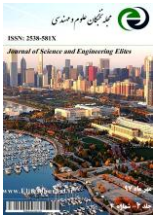
مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۳- شماره ۴- سال ۱۳۹۷
www.ElitesJournal.ir



مروری بر روش‌های حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی

بهروز نجفی

کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

behroz1.najafi1@gmail.com

ارسال: مرداد ۹۷ پذیرش: مهر ۹۷

چکیده

مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است که با توجه به محدودیت‌ها و پارامترهای زیاد مطرح در آن، از پیچیدگی بالایی برخوردار است.این مسئله به مشخص کردن وضعیت روشن یا خاموش بودن واحدهای نیروگاهی حرارتی و مقدار توان تولید آنها در بازه‌های زمانی برنامه‌ریزی می‌پردازد. مقصود کلی از در مدار قرار گرفتن نیروگاهها، مینیمم کردن هزینه‌ی بهره‌برداری کل سیستم، با در نظر قرار گرفتن همه قیودی است که سطح مشخصی از امنیت را تامین می‌کند. مشخص کردن زمان مناسب ورود یا خروج نیروگاه‌ها به مدار از بین حالت‌های ممکن، صرفه جویی عظیم اقتصادی در پی خواهد داشت. همچنین ایجاد ذخیره چرخان مناسب در سیستم قدرت، سیستم را از نظرامنیت در وضعیت مطلوبی نگه می‌دارد. در این مقاله سعی بر آن است که صرفا با مرور کارهای انجام شده در این زمینه،روش‌های حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی بررسی می‌شود.

واژه های کلیدی: Unit Commitment (UC)، تعیین وضعیت واحدها، حداقل نمودن هزینه بهره‌برداری از شبکه، روش‌های حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها

۱–مقدمه

مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها[۱]، در واقع برنامه‌ریزی ورود و خروج واحدها با در نظر گرفتن قیودی است که به موجب آن، واحدهای غیر ضروری خاموش گردد تا بهره‌بردار سیستم قدرت حداقل هزینه ممکن را متحمل شود. بدون بررسی شرایط و مطالعه تمام جوانب کار، بهره‌بردار سیستم قدرت،نمی تواند به راحتی واحدهای معینی را در مدار قرار داده و آنها را مورد بهره برداری قرار بدهد. بنابراین ضروری است که از قبل تمهیدات لازم برای این موضوع اندیشیده شود و بر مبنای بار پیش‌بینی شده و محدودیتهای موجود، واحدهایی که باید در مدار قرار گیرند و آنهایی که باید از مدار خارج شوند، تعیین گردند. هنگامی که حداقل نمودن هزینه مد نظر است، واحدهای ارزان ابتدا وارد مدار می‌شوند. واحدهای گران هم، هنگامی در مدار قرار می گیرند که بار زیاد باشد. اگر واحدی روشن است، آن را با ۱ و چنانچه خاموش باشد آن را با صفر نشان می‌دهیم.

[۱] Unit Commitment (UC)

Archive of SID
www.SID.ir

حل مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها، با هدف تعیین وضعیت واحد های تولید انرژی الکتریکی موجود در یک شبکه قدرت انجام می‌گیرد. مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی که در آن ،مقدار دهی واحد های روشن تحت عنوان پخش اقتصادی بار [۲] صورت می‌گیرد. عمدتا یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی پیچیده با ابعاد بالا و دارای قیود خطی و غیرخطی است. پیشینه تحقیق گواه برآن است که در مدار قرار دادن نیروگاه‌ها از یک سو به منظور حداقل کردن هزینه تولید و از سوی دیگر به منظور حداکثر کردن سود شرکتهای تولیدی، انجام می‌گیرد[۱]. مسئله UC در برگیرنده برنامه روزانه کار نیروگاه‌هاست که در آن به منظور تامین تقاضای پیش بینی شده و رزرو چرخان[۳] مورد نیاز در بازه زمانی از یک روز تا یک هفته،باید واحدهای تولیدی که برای تولید مقرون به صرفه ترین واحد هستند، با در نظر گرفتن محدودیت های فنی و عوامل اقتصادی تعیین شوند [۲]. این مسئله حاوی متغیرهای گسسته و پیوسته است که وضعیت روشن یا خاموش بودن نیروگاه‌ها و نیز توزیع اقتصادی بار میان واحدها را نشان می‌دهد [۳]. هدف UC مینیمم کردن هزینهٔ تمام شده، واحدهای نیروگاهی با وجود تعداد زیادی از قیود واحدها و سیستم در مدت برنامه‌ریزی است. مسئله کلی UC می‌تواند به دو زیر مسئله تقسیم شود. یکی مسئله ترکیبی برنامه ریزی غیرخطی صحیح برای تعیین حالت روشن و یا خاموش واحدهای تولید برای هر ساعت از دورهٔ پخش بار (معمولاً ۲۴ ساعت) با توجه به قیود موجود می‌باشد و مسئله دیگر برنامه‌ریزی درجهٔ دوم یعنی پخش بار اقتصادی بین واحدها می‌باشد که حل این زیر مساله نیز وابسته به قیود دیگری است که باید در نظر گرفته شوند [۱]. حل همزمان هر دو مسئله یک مساله بسیار پیچیده است. دشواری مسئله متناسب با تعداد واحدها و قیود افزایش می یابد. [۱]. UC بعنوان دو مسئله بهینه سازی مرتبط به هم مطرح می‌شود. اولین مسئله ترکیبی است و دومین مسئله، برنامه ریزی غیر خطی است. حل دقیق UC می تواند با شمارش کامل همه ترکیبات ممکن واحد های تولید بدست آید که عدد بسیار بزرگی خواهد بود. سپس مسئله پخش بار اقتصادی برای هر ترکیب ممکن حل می‌شود. اساساً ابعاد بالای فضای مسئله، حل آنرا دشوار می سازد[۱].

