-pr}.(1-w_{it}) + r_i^{fast-pr}.w_{it})\end{array}\right\}, \forall i,t \quad (۹)$$

د) محدودیت حداقل مجموع ذخیره‌های اولیه واحدهای مشارکت کننده در کنترل فرکانس بصورت رابطه ۱۰ می‌باشد که در آن مجموعه s^k شامل k حادثه است. در این مسئله، خروج هر واحد یک حادثه در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{i \notin s^k} r_{it}^{pr} \ge \sum_{i \in s^k} g_{it}, \forall k,t \quad (۱۰)$$

هـ) محدودیت حداقل میزان افت مجاز فرکانس عبارتست از:

$$f \ge f_{\min} \quad (۱۱)$$

و) محدودیت خطوط انتقال

میزان انرژی و ذخیره‌ی اولیه واحدها بایستی بگونه‌ای توزیع شود که در صورت وقوع هر حادثه، میزان توان انتقالی از خط fl از حداکثر توان مجاز خط انتقال fl یعنی $p_{fl}^{\max}$ کمتر باشد(رابطه ۱۲).

$$p_{fl} \le p_{fl}^{\max} \quad (۱۲)$$

p_{fl} میزان توان انتقالی از خط fl است که از محاسبه پخش بار DC مطابق رابطه ۱۳ بدست می‌آید.

$$p_{fl} = \frac{\theta_f - \theta_l}{X_{fl}} \quad (۱۳)$$

پس از حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه، با انجام پخش بار DC، میزان بار خطوط انتقال محاسبه می گردد. در صورتی که بار خطوط از حد مجاز کمتر باشد، پاسخ مسئله برنامه‌ریزی قابل اجرا می‌باشد. در صورت تخطی میزان بار خطوط از حد مجاز آن، میزان تولید با استفاده از روش‌های تکرار و محاسبه ضرایب جابجائی تولید تا رهایی از قید محدودیت انتقال خطوط تغییر می‌نماید.

سایر محدودیت‌های متداول مسئله برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت از جمله محدودیت‌های حداقل زمان توقف[۱۸]، حداقل زمان روشن بودن[۱۹] واحدهای نیروگاهی و همچنین نرخ بارگیری نیز لحاظ می‌شوند.

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش با استفاده از شبیه‌سازی، نقش بکارگیری فن‌آوری نوین که قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع را ممکن می‌سازد، بوسیله سناریوهای مختلف قیمت‌دهی و بار بررسی می‌شود و تأثیر آن بر روی قیمت انرژی و ذخیره‌ی اولیه و نوسانات آن در مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره ی اولیه مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

برای حل مسئله در هر تکرار، از روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مرجع[۱۱] استفاده شده است. شبیه سازی برای یک شبکه جزیره‌ای با ۴ واحد نیروگاهی که مشخصات و داده‌های واحدهای نیروگاهی آن از مرجع [۱۱] گرفته شده، انجام شده است. فرکانس شبکه ۶۰ هرتز و حداکثر افت مجاز فرکانس ۰/۶ هرتز در نظر گرفته شده است. ذخیره اولیه مورد نیاز برای آرایش تولید در هر ساعت بر مبنای معیار قابلیت اطمینان N-1 منظور شده بطوریکه، در صورت خروج هر واحد، ذخیره مورد نیاز پاسخگوی میزان تولید از دست رفته بوده و علاوه بر آن فرکانس از ۵۹/۴ هرتز کمتر نمی‌گردد. مشخصه افتی یا دروپ کلیه واحدها ۴ درصد در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که کلیه واحدهای مورد نظر قابلیت مشارکت در کنترل فرکانس و همچنین انتخاب نرخ بارگیری عادی و سریع را دارند.

