بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
گروه برق- قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

بررسی روش‌های مختلف الگوریتم تکاملی برای ارائه یک راهکار بهینه در حل مسأله SCUC

از

میثم علیزاده لشکانی

استاد راهنما

دکتر آلفرد باغرامیان

اسفند۹۲

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم؛

که از نگاهشان صلابت،

از رفتارشان محبت،

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

و با تشکر و قدردانی از استاد بزرگوارم

«جناب آقای دکتر آلفرد باغرامیان»

به پاس قلب بزرگشان که فریادرس بود و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گرایید و به دلیل یاریها و راهنماییهای بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمودند و همچنین تمامی کسانی که در این مسیر بنده را یاری نمودند.

چکیده

بررسی روش های مختلف الگوریتم تکاملی برای ارائه یک راهکار بهینه در حل مسئله SCUC

میثم علیزاده لشکانی

یکی از مهم‌ترین برنامه های اقتصادی در سیستم قدرت، کاهش هزینه‌های عملکرد سیستم است. همچنین امنیت سیستم قدرت باید در طول عملکرد سیستم تضمین شود. این تحقیق، یک برنامه‌ریزی روز-پیش برای مسأله امنیت-مقید مشارکت واحدها (SCUC) در سیستم قدرت، فراهم می‌کند. چنین تحقیقی در واقع یک نوع هماهنگ‌سازی بین واحدهای تولیدی، در پاسخ به شرایط بارگذاری در طول ۲۴ساعت شبانه-روز است. این برنامه‌ریزی باید هزینه‌های نیروگاه، اعم از هزینه سوخت و تلفات سیستم را در کنار ارضای تمام قیود غالب سیستم، کاهش دهد. در این پایان‌نامه، یک روش ترکیبی جدید از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) برای برنامه‌ریزی مسأله SCUC فراهم می‌شود. این روشِ الهام گرفته شده از طبیعت، دارای قدرت همگرایی بالایی است و همچنین از راهکارهای پیشرفته‌ای برای کشف فضاهای جستجوی بزرگ برخوردار است. برای مسأله SCUC که دارای قیود فراوانی است، این روش بسیار مفید و مناسب خواهد بود. تولید توان در سیستم مورد مطالعه، از طریق واحدهای حرارتی و خورشیدی انجام می‌شود و عدم قطعیت بار و واحدهای خورشیدی در نظر گرفته خواهد شد. روش پیشنهادی در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است و بر روی یک سیستم نمونه به منظور ارزیابی کارایی این روش، آزمایشی-شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برنامه ایجاد شده باعث کاهش هزینه‌های سیستم در کنار ارضای تمامی قیود غالب سیستم شده است. نتایج شبیه‌سازی در سه سناریوی مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم در هر بار تکرار، واحدهایی را برمی‌گزینند که بتوانند علاوه بر تأمین بار و امنیت سیستم، هزینه های عملکرد شبکه قدرت را به حداقل خود برسانند.

کلید واژه– مشارکت واحدها، برنامه‌ریزی روز-پیش، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، قیود غالب

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها..... ذ

فهرست جدول‌ها ..... ر

فهرست علائم و اختصارات ..... ز

چکیده فارسی ..... ص

چکیده لاتین ..... ض

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ عناصر اصلی بازار ۲

۱-۲-۱ ISO ۲

۱-۲-۲ GENCOها ۳

۱-۳ مقایسه سیستم تجدیدساختاریافته با بهره‌برداری سنتی از واحدها..... ۴

۱-۴ امنیت- مقید مشارکت واحدها ۵

۱-۴-۱ چالش بین امنیت سیستم و سود تولیدکنندگان ۵

۱-۴-۲ اهداف SCUC در شبکه قدرت..... ۶

۱-۵ الگوریتم ازدحام ذرات..... ۶

۱-۶ فتوولتائیک ۷

۱-۶-۱ کاربردهای سیستم فتوولتائیک..... ۷

۱-۷ SCUC با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات ۸

۱-۸ کارهای انجام شده ۹

۱-۸-۱ برنامه‌ریزی UC و SCUC ۹

۱-۸-۲ روش‌های مرسوم در حل SCUC ۱۰

۱-۹ اهداف این پایان‌نامه و نتایج ۱۲

۱-۱۰ خلاصه پایان‌نامه ۱۲

فصل دوم: بهینه‌سازی ازدحام ذرات

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۱-۱ مروری بر نحوه پیدایش الگوریتم ازدحام ذرات ۱۶