نتایج این پژوهش صرفا از طریق مطالعه رفرنس‌ها و جمع کردن نتایج مشترک در بین روش‌های بکار رفته در هر کدام از آن‌ها بدست آمده است تا یک دیدکلی در مورد مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها بدست آید. ساختار مقاله بدین گونه است که در بخش دوم مروری بر مطالعات انجام شده برای حل مسئله در مدار قرارگرفتن واحدها بیان شده است.در بخش سوم روش های حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها معرفی می‌شود. روش‌های نگهداری یک واحد حرارتی نیز در بخش چهارم ترسیم شده است. مفهوم مسئله در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها ،تعریف مسئلهUC وبیان قیود آن در بخش پنجم و ششم آورده شده‌است.

۲-مروری بر مطالعات انجام شده برای حل مسئله UC

تا قبل از سال۱۹۶۰ مسئله UC فقط به بحث توزیع اقتصادی بار محدود می شد .در آن زمان، روش شناخته شده کوهن -تاکر وضعیت اقتصادی بهینه را مشخص می کرد. هنگامی که این شرایط برآورده می شد، کلیه ی نیروگاه هایی که در مدار بودند، به غیر از نیروگاه هایی که به صورت مؤثر با حداکثر توان در شبکه بودند، با توجه به میزان سوخت‌شان بارگذاری می‌شدند.بر مبنای روش کوهن - تاکر چندین راه حل برای مسئله UC پایه گذاری گردید که از جمله آنها می توان ابداع روش تکرار لامبدا و روش گرادیان برای نیروگاه های حرارتی را نام برد[۳].

در [۵-۴] از روش های کدبندی باینری برای حل مسئله UC استفاده شده است. همچنین می‌توان به کاربرد الگوریتم های تکاملی کوانتومی[۶]، باکتریال[۷]، ژنتیک[۸]، برنامه ریزی تکاملی[۹]، جهش قورباغه[۱۰]، سرد شدن تدریجی فلزات [۱۱]، تجمع مورچگان[۱۲]،و سایر روش های هوشمند[۳۸-۲۸،۲۰-۱۳]، برای حل مسئله UC اشاره کرد . علاوه بر این در[۲۱]، تکنیک های ریاضی و هوشمند برای حل مسئله UC استفاده شده است. در[۲۳-۲۲]، روشی جدید مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی تجمع زنبور

[2] Economic Dispatch (ED)

[۳] تفاضل توان قابل تولید و توان تولید شده واحدهای در مدار در زمان پیک یا تفاوت بین ظرفیت بالقوه فعال و مجموع بار و تلفات سیستم

www.SID.ir

عسل(ABC) برای حل مسئله UC ارائه شده است. در بخش بعدی به طور طبقه بندی شده‌ای روش های حل مسئله در مدار قرارگرفتن واحدها در منابع مختلف بررسی شده است.

۳- معرفی روش های حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها

روش های مختلفی برای حل بهینه مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها بکار گرفته شده‌اند. هر یک از این روش ها شرایط و خواصی دارند که کاربرد آنها را در مسائل بخصوص، ممکن می سازد. بطور کلی بنا به [۴۲]،روش های حل مسئلهUC به سه دسته تقسیم می شوند:

۳-۱- روش های کلاسیک

روش‌های کلاسیک برای حل مسئلهUC شامل روش‌های لیست حق تقدم[۴][۲۴]،آزادسازی لاگرانژ[۵][۲۵]، برنامه‌ریزی دینامیکی [۶][۲۶]برنامه‌ریزی خطی مرکب عدد صحیح[۲۷] و یکایک شماری[۴۳][۷] و ... است. این روش ها به لحاظ همگرایی عددی و نیز کیفیت پاسخ مقبولیت بالایی ندارند.