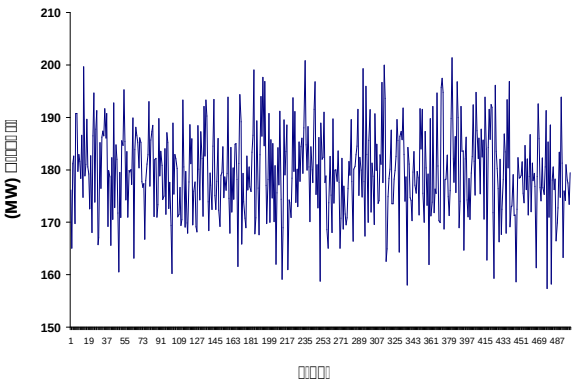
۴-۱- بررسی اثر قیمت دهی فروشندگان برای ذخیره ی اولیه با قابلیت نرخ بارگیری عادی و سریع

در این بخش اثر قیمت‌دهی ذخیره‌ی اولیه فروشندگان با در نظر گرفتن قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و سریع در میزان قیمت

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

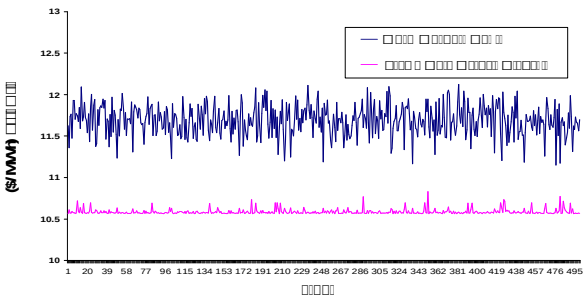
انرژی ذخیره‌ی اولیه و نوسانات آن برای سه سناریوی ذیل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. به منظور بررسی اثرات تغییرات بار بر روی قیمت انرژی و ذخیره در هر سناریو، برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای ۵۰۰ مقدار بار مصرفی مختلف که بطور تصادفی حول ۱۸۰ مگاوات و با انحراف معیار ۹ شبیه سازی شده (شکل ۳)، انجام گردیده است. محدوده تغییرات بار از ۱۵۷ تا ۲۰۱ مگاوات بدست آمده است.



شکل (۳): تغییرات بار مصرفی به صورت تصادفی حول ۱۸۰ مگاوات

۴-۱-۱- سناریوی اول : فروشنده امکان قیمت دهی ذخیره‌ی اولیه را نداشته باشد (بازار سنتی).

در این سناریو، فرض شده است فروشنده مشابه بازار سنتی، امکان قیمت دهی برای ذخیره‌ی اولیه را نداشته و قیمت ذخیره ی اولیه صفر باشد. در شکل ۵، نحوه ی تغییرات قیمت انرژی برای شرایطی که فروشنده تنها امکان بکارگیری نرخ بارگیری عادی را داشته باشد (منحنی آبی رنگ) و برای حالتی که فروشنده امکان بکارگیری و قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع را داشته باشد (منحنی قرمز رنگ) مشاهده می‌شود. همانطور که دیده می‌شود؛ در صورتی که فروشنده قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی ویا سریع را داشته باشد، قیمت انرژی کاهش محسوسی خواهد داشت و میزان نوسان قیمت ناشی از تغییرات بار نیز به طور قابل ملاحظه ای کمتر می‌شود.

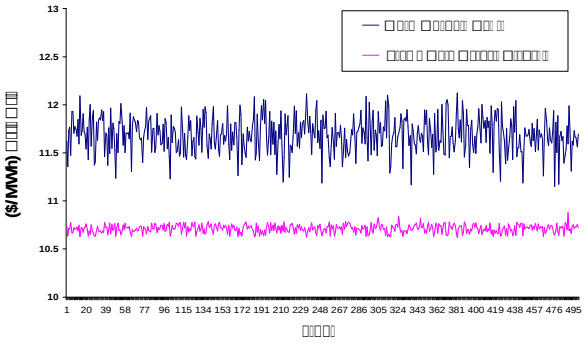


شکل (۴): تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ های بارگیری عادی و سریع با قیمت ذخیره ی اولیه صفر

با مقایسه این دو حالت؛ ملاحظه می شود که متوسط قیمت انرژی با بکارگیری امکان قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع به ترتیب از ۱۱/۶۹ به ۱۰/۵۹ دلار بر مگاوات ساعت و دامنه‌ی نوسانات آن از ۰/۹۷ به ۰/۲۶ دلار بر مگاوات ساعت کاهش یافته است. به علاوه، انحراف معیار نوسانات با بکارگیری این فن آوری از ۰/۱۸۷ به ۰/۰۳۳ تقلیل یافته است. کاهش قیمت انرژی ناشی از افزایش ظرفیت آماده ذخیره ی اولیه با بکارگیری نرخ بارگیری سریع سبب در مدار قرار گرفتن واحدهای ارزان تر و افزایش سهم تولید این گونه واحدها در تأمین بار مصرفی می‌گردد. به علاوه، این افزایش ظرفیت ذخیره‌ی اولیه سبب می‌گردد که توانائی پاسخگوئی به تغییرات بار مصرفی با کمترین هزینه میسر گردد که نتیجه آن کاهش نوسانات قیمت برق ناشی از تغییرات بار می باشد. با اینحال، باید تأکید نمود که شرایط بازار سنتی (سناریوی اول)، نمی‌توان انتظار داشت فروشندگان، انگیزه-ی لازم را برای افزایش ظرفیت ذخیره‌ی اولیه واحدهای خود و استفاده از نرخ بارگیری سریع داشته باشند.