۲-۲ پارامترهای الگوریتم PSO ۱۷

۲-۲-۱ ضریب اینرسی (w) ۱۷

۲-۲-۲ ضرایب یادگیری (c_1 و c_2) ۱۷

۲-۳ نحوه عملکرد الگوریتم PSO و روابط مربوطه ۱۸

۲-۴ PSO دودویی ۲۰

۲-۵ کاربرد الگوریتم‌های تکاملی در حل مسأله UC و SCUC ۲۱

فصل سوم: مسئله امنیت-مقید مشارکت واحدها و مفاهیم فتوولتائیک و عدم قطعیت

۳-۱ مقدمه ۲۵

۳-۲ توصیف مسأله SCUC ۲۵

۳-۳ قیود سیستم ۲۷

۳-۳-۱ قیود عملکرد واحدها ۲۷
۳-۳-۲ قیود پخش بار ۲۷
۳-۴ هزینه‌های مربوط به مسأله SCUC ۲۹
۳-۵ سیستم فتوولتائیک ۳۰
۳-۵-۱ مقدمه ۳۰
۳-۵-۲ نحوه عملکرد سیستم فتوولتائیک ۳۰
۳-۵-۳ تقسیم بندی اجزای سیستم ۳۱
۳-۵-۴ نیاز به انرژی خورشیدی ۳۲
۳-۵-۴-۱ معایب و مزایا ۳۲
۳-۵-۴-۲ میزان گرایش و کاربردهای سیستم فتوولتائیک در کشورها ۳۲
۳-۶ برنامه‌ریزی تصادفی و مسئله عدم قطعیت ۳۵
۳-۶-۱ روش مونت کارلو ۳۵
۳-۶-۲ تولید سناریو ۳۶
۳-۶-۲-۱ کاهش تعداد سناریوها ۳۷
۳-۶-۲-۲ معیار توقف ۳۷
۳-۶-۲-۳ ضریب تغییرات ۳۷
۳-۷ UC و SCUC در نیروگاه‌های خورشیدی/حرارتی ۳۷

فصل چهارم: مسأله SCUC در حضور واحدهای خورشیدی و نتایج شبیه‌سازی

۴-۱ مقدمه ۴۰

۴-۲ مدل‌سازی مسأله SCUC ۴۰

۴-۲-۱ تابع هدف ۴۱

۴-۲-۱-۱ تابع هزینه سوخت ۴۱

۴-۲-۱-۲ هزینه راه‌اندازی ۴۱

۴-۲-۱-۳ هزینه خاموش کردن واحد ۴۲

۴-۲-۲ قیود مسأله ۴۲

۴-۲-۲-۱ تعادل توان سیستم ۴۲

۴-۲-۲-۲ ذخیره چرخان سیستم ۴۲

۴-۲-۲-۳ محدودیت تولید توان واحدها ۴۳

۴-۲-۲-۴ حداقل زمان روشن و خاموش بودن واحدها ۴۳

۴-۲-۲-۵ قیود افزایشی و کاهشی توان تولیدی واحدها ۴۴

۴-۲-۲-۶ حداکثر توان انتقالی مجاز خطوط ۴۴

۴-۲-۲-۷ حدود ولتاژ ترانسفور ماتورها ۴۵

۴-۳ درنظرگرفتن عدم قطعیت مربوط به نیروگاه خورشیدی و بار ۴۵

۴-۳-۱ روش تبدیل معکوس برای تولید اعداد تصادفی ۴۵

۴-۳-۲ عدم قطعیت واحدهای خورشیدی ۴۸

۴-۳-۳ عدم قطعیت بار ۴۹

۴-۴ مطالعه عددی و نتایج شبیه‌سازی ۵۲

۴-۴-۱ سیستم مورد مطالعه و مشخصات آن ۵۲

۴-۴-۲ انحراف معیار بار مصرفی ۵۳
۴-۴-۳ سناریوهای مختلف و نتایج شبیه‌سازی ۵۴
۴-۴-۳-۱ حالت اول: بدون در نظر گرفتن قیود امنیتی سیستم و با در نظرگرفتن مونت‌کارلو ۵۵
۴-۴-۳-۲ حالت دوم: با در نظر گرفتن قیود امنیتی سیستم و مونت کارلو..... ۵۶
۴-۴-۳-۳ حالت سوم: بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به بار و واحدهای خورشیدی ۵۸
۴-۴-۳-۴ ارزیابی نتایج ۶۰
۴-۴ نتیجه‌گیری..... ۶۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری مباحث و پیشنهادهایی برای کارهای آینده

