18th International Power System Conference

کنفرانس بین‌المللی برق ۱۸

98-F-PSS-525

الگوریتمی برای تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها در بازوصل شبکه قدرت براساس نسبت تولید در واحد زمان

سعیده برقی‌نیا پویا انصاری‌مهر

پژوهشکده برق - پژوهشگاه نیرو
تهران – ایران

واژه‌های کلیدی: توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها، توان راه‌اندازی، مشخصات زمانی نیروگاه‌ها، جزیره‌بندی، زمان کلیدزنی، بازوصل سیستم قدرت

چکیده:

به مجموعه فعالیت‌هایی که برای بازگرداندن شبکه به حالت عادی پس از وقوع خاموشی صورت می‌گیرد، بازوصل[1] سیستم قدرت می‌گویند که عبارت است از استقرار مجدد نیروگاهها و وصل دوباره خطوط انتقال و مصرف‌کننده‌ها. این روند باید در کمترین زمان ممکن و بدون ایجاد خطای مجدد یا آسیب رساندن به تجهیزات انجام پذیرد.

یکی از قدمهای اساسی در راستای رسیدن به طرح بازوصل، تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها می‌باشد. در این مقاله، روشی ابتکاری برای این مهم براساس نسبت کل تولید واحد به زمان راه‌اندازی آن ($\frac{p}{t}$) ارائه شده است به‌نحوی که در کمترین زمان ممکن، تولید انرژی در طول فرآیند بازوصل به ماکزیمم مقدار ممکن یا مورد نیاز برسد. نتایج اجرای برنامه تهیه شده برروی شبکه ۳۹ شینه IEEE و شبکه جنوب‌شرق از شبکه سراسری ایران ارائه گردیده است.

- مقدمه

بازوصل سیستم قدرت، یک مساله کنترلی و تصمیم‌گیری پیچیده برای بهره‌برداران شبکه است. هدف اصلی بازوصل، تامین بار مورد نیاز شبکه در کمترین زمان ممکن می‌باشد. برای این منظور باید نیروگاههای خاموش راه‌اندازی شوند. بعضی از نیروگاهها نظیر نیروگاههای دیزلی، آبی و برخی از نیروگاههای گازی می‌توانند بدون اینکه از شبکه برق بگیرند، راه‌اندازی شوند که به آنها اصطلاحا خودراه‌انداز[2] می‌گویند. اما برای رساندن تولید به بار مورد نیاز شبکه باید واحدهای بزرگ نظیر واحدهای گازی بزرگ، بخاری و هسته‌ای نیز به مدار آورده

1. Restoration

2. Self Start

Archive of SID

www.SID.ir

شوند. این واحدهای بزرگ را می‌توان با استفاده از توان راه‌اندازی تامین شده از طریق واحدهای در حال تولید یا خودراه‌انداز، راه‌اندازی نمود.

بهینگی در توالی راه‌اندازی نیروگاهها بدین معناست که تولید نیروگاهها در کمترین زمان ممکن به بار مورد نیاز شبکه برسد و با در نظر گرفتن مسائل فنی و اقتصادی در لحظات اولیه بازوصل تا حد امکان تعداد نیروگاههای کمتری راه‌اندازی شوند. به منظور حل این مساله نیازمند یک سری مشخصات زمانی نیروگاهها می‌باشیم که براساس آنها، لحظه‌های راه‌اندازی نیروگاهها تعیین می‌شود.

مقالات متعددی در زمینه بازوصل شبکه قدرت موجود می‌باشد اما در مورد توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها مطالب چندانی ذکر نشده است. برخی از مقالات تنها به ذکر اهمیت مساله و نیاز بهره‌برداران سیستم به آن در هنگام بازوصل اکتفا نموده و راه‌حلی پیشنهاد نکرده‌اند [۱-۵].

در مرجع [۶] ترتیب راه‌اندازی نیروگاههای غیرخودراه‌انداز براساس بیشتر بودن $\frac{p}{t}$ واحدها می‌باشد. این روش می‌تواند معیار مناسبی جهت تعیین توالی راه‌اندازی نیروگاهها باشد ولی در آن، مسیریابی انتقال توان از یک نیروگاه به نیروگاه دیگر و مشخصات تاثیرگذار نیروگاهها در بازوصل که در تعیین توالی راه‌اندازی نیروگاهها بسیار مهم هستند در نظر گرفته نشده است.