۴-۱-۲- سناریوی دوم : حضور اجباری عرضه کنندگان ذخیره‌ی اولیه با قیمت یکسان و ثابت (شرایط فعلی بازار برق ایران)

در این سناریو، مشابه شرایط فعلی بازار برق ایران، فرض شده است که فروشندگان به صورت اجباری در بازار شرکت می‌نمایند و تنها در صورت پذیرش در بازار، با قیمت ذخیره‌ی اولیه‌ی یکسان و ثابت در بازار کنترل فرکانس اولیه مشارکت خواهند نمود. قیمت ذخیره‌ی اولیه برای همه فروشندگانی که ذخیره‌ی اولیه آنها فراخوانی می‌شود؛ خواه نرخ بارگیری عادی و یا سریع را انتخاب کرده باشند، یکسان در نظر گرفته می شود (به طور نمونه یک دلار بر مگاوات ساعت (که حدود یک دهم قیمت انرژی در بازار است.) منظور شده است.). قیمت انرژی حاصل از شبیه سازی با نرخ بارگیری عادی و با در نظر تگرفتن قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع به ترتیب با منحنی های آبی و قرمز رنگ آمده است (شکل ۵).



شکل (۵): تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع با قیمت ذخیره‌ی اولیه یک دلار بر مگاوات ساعت

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

همانطور که ملاحظه می‌شود، قیمت انرژی برای حالتی که از قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع استفاده می‌شود در مقایسه با حالتی که تنها واحدها از نرخ بارگیری عادی استفاده می‌کنند، کمتر بوده و علاوه بر آن نوسانات قیمت انرژی ناشی از تغییرات بار نیز کمتر است. با مقایسه این دو حالت، مشاهده می شود که متوسط قیمت انرژی با بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع به ترتیب از ۱۱/۶۹ به ۱۰/۷۱ دلار بر مگاوات ساعت و دامنه‌ی نوسانات آن از ۰/۹۷ به ۰/۲۵ دلار بر مگاوات ساعت کاهش یافته است. به علاوه، انحراف معیار نوسانات با بکارگیری این فن آوری از ۰/۱۸۶ به ۰/۰۴۲ کاهش یافته است. البته، در چنین شرایطی امکان عدم ابراز آمادگی فروشندگان برای بکارگیری نرخ بارگیری سریع دور از انتظار نخواهد بود. لذا، تدوین رویه‌های سنجش و تست میزان آمادگی ذخیره‌ی اولیه فروشندگان و جریمه عدم آمادگی و نظارت مستمر بر آن برای چنین شرایطی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد تا از قابلیت واحدها استفاده گردد. این سناریو در مقایسه با سناریوی اول (قیمت ذخیره‌ی اولیه صفر) هزینه‌ی کل را (با توجه به پرداخت قیمت ذخیره-ی اولیه یکسان) تا حدودی افزایش می‌دهد.

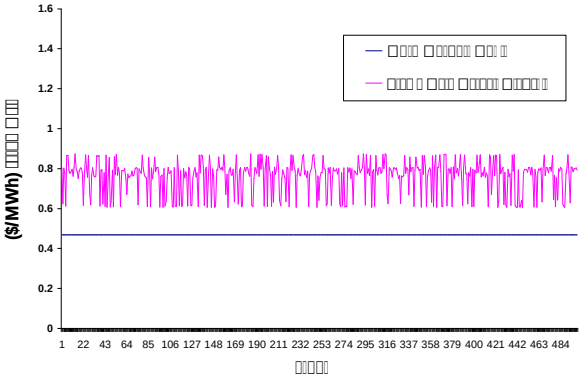
۴-۱-۳- سناریوی سوم : فروشنده در ارائه قیمت بابت ذخیره‌ی اولیه با نرخ عادی و سریع آزاد باشد.

