



Designing Risk-Management Strategies for Generation Companies

M. Hedayati, R. Salimi, A. Soroudi, M. Ehsan

Sharif University of Technology
Iran

Key words : safety, risk management, productivity, trade-off

Abstract

Planning is done through multiple options with uncertainties which do not necessarily pursue the same objective. Risk and uncertainties are different concepts and can be quantified separately. Short-term tradeoffs between productivity and safety often exist in the operation of critical facilities such as power plants. Gencos experience different uncertainties (financial or physical). This exposes Gencos to risk. So risk management should be a part of their planning process. In this paper a typical power plant is modeled in terms of its different states. Then, the alternative risk management strategies for this plant have been evaluated based on the predicted operating performance and it is shown how a model, coupled with explicit value judgments, can be used to design optimal strategies, e.g., to balance initial costs, long term operations and maintenance costs, and the potential costs of catastrophic failures.

By combining a risk analysis for the physical system, the characteristics of strategic options, and the risk attitude of the decision maker, the model can provide decision support for the design of risk management strategies and, for example, as shown in this paper, to set planned and unplanned outage policies for a power plant.



تعیین مسیر بهینه جهت استارت واحدهای غیر خودرانداز با در نظر گرفتن قیود استاتیکی و دینامیکی سیستم انتقال به کمک روش آنالیز پکت نامهای (DEA)

هانی رؤف شیبانی^۱ محمد حسین جاویدی^۲ ایرج ذاکر عنبرانی^۳
دانشجوی کارشناسی ارشد استاد گروه برق مدیر امور دبسپاچینگ شمالشرق

۱. دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار (PSRES)
۳. شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: پارایی سیستم قدرت، روش آنالیز پکت نامهای (DEA)،
قیود استاتیکی و دینامیکی سیستم انتقال، مسیریابی بهینه،
اولویت‌بندی مسیریاب، بهینه‌سازی زمان پارایی

چکیده

تعیین ترتیب بهینه استارت واحدها در پروسه پارایی سیستم قدرت، بدلیل تأثیرگذاری زیاد آن بر تعیین زمان پارایی، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بر اساس قیود بیشترین و کمترین فاصله زمانی بحرانی استارت واحدها، مدت زمان سوئیچینگ مسیر، لحظه دسترسی شبکه به توان تولیدی واحد را مشخص می‌نماید. بنابراین، لازم است در پروسه تعیین ترتیب استارت واحدها، مدت زمان سوئیچینگ مسیر با دقت زیادی محاسبه گردد. در این مقاله، رتبه‌بندی مسیریابی موجود جهت انتقال انرژی راه‌اندازی واحدهای غیرخودرانداز در پروسه پارایی، بر اساس قیود دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال و ارزش بار از دست رفته در بارگذاری‌های اجباری و اختیاری مسیریاب، با استفاده از روش آنالیز پکت نامهای اطلاعات (DEA)، تعیین می‌گردد.

تعیین مسیر بهینه جهت استارت واحدهای غیر خودراه انداز با در نظر گرفتن قیود استاتیکی و دینامیکی سیستم انتقال به کمک روش آنالیز پکت نامه‌ای (DEA)

ایرج ذاکر عنبرانی^۳
مدیر امور دیسپاچینگ شمالشرق

محمد حسین جاویدی^{۲و۱}
استاد گروه برق

هانی رئوف شیبانی^{۲و۱}
دانشجوی کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد^۱
آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار (PSRES)^۲
شرکت برق منطقه‌ای خراسان^۳

واژه‌های کلیدی: بازیابی سیستم قدرت، روش آنالیز پکت نامه‌ای (DEA)، قیود استاتیکی و دینامیکی سیستم انتقال، مسیریابی بهینه، اولویت‌بندی مسیره‌ها، بهینه‌سازی زمان بازیابی

چکیده

تعیین ترتیب بهینه استارت واحدها در پروسه بازیابی سیستم قدرت، بدلیل تأثیرگذاری زیاد آن بر تعیین زمان بازیابی، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بر اساس قیود بیشترین و کمترین فاصله زمانی بحرانی استارت واحدها، مدت زمان سوئیچینگ مسیر، لحظه دسترسی شبکه به توان تولیدی واحد را مشخص می‌نماید. بنابراین، لازم است در پروسه تعیین ترتیب استارت واحدها، مدت زمان سوئیچینگ مسیر با دقت زیادی محاسبه گردد. در این مقاله، رتبه‌بندی مسیره‌های موجود جهت انتقال انرژی راه‌اندازی واحدهای غیر خودراه‌انداز در پروسه بازیابی، بر اساس قیود دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال و ارزش بار از دست رفته در بارگذاری‌های اجباری و اختیاری مسیره‌ها، با استفاده از روش آنالیز پکت نامه‌ای اطلاعات (DEA)، تعیین می‌گردد.