۵-۱ خلاصه ۶۵
۵-۲ کارهای پیشنهادی برای آینده..... ۶۵
۵-۲-۱ تحلیل قابلیت اطمینان روش پیشنهادی ۶۶
۵-۲-۲ مقایسه عملکرد تکنیک‌های اکتشافی جایگزین..... ۶۷
۵-۲-۳ جایگزینی واحدهای خورشیدی با سایر منابع دارای عدم قطعیت..... ۶۷
۵-۲-۴ توسعه قابلیت نرم‌افزار به کار رفته و مقایسه آن با نرم‌افزارهای کاربردی دیگر ۶۸
۵-۳ خلاصه پیشنهادها ۶۸
۵-۴ جمع‌بندی ۶۹
مراجع ۷۰
پیوست‌ها ۷۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: شرایط توقف حلقه مونت کارلو ۴۷

جدول ۴-۲: مشخصات واحدهای حرارتی ۵۳

جدول ۴-۳: مشخصات واحدهای خورشیدی ۵۳

جدول ۴-۴: متوسط بار مصرفی روزانه و انحراف معیار هر ساعت مشخص ۵۴

جدول ۴-۵: حالت به مدار آمدن واحدها بدون در نظرگرفتن قیود امنیتی..... ۵۵

جدول ۴-۶: مقادیر توان تولیدی هر واحد در طول ۲۴ساعت بدون در نظرگرفتن قیود امنیتی ۵۵

جدول ۴-۷: حالت به مدار آمدن واحدها با در نظر گرفتن قیود امنیتی سیستم ۵۷

جدول ۴-۸: مقادیر توان تولیدی هر واحد در طول ۲۴ساعت با در نظرگرفتن قیود امنیتی ۵۷

جدول ۴-۹: حالت به مدار آمدن واحدها با بدون درنظر گرفتن عدم قطعیت ۵۹

جدول ۴-۱۰: مقادیر توان تولیدی هر واحد در طول ۲۴ساعت بدون در نظرگرفتن عدم قطعیت ۵۹

جدول ۴-۱۱: مقایسه بین هزینه‌ها و تعداد تکرارها در سناریوهای مختلف ۶۱

جدول ۴-۱۲: مقایسهِ وضعیت واحدها در ساعات پیک بار و کم‌باری در سناریوهای مختلف ۶۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: گروهی از ماهی‌ها که خطر یک شکارچی را پشت‌سر گذاشته‌اند ۱۵

شکل ۲-۲: مراحل الگوریتم PSO ۲۰

شکل ۳-۱: تابع هزینه سوخت تکه‌ای خطی شده ۳۰

شکل ۳-۲: میزان تولید انرژی خورشیدی در کشورهای مختلف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ ..... ۳۳

شکل ۳-۳: پیش‌بینی میزان تولید انرژی خورشیدی در کشورهای مختلف از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ ..... ۳۳

شکل ۳-۴: کاهش مصرف برق با استفاده از واحدهای خورشیدی در کالیفرنیای آمریکا، سال ۲۰۰۳ ..... ۳۴

شکل ۴-۱: تابع چگالی احتمال یا PDF توزیع یکنواخت ۴۶

شکل ۴-۲: تابع توزیع تجمعی یا CDF توزیع یکنواخت ۴۶

شکل ۴-۳: منحنی تابش متوسط خورشید در یک شبانه-روز ۴۸

شکل ۴-۴: PDF توزیع بتا برای تابش نور خورشید در یک شبانه-روز ۴۹

شکل ۴-۵: CDF توزیع بتا برای تابش نور خورشید در یک شبانه-روز ۴۹

شکل ۴-۶: نمودار تغییرات ساعتی بار در یک شبانه- روز ۵۰

شکل ۴-۷: PDF بار مصرفی در ساعت ۱۲ ظهر ۵۰

شکل ۴-۸: CDF بار در ساعت ۱۲ ظهر ۵۰

شکل ۴-۹: فلوچارت فرایند انجام شده در خلال شبیه‌سازی ۵۱

شکل ۴-۱۰: شبکه ۱۰ماشینه‌ی "New-England" ۵۲

شکل ۴-۱۱: نمودار هزینه کلی سیستم بدون در نظرگرفتن قیود امنیتی..... ۵۶

شکل ۴-۱۲: نمودار هزینه کلی سیستم با در نظرگرفتن قیود امنیتی..... ۵۸

شکل ۴-۱۳: نمودار هزینه کلی سیستم بدون در نظرگرفتن عدم قطعیت بار و واحدهای خورشیدی..... ۶۰