در شرایط منطقی، انتظار می‌رود فروشندگان، با توجه به استهلاک و هزینه‌ی تمام شده مشارکت در کنترل فرکانس با نرخ بارگیری سریع از واحدها، قیمت‌دهی متمایزی را بابت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری عادی و سریع ارائه نمایند. ضمن آنکه با ارائه قیمت‌های متمایز، امکان رقابت فروشندگان نیز فراهم شده و واحدهای نیروگاهی انگیزه بیشتری برای مشارکت در بازار کنترل فرکانس با ظرفیت ذخیره‌ی اولیه‌ی بیشتر را خواهند داشت. از اینرو، در این بخش، دو حالت مختلف با قیمت ذخیره‌ی اولیه برای نرخ‌های بارگیری سریع و عادی (مطابق جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول، قیمت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری سریع دو برابر قیمت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری عادی است. در حالت دوم، قیمت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری سریع و یا عادی به صورت مستقل در نظر گرفته شده‌اند.

جدول (۱): پیشنهاد قیمت ذخیره اولیه فروشندگان

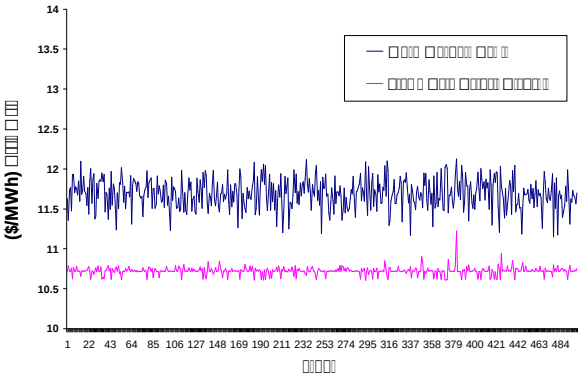
case	q0($/MWh)				q1($/MWh)			
	u1	u2	u3	u4	u1	u2	u3	u4
1	0.34	0.37	0.55	0.63	0.68	0.74	1.1	1.26
2	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	25.0

حالت اول: شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب قیمت ذخیره ی اولیه و انرژی در بازار را با نرخ بارگیری عادی و قابلیت نرخ بارگیری عادی و یا سریع که از برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای حالت اول جدول شماره ۴ بدست آمده را نشان می‌دهد.



شکل (۶): تغییرات قیمت ذخیره ی اولیه برای نرخ بارگیری عادی و نرخ های بارگیری عادی و سریع برای حالت اول جدول۴

همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، قیمت ذخیره‌ی اولیه با بکارگیری نرخ بارگیری عادی و سریع با دامنه ۰/۲۶۷ و انحراف معیار ۰/۰۸ نوسان داشته، در حالیکه با نرخ بارگیری عادی بدون نوسان است. به علاوه، قیمت متوسط ذخیره ی اولیه با بکارگیری نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع نسبت به نرخ بارگیری عادی از ۰/۴۶۸ به ۰/۷۵۹ دلار بر مگاوات ساعت افزایش یافته است.

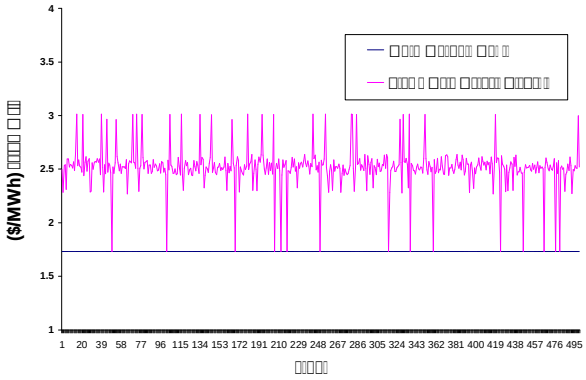


شکل (۷): تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع برای حالت اول جدول۴

اگرچه قیمت متوسط ذخیره‌ی اولیه با بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع افزایش می‌یابد، قیمت متوسط انرژی با بکارگیری این فن‌آوری از ۱۱/۶۹ به ۱۰/۷۲ دلار بر مگاوات ساعت و دامنه‌ی نوسانات آن از ۰/۹۷ به ۰/۶۱ دلار بر مگاوات ساعت کمتر شده است (شکل ۷). به علاوه، با بکارگیری این فن آوری انحراف معیار نوسانات قیمت انرژی، از ۰/۱۸ به ۰/۰۵ کاهش یافته است.