در مراجع [۸ و۷] از روش جستجوی پیشروی قابل برگشت[3] جهت تعیین توالی راه‌اندازی نیروگاهها استفاده شده است. تابع هدف در این مساله، افزایش مقدار انرژی تولیدی در طول مدت زمان بازوصل می‌باشد. مساله با فرض شبکه کاملاً خاموش و رسیدن به ماکزیمم توان تولیدی همه نیروگاهها حل شده است در صورتی‌که ممکن است تنها قسمتی از شبکه خاموش باشد و یا رسیدن به یک توان مورد نیاز مشخص مدنظر باشد. همچنین زمان کلیدزنی خطوط انتقال و امکان تغییر حالات نیروگاهها و اینکه آیا نیروگاه راه‌انداز انتخابی می‌تواند در زمان تعیین شده توان لازم جهت راه‌اندازی نیروگاه مورد نظر را تامین نماید یا خیر، در آن منظور نشده است.

روش انتخابی جهت حل مساله تعیین توالی راه‌اندازی نیروگاهها در این مقاله براساس روش بکار گرفته شده در مرجع [۶] می‌باشد. منتها در آن مسیریابی انتقال توان از یک نیروگاه به نیروگاه دیگر و مشخصات تاثیرگذار نیروگاهها در بازوصل درنظر گرفته شده است.

در بخش (۲) مشخصات نیروگاهها برای بازوصل و در بخش(۳)، روش انتخابی جهت تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها آمده است. بخش(۴) به ارائه الگوریتم تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها اختصاص داده شده است. در بخش (۵) نتایج تست برنامه تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها برروی شبکه ۳۹ شینه IEEE و شبکه سراسری ایران و بالاخره در بخش(۶) نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۲- مشخصات نیروگاهها برای بازوصل

در حال حاضر متداول‌ترین نیروگاههایی که برای تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از دیزلی، آبی، گازی، بخاری، سیکل ترکیبی و هسته‌ای می‌باشد.

مشخصه تولید توان واحدها توسط پارامترهای زیر تعیین می‌گردد:

۱- ماکزیمم توان تولیدی واحد: این مقدار در واقع بیشترین ظرفیت تولیدی واحد می‌باشد.

۲- مینیمم بار واحد: مینیمم بار لازم که برای پایدار

3. Back Tracking

Archive of SID
www.SID.ir

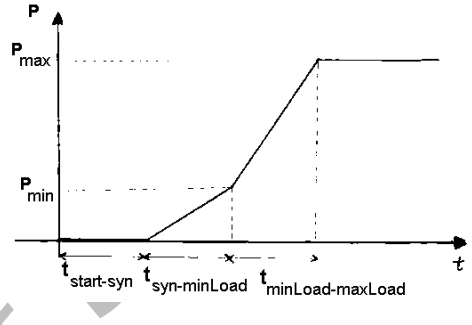
بودن واحد باید توسط آن تأمین گردد.

۳- زمان راه‌اندازی واحد تا وصل آن به شبکه

۴- زمان وصل واحد به شبکه تا رسیدن تولید به مقدار مینیمم بار

۵- زمان مینیمم بار تا ماکزیمم توان تولید

مشخصه عمومی تولید توان واحدها در شکل (۱) نشان داده شده است:



شکل (۱): مشخصه عمومی تولید توان واحدها

در نیروگاههای گازی و بخاری شرایط راه‌اندازی فرق می‌کند و بسته به اینکه دمای سیکل در چه مقدار باشد، نحوه راه‌اندازی و زمان آن متفاوت است. در نیروگاههای گازی دو حالت راه‌اندازی گرم[۴] و سرد[۵] در نظرگرفته می‌شود که معیار تشخیص حالتهای گرم و سرد واحد جهت راه‌اندازی، یک درجه حرارت تعیین شده می‌باشد. [۹]

نیروگاههای بخار را معمولاً در سه حالت داغ[۶]، گرم و سرد راه‌اندازی می‌کنند. معیار تشخیص این سه حالت دمای بویلر و توربین می‌باشد.