۳-۲- روش‌های هوشمند یا روش‌های هوش مصنوعی

این دسته جزء،روش‌های جستجوی مبتنی بر جمعیت هستند که هرکدام از آن‌ها، مزایا و معایب مخصوص به خود را دارند .بیشتر این روشها به دلیل اینکه مبتنی بر تکرار و حرکت‌های تصادفی‌اند، زمان اجرای نسبتا طولانی دارند.علاوه برآن،این روشها از توانمندی بالایی در ارضا قیود غیرخطی و ایجاد پاسخ های با کیفیت برخوردارند .اما در صورت افزایش ابعاد مساله، مشکلات زمانی و کیفیت پاسخ بروزمی کنند. از جمله روش‌های هوشمند که برای حل مسئلهUC بکار رفته می‌توان به روش‌های الگوریتم ژنتیک[۲۸]، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات [۲۹]، الگوریتم تکامل تفاضلی[۳۰]، الگوریتم جهش قورباغه[۳۱]، الگوریتم کلونی زنبورعسل[۳۲]، الگوریتم کرم شبتاب [۳۳]،الگوریتم جستجوی خفاش [۳۴]،الگوریتم تکاملی کوانتومی[۳۵]، الگوریتم جستجوی گرانشی[۳۶]، الگوریتم علف‌های هرز[۳۷]، الگوریتم جستوجوی هارمونی [۳۸]،اشاره کرد.

۳-۳-روش‌های هیبرید یا ترکیبی

از ادغام روش‌های دیگر به دست آمده‌اند. در استفاده از روش‌های ترکیبی سعی در تقلیل مشکلات هر دو طیف از روش‌های کلاسیک و هوشمند می شود. از جمله روش‌های هیبرید که برای حل مسئله UC بکار رفته می‌توان روش‌های همچون آرام سازی لاگرانژ بر پایه شبکه هاپفیلد[۳۹]، الگوریتم هیبریدِ تاگوچی-کلونی مورچه[۴۰]، آرام‌سازی لاگرانژ و الگوریتم تکاملی [۴۱]، الگوریتم جستجوی خفاش در ادغام با روشهای اصلاحی و اکتشافی [۴۲] را یادآور شد. روشی که هر شرکت یا هر منطقه برای حل مسئلهUC ، انتخاب می کند، به شرایط خاصی نظیر نوع و تعداد واحدهای آبی، تلمبه ذخیره ای، وجود محدودیت های استفاده اجباری از سوخت، قراردادهای قطع بار یا مدیریت بار و...بستگی دارد.

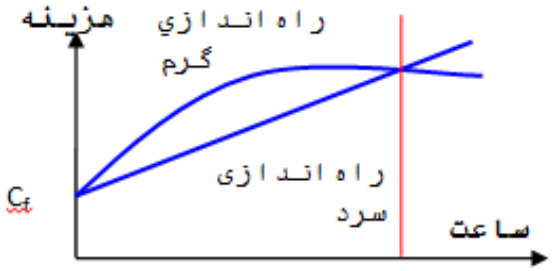
۴-روش‌های نگهداری یک واحد حرارتی

دو روش، جهت نگهداری یک واحد حرارتی هنگام توقف آن وجود دارد. روش اول اجازه می‌دهد که دیگ بخار کاملا سرد شده و در صورت نیاز مجدد به راه‌اندازی، درجه حرارت را دوباره بالا برد. در روش دوم که به روش گرم موسوم است انرژی کافی به

[4] Priority List
[5] Lagrangean Relaxation
[6] Dynamic Programming
[7] Exhaustive Enumeration

www.SID.ir

دیگ بخار داده می‌شود به طوری که درجه حرارت در حالت معمول بهره‌برداری باقی بماند، هزینه‌های این دو روش(راه‌اندازی سرد یا گرم) با هم مقایسه می‌شود تا بهترین روش انتخاب گردد[۱]. بنا به [۱]، نمودار هزینه راه‌اندازی برحسب ساعت به صورت زیر است:



شکل ۱- نمودارهزینه راه اندازی

همچنانکه در شکل (۱) نشان داده شده است، هزینه راه‌اندازی گرم تا حد مشخصی از ساعات، کمتر از هزینه راه‌اندازی به روش سرد است [۱].

۵-مفهوم مسئله در مدار قرارگرفتن واحدها

مسئله در مدار قرار گرفتن واحدها، از برنامه ریزی تولید ساعت به ساعت واحدهای نیروگاهی، برای یک روز الی یک هفته(۲۴ تا ۱۶۸ساعت) انجام می‌شود.این برنامه ریزی، بر اساس منحنی پیش بینی بار باید چنان باشد که اولاً هزینه بهره برداری را حداقل نمایید ثانیاً قیود و محدودیت های تولید شبکه را برآورده سازد. ثالثا با توجه به توزیع جغرافیایی تولید و ظرفیت های انتقال قدرت و خروج برخی از واحدها برای انجام تعمیرات، واحدهای تعمیرات برای راه اندازی مشخص شود. رابعا برنامه ریزی باید ضمن حداقل کردن هزینه، تأمین کننده نیاز مصرف و ذخیره موردنیاز و محدودیت های دیگر نیز باشد[۴۴]. اطلاعات موردنیاز جهت برنامه ریزی واحدها را می توان به صورت زیر شمرد:

۱-منحنی بار پیش بینی شده در دوره زمانی موردنظر

۲-هزینه های تولید واحدهای آماده بهره برداری

۳-محدودیت های واحدها و شبکه

ورود و خروج واحدها با توجه به تغییرات بار در شبکه یکی از راه های بهره برداری بهینه و صرفه جویی در هزینه تولید است. هزینه تولید شامل هزینه سوخت، هزینه راه اندازی و هزینه خاموش شدن است[۴۴]. هزینه سوخت یک تابع درجه دوم از توان تولیدی واحد است که با توجه به اندازه گیری و آزمایش هایی که روی هر واحد صورت می گیرد به دست می آید. هزینه راه اندازی واحد، هزینه موردنیاز برای راه اندازی واحد از حالت خاموش است که یک تابع نمایی از زمان خاموش بودن واحد است. هزینه خاموش شدن (از مدار خارج شدن) شامل هزینه سوخت بعد از خارج شدن واحد و هزینه‌های کارکنان و کارکنان هنگام توقف واحد که معمول ثابت است می رود.

کمینه سازی تابع هرینه تولید با در نظر گرفتن محدودیت ها و قیدهای است که در حل مسئله UC باید رعایت شود. این محدودیت‌ها شامل مواردی است که در بهره برداری از واحد و شبکه وجود دارند که قبلا در بخش قبلی به برخی از آن‌ها اشاره کردیم در این‌جا بطور کاملتری می توان به موارد زیر اشاره کرد[۴۴]:

تأمین بار درخواستی سیستم، تأمین ذخیره گردان، محدودیت تولید واحد، حداقل زمان روشن و خاموش بودن [۸]، در دسترس بودن واحد، محدودیت خدمه، محدودیت سوخت، محدودیت قابلیت اطمینان شبکه، محدودیت آلودگی محیط زیست، و سایر محدودیت ها که در بهره برداری وجود دارد[۴۴].از آنجاکه برای حل هر مسئله بهینه‌سازی لازم است که در گام نخست آن مسئله

[8] minimum up and down times

Archive of SID
www.SID.ir

نعریف شود، تابع هدف و محدودیت‌های آن مشخص شود لذا در بخش بعدی مسئله UC را در حالت کلی تعریف می‌کنیم. این کار را نیز با بررسی یکی از منابعی که مطالعاتی کاملی را در این زمینه انجام داده و تقریبا نتایج مشترکی را در بین تمام منابع شامل حل مسئله UC دارد، بیان کرده‌ایم.

۶–تعریف مسئله در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها و قیود آن در حالت کلی

UC یک عمل بهینه سازی مهم است که به مقدار زیادی هزینه عملکرد روزانه سیستم‌های قدرت، را کاهش می‌دهد. هدف UC حداقل کردن هزینه بهره برداری با وجود تعداد زیادی از قیود واحدها و سیستم در مدت برنامه ریزی است.

۶–۱ –تابع هدف

هزینه بهره‌برداری در مسئله UC برابر با مجموع هزینه سوخت و هزینه‌های راه اندازی و خاموش کردن واحدهای نیروگاهی با توجه به قیود متفاوت است که در یک بازه زمانی لازم است کمینه گردند. در[۲۳]، هزینه بهره برداری (Cost of operation) در مسئله UC در قالب ریاضی به صورت زیر فرمولبندی شده است:

$$C_p = \min \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} (FC_i(P_{i,h}) \times U_{i,h}) + SU_i + SD_i \qquad (۱)$$

که در آن FC_i هزینه سوخت واحد نیروگاهی iام، $P_{i,h}$ توان تولیدی واحدiام در ساعت hام ، $U_{i,h}$ وضعیت فعالیت یا عدم فعالیت واحد نیروگاهیiام در ساعت hام است که دارای دو حالت ۰ یا ۱ است. عدد صفر نشان دهنده خارج از مدار بودن(خاموش) و عدد یک بیانگر در مدار بودن واحد(روشن) است SU_i و SD_i به ترتیب هزینه روشن کردن و هزینه خاموش کردن ژنراتور iام،T کل دوره برنامه ریزی و n نیز واحدهای نیروگاهی را نشان می دهد. هزینه سوخت هر واحد در ساعت hام ($FC_{i.h}$) مطابق رابطه زیر به صورت تابعی سهموی از مقدار توان خروجی آن واحد بیان می شود:

$$FC_{i,h} = \left[\alpha_i P_{i,h}^2 + \beta_i P_{i,h} + \gamma_i \right] . U_{i,h} \qquad (۲)$$

که در آن α_i، β_i، γ_i ضرایب هزینه سوخت واحد حرارتیi ام، $P_{i,h}$ نیز توان خروجی واحد در حال تولیدi ام در ساعت hام است. $U_{i,h}$ نشانگر وضعیت واحد نیروگاهی iام در ساعت hام است که دارای دو حالت صفر یا ۱ است. هزینه خاموش کردن مقدار بسیار کمی است و عموماً در تحقیقات انجام شده از آن صرف نظر شده است. هزینه های راه اندازی و خاموش کردن صرفاً هزینه هایی هستند که در هنگام راه اندازی و خاموش کردن وجود دارند.