شکل ۴-۱۴: تولید بهینه‌ی واحدهای ۱و۲ برای حالتی که عدم قطعیت در نظر گرفته شده ۶۲

شکل ۴-۱۵: تولید بهینه‌ی واحدهای ۱و۲ برای حالتی که عدم قطعیت در نظر گرفته نشده ۶۳

فهرست علائم و اختصارات

علائم لاتین	معادل فارسی
a_iو b_i و c_i	ضرایب مربوط به تابع هزینه سوخت واحد i
b_{0i}	هزینه مجتمع کارگاهی راه‌اندازی و هزینه تعمیرات و نگهداری تجهیزات
b_{1i}	هزینه راه‌اندازی واحد از شرایط سرد
c_1	ضریب یادگیری شخصی
c_2	ضریب یادگیری جمعی
cv_x	ضریب تغییرات
CF	هزینه سوخت کل سیستم
D(t)	بار مورد نیاز شبکه
DR_i	حداکثر نرخ کاهشی تولید (MW/hr)
d	بعد فضای جستجو
E	امید ریاضی
EUE	امید ریاضی انرژی تأمین‌نشده
f	*تابع هدف*
$F_{c,i}$	تابع هزینه سوخت واحد i
Ga	میزان تابش خورشید بر حسب MJ/(m2*t)
$I(t)$	حالت مشارکت واحد i در زمان
i	شاخص ذره (در فصل دوم)، شاخص واحد حرارتی (در فصل سوم و چهارم)
j	شاخص بُعدِ ذره
MU_i	حداقل زمان روشن‌بودن واحد i (hr)
MD_i	حداقل زمان خاموش بودن واحد i (hr)
NG	تعداد ژنراتورها
NT	تعداد دوره‌های زمانی (hr)
n	تعداد اعضای جمعیت
N	اندیس واحد

NS	تعداد سناریوها
$P_{i,t}$	تولید توان واحد i در زمان t
P_i^{min}	حداقل توان تولیدی واحد i
P_i^{max}	حداکثر توان تولیدی واحد i
$P_{km}(t)$	توان انتقالی از شین k به شین m در زمان t
P_{km}^{min}	حداکثر توان مجاز انتقالی از شین k به شین m
R(t)	ذخیره چرخان کلی سیستم در زمان t
r_1 و r_2	اعداد تصادفی در بازه‌ی [۰،۱]
$SD_{i,t}$	هزینه خاموش کردن واحد i در زمان t ($)
$SU_{i,t}$	هزینه راه‌اندازی واحد i در زمان t ($)
s	عرض فضای جستجو
S	مساحت سطح سلول
t	شاخص زمان
T_{it}^{off}	مدت زمان خاموش بودن واحد i-اُم قبل از ساعت t-اُم
UR_i	حداکثر نرخ افزایشی تولید (MW/hr)
V	ولتاژ ترانسفورماتورها
V^{min}	حد پایینی ولتاژ سیستم
V^{max}	حد بالایی ولتاژ سیستم
w	ضریب اینرسی
χ	متغیر تصمیم‌گیری
$X_i^{on}(t)$	مدت زمانی که واحد i تا ساعت t روشن بوده (hr)
$X_i^{off}(t)$	مدت زمانی که واحد i تا ساعت t خاموش بوده (hr)
x^i	موقعیت فعلی ذره
x_j^i	مقدار بیت j-اُم از بردار دودویی نشان‌دهنده‌ی موقعیت ذره i-اُم
$x^{i,best}$	بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کـرده اسـت
x^{gbest}	بهترین موقعیتی که به وسیله همه ذرات پیدا شده است

v^i	سرعت حرکت ذره
v_{max}	حداکثر سرعت تغییرات ذره
τ_i	ثابت زمانی سردشدن واحد i
σ_x	انحراف معیار مقادیر
μ_x	میانگین مقادیر
μ	بازده سلول خورشیدی
ε	مقدار خطا
ζ	بردار تصادفی
λ	عددی تصادفی با توزیع یکنواخت