حالت دوم : در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب قیمت ذخیره‌ی اولیه و انرژی در بازار، تحت شرایط نرخ بارگیری عادی و قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع که از برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای حالت دوم جدول شماره ۴ حاصل شده مشاهده می شوند.

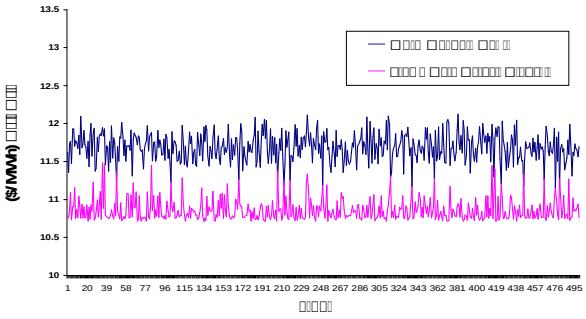
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



شکل (۸): تغییرات قیمت ذخیره‌ی اولیه برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع برای حالت دوم جدول۴

همانطور که از شکل ۸ ملاحظه می‌شود، قیمت ذخیره‌ی اولیه با بکارگیری نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع با دامنه ۱/۲۸ و انحراف معیار ۰/۱۹ نوسان داشته، در حالیکه، در حالت نرخ بارگیری عادی، قیمت ذخیره‌ی اولیه بدون نوسان می‌باشد. این امر به دلیل آن رخ می‌دهد که در این حالت، پاسخ های بدست آمده برای تخصیص ذخیره‌ی اولیه واحدها در شرایط مقادیر مختلف بار مصرفی یکسان می‌باشند. همچنین قیمت متوسط ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری عادی ۰/۷۸ دلار بر مگاوات ساعت از نرخ بارگیری عادی کمتر است. شکل۹ نشان می‌دهد که قیمت متوسط انرژی با بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع از ۱۱/۶۹ به ۱۰/۸۶ دلار بر مگاوات ساعت و دامنه‌ی نوسانات آن از ۰/۹۷ به ۰/۷۷ دلار بر مگاوات ساعت کاهش یافته است. به علاوه، انحراف معیار نوسانات قیمت انرژی با بکارگیری این فن آوری، از ۰/۱۸۷ به ۰/۱۴۶ کاهش یافته است.

نتایج حاصله از دو حالت فوق نشان می‌دهند که نحوه قیمت‌دهی فروشندگان در میزان نوسانات قیمت انرژی تأثیر گذار بوده و در شرایط منطقی قیمت دهی، بکارگیری فن آوری انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی ویا سریع، سبب کاهش قیمت انرژی و نوسانات آن می‌گردد. در هر حال، نحوه‌ی قیمت‌دهی ذخیره‌ی اولیه به طور محسوسی بر میزان نوسانات قیمت انرژی تأثیر گذار است.



شکل (۹): تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع برای حالت دوم جدول۴

۴-۲- بررسی اثر قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع در بارهای مختلف

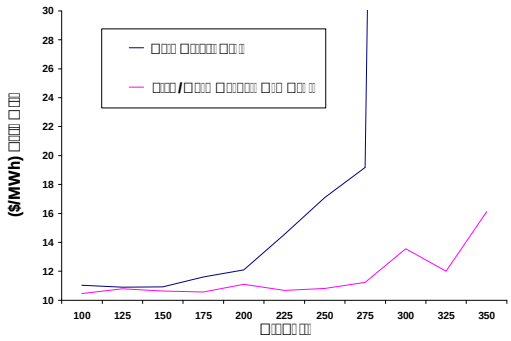
به منظور بررسی اثر قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع در بارهای مختلف، در این بخش، نقش این قابلیت در بارهای مختلف از ۱۰۰ تا ۳۵۰ مگاوات با پله های ۲۵ مگاواتی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصله از برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای قیمت ذخیره ی اولیه سناریوهای اول و دوم (صفر و یک دلار بر مگاوات ساعت) و سناریوی سوم (قیمت دهی مطابق حالت اول و دوم جدول ۴) به ترتیب در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ آمده است. با تحلیل این نمودارها، می‌توان نقش بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع را در ۴ ناحیه زیر خلاصه نمود:

۱- در بار مصرفی به میزان کمتر از ۱۵۰ مگاوات، قیمت انرژی با بکارگیری نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع یکسان بوده و عملاً نشان دهنده آن است که در این شرایط نیازی به بکارگیری قابلیت نرخ بارگیری سریع نیست.