بنا به نتایج [۴۲]، هزینه راه‌اندازی هر واحد نیز متناسب با تعداد ساعات خاموش بودن واحد، برابر با یکی از دو مقدارِ هزینه راه‌انداز ی سرد یا گرم خواهد بود:

$$SU_i = \begin{cases} H_{startup}(i) & \text{if } DT(i) \le CSH(i) \\ C_{startup}(i) & \text{if } DT(i) > CSH(i) \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن $H_{startup}(i)$، $C_{startup}(i)$ به ترتیب هزینه راه اندازی گرم و هزینه راه اندازی سرد واحد iام، هستند. $DT(i)$ تعداد ساعات متوالی خاموش بودن واحدi ام، $CSH(i)$ بیشینه مدت زمان خاموش بودن واحد نیروگاهی برای راه‌اندازی گرم آن واحد است.

۶–۲ – قیود محدودکننده:

مجموعه قیودی که در این مسئله باید در نظر گرفته شود، به دو دسته قیود تساوی و نامساوی تقسیم بندی می شوند که عبارتنداز:

Archive of SID
www.SID.ir

۶-۲-۱- قید تعادل توان یا محدودیت تعادل بار

تضمین کننده تولید توان به میزان تقاضا است.درواقع می‌توان گفت که مهمترین قید در مسأله بهینه‌سازی UC، قید تعادل مصرف شبکه و مجموع تولید واحدها در هر ساعت است.یا به عبارتی مجموع مقادیر توان خروجی نیروگاه‌های هر ساعت باید با میزان تقاضای بار پیشبینی شده برای آن ساعت برابر باشد.این قید به صورت زیر بیان شده است:

$$\sum_{i=1}^{n} U_{i,h} \cdot p_{i,h} = P_D^h \qquad t = 1, 2, ...T \tag{۴}$$

که در آن P_D^h بیانگر میزان تقاضای بار در ساعت hام، T کل دوره فعالیت است. $U_{i,h}$ حالت واحد در حال تولید i ام در ساعت hام، $p_{i,h}$ توان خروجی واحد در حال تولید i ام در ساعت hام و n تعداد واحدهای در حال تولید است.

۶-۲-۲- قید محدودیت توان تولیدی

محدودیت حداقل و حداکثر ظرفیت تولید به دلیل ایجاد شرایط واقعی اهمیت می یابد. به منظور کارکرد با بازده‌ای بالا در بلند مدت، مقدار تولید واحدهای نیروگاهی باید بین حداقل تولید و حداکثر آن قرار گیرد. یعنی مجموع تولید و ذخیره سیستم بین این دو حد باشد. محدودیت میزان تولید واحد های تولیدی به صورت زیر بیان می شود:

$$p_{Gi}^{min} \le p_{Gi} \le p_{Gi}^{max} \qquad i=1...n_g \tag{۵}$$

در این رابطه، p_{Gi}^{min} و p_{Gi}^{max} حداقل و حداکثر توان خروجی(تولیدی) هر ژنراتور است.

۶-۲-۳- قید ذخیره چرخان

برنامه زمانی در مدار قرار گرفتن واحدها باید به گونه ای تنظیم شود که سیستم قدرت علاوه بر تأمین تقاضای بار پیش بینی شده هر ساعت، قابلیت تأمین مقدار توانی بیشتر از مقدار تقاضای بار را برای مواقع ضروری داشته باشد. این مقدار توان با عنوان ذخیره چرخان شناخته می‌شود[۴۲]. وجود ذخیره چرخان برای حفظ امنیت سیستم برای مقابله با برخی حوادث، از جمله خروج ناگهانی ژنراتور ها و یا خطوط الزامی است. ذخیره چرخان، براساس قواعد خاصی که در زیر آمده، تعیین می شود:

۱- درصدی از اوج مصرف

۲-معادل بزرگترین واحد نیروگاهی

۳- تابعی از امید از دست رفتن بار (LOLP) (یا احتمال عدم تولید کافی برای تامین بار)