۱. مقدمه

گسترش شبکه‌های قدرت و افزایش قابل ملاحظه رشد بار در این سیستم‌ها، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از این آنها را با مشکلات متعددی مواجه نموده است. این عوامل به همراه فرسودگی تجهیزات سیستم‌های انتقال در شبکه‌های قدرت، باعث افزایش پتانسیل وقوع خاموشی‌های سراسری و ناحیه‌ای در این شبکه‌ها گردیده است. یکی از مهمترین اهداف بهره‌برداری از سیستم قدرت، جلوگیری از بروز حوادث منجر به وقوع خاموشی در این سیستم‌ها است که در این راستا نیز، فعالیت‌های پژوهشی بسیاری انجام گرفته است [۱-۳]. با اینحال، در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، وقوع خاموشی سراسری امری اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آید. مهمترین هدف بهره‌برداری سیستم قدرت پس از بروز خاموشی، بازگرداندن سیستم به شرایط نرمال بهره‌برداری می‌باشد. هرچه مدت زمان خاموشی افزایش یابد، مشکلات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

بیان اینکه آیا مسیری جهت انتقال انرژی از باس برق‌دار به باس ورودی واحد وجود دارد یا خیر، اکتفا نموده است.

با توجه به قیود فنی واحدها مانند کمترین و بیشترین فاصله زمانی بحرانی^۱، تأخیر در رساندن انرژی اولیه راه‌اندازی واحدهای غیرخودراه‌انداز ممکن است بواسطه تغییرات دمایی توربین و بویلر از حالت داغ به حالت سرد، باعث به تعویق افتادن دسترسی به توان تولیدی آن واحد برای مدت زمان طولانی گردد. همچنین، ممکن است در میان فعالیت سوئیچینگ مسیر، اضافه ولتاژهایی در انتهای مسیر رخ دهد که تحت این شرایط ادامه عملیات سوئیچینگ مسیر عملی نخواهد بود. قیود دینامیکی سیستم انتقال، مانند امکان‌پذیری برق‌دار شدن مسیر و همچنین بارگذاری اجباری بر روی مسیر جهت رفع اضافه ولتاژ بوجود آمده در کنار قیود استاتیکی آن منجر به تعیین مسیر مناسب و ایمن جهت انتقال انرژی به محل باس ورودی واحدهای غیرخودراه‌انداز می‌گردد. در نظر گرفتن این تغییرات در تعیین زمان سوئیچینگ مسیر، لحظه برق‌دار شدن باس ورودی واحد را با دقت بیشتری مشخص می‌نماید. بر این اساس، تغییرات دمایی بویلر و توربین واحد را می‌توان به راحتی تشخیص داد. این امر ممکن است در تعیین ترتیب استارت واحدها نیز دخیل باشد و باعث تغییر ترتیب تعیین شده استارت واحدها نیز شود. بر اساس الگوریتم ارائه شده در این مقاله، رتبه‌بندی مسیرهای ممکن جهت انتقال انرژی از باس برق‌دار به باس ورودی واحدها با در نظر گرفتن شاخص‌های دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال و همچنین ارزش بار از دست رفته در بارگذاری‌های اختیاری و اجباری در مسیرها با استفاده از روش آنالیز پاکت نامه‌ای اطلاعات (DEA) انجام می‌گردد.

۲. روش کلاسیک آنالیز پاکت نامه‌ای اطلاعات DEA

روش آنالیز پاکت نامه‌ای اطلاعات (DEA)، که توسط آقای Charnes ارائه گردیده است، روشی است که کارایی داده‌ها را بر اساس مفهوم کارایی وابسته^۲ داده‌ها بر یکدیگر، ارزیابی

آن با سرعت بیشتری افزایش خواهد یافت. بنابراین، بهره‌برداران سیستم‌های قدرت بدنبال یافتن راهکارهایی جهت کاهش مدت زمان بازیابی سیستم قدرت می‌باشند.

پروسه بازیابی سیستم قدرت از مراحل مختلفی تشکیل شده است. یکی از مهمترین این مراحل، تعیین ترتیب استارت واحدهای غیرخودراه‌انداز در شبکه می‌باشد. استارت این واحدها بر اساس قیود مختلفی از جمله منحنی توانایی تولید واحدها، بیشترین و کمترین فاصله زمانی بحرانی استارت واحدها و همچنین توان راه‌اندازی مورد نیاز آنها، انجام می‌پذیرد. انتخاب مسیر مناسب برای انتقال انرژی راه‌اندازی به باس ورودی واحدهای غیرخودراه‌انداز و همچنین تعیین ترتیب بهینه استارت واحدها، باعث کاهش چشمگیر مدت زمان بازیابی و در پی آن، افزایش میزان بار تأمین شده سیستم قدرت می‌شود.