۲- در بارهای مصرفی که در محدوده ۱۵۰ تا ۲۰۰ مگاوات قرار می‌گیرند، قیمت انرژی با قابلیت نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع با شیب کمی نسبت به حالتی که واحد در نرخ بارگیری عادی است، کاهش می‌یابد که دلیل آن هزینه‌های ناشی از نرخ بارگیری سریع است.

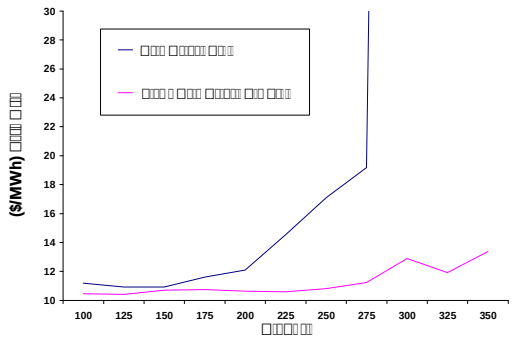
۳- در بارهای مصرفی محدوده ۲۰۰ تا ۲۷۵ مگاوات، قیمت انرژی در حالتی که واحد با نرخ بارگیری عادی بهره‌برداری شده، با شیب زیادی نسبت به حالتی که با نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع بهره-برداری می گردد، افزایش می‌یابد که این خود بکارگیری نرخ بارگیری سریع را توجیه می نماید.

۴- در بارهای مصرفی بیش از ۲۷۵ مگاوات، مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره ی اولیه با نرخ بارگیری عادی پاسخ نداشته و تنها در صورت بکارگیری نرخ بارگیری سریع مسئله پاسخ خواهد داشت.

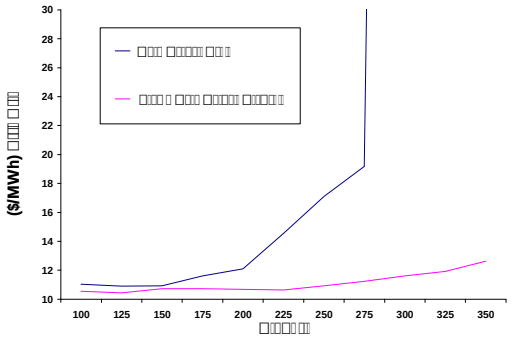


شکل(۱۰): تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع در حالت قیمت ذخیره ی اولیه صفر

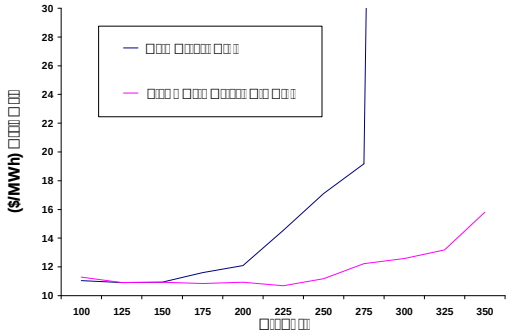
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



شکل (۱۱): تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع در حالت قیمت ذخیره ی اولیه یک



شکل (۱۲): تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع برای حالت اول جدول ۴



شکل (۱۳): تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع برای حالت دوم جدول ۴