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه تغییرات شگرفی در نحوه مدیریت بازار برق رخ داده است. صنعت برق که در طول دوره‌های متمادی با شرکت-های یکپارچه با ساختار عمودی اداره می‌شد، به یک صنعت رقابتی و توزیع شده‌ای تبدیل شده است که در این بازار وسیع، یک سری عوامل خارجی به عنوان قدرت‌های بازار، تعیین‌کننده‌ی قیمت برق هستند. بنابراین با افزایش رقابت، هزینه خالص کاهش می‌یابد. در کنار همه این مسائل، موضوعی که به هیچ عنوان نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد، قابلیت اطمینان سیستم قدرت است. هر چند کاهش هزینه‌ها ممکن است باعث افزایش سود واحدهای تولیدی شود، اما اولویت اصلی وجود ایمنی در سیستم است. حال این موضوع مطرح می‌شود که آیا ارگانی وجود دارد که بر کار تولیدکنندگان و مشتریان خرد و کلان بازار برق نظارت کند یا خیر؟ جایگاه امنیت در سیستم تجدید ساختار یافته کجاست؟ و سوالاتی که به درک موضوع امنیت در سیستم‌های قدرت کمک بسیاری می‌کند.

منظور از تجدید ساختار، جداسازی سه عنصر صنعت برق یعنی تولید ، انتقال و توزیع است. در صنعت برق تجدید ساختار شده، کنترل مستقل بهره‌برداری شبکه انتقال، بازار رقابتی را برای تولید و دسترسی مستقیم خرده‌فروشی تسهیل می-کند. با وجود این، برای استقلال در بهره‌برداری شبکه، هویتی به نام اپراتور مستقل سیستم (ISO)[1] نیاز است. لازم است که ISO از شرکت‌کنندگان منفرد بازار، از جمله مالکان انتقال، تولیدکنندگان، شرکت‌های توزیع و مصرف‌کنندگان نهایی، مستقل باشد[۱].

۱-۲ عناصر اصلی بازار

۱-۲-۱ ISO

لازمه‌ی یک بازار رقابتی برق، وجود کنترل مستقل بهره‌برداری شبکه است. کنترل شبکه بدون وجود ISO ، قابل تضمین نیست. ISO، بهای انتقال را تعیین می‌نماید؛ ایمنی سیستم را حفظ می‌کند؛ برنامه‌ریزی تعمیر را هماهنگ می‌کند و نقشی را در برنامه‌ریزی بلند مدت بازی می‌کند. ISO، مستقل از هر شرکت‌کننده‌ی بازار، اعم از مالکین انتقال، تولیدکنندگان، شرکت‌های توزیع و مصرف‌کنندگان نهایی عمل می‌کند و باید امکان دسترسی آزاد غیرقابل تبعیضی را برای تمامی استفاده-کنندگان از سیستم انتقال فراهم آورد.

1 - Independent System Operator

ISO، به عنوان اپراتور بازار، قواعد سالم و بی‌نقصی را در خصوص انرژی و بازار خدمات جانبی[1] برقرار می‌نماید؛ سیستم انتقال را به صورت منصفانه و بدون تبعیض اداره می‌کند؛ ابزار لازم را برای مقابله با مخاطرات بازار تسهیل می‌بخشد و به نحوی بازار را تحت نظارت قرار می‌دهد که از استیلای قدرتها بر آن جلوگیری کند. برای نیل به این هدف، ISO از ابزار محاسباتی شناخته شده‌ای، برای نظارت بر بازار، طرحهای مربوط به حراج[2] خدمات جانبی و مدیریت تراکم[3] استفاده می‌کند.

ISO، قدرت لازم را برای در مدار قراردادن و توزیع بار برخی یا تمام واحدهای تولیدی سیستم را دارد و می‌تواند برای حفظ ایمنی سیستم، بارهایی را قطع کند (به عنوان مثال برای حذف انحراف از حدود مجاز انتقال، تعادل بین عرضه و تقاضا و حفظ فرکانس قابل قبول سیستم). همچنین، ISO این اطمینان را ایجاد می‌کند که سیگنالهای صحیح اقتصادی به همه شرکت‌کنندگان در بازار ارسال می‌شود که این موضوع، به نوبه خود، باعث تشویق استفاده‌ی موثر از امکانات موجود و انگیزه مناسب برای سرمایه‌گذاری در منابع لازم به منظور تخفیف و حذف انحرافات فوق‌الذکر می‌شود[۱].