تاکنون، مقالات اندکی به بررسی و یافتن مسیرهای بهینه جهت استارت واحدها در پروسه بازیابی پرداخته‌اند [۴-۸]. در برخی از مراجع نیز، در کنار یافتن ترتیب بهینه استارت واحدها، انتخاب مسیر نیز مد نظر قرار گرفته است. اما، هدف‌گذاری برای تعیین مسیر مناسب در این مقالات صورت نگرفته است [۶-۸]. در مرجع [۴]، مسیر بهینه جهت انتقال انرژی راه‌اندازی به محل باس ورودی واحد غیرخودراه‌انداز بر اساس کوتاهترین مسیر انتخاب گردیده است. در این میان، بررسی اضافه ولتاژهای انتهای خطوط و امکان‌پذیری برق‌دار نمودن آنها نیز مد نظر قرار نگرفته است. در مرجع [۵] نیز، ابتدا سناریوهای ممکن استارت واحدها مشخص شده، سپس بر اساس شاخص‌هایی مانند تعداد تغییرات سطوح ولتاژ، طول مسیر انتقال، درجه اهمیت واحد غیرخودراه‌انداز هدف، تعداد سوئیچینگ مسیر و همچنین میزان انرژی قابل تأمین توسط ژنراتور هدف، مسیر بهینه جهت انتقال انرژی مشخص گردیده است. در این مقاله، مشخصه‌های استاتیکی سیستم انتقال مد نظر قرار گرفته است ولی از اضافه ولتاژهای انتهای خطوط و امکان‌پذیری برق‌دار کردن مسیر سخنی به میان نیامده است. در مرجع [۷] نیز، قیود سیستم انتقال بصورت کاملاً ساده، با

^۱ Minimum & maximum critical time interval

^۲ Effective efficiency

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

همچنین، m ورودی و s خروجی واحد تصمیم‌گیرنده j_0 و مقادیر میانگین آنها بصورت زیر تعریف می‌گردند.

$$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}), \quad Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$$

$$\bar{x}_i = 1/n \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \text{و} \quad \bar{y}_r = 1/n \sum_{j=1}^n y_{rj}$$

پس از محاسبه ضرایب ورودی‌ها و خروجی‌های واحد تصمیم‌گیرنده از طریق رابطه فوق، مقدار کارایی آن بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$E_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m \omega_i x_{ij_0}}$$

سرانجام، بر اساس مقادیر کارایی محاسبه شده برای یکایک واحدهای تصمیم‌گیرنده، واحد تصمیم‌گیرنده‌ای که از مقدار کارایی بیشتری برخوردار است، بعنوان واحد برتر معرفی می‌شود.

۳. بیان الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی، برای هر ژنراتور، ابتدا تمام مسیرهای موجود از باس برق‌دار شبکه تا محل باس ورودی آن ژنراتور شناسایی می‌گردد. سپس، با استفاده از پخش بار و بر اساس شاخص‌های دینامیکی سیستم انتقال از قبیل پایداری ولتاژ و ...، مسیرهایی که برق‌دار کردن آنها امکان‌پذیر است، مشخص می‌گردند. در نهایت، با کمک روش کلاسیک آنالیز پاکت نامه‌ای اطلاعات (DEA)، بر اساس ورودی‌ها (شاخص‌های دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال) و خروجی‌های جدول (۱)، مسیرهای امکان‌پذیر برای هر ژنراتور رتبه‌بندی می‌گردند.

جدول (۱): ورودی‌ها و خروجی‌های روش DEA

ورودی‌ها	خروجی‌ها
زمان سوئیچینگ مسیر	ارزش بارگذاری اجباری
میزان بارگذاری اجباری	ارزش بارگذاری اختیاری در مسیر
طول مسیر	