قید مربوط به ذخیره چرخان در رابطه زیر با بهره‌گیری از نتایج [۲۳،۳] آمده است:

$$\sum_{i=1}^{n} U_{i,h} \cdot p_{i,max}^h \ge PD^h + SR^h \tag{۶}$$

که در آن SR^h میزان ذخیره چرخان در ساعت hام است و معمولا به اندازه ده درصد از تقاضای بار پیش‌بینی شده هر ساعت در نظر گرفته می‌شود[۴۲]:

$$SR^h = P_D^h \tag{۷}$$

Archive of SID

www.SID.ir

۶-۲-۴- قید حداقل زمان روشن و خاموش کردن

شامل قید حداقل زمان روشن ماندن و قید حداقل زمان خاموش بودن است و بیان کننده حداقل زمانی است که یک سیستم باید روشن یا خاموش باشد تا بتواند تغییر وضعیت بدهد. در واقع وقتی که یک واحد روشن می‌شود بدلیل موارد فنی باید یک حداقل زمانی را بطور مداوم در مدار باقی بماند و همینطور زمانی که از مدار خارج می‌شود نیز باید یک حداقل زمانی را خاموش بماند[۱]:

$$T_i^{ON} \geq T_i^{up}$$
$$T_i^{OFF} \geq T_i^{down} \qquad (۸)$$
$$i = 1,2,...n$$

که در آن T_i^{ON}، T_i^{OFF}، T_i^{up}، T_i^{down} از راست به چپ به ترتیب بیانگر زمان در مدار بودن واحد در حال تولید iام، زمان خاموش بودن واحد در حال تولید i ام، حداقل زمان روشن بودن واحد i ام، حداقل زمان خاموش بودن واحد i ام است.

۷-نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با مرور منابع مختلف، به مطالعه مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی با هدف حداقل سازی هزینه‌های بهره‌برداری‌پرداخته شده است. هدف از حل مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها ، تعیین وضعیت واحدهای تولیدی موجود در یک شبکه قدرت می‌باشد. در مسئله UC علاوه بر هزینه بهره برداری واحدها، هزینه ها و قیود از قبیل: هزینه راه اندازی، هزینه از مدار خارج نمودن واحد، ذخیره چرخان، زمان توقف و فعالیت نیز می بایست که مورد توجه قرار بگیرد. برنامه زمان‌بندی به مدار آمدن نیروگاه‌ها در سیستم قدرت تعیین کننده زمان ورود و خروج و توان تولیدی همه واحدها از حالت اولیه برای برآورده کردن بار مورد تقاضای مصرف کنندگان در افق مورد مطالعه می‌باشد. در این مقاله با بررسی رفرنس‌های گوناگون، برخی از مسایل مبنا در زمینه در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها بررسی شده و روش های موجود در این زمینه با هم مورد مقایسه قرار گرفته است. روش‌های استفاده شده برای حل مسأله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها را می توان به سه دسته کلاسیک، هوشمند و ترکیبی تقسیم‌بندی نمودکه هریک مزایا و معایب خاص خود را دارند. مقایسه نتایج بدست آمده از منابع گوناگون نشان می‌دهد که تاکنون تلاش‌های محاسباتی گسترده‌ای با توجه به افزایش ابعاد سیستم‌های قدرت، در جهت حل مسئله به مدار آمدن نیروگاه‌ها صورت گرفته است. یافتن برنامه زمان‌بندی بهینه در مسئله به مدار آمدن نیروگاه‌ها می‌تواند منجر به میلیون‌ها دلار کاهش هزینه برای شرکت‌های برق گردد. لذا تلاش‌های گسترده‌ای برای یافتن راه‌حل‌های کارآمدتر و بهینه‌تر و قابل اجرا در سیستم‌های با ابعاد بزرگ در گذشته به این مسئله اختصاص یافته است .روش‌های بسیاری برای حل مسئله به مدار آمدن نیروگاه‌ها وجوده دارد که می‌توان به روش لیست حق تقدم، روش برنامه‌ریزی دینامیکی، برنامه‌ریزی خطی، ساده‌سازی لاگرانژ و الگوریتم‌های تکاملی مختلف و ... اشاره کرد. برخی روش‌های کلاسیک مانند برنامه ریزی دینامیکی روش‌های مناسبی برای حل مسئله UC می باشند ولی چون با افزایش ابعاد مسئله و تعداد واحدها این روش ها کند می باشند نمی توان در عمل که تعداد واحدها زیاد است از آن ها استفاده نمود.ازنظر سرعت عمل و جواب مناسب روش های هوشمند برتری نسبی نسبت به روش های کلاسیک و تجربی دارند ولی بازهم با افزایش ابعاد مسئله گاهی دچار مشکل می شوند بنابراین به فکر ترکیب روش‌های هوشمند با یکدیگر و یا ترکیب آن‌ها با روش‌های کلاسیک و تجربی افتاده‌اند که با توجه به نتایج به دست آمده،عمده‌ای از روش‌های ترکیبی شاید وقتی تعداد واحدها کم هستند تفاوت چندانی با روش‌های هوشمند و کلاسیک نداشته باشد ولی وقتی تعداد واحدها زیاد باشد به وضوح می توان تفاوت در سرعت و دقت روش‌های ترکیبی را مشاهده نمود که همین امر منجر به برتری این روش‌ها شده است.