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع، در سه سناریوی مختلف قیمت دهی ذخیره‌ی اولیه (بازار سنتی، شرایط فعلی بازار برق ایران و آزادی فروشندگان در ارائه‌ی قیمت متمایز ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری سریع و عادی) در مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که نحوه‌ی قیمت‌دهی ذخیره‌ی اولیه توسط فروشندگان در کاهش قیمت انرژی و نوسانات آن مؤثر است. به علاوه اگرچه استفاده از قیمت یکسان و ثابت برای ذخیره‌ی اولیه منجر به کاهش جدی نوسانات قیمت انرژی می‌گردد لیکن، از آنجا که در این حالت انگیزه کافی در بکارگیری نرخ بارگیری سریع برای فروشندگان وجود ندارد، نیازمند تدوین رویه‌های نظارتی و آزمون مستمر مورد نیاز است. درحالی که، اعطای آزادی عمل به فروشندگان برای ارائه‌ی قیمت‌های متمایز، سبب ایجاد انگیزه برای ابراز آمادگی برای مشارکت در کنترل فرکانس با نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع می‌گردد که این خود سبب افزایش ذخیره‌ی اولیه آماده شده و شرایط رقابت بین فروشندگان بهبود می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود؛ در شرایط منطقی قیمت‌دهی فروشندگان، بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع، کاهش قیمت انرژی و کاهش نوسانات آن گردد.

در این مقاله همچنین، اثر قابلیت انتخاب نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع در بارهای مختلف (بارِحداقل تا بارِپیک) در مسئله‌ی برنامه-ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه برای سه سناریوی مختلف قیمت‌دهی ذخیره‌ی اولیه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهند در شرایطی که استفاده از نرخ بارگیری سریع در بارِحداقل ضرورتی ندارد، در بسیاری از موارد بکارگیری نرخ بارگیری سریع در بارِپیک ضروری است و در صورت عدم استفاده از آن مسئله‌ی برنامه‌ریزی بدون پاسخ خواهد بود. همچنین، از نظر اقتصادی، بکارگیری نرخ بارگیری سریع در بارهای میانی نزدیک پیک توجیه‌پذیر بوده و در بارهای کمتر بسته به هزینه نرخ بارگیری سریع، امری قابل بررسی است.

با توجه به مطالب فوق، می‌توان با تدوین رویه‌های مربوط به جبران هزینه‌های ناشی استهلاک واحدهای مشارکت کننده در کنترل فرکانس با نرخ بارگیری سریع و امکان ارائه‌ی قیمت ذخیره‌ی اولیه متمایز برای نرخ بارگیری عادی و سریع، مشوق‌های لازم را برای امکان رقابت بین فروشندگان این خدمات تأمین نمود. بدینوسیله زمینه‌ی کاهش قیمت انرژی و نوسانات آن و در نتیجه امنیت خرید برای مصرف‌کنندگان فراهم می‌گردد. به علاوه نتایج بدست آمده از شبیه-سازی‌ها نشان می‌دهند که در برخی از شرایط، شناسائی و بکارگیری نرخ بارگیری سریع واحدهای نیروگاهی مجهز به این فن‌آوری، حتی به صورت اجباری، می‌تواند در صورت خروج خودکار و ناگهانی واحدهای نیروگاهی در بارِ پیک، از خاموشی‌های حاصل از عملکرد رله‌های فرکانس پائین بکاهد.

□□□□□□ □□□

۱- متغیرهای پیوسته

g_{it} میزان تولید واحد i ام در دوره t

Δf_t انحراف فرکانس در طی دوره t

r_{it}^{pr} میزان ذخیره‌ی اولیه واحد i ام در ساعت t

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.2- Fall & Winter 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۲- متغیرهای باینری (۰/۱)

u_{it} وضعیت در مدار قرار گرفتن واحد i ام در ساعت t

v_{it} وضعیت مشارکت واحد i در کنترل فرکانس در ساعت t

w_{it} وضعیت نرخ بارگیری واحد i در ساعت t

y_{it} وضعیت راه‌اندازی واحد i ام در ساعت t

z_{it} وضعیت توقف واحد i ام در ساعت t

۳- پارامترها

d_t بار مصرفی شبکه در ساعت t

C_{it}^{su} هزینه‌ی راه‌اندازی واحد i ام در ساعت t

C_{it}^{sd} هزینه‌ی توقف واحد i ام در ساعت t

$q0_{it}^{pr}$ قیمت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری عادی واحد i ام در ساعت t

$q1_{it}^{pr}$ قیمت ذخیره‌ی اولیه با نرخ بارگیری سریع واحد i ام در ساعت t

$\Delta f^{\min}$ حداکثر انحراف مجاز فرکانس که کاهش می یابد.