۴. نحوه تعیین ارزش بارگذاری اجباری و اختیاری

می‌کند [۹]. بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضیاتی، این روش می‌تواند شاخص‌های ورودی و خروجی واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMUs) را آنالیز نموده و کارایی وابسته آنها را با یکدیگر مقایسه کند و برآورد هدف را ارائه دهد. مدل معروف این روش، مدل C^2R است [۱۰]. مدل دیگری که در این روش ارائه شده است، مدل گروه‌های استاندارد (GSM) که برگرفته از تئوری ریاضیات آمار می‌باشد [۱۱]. با استفاده از این روش، می‌توان داده‌های مطلوب را از میان کل داده‌ها، بر اساس شاخص‌های موجود، انتخاب نمود. در این روش نیز، شاخص‌های مد نظر جهت ارزیابی، بعنوان ورودی‌ها و خروجی‌های این مدل تعریف می‌گردند. آنالیز واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس مدل گروه‌های استاندارد، تمایل به ماکزیم کردن خروجی‌ها و مینیمم‌سازی ورودی‌ها جهت ارائه واحد تصمیم‌گیرنده برتر دارد. بر این اساس، شاخص‌های تصمیم‌گیرنده موجود بعنوان ورودی‌ها و خروجی‌های مدل، تعریف می‌گردند. سپس، برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده براساس ارزیابی کارایی وابسته آنها بر یکدیگر، ضرایب ورودی‌ها و خروجی‌ها برای آن واحد تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌شوند. آنگاه، با استفاده از ضرایب بدست آمده، مقدار کارایی آن واحد تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌گردد. در نهایت، با مقایسه مقادیر کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده، واحد برتر معرفی می‌شود. در روش GSM، برای محاسبه ضرایب وزنی ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیرنده بر اساس کارایی وابسته آنها، فرمول‌بندی بهینه‌سازی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

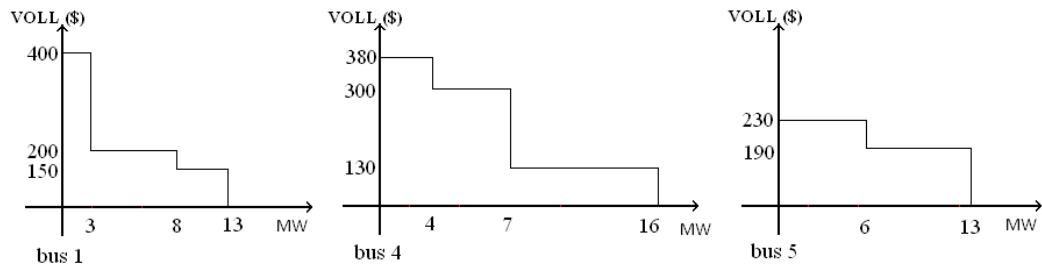
$$\left\{ \begin{array}{l} \max \sum_{r=1}^s \mu_r \bar{y}_r \\ \text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m \omega_i \bar{x}_{ij} \geq \sum_{r=1}^s \mu_r \bar{y}_{rj}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad j \neq j_0 \\ \sum_{i=1}^m \omega_i \bar{x}_i = 1 \\ \omega_i, \mu_r \geq 0, \quad \forall i, r \end{array} \right.$$

در فرمول‌بندی فوق، ω_i و μ_r به ترتیب بعنوان ضرایب ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده می‌باشند.

^۱ Decision Making Units
^۲ Group Standard Method

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

اجباری و اختیاری، بر اساس میزان ارزش از دست رفته بارها در هر باس از شبکه تعیین می‌شود. بعنوان مثال، فرض کنید مسیری شامل باس‌های ۱، ۴ و ۵ می‌باشد. پله‌های ارزش از دست رفته بارها در این باس‌ها در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.



شکل (۱): ارزش بار از دست رفته در چند باس مختلف

ارزش بارگذاری اختیاری نیز، در روندی مشابه با بارگذاری اجباری محاسبه می‌گردد. در ادامه برای هر ژنراتور، با استفاده از روش DEA کارایی مربوط به هر مسیر محاسبه شده و بر اساس آن، مسیرهای ممکن برای هر ژنراتور رتبه‌بندی می‌شوند. سرانجام، تعداد محدودی از مسیرهای برتر جهت استفاده در تعیین ترتیب استارت واحدها انتخاب می‌گردند. شکل (۳)، روندنمای الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۵. شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی

از آنجا که در این مقاله، بازیابی شبکه با فرض استفاده از روش "پائین به بالا" انجام می‌پذیرد، پروسه بازیابی کامل شبکه به بازیابی جزایر کوچکتر تقسیم می‌شود. در مرحله پایانی بازیابی، جزایر برق‌دار شده با یکدیگر سنکرون می‌شوند. در این بخش جهت تست و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، از شبکه ۱۴ باسه IEEE استفاده شده است. در این شبیه‌سازی، علاوه بر مشخص شدن قیود فنی واحدها و سیستم انتقال، نیاز است که ارزش بارهای از دست رفته در باس‌های مختلف شبکه نیز مشخص شوند.