۸- مراجع

۱. ایمان اورک - علی سعیدیان - سید سعیداله مرتضوی - امیر سرشاد.« کاهش هزینه های تولید در سیستمهای قدرت نو(تجدید ساختار یافته) با استفاده از الگوریتم ژنتیک ،»اولین کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی. اهواز - شبکه برق منطقه ای خوزستان.۱۳۸۸

www.SID.ir

۲. احمد منوچهری - احد سلیمی،" در مدار قرار گرفتن واحد برق آبی برای نیروگاههای متشکل از گروه های مجزا از واحد های تولیدی توسط مدیریت ورود و خروج واحدها و پخش بار اقتصادی" دومین کنفرانس ملی تحقیقات کاربردی در مهندسی برق کامپیوتر و فناوری اطلاعات، شیراز – موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، ۱۳۹۶

۳. ولی اله امانی شاندیز - ارسلان نجفی - حمید فلقی،"به مدار آوردن واحدهای نیروگاههای با در نظر گرفتن آلودگیهای زیست محیطی"چهارمین کنفرانس نیروگاههای برق،تهران – انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، ۱۳۹۰

4. Amjady, N. and Shirzadi, A., "Unit commitment using a new integer coded genetic algorithm", European Trans. On Electrical Power, Vol. 19, No. 8, pp. 1161–1176, 2009.
5. Yuan, X., Nie, H., Su, A., Wanga, L. and Yuan, Y., "An improved binary particle swarm optimization for unit commitment problem", Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 4, pp. 8049– 8055, 2009.
6. Yuan, X., Nie, H., Su, A., Wanga, L. and Yuan, Y., "Application of enhanced discrete differential evolution approach to unit commitment problem", Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 9, pp. 2449–2456, 2009.
7. Lau, T. W., Chung, C. Y., Wong, K. P., Chung, T. S. and Ho, S. L., "Quantuminspired evolutionary algorithm approach for unit commitment", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 24, No. 3, pp. 1503–1512, 2009.
8. Eslamian, M., Hosseinian, S.H. and Vahidi, B., "Bacterial foraging based solution to the unit-commitment problem", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 24, No. 3, pp. 1478–1488, 2009.
9. Kazarlis, S. A., Bakirtzis, A. G. and Petridis, V., "A genetic algorithm solution to the unit commitment problem", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 1, pp. 83–92, 1996.
10. Juste, K. A., Kita, H., Tanaka, E. and Hasegawa, J., "An Evolutionary programming solution to the unit commitment problem", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 1452– 1459, 1999.
11. Ebrahimi, J., Hosseinian, S.H. and Gharehpetian, G.B., "Unit commitment problem solution using shuffled frog leaping algorithm", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 26, No. 2, pp. 573-581, 2011.
12. Simopoulos, D.N., Kavatza, S.D. and Costas D. Vournas, C. D. "Unit Commitment by an Enhanced Simulated Annealing Algorithm ", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 21, No.1, pp. 68–76, 2006.
13. Sum-im, T. and Ongsakul, W., "Ant colony search algorithm for unit commitment", Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 72-77, 2003.
14. Viana, A., Sausa, J. and Matos, M., "Using GRASP to solve the unit commitment problem", Analysis of Operations Research, Vol. 120, No 1, pp.117–132, 2003.
15. Balci, H. and Valenzuela, J., "Scheduling electric power generations using particle swarm optimization combined with the Lagrangian relaxation method", International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 14, No. 3, pp. 411–421, 2004.
16. Senjyu, T., Miyagi, T., Saber, A.Y., Urasaki, N. and Funabashi, T., "Emerging solution of large-scale unit commitment problem by stochastic priority list", Electric Power Systems Research, Vol. 76, No. 5, pp. 283–292, 2006.
17. Eldin, A.S., El-sayed, M. and Youssef, H., "A two-stage genetic based technique for the unit commitment optimization problem", 12th International Middle East Power System Conference, MEPCO, Aswan, pp. 425-430, 2008.
18. Xiong, W., Li, M.J. and Cheng, Y.L., "An improved particle swarm optimization algorithm for unit commitment", Proceedings of the 2008 international conference on intelligent computation technology and automation, Vol. 1, pp. 21- 25, 2008.
19. Jeong, Y.-W., Park, J.B., Shin, J.R. and Lee, K. Y., "A thermal unit commitment approach using an improved quantum evolutionary algorithm", Electric Power Components and Systems, Vol. 37,No. 7, pp. 770–786, 2009.
20. J. F. Restrepo, F. D. Galiana, "Unit commitment with primary frequency regulation constraints," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 1836-1842, Nov. 2005.
21. Khanmohammadi, S., Amiri, M. and Haque, M. T, " A new three-stage method for solving unit commitment problem", Energy, Vol. 35, No. 7, pp. 3072-3080, 2010.
22. Patra, S., Goswami, S.K. and Goswami, B., "Fuzzy and simulated annealing based dynamic programming for the unit commitment problem", Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 3, pp. 5081–5086, 2009.