بویلرهای واحدهای بخار به دو صورت درام‌دار و یکبارگذر می‌باشند. رفتار این دو نوع واحد بخار در بازوصل به‌خصوص در برنامه توالی راه‌اندازی نیروگاهها، متفاوت است و با در نظر گرفتن خصوصیات ویژه آنها می‌توان تصمیم‌گیری در ترتیب راه‌اندازی نیروگاههای بخار را ساده‌تر نمود. بدین منظور یک بازه زمانی بحرانی[۷] برای هریک از دو نوع واحد تعریف می‌شود. ماکزیمم بازه زمانی بحرانی برای واحدهای بخاری از نوع بویلر دارای درام می‌باشد و حداکثر مدت زمانی است که واحد بخار از نوع دارای درام می‌تواند خاموش بماند بدون اینکه واحد به حالت سرد برود و بتوان واحد را به‌صورت داغ یا گرم راه‌اندازی نمود

پارامتر دیگری که در برنامه‌ریزی بازوصل باید در نظر گرفته شود، توان لازم جهت راه‌اندازی واحدهای غیرخودراه‌انداز می‌باشد.

۳- انتخاب روش مناسب جهت تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها

روش انتخابی جهت حل مساله تعیین توالی راه‌اندازی نیروگاهها براساس اولویت‌بندی $\frac{p}{t}$ می‌باشد. بدین صورت که با در نظر گرفتن تمامی شرایط نظیر زمانهای بحرانی، اولویت‌بندی نیروگاهها جهت راه‌اندازی براساس بیشتر بودن $\frac{p}{t}$ آنها خواهد بود. نیروگاهی که دارای $\frac{p}{t}$ بالاتری باشد می‌تواند در زمان کمتری به ماکزیمم توان تولیدی خود برسد. در عین حال با شتاب بیشتری نیز به افزایش توان تولیدی دست یابد که این دو تامین کننده MWH بیشتر در زمان بوده و این روش می‌تواند بهینگی مساله توالی راه‌اندازی در بازوصل را تا حدود زیادی فراهم نماید. همچنین به دلیل آنکه نیروگاههای انتخابی با $\frac{p}{t}$ بالا دارای ظرفیت تولید بالاتری هستند می‌توانند تا حدودی به راه‌اندازی تعداد واحدهای کمتری از نیروگاهها منجر شوند. نکاتی که در بکارگیری این روش جهت واقعی بودن پاسخ آن می‌بایست مد نظر قرار گیرند در زیر آمده است:

4. Warm Start
5. Cold Start
6. Hot Start
7. Critical Intervals

Archive of SID
www.SID.ir

ـ توان مورد نیاز شبکه مشخص باشد.

ـ در محاسبه $\frac{p}{t}$ نیروگاهها اگر چنانچه نیروگاهی از نوع بخار با بویلر یکبارگذر باشد حتماً مینیمم بازه زمانی بحرانی در محاسبه t وارد شود.

ـ زمانهای کلیدزنی بین نیروگاههای راه‌انداز و نیروگاههای مورد نظر جهت راه‌اندازی محاسبه گردند و اگر چنانچه در طی این زمانهای کلیدزنی، نیروگاهی از حالات داغ یا گرم به حالت سرد برود در محاسبه $\frac{p}{t}$ منظور شده و در اولویت پایین‌تری قرار گیرد.

ـ زمانهای کلیدزنی در تعیین زمان راه‌اندازی نیروگاهها باید در نظر گرفته شوند. ولی از آنجایی که تمامی بررسی‌ها در یک جزیره صورت می‌گیرد و در یک جزیره، این زمانهای کلیدزنی، اعداد نزدیک به هم هستند لذا می‌توانیم از آنها در اولویت‌بندی $\frac{p}{t}$ نیروگاهها صرفنظر نماییم.

مزایای روش انتخابی را می‌توان به صورت زیرخلاصه نمود:

ـ شتاب بارگیری واحدها را در بردارد.

ـ دستیابی به حداکثر MWH در آن مستتر است.

ـ معیار بهینگی زمان در آن مستتر است.

ـ پیاده‌سازی روش ساده بوده و زمان رسیدن به جواب در آن کم می‌باشد.