۱-۲-۲ GENCO ها[4]

یک GENCO، وظیفه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را بر عهده دارد. از زمانی که تولید توان از شرکت‌های موجود تفکیک شد،GENCOها ایجاد شدند. یک GENCO ممکن است خود مالک واحد تولیدی باشد یا از طرف مالکین واحدها با بازار کوتاه مدت[5] (مبادله توان، حوضچه توان[6] یا بازار لحظه‌ای[7]) تماس داشته باشد. این واحدها، امکان فروش برق به عناصری که با آنها در خصوص فروش برق، مذاکره کرده‌اند را دارند.

امکانات تولید این واحدها شامل تسهیلات تولید توان و قراردادهای خرید توان است. از آنجایی که GENCOها در ساختار یک‌پارچه عمودی نیستند، قیمت آنها تحت مقررات نیست. هدف آن‌ها در بازار تجدید ساختار شده، حداکثرسازی سود است. به همین منظور، یک GENCO ممکن است در هر نوع بازاری (بازار انرژی و خدمات جانبی) شرکت کرده و هر نوع عملی(سوداگری و بازی) را انجام دهد. این مسئولیت خود GENCO است که مخاطرات ممکن را مد نظر قراردهد[۱].

1 - Ancillary services
2 - Auction
3 - Congestion management
4 - Generation Companies
5 - Short-term market
6 - Power Pool
7 - Spot Market

۱-۳ مقایسه سیستم تجدید ساختار یافته با بهره‌برداری سنتی از واحدها

در بهره‌برداری سنتی از سیستم‌های قدرت، مسئله ورود واحدها به مدار بر مبنای اصول امنیت شبکه، طرح‌ریزی و پیاده‌سازی می‌شدند. در چنین سیستم‌هایی، برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن مسائل امنیت شبکه به عنوان مهم-ترین قید شکل می‌گرفتند. در این حالت بهره‌برداری از شبکه لزوماً اقتصادی‌ترین حالت ممکن بهره‌برداری به شمار نمی‌رفت. در چنین فضایی هر یک از بازیگران بازار به صورت کاملاً مستقل به دنبال بیشینه کردن سود خود هستند. بنابراین در این فضا، مسأله‌ی به مدار آمدن واحدهای تولیدی به دو مسأله بهینه‌سازی مجزا تقسیم می‌شود. از نظر تولید، مسأله بهینه‌سازی با هدف بیشینه کردن سود بنگاه اقتصادی شکل می‌گیرد. از سوی دیگر ISO پیشنهاد تولیدکنندگان را دریافت می‌نماید و واحدهایی را انتخاب می‌کند که علاوه بر ارضای قیود امنیتی شبکه، هزینه بهره‌برداری شبکه نیز در آن‌ها، به کمترین حالت ممکن برسد.

در سیستم‌های قدرت مدرن هریک از شرکت‌های تولیدی وظیفه برنامه‌ریزی تولید واحدهای تحت پوشش خود را بر عهده دارند. در چنین سیستم‌هایی هر یک از شرکت‌های تولیدی بر اساس قیود فنی و اقتصادی خود و نیز در نظر گرفتن عدم قطعیت[1]، نوسانات بار و پیش‌بینی قیمت در بازار و عواملی از این دست، منحنی‌های خود را با هدف کسب حداکثر سود، به ISO ارائه می‌کنند. در واقع هر GENCO پیشنهادهای خود را برای سرویس‌دهی بسته به پیش‌بینی قیمت‌ها، پیش‌بینی بار، مشخصات واحد و در دسترس بودن واحدها در بازار های مختلف ارائه می‌دهد. شرکت‌های تولیدی بر اساس پیش‌بینی قیمت بازار، منحنی‌های پیشنهادی خود را بر اساس تابع هدف کسب حداکثر سود و حداقل ریسک انجام می‌دهند.