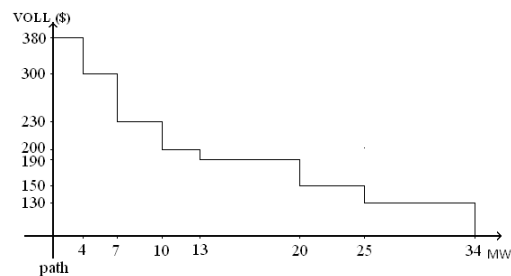
یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین ارزش بارگذاری-های اجباری و اختیاری در مسیرها، در نظر گرفتن ارزش بار از دست رفته در باس‌های بار مسیر می‌باشد. بارهای متصل به هر باس، ممکن است دارای ارزش بار از دست رفته متفاوتی باشند. این امر منجر به شکل‌گیری پله‌های ارزش بار از دست رفته برای هر باس بار شبکه می‌گردد. ارزش بارگذاری

با فرض بارگذاری اجباری در باس‌های ۵ و ۱ به ترتیب به میزان ۳ و ۵ مگاوات، جهت امکان‌پذیر شدن برق‌دار کردن این مسیر، ارزش بارگذاری اجباری در آن بصورت زیر محاسبه می‌شود.

= ارزش بارگذاری اجباری در این مسیر

$$= 2290 \$ = (3 \text{ MW} * 230 \$) + (5 \text{ MW} * 200 \$) + 400 \$ * 2 \text{ MW}$$

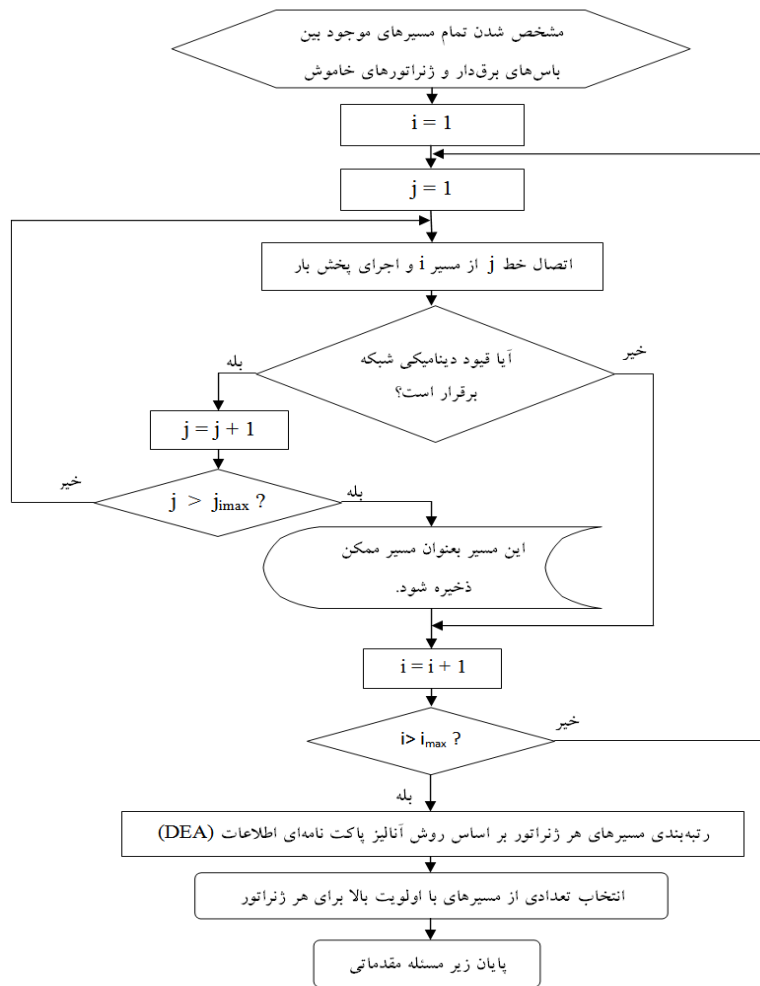
همانطور که مشهود است، بارگذاری‌های اجباری در هر باس از مقادیر بیشینه ارزش‌های از دست رفته در آن باس انتخاب شده است. بنابراین، بارهایی که در بارگذاری اجباری می‌بایست انرژی‌دار شوند قابل تشخیص برای بهره‌بردار سیستم می‌باشند. سایر پله‌های بار باقیمانده، بعنوان پله‌های بار اختیاری بصورت شکل (۲) برای این مسیر در نظر گرفته می‌شوند.



شکل (۲): پله‌های بارگذاری اختیاری در مسیر

^۱ Bottom-up

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۳): روندنمای الگوریتم پیشنهادی

اطلاعات شبکه تست

این پله‌ها برای باس‌های بار شبکه تست ۱۴ باسه IEEE بصورت جدول (۲) در نظر گرفته شده است. جدول (۲): پله-های ارزش بار از دست رفته در باس‌های شبکه ۱۴ باسه IEEE

در الگوریتم پیشنهادی، یکی از مهمترین اطلاعات ورودی، پله‌های ارزش بار از دست رفته در باس‌های مختلف شبکه می‌باشد. در این شبیه‌سازی، فرض شده است که در باس‌های بار شبکه، سه پله ارزش بار از دست رفته وجود داشته باشد.