۴- الگوریتم تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها

ورودی‌های اساسی برنامه تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها شامل موارد زیر می‌باشد [۱۰]:

ـ اطلاعات مربوط به ساختار و توپولوژی شبکه که تمامی مسیرهای موجود میان هر دو شین از شبکه مورد نظر را شامل می‌شود و از برنامه "تعیین مسیر مناسب خطوط انتقال و کلیدزنی بهینه" بدست می‌آید [۱۱].

ـ مشخصات زمانی نیروگاهها که شامل موارد زیر می‌باشند:

تعداد نیروگاهها، شماره نیروگاهها، نوع نیروگاهها، ماکزیمم توان تولیدی نیروگاهها، مینیمم بار واحد، توان لازم جهت راه‌اندازی نیروگاهها، ماکزیمم بازه زمانی بحرانی نیروگاهها، مینیمم بازه زمانی بحرانی نیروگاهها، زمان راه‌اندازی نیروگاهها تا اتصال آنها به شبکه در سه حالت داغ، گرم و سرد، زمان اتصال به شبکه تا تولید مینیمم بار در سه حالت داغ، گرم و سرد، زمان تولید نیروگاهها از لحظه تولید مینیمم بار تا ماکزیمم تولید در سه حالت داغ، گرم و سرد.

ـ تعداد جزایر موجود در شبکه، شماره نیروگاههای راه‌انداز هرجزیره، شماره نیروگاههایی که قرار است در هر جزیره راه‌اندازی شوند. برای این منظور از نتایج برنامه "جزیره‌بندی" استفاده می‌شود [۱۲].

توانی که در بازوصل می‌خواهیم به آن برسیم توسط کاربر وارد می‌شود. این توان می‌تواند یا برای کل شبکه مورد نظر و یا برای هر جزیره مشخص گردد. همچنین میزان درصد افزایش قابل قبول توان تولیدی مورد نیاز شبکه باید معلوم گردد (یعنی توان مورد نیاز شبکه به میزان درصدی از آن، زیاد در نظر گرفته می‌شود تا محدوده اطمینان افزایش یابد).

بعد از مشخص شدن ورودی‌های برنامه، باید در هر جزیره بین نیروگاههایی که قرار است راه‌اندازی شوند اولویت‌بندی گردد. نسبت $\frac{P}{t}$ تمام نیروگاهای مورد نظر هر جزیره محاسبه و برحسب ترتیب نزولی $\frac{P}{t}$ اولویت‌بندی می‌شوند. توجه به این نکته ضروری است که مینیمم بازه زمانی بحرانی در مورد نیروگاههای بخار با بویلر یکبارگذر در نظر گرفته شود. بدین ترتیب این نیروگاهها در اولویت‌های آخر جهت راه‌اندازی قرار خواهند گرفت.

امکان دارد نیروگاهی در اولویت‌های بالا (از نظر داشتن $\frac{P}{t}$ بالا) جهت راه‌اندازی باشد ولی در طی زمان راه‌اندازی از حالات داغ یا گرم به حالت سرد برود. در آن‌صورت این نیروگاه نمی‌تواند اولویت خوبی برای راه‌اندازی در مراحل اولیه بازوصل باشد. به همین دلیل ابتدا حالات نیروگاههای مورد نظر بعد از طی زمانهای کلیدزنی و رسیدن به زمان راه‌اندازی بررسی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

در صورتی‌که نیروگاهی به حالت سرد برود در ماتریس $\frac{P}{t}$ در اولویت آخر قرار خواهد گرفت. جهت انجام این کار ابتدا بین تمامی نیروگاههای راه‌انداز جزیره مورد نظر و هر یک از نیروگاههایی که باید راه‌اندازی شوند، مسیر با کمترین زمان کلیدزنی انتخاب و حالت نیروگاه بعد از گذشت این زمان بررسی می‌شود. در صورت تغییر حالت به سرد در اولویت آخر $\frac{P}{t}$ قرار می‌گیرد و بدین ترتیب اولویت‌بندی نیروگاههای هر جزیره محاسبه می‌شود.