پس از دریافت این پیشنهادها، بهره‌بردار مستقل سیستم با توجه به قیمت‌های پیشنهادی و همچنین تقاضای بار، واحدهای واجد شرایط را برای تولید انتخاب می‌کند. نکته قابل ذکر آن است که ISO در فرایند برنامه‌ریزی تعیین تولید شرکت‌های تولیدی علاوه بر در نظر گرفتن میزان تقاضا[2] و نیز قیمت پیشنهادی هر یک از شرکت‌های تولیدی، واحدهایی را برای تولید انتخاب می‌کند که در آن‌ها قیود امنیت شبکه و سیستم انتقال، نقض نشوند. به عبارت دیگر، بهره‌بردار مستقل سیستم واحدهایی را برمی‌گزیند که در صورت تولید انرژی توسط آنها، قیود امنیت شبکه از جمله حداکثر ظرفیت قابل تحمل خطوط انتقال و ولتاژ شین‌ها نقض نشوند[۲].

1 - Uncertaintie
2 - Demand

۱-۴ امنیت- مقید مشارکت واحدها

در صنعت برق تجدید ساختار شده، برنامه‌ریزی مشارکت واحدها (UC)[1] به مفهوم بهینه‌سازی منابع تولید برای تأمین تقاضای بار با کمترین هزینه است. از آنجا که هدف مربوطه، حداقل‌سازی هزینه بهره‌برداری است، معمولاً به برنامه‌ریزی مشارکت واحدها، برنامه‌ریزی مبتنی بر هزینه مشارکت واحدها، اطلاق می‌شود. اگر در حل UC، حفظ امنیت مورد تأکید باشد، UC جدید، برنامه ریزی امنیت- مقید مشارکت واحدها (SCUC)[2] نامیده می‌شود. در این نوع برنامه‌ریزی، سه عنصر تأمین بار، حداکثرسازی امنیت و حداقل‌سازی هزینه، لحاظ می‌شود. تأمین بار، قیدی سخت و اجباری در SCUC است. حداکثرسازی امنیت، اغلب با حفظ ذخیره چرخان[3] کافی در نواحی متراکم، که به سهولت توسط بارها قابل دسترس هستند، تأمین می‌شود. حداقل‌سازی هزینه، با مشارکت دادن واحدهای کمتر گران و در عین حال با ارضاء قیود مربوطه و توزیع اقتصادی بار بین واحدهای موجود در مدار، تأمین می‌شود[۱].

۱-۴-۱ چالش بین امنیت سیستم و سود تولیدکنندگان

در برخی از بازارهای تجدید ساختار شده، ISO از SCUC برای برنامه‌ریزی روز-پیش[4] بهره می‌جوید. در مقایسه با UC مورد استفاده توسط GENCOها که اشاره به بهینه‌سازی منابع تولید برای حداکثرسازی سود GENCO دارد، این UC هدفی متفاوت با SCUC دارد. این نوع نگاه، به برنامه‌ریزی مبتنی بر قیمت مشارکت واحدها (PBUC)[5] مشهور است. تأمین بار، دیگر قیدی اجباری نیست و هدف، حداکثرسازی سود است. امنیت از انرژی تفکیک شده و به عنوان یک خدمت جانبی، قیمت‌گذاری می‌شود. در این نوع، عاملی که تعیین‌کننده‌ی خاموش و یا روشن بودن واحد است، قیمت است که شامل قیمت خرید سوخت، قیمت فروش انرژی، قیمت فروش خدمات جانبی و غیره است.

در مقایسه SCUC با PBUC این فرض اشتباه است که حداکثرسازی سود، عملاً حداقل‌سازی هزینه است. سود، به صورت درآمد منهای هزینه تعریف می‌شود. بدین ترتیب، سود نه تنها به هزینه بلکه به درآمد هم مربوط می‌شود. اگر درآمد افزایشی، بیشتر از هزینه افزایشی باشد، برای کسب سود بیشتر، می توان انرژی بیشتری تولید کرد. در مقابل اگر درآمد افزایشی، کمتر از هزینه افزایشی باشد، ممکن است تمایل کمتری به فروش انرژی باشد. به طور کلی، اگر در نوع جدید، هدف حداقل‌سازی هزینه باشد، GENCO ممکن است تولید را برنگزیند؛ زیرا انگیزه‌ای برای تأمین بار با هزینه صفر را ندارد[۲].

1 - Unit Commitment
2 - Security Constrained Unit Commitment
3 - Spinning Reserve
4 - Day-Ahead
5 - Price-Based Unit Commitment