۹		۶		۵		۴		۳		۲		شماره باس
\$	MW	\$	MW	\$	MW	\$	MW	\$	MW	\$	MW	
۶۳۰	۲۱	۷۶۱	۵	۳۴۹	۲	۵۴۱	۱۰	۶۶۲	۴۰	۳۳۸	۵	پله اول
۶۰۲	۴	۳۲۴	۳	۲۸۰	۱	۳۹۷	۱۷/۸	۵۶۸	۲۰	۲۸۳	۱۰	پله دوم
۴۴۰	۴/۵	۲۵۵	۳/۲	۷۹	۴/۵	۱۰۰	۲۰	۴۶۰	۳۴/۲	۲۴۴	۶/۷	پله سوم

۱۴		۱۳		۱۲		۱۱		۱۰		شماره باس
\$	MW	\$	MW	\$	MW	\$	MW	\$	MW	
۴۱۷	۳	۴۹۰	۴	۴۱۸	۱	۳۷۷	۴	۴۵۵	۲	پله اول
۱۵۰	۷	۲۲۳	۳	۲۰۱	۳	۱۱۸	۴	۴۲۲	۳	پله دوم
۶۵	۴/۹	۳۷	۶/۵	۱۸۶	۲/۱	۷۹	۵/۵	۳۵۷	۴	پله سوم

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

اساس قیود دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال با استفاده از روش آنالیز پکت نامه‌ای اطلاعات (DEA)، چند مسیر با اولویت بالا برای هر ژنراتور بمنظور بکارگیری در یافتن ترتیب بهینه استارت واحدها، انتخاب می‌شود.

خروجی الگوریتم پیشنهادی در جدول (۴) نشان داده شده است. در این جدول، ۵ مسیر با اولویت بالا برای هر ژنراتور شبکه مشخص گردیده است. میزان، محل و ارزش بارگذاری-های اجباری و همچنین ارزش بارگذاری اختیاری در هر مسیر، نیز مشخص شده است. در تعیین مسیر بهینه بین باس برقدار و ژنراتور هدف، فقط کوتاهتر بودن مسیر اهمیت ندارد بلکه، ارزش بارگذاری اجباری و اختیاری در مسیر نیز اهمیت دارد. این مقصود در الگوریتم پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

برای هر مسیر مشخص شده در جدول (۴)، لازم است مجموعه‌ای نزولی از پله‌های ارزش بار از دست رفته در باس-های مختلف آن بعنوان ورودی مسئله تعیین ترتیب استارت واحدها جهت تعیین ارزش بارگذاری اختیاری، مشخص شود. شکل (۴) نمونه‌ای از این پله‌ها را برای مسیر اولویت پنجم واحد ۸ نشان می‌دهد.

قسمت سبز رنگ در شکل (۴)، پله‌های بارگذاری اجباری در این مسیر را نشان می‌دهد که ارزش آن بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{ارزش} = (10 \text{ MW} * \$541/\text{MW}) \\ & \text{بارگذاری} + (17/8 \text{ MW} * \$397/\text{MW}) \\ & \text{اجباری مسیر} + (5 \text{ MW} * \$338/\text{MW}) \\ & \text{اولویت سوم واحد} + (5/199 \text{ MW} * \$283/\text{MW}) \\ & \text{MW} * \$100/\text{MW}) = 17,590 \$ \\ & + (19/522 \end{aligned}$$

در جدول (۲)، پله‌های ارزش بار از دست رفته بصورت نزولی بیان شده‌اند. اطلاعات واحدهای تولید کننده انرژی در این شبکه نیز، در جدول (۳) بیان شده است. واحد ۳ در این شبکه، بعنوان واحد خودراه‌انداز در نظر گرفته شده است. اگر وضعیت دمای بویلر و توربین واحد در حالت سرد قرار داشته باشد، استارت واحد پس از مدت زمان T_{cc} بیان شده در این جدول امکان‌پذیر خواهد بود. اگر وضعیت دمای بویلر و توربین واحد در لحظه شروع بازیابی، داغ باشد، واحد می-بایست تا قبل از مدت زمان T_{ch} استارت شود، در غیر اینصورت استارت واحد برای مدت زمان طولانی به تعویق خواهد افتاد. در لحظه شروع بازیابی این شبکه، واحد ۱ در شرایط سرد و واحدهای ۲ و ۶ در شرایط داغ به سر می‌برند. همچنین، بهره‌بردار سیستم قادر به استارت واحد ۸ در لحظه برقدار شدن باس ورودی آن، بدون در نظر گرفتن هیچیک از این قیود می‌باشد.