از آنجایی که در مراحل اولیه بازوصل، هدف راه‌اندازی نیروگاهها برای رسیدن به توان مورد نیاز شبکه می‌باشد یا در تمام جزایر و یا در هر جزیره، ماکزیمم توانهای تولیدی نیروگاههای راه‌انداز به اضافه ماکزیمم توانهای تولیدی نیروگاهها با اولویت بالاتر منهای توانهای راه‌اندازی آنها با یکدیگر جمع می‌شوند تا جایی که به حد فاصل توان خواسته شده تا میزان درصد افزایش مجاز برسد. در صورتی‌که توانهای تولیدی نیروگاههای منتخب بیشتر از میزان درصد افزایش توان مورد نیاز شبکه باشد انتخاب آخر با نیروگاههای با اولویت پایین‌تر $\frac{p}{t}$ جایگزین خواهد شد تا جایی‌که نزدیکترین توان به توان خواسته شده فراهم گردد. حال در هر جزیره اعمال زیر را انجام می‌دهیم:

بعد از راه‌اندازی نیروگاههای خودراه‌انداز خاموش آن جزیره، کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین تمامی نیروگاههای راه‌انداز آن جزیره و نیروگاههای مورد نظر همراه با زمانهای کلیدزنی آنها محاسبه می‌شود و به‌ترتیب کمترین زمانهای کلیدزنی برای هر یک از نیروگاههای مورد نظر در ماتریس‌های مربوطه قرار می‌گیرند. سپس توانهای تولیدی نیروگاههای راه‌انداز بعد از گذشت زمانهای کلیدزنی برای هر یک از نیروگاههای مورد نظر محاسبه می‌شوند. بعد بررسی می‌شود که آیا این توانهای تولیدی می‌توانند توانهای مورد نیاز جهت راه‌اندازی نیروگاههای مورد نظر را تامین نمایند یا خیر؟ بدین ترتیب برای هر یک از نیروگاههای مورد نظر، نیروگاههای راه‌انداز اولویت‌بندی می‌شوند. با این فرض که اولاً دارای کمترین مسیر کلیدزنی باشند. ثانیاً بتوانند توان مورد نیاز جهت راه‌اندازی نیروگاهها را بعد از طی زمانهای کلیدزنی مربوطه تامین نمایند. حال حالات هر یک از نیروگاههای مورد نظر بعد از طی زمانهای کلیدزنی محاسبه می‌شوند و بدین ترتیب از اولویت‌بندی نیروگاههای راه‌انداز برای هر یک از نیروگاههای مورد نظر، نیروگاه راه‌انداز انتخاب می‌شود که باعث تغییر حالت نیروگاه از حالات داغ یا گرم به حالت سرد نشود. بنابراین نیروگاه راه‌انداز برای هر یک از نیروگاههای مورد نظر انتخاب می‌شود.

حال برای نیروگاههایی که قرار است همگی با یک نیروگاه راه‌انداز، راه‌اندازی شوند مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

ابتدا نیروگاهی که دارای کمترین زمان کلیدزنی است بعد از طی زمان مربوطه راه‌اندازی می‌شود و کلیدزنی بقیه مسیرها هم به صورت موازی در حال انجام است. در صورتی‌که چند نیروگاه دارای زمان کلیدزنی مساوی باشند ابتدا بررسی می‌شود که آیا توان تولیدی نیروگاه راه‌انداز بعد از طی زمان کلیدزنی مربوطه می‌تواند توانهای مورد نیاز جهت راه‌اندازی این نیروگاهها را تامین نماید یا خیر؟ در صورتی که جواب مثبت باشد همگی این نیروگاهها بعد از گذشت زمان کلیدزنی مربوطه راه‌اندازی خواهند شد. در غیر این‌صورت، نیروگاه با اولویت بالاتر از نظر $\frac{P}{t}$ ابتدا راه‌اندازی می‌شود. سپس نیروگاههای دیگر بعد از طی زمان جهت راه‌اندازی آماده می‌شوند و روند ادامه می‌یابد. بدین ترتیب در این مرحله، همه نیروگاههای انتخابی در هر جزیره راه‌اندازی می‌شوند. در هر جزیره امکان دارد نیروگاههایی باشند که هنوز راه‌اندازی نشده‌اند. بدین ترتیب ابتدا از بین نیروگاههای باقیمانده در صورتی که نیروگاه بخاری با بویلر یکبارگذر باشد در ابتدا آن را کنار می‌گذاریم و بقیه نیروگاهها را جهت راه‌اندازی آماده می‌کنیم.