۲۳. ارسلان نجفی ,محسن فرشاد ,حمید فلقی ،" به مدار آوردن نیروگاه ها با یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم تجمع زنبور عسل"، مجله علمی - پژوهشی سیستم های هوشمند در مهندسی برق، دوره۱ شماره ۱،صفحات ۱۱۸-۱۰۳،زمستان ۱۳۸۹.

Archive of SID

www.SID.ir

24. T. Senjyu, K. Shimabukuro, K. Uezato, and T. Funabashi, "A fast technique for unit commitment problem by extended priority list," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 882-888, 2003.

25. V.K. Tumuluru, Z. Huang, and D.H. Tsang, "Unit commitment problem: A new formulation and solution method," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 57, pp. 222-231, 2014.

26. W.J. Hobbs, G. Hermon, S. Warner, and G. Shelbe, "An enhanced dynamic programming approach for unit commitment," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 1201-1205, 1988.

27. M. Carrión, and J.M. Arroyo, "A computationally efficient mixed-integer linear formulation for the thermal unit commitment problem," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 21, pp. 1371-1378, 2006.

28. G. Dudek, "Genetic algorithm with binary representation of generating unit start-up and shut-down times for the unit commitment problem," Expert Systems with Applications, vol. 40, pp. 6080-6086, 2013.

29. S. Chakraborty, T. Ito, T. Senjyu, and A.Y. Saber, "Unit commitment strategy of thermal generators by using advanced fuzzy controlled binary particle swarm optimization algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 43, pp. 1072- 1080, 2012.

30. D. Datta, and S. Dutta, "A binary-real-coded differential evolution for unit commitment problem," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 42, pp. 517-524, 2012.

31. M. Barati, and M.M. Farsangi, "Solving unit commitment problem by a binary shuffled frog leaping algorithm," Generation, Transmission & Distribution, IET, vol. 8, pp. 1050-1060, 2014.

32. K. Chandrasekaran, S. Hemamalini, S.P. Simon, and N.P. Padhy, "Thermal unit commitment using binary/real coded artificial bee colony algorithm," Electric Power Systems Research, vol. 84, pp. 109-119, 2012

33. K. Chandrasekaran, S.P. Simon, and N.P. Padhy, "Binary real coded firefly algorithm for solving unit commitment problem," Information Sciences, vol. 249, pp. 67-84, 2013.

34. T. Niknam, F. Bavafa, and R. Azizipanah-Abarghooee, "New self-adaptive bat-inspired algorithm for unit commitment problem," 2014.

35. C. Chung, H. Yu, and K.P. Wong, "An advanced quantum-inspired evolutionary algorithm for unit commitment," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, pp. 847-854, 2011.

36. B. Ji, X. Yuan, Z. Chen, and H. Tian, "Improved gravitational search algorithm for unit commitment considering uncertainty of wind power," Energy, vol. 67, pp. 52-62, 2014.

37. B. Saravanan, E. Vasudevan, and D. Kothari, "Unit commitment problem solution using invasive weed optimization algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 55, pp. 21-28, 2014.

۳۸. حسین شکری و سجاد نجفی روادانق، «حل مسئله مشارکت بهینه واحدهای نیروگاهی در حضور منابع انرژی تجدیدپذیر»،مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۵ ، شماره ۱، صفحات۴۲-۳۰، ۱۳۹۴.

39. V.N. Dieu, and W. Ongsakul, "Augmented Lagrange Hopfield network based Lagrangian relaxation for unit commitment," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 33, pp. 522-530, 2011.

40. W. Yuan-Kang, H. Chih-Cheng, and L. Chun-Liang, "Resolution of the unit commitment problems by using the hybrid Taguchi-ant colony system algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 49, pp. 188-198, 2013.

41. T. Logenthiran, and W.L. Woo, "Lagrangian relaxation hybrid with evolutionary algorithm for short-term generation scheduling," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 64, pp. 356-364, 2015.

۴۲. سعید مرادی، سهراب خان محمدی و مهرداد طرفدارحق، « روشی اکتشافی برای حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی بر پایه الگوریتم جستجوی خفاش »، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ .

۴۳. مشهدی کشتیبان، اتابک و وکیل باغمیشه ، محمد تقی ، سمینار کارشناسی ارشد با عنوان کاربرد های شبکه های عصبی در سیست مهای قدرت، دانشگاه تبریز،۱۳۸۵

۴۴. سعیدمرادنوری،مصطفیعیدیانی،«در مدار قرار گرفتن نیروگاه CommitmentUnit »،موسسه آموزش عالی خراسان،آبان ۱۳۹۴.

Archive of SID

www.SID.ir