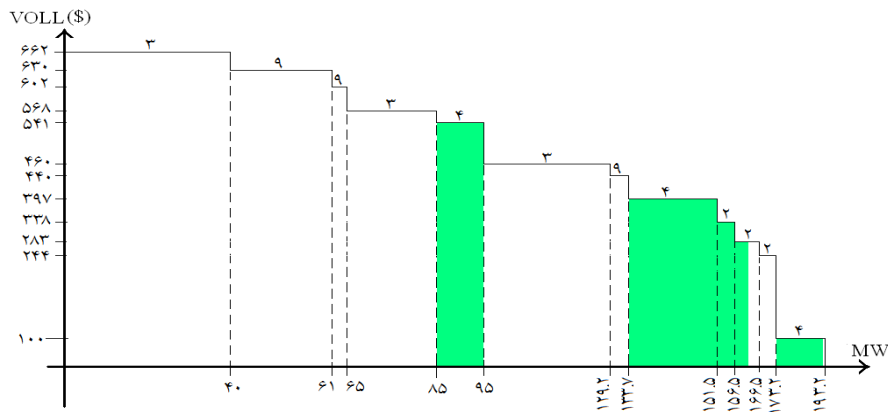
جدول (۳): اطلاعات ژنراتورهای شبکه ۱۴ باس IEEE در الگوریتم پیشنهادی

شماره واحد	توان ماکزیمم (MW)	توان راه-اندازی (MW)	شیب بارگیری واحد (MW/h)	زمان سنکرون شدن با شبکه (h)	T_{cc} (h)	T_{ch} (h)
۱	۲۰۰	۸	۱۴۸	۱/۶۷	۴	-
۲	۱۲۰	۱۳	۱۳۵	۲	-	۲.۵
۳	۳۲	۰	۱۱۲	۰	-	-
۶	۹۰	۵	۱۰۸	۲/۶۷	-	۳.۳۳
۸	۸۰	۱۳	۱۵۶	۰/۵	-	-

نتایج شبیه‌سازی

در الگوریتم پیشنهادی، با توجه به توپولوژی شبکه و باس-های برقدار آن، تمام مسیرهای موجود بین باس‌های برقدار و باس ورودی هر یک از ژنراتورها شناسایی می‌شوند. سپس، بر

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۴): منحنی ارزش بار از دست رفته مسیر اولویت پنجم واحد ۸

جدول (۴): خروجی الگوریتم پیشنهادی شبکه تست ۱۴ باسه IEEE

شماره واحد	اولویت مسیر	خطوط انتقال مسیر	بارگذاری اجباری (bus, MW)	ارزش بارگذاری اجباری (\$)	ارزش بارگذاری اختیاری (\$)
۱	۱	۱←۲←۳	-	-	۵۹,۷۲۷
	۲	۱←۲←۴←۳	-	-	۷۴,۲۰۳
	۳	۱←۵←۴←۳	-	-	۶۹,۳۸۲
	۴	۱←۵←۲←۳	-	-	۶۱,۰۶۰
	۵	۱←۵←۴←۲←۳	-	-	۷۵,۵۳۷
۲	۱	۲←۳	(۴,۲۰/۰۷۶MW)	۱۰,۳۵۰	۱۰۴,۲۴۰
	۲	۲←۱←۵←۴←۳	(۵,۷۶MW)	-	-
	۳	۲←۴←۳	(۶,۱/۲۳۲MW)	-	-
	۴	۲←۵←۶←۱۳←۱۴←۹←۴←۳	(۴,۲۰/۰۷۶MW)	۱۰,۵۲۰	۱۰۴,۷۷۰
	۵	۲←۵←۶←۱۱←۱۰←۹←۴←۳	(۵,۷۶MW)	-	-
۶	۱	۶←۵←۴←۳	-	-	۷۴,۹۷۵
	۲	۶←۵←۲←۳	-	-	۶۶,۶۵۳
	۳	۶←۵←۱←۲←۳	-	-	۶۶,۶۵۳
	۴	۶←۵←۲←۴←۳	-	-	۸۱,۱۳۰
	۵	۶←۵←۴←۲←۳	-	-	۸۱,۱۳۰
۸	۱	۸←۷←۴←۵←۱←۲←۳	-	-	۷۵,۵۳۷
	۲	۸←۷←۴←۲←۳	-	-	۷۴,۲۰۳
	۳	۸←۷←۴←۳	-	-	۶۸,۰۴۹
	۴	۸←۷←۹←۴←۵←۱←۲←۳	(۲,۱۱/۷۱۸MW)	۱۸,۰۲۰	۹۳,۱۵۵
	۵	۸←۷←۹←۴←۲←۳	(۴,۴۷/۳۲۲MW) (۵,۷۶MW)	۱۷,۵۹۰	۹۱,۸۲۱