حال از بین نیروگاههایی که راه‌اندازی شده‌اند، ماکزیمم زمان کلیدزنی آنها را به عنوان مرجع زمان در

Archive of SID

www.SID.ir

نظر می‌گیریم و محاسبه می‌کنیم که کدامیک می‌توانند بعد از گذشت این زمان، توان تولید کنند. هر نیروگاهی که بعد از طی این زمان، قابلیت تولید توان را داشته باشد در دسته نیروگاههای راه‌انداز این مرحله قرار می‌گیرند. حال روند از یافتن کمترین مسیر بین این نیروگاههای راه‌انداز و نیروگاههایی که قرار است راه‌اندازی شوند ادامه می‌یابد. بدین ترتیب نیروگاههایی نیز در این مرحله راه‌اندازی می‌شوند.

در مرحله بعد باید راه‌اندازی نیروگاههای بخار با بویلر یکبارگذر را بررسی کنیم. بدین صورت‌که کمترین مینیمم بازه زمانی بحرانی به عنوان مرجع زمان انتخاب می‌شود. حال بررسی می‌شود که از بین نیروگاههایی که راه‌اندازی شده‌اند کدامیک بعد از طی این زمان دارای قابلیت تولید توان هستند و روند نظیر مرحله قبلی ادامه می‌یابد.

در صورتی که در جزیره مورد نظر، نیروگاهی باشد که نتواند راه‌اندازی شود برنامه پیغام می‌دهد.

بدین ترتیب در خروجی برنامه شماره نیروگاهی که قرار است راه‌اندازی شود، شماره نیروگاه راه‌انداز آن، زمان راه‌اندازی آن و حالت نیروگاه مورد نظر بعد از طی زمان راه‌اندازی(داغ، گرم، سرد) ظاهر می‌شود.

همچنین در خروجی برنامه، کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن بین نیروگاههایی که قرار است راه‌اندازی شوند با نیروگاههای راه‌انداز آنها مشخص می‌شود.

دیگر اینکه منحنی انرژی تولیدی نیروگاهها رسم خواهد شد. همچنین ماکزیمم توانی که می‌توان به آن رسید همراه با زمان رسیدن به آن مشخص خواهد شد.

روندنمای توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها در پیوست (۱) نشان داده شده است.

۵- نتایج تست برنامه

۵-۱- شبکه ۳۹ شینه IEEE

شبکه ۳۹ شینه IEEE در پیوست (۲) نشان داده شده است. با در نظر گرفتن دو نیروگاه خودراه‌انداز ۳۰و۳۱ در شبکه ۳۹ شینه، برنامه جزیره‌بندی دو جزیره تشخیص می‌دهد که شماره شین‌های آنها به‌صورت زیر می‌باشد:

در جزیره اول:

1 2 3 9 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 3 3 34 35 36 37 38 39

در جزیره دوم:

4 5 6 7 8 10 11 12 13 14 15 31 32

فرض می‌کنیم که کل شبکه بی‌برق شده است. با انتخاب توان مورد نیاز ۴۰ پریونیت برای کل شبکه و درصد افزایش توان ۱۰٪ و اینکه تمامی نیروگاهها در حالت داغ باشند نتایج زیر در خروجی برنامه ظاهر می‌گردد:

اولین خروجی که ظاهر می‌شود نشان دهنده ماتریس انتخاب نیروگاهها براساس اولویت بالا از نظر $\frac{p}{t}$ و توان مورد نیاز شبکه و سایر عوامل می‌باشد که تعداد ستونهای آن نشان دهنده تعداد جزایر و در هر سطر آن نیروگاههایی از جزایر انتخاب شده‌اند:

35	32
33	0
39	0
36	0

سپس در خروجی دوم توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها نمایش داده شده است. در اولین ستون، شماره نیروگاه مورد نظر جهت راه‌اندازی، در ستون دوم نیروگاه راه‌انداز آن نیروگاه مورد نظر، در ستون سوم زمان راه‌اندازی آن نیروگاه برحسب دقیقه و در ستون چهارم حالت نیروگاه از نظر داغ، گرم و سرد بودن در لحظه راه‌اندازی نشان داده شده است (۳ : داغ ،۲ : گرم ، ۱ : سرد).