$g_i^{\max}$ حداکثر تولید مجاز واحد I ام

$g_i^{\min}$ حداقل تولید مجاز واحد I ام

$g_i^{pr-\max}$.حداکثر تولید مجاز واحد i ام به هنگام مشارکت در کنترل فرکانس

$g_i^{pr-\min}$.حداقل تولید مجاز واحد i ام به هنگام مشارکت در کنترل فرکانس

$r_i^{normal-pr}$ حد نرخ بارگیری عادی واحد i ام

$r_i^{fast-pr}$ حد نرخ بارگیری سریع واحد i ام

R_i دروپ (مشخصه افتی) واحد i ام

$p_{fl}^{\max}$ حداکثر میزان انتقال خط fl

X_{fl} اندوکتانس خط انتقال fl

مراجع

[1] G. B. Shrestha, Kai Song, L. Goel, "Strategic Self-Dispatch Considering Ramping Costs in Deregulated Power Markets", IEEE Transactions on Power Systems, vol.19, no.3, pp. 1575- 1581, 2004

[2] Shirvan combined cycle power plant (Gas Turbine Portion) ,Technical data and specification, 2005

[3] José F. Restrepo, Francisco D. Galiana, "Unit Commitment With Primary Frequency Regulation Constraints", IEEE Transactions on Power Systems, vol.20, no.4, pp.1836-1843, Nov 2005

[4] C. Wang, S. M. Shahidehpour, "Effects of ramp-rate limits on unit commitment and economic dispatch", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 8, pp. 1341–1350, Aug. 1993.

[5] C. Wang, M. Shahidehpour, "Ramp-rate limits in unit commitment and economic dispatch incorporating rotor fatigue effect", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, pp. 1539–1545, Aug. 1994.

[6] C. Wang S., M. Shahidehpour, "Optimal generation scheduling with ramping costs", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 60-67, 1995

[7] Zuyi Li ,M. Shahidehpour, "Generation scheduling with thermal stress constraints", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 4, pp. 1402-1409, 2003

[8] B. H. Bakken, A. Petterteig, and A. K. Nystad, "Market based ancillary services for ramping", in *Proc. IEEE PES WM2000*, Jan. 23–27, 2000.

[9] Shmuel S. Oren, Andrew M. Ross, "Designs for ramp-Constrained Day-Ahead Auctions", IEEE Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, 2002

[10] Howard F. Illian, "Expanding the Requirements for Load Frequency Control", Power Engineering Society General Meeting, pp.1-7, 2006.

[□□] مصطفی رجبی مشهدی، محمدحسین جاویدی دشت‌بیاض، محمدصادق قاضی‌زاده، "برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با لحاظ کردن قابلیتهای فنی واحدهای نیروگاهی پیشرفته"، مجله علمی و پژوهشی انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال ششم، شماره دوم، صفحه ۷۱-۸۰، ۱۳۸۸

[12] K. A. Papadogiannis, N. D. Hatziargyriou, "Optimal Allocation of Primary Reserve Services in Energy Markets", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 1, pp. 519–523, Feb. 2004.

[13] Bruce A. Grey, "Determination of Spinning Reserve Deployment Using An Extended Economic Dispatch to Include Line Flow Limits and Primary Frequency Regulation", 39th Southeastern Symposium on System Theory, Mercer University, Macon, pp. 37-41, March 2007.

[14] Z. Song, L. Goel, P. Wang," Risk Based Spinning Reserve Allocation in Deregulated Power Systems", IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, April 2004.

[15] R. Pearmine , Y.H. Song, A. Chebbo," Experiences in Modeling the Performance of Generating Plant for Frequency Response Studies on the British Transmission Grid", Electric Power Systems Research 77,pp. 1575–1584, 2007.

[16] Wen-Chen Chu, Yi-Ping Chen," Feasible Strategy for Allocating Cost of Primary Frequency Regulation", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 24, no. 2, pp. 504-510, May 2009.

زیرنویس‌ها

[1] Ramp Rate
[2] Fatigue
[3] Primary Reserve
[4] Unit Commitment

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[5] Ancillary Service
[6] Market Power
[7] Simultaneous Scheduling
[8] Normal Ramp Rate
[9] Fast Ramp Rate
[10] Volatility
[11] Elastic Range
[12] Break Frequency Deviation
[13] Pool
[14] Pay as Bid
[15] Market Operator
[16] Single Contingency
[17] Load Shedding
[18] Minimum Down Time
[19] Minimum Up Time

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]