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

۷. مراجع

- [1]. D. Lindenmeyer, H.W. Dommel, and M.M. Adibi, "Power System Restoration – a Bibliographical Survey", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 23, Issue 3, pp. 219-227, Mar. 2001.
- [2]. T. Nagata, Y. Tao, K. Kimura, H. Sasaki, and H. Fujita, "A Multi-agent Approach to Distribution System Restoration", IEEE International Midwest Symposium on Circuits and System, pp. 333-336, 2004.
- [3]. D. S. Popovic, and Z. N. Popovic, "A Risk Management Procedure for Supply Restoration in Distribution Networks", IEEE Trans. On Power Systems, vol. 19, No. 1, pp. 221-228, Feb. 2004.
- [4]. A. Ketabi, H. Asmar, A. M. Ranjbar, and R. Feuillet, "An Approach for Optimal Units Start-Up during Bulk Power System Restoration", IEEE Power Engineering Conference on Large Power Systems, pp. 190-194, 2001.
- [5]. Y. Wu, and X. Fang, "GSM Based Algorithm for Decision-Support Expert System to Assess Black-Start Plans", IEEE Conference Nanjing China, pp. 2339-2342, 2008.
- [6]. Q. Liu, L. Shi, M. Zhou, G. Li, and Y. Ni, "A New Solution to Generation Start-Up Sequence during Power System Restoration", IEEE Conference Nanjing China, pp. 2845-2849, 2008.
- [7]. S. Nouri-Zadeh, and A. M. Ranjbar, "Multi Objective Power System Restoration", IEEE Electrical Power & Energy Conference, Canada, pp. 1-5, 2008.
- [8]. W. Sun, and C. C. Liu, "Optimal Generator Start-Up Strategy for Power System Restoration", Intelligent System Applications to Power Systems, pp. 1-7, 2009.
- [9]. A. Charnes, W. W. Copper, E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", Eur. J. of Ops. Res., 2, pp. 429-444, 1987.
- [10]. G. Junpeng, W. Yuhua, "Evaluation on the Decision Making Units in Internal DEA", System Engineering-Theory Methodology Applications, vol. 13(4), pp. 339-342, 2004.
- [11]. Z. Tianxue, Z. Fuxiang, "New Approaches to AMT Evaluation and the Ssequencing of Units by Using DEA", Mathematics in Practice and theory, vol. 32(6), pp. 911-917, 2002.

در این مسیر، ارزش بارگذاری اختیاری برابر ۷۶۲۵۶ دلار، از پله‌های باقیمانده در شکل (۴) حاصل می‌گردد. در ادامه پروسه بازیابی سیستم قدرت، با استفاده از خروجی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، سناریوهای ترتیب استارت واحدها قابل دستیابی خواهند بود. در این سناریوها، می‌توان بر اساس مدت زمان سوئیچینگ مسیرهای با اولویت بالا برای هر ژنراتور و همچنین ارزش بارگذاری اختیاری در این مسیرها، ترتیب بهینه استارت واحدها را مشخص نمود.

۶. جمع‌بندی

در پروسه تعیین ترتیب استارت واحدها، تعیین مسیرها جهت انتقال انرژی راه‌اندازی واحدهای غیرخودراه‌انداز از باس برق‌دار شبکه به محل باس ورودی واحد، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. زمان سوئیچینگ مسیر مربوطه با در نظر گرفتن بارگذاری‌های اجباری در آن، تعیین کننده وضعیت دمایی بویلر و توربین پس از برق‌دار شدن باس ورودی آن خواهد بود. در این مقاله، بر اساس قیود دینامیکی و استاتیکی سیستم انتقال و همچنین ارزش بارگذاری اختیاری و اجباری در مسیرها، رتبه‌بندی مسیرهای ممکن جهت انتقال انرژی به باس ورودی هر یک از واحدها با استفاده از روش آنالیز پاکت نامهای اطلاعات (DEA) انجام می‌پذیرد.

نتایج شبیه‌سازی انجام شده بر روی شبکه ۱۴ باسه IEEE نشان داده است که برای امکان‌پذیر شدن برخی از مسیرها، بارگذاری اجباری می‌بایست انجام شود. ارزش بارهای از دست رفته در باس‌های مختلف شبکه مشخص کننده میزان ارزش بارگذاری اجباری در مسیر مربوطه می‌باشد. علاوه بر این، پتانسیل مسیر برق‌دار شده جهت انرژی‌دار کردن بارهای با ارزش شبکه نیز، بعنوان یکی از بخش‌های تعیین کننده اولویت آن جهت بکارگیری در سناریوهای تعیین ترتیب استارت واحدها خواهد بود.