39	30	8	3
33	30	16	3
32	31	16	3
35	30	18	2
36	30	18	3
34	30	24	3
37	30	24	3
38	37	208	2

بعد کوتاه‌ترین مسیرهای در نظر گرفته شده جهت

Archive of SID

www.SID.ir

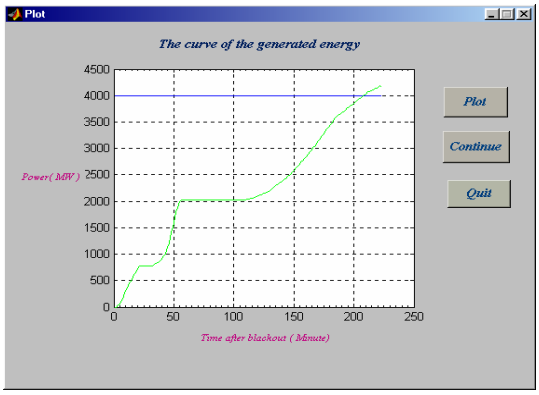
راه‌اندازی این نیروگاهها طبق خروجی زیر نشان داده می‌شود:

30 2 1 39
30 2 3 18 17 16 19 33
30 2 3 18 17 16 21 22 35
30 2 3 18 17 16 24 23 36
30 2 3 18 17 16 19 20 34
30 2 25 37
31 37 25 26 29 38
31 6 5 4 14 13 10 32

سپس در خروجی بعدی مقدار توانی که در پایان راه‌اندازی می‌توان به آن رسید به همراه زمان صرف شده جهت آن و همچنین حداکثر توانی که کلاً در این بازوصل می‌توان به آن رسید به همراه زمان صرف شده جهت آن نشان داده شده است.

مقدار توان در پایان راه‌اندازی: 4167 MW
زمان صرف شده جهت رسیدن به توان مذکور: 223 Minute
حداکثر توان تولیدی در پایان بازوصل: 5989MW
زمان صرف شده جهت رسیدن به توان مذکور: 538 Minute

و بالاخره منحنی MWH تولیدی شبکه در لحظه راه‌اندازی نیروگاهها رسم خواهد شد. توان مورد نیاز شبکه در پایان بازوصل به صورت یک خط در منحنی مشخص شده است.



۵-۲- شبکه جنوب‌شرق ایران

شبکه جنوب‌شرق از شبکه سراسری ایران در پیوست (۳) نشان داده شده است. حادثه ۷۹/۳/۱۷ شبکه جنوب‌شرق را در نظر می‌گیریم. واحدهای بخار نیروگاه بندرعباس S3 ,S4 با تولید ۵۶۰ مگاوات و واحد بخار شماره۱ زرند با تولید ۲۲ مگاوات و بخار مس سرچشمه با تولید ۱۲ مگاوات و واحدهای گازی سرچشمه با تولید ۴۲ مگاوات و واحدهای نیروگاه یزد۱ با تولید ۵۰ مگاوات و واحدهای نیروگاه سیکل یزد۲ با تولید ۳۸ مگاوات در مدار بوده و تبادل ناحیه جنوب‌شرق با شبکه سراسری حدودا ۱۱۳۵ مگاوات (۷۱۵ مگاوات خط منتظری ـ یزد۲ و ۴۲۰ مگاوات خط ملک‌مکان ـ فسا) بوده است. از آنجایی که در روز حادثه، کل شبکه جنوب‌شرق از شبکه سراسری جدا شد، لذا نیروگاههای راه‌انداز این شبکه از شبکه سراسری خواهد بود که در شین‌های منتظری و ملک مکان که ارتباط شبکه جنوب‌شرق با شبکه سراسری می‌باشند قرار خواهند گرفت. بدین‌ترتیب برنامه جزیره‌بندی دو جزیره تشخیص می‌دهد که شماره شین‌های آنها به‌صورت زیر می‌باشد:

در جزیره اول:

منتظری یزد۲ یزد۱

در جزیره دوم:

ملک‌مکان فسا جهرم لار جناح بندرلنگه پهل لافت بوستانو المهدی بندرعباس بندرعباس‌غرب شرق‌بندرعباس سیرجان شهاب سرچشمه باغین زرند رفسنجان میناب عنبرآباد کهنوج

با انتخاب توان مورد نیاز ۳۴۰ مگاوات برای کل شبکه جنوب‌شرق و درصد افزایش توان ۱۰٪ و اینکه تمامی نیروگاهها در حالت داغ باشند نتایج زیر در خروجی برنامه ظاهر می‌گردد:

اولین خروجی نشان دهنده ماتریس انتخاب نیروگاهها براساس اولویت بالا از نظر $\frac{p}{t}$ و توان مورد نیاز شبکه می‌باشد:

بندرعباس یزد۲
سرچشمه یزد۱
زرند --

سپس در خروجی دوم توالی راه‌اندازی بهینه

Archive of SID
www.SID.ir

نیروگاهها نمایش داده شده است:

داغ	۲دقیقه	منتظری	یزد۲
داغ	۴دقیقه	منتظری	یزد۱
داغ	۸دقیقه	ملک‌مکان	بندرعباس
داغ	۸دقیقه	ملک‌مکان	سرچشمه
داغ	۱۰دقیقه	ملک‌مکان	زرند

بعد کوتاه‌ترین مسیرهای در نظر گرفته شده جهت راه‌اندازی این نیروگاهها طبق خروجی زیر نشان داده می‌شود:

یزد۲ منتظری

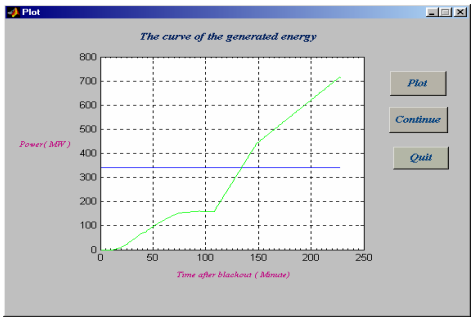
یزد۱ یزد۲ منتظری

بندرعباس سیرجان فسا ملک‌مکان

سرچشمه سیرجان فسا ملک‌مکان

زرند باغین سیرجان فسا ملک‌مکان

سپس در خروجی بعدی مقدار توانی که در پایان راه‌اندازی می‌توان به آن رسید به همراه زمان صرف شده جهت آن و همچنین حداکثر توانی که کلاً در این بازوصل می‌توان به آن رسید به همراه زمان صرف شده جهت آن نشان داده شده است.



مقدار توان در پایان راه‌اندازی:	709.588 MW
زمان صرف شده جهت رسیدن به توان مذکور:	228 Minute
حداکثر توان تولیدی در پایان بازوصل:	1810.19MW
زمان صرف شده جهت رسیدن به توان مذکور:	228 Minute

و بالاخره منحنی MWH تولیدی شبکه در لحظه راه‌اندازی نیروگاهها رسم خواهد شد. توان مورد نیاز شبکه در پایان بازوصل به صورت یک خط در منحنی مشخص شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، الگوریتمی جهت تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها در بازوصل شبکه قدرت ارائه گردید. در مراحل اولیه بازوصل، هدف راه‌اندازی نیروگاهها برای رسیدن به توان مورد نیاز شبکه می‌باشد و باید سعی شود که این توان در کمترین زمان تامین گردد. روش ارائه شده برای حل این مساله براساس اولویت‌بندی $\frac{p}{t}$ با در نظر گرفتن تمام شرایط و ملاحظات می‌باشد. نکته دیگر آن که در شرایط خاموشی بخشی از شبکه و یا تمام آن می‌توان مساله را حل نمود. نتایج ارائه شده برای شبکه ۳۹ شینه IEEE و جنوب‌شرق ایران نشانه کارآیی برنامه و عملی بودن توالی پیشنهادی آن با توجه به در نظر گرفتن کلیه ملاحظات لازم می‌باشد.

۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از مدیریت محترم دیسپاچینگ ملی که نظارت پروژه "برنامه‌ریزی بازوصل شبکه قدرت" را برعهده دارند، تشکر نمایند.

۸- مراجع

[1] M.M.Adibi, L.H.Fink,"Special Consideration In Power System Restoration", IEEE Trans. On Powe Systems, Vol. 7, No. 4, Nov. 1992, PP. (1419-1427).

[2] J. Ancona, "A Framework for Power Systems Restoratoin Following a Major Power Failure", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.10, No.3, Aug., PP.(1480-1485).

[3] K. L. Liou, C. C. Liu, R. F. Chu, "Tie Line Utilizatoin During Power System Restoration", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 10, No.1, Feb. 1995, PP. (192- 199).

[4] M.M.Adibi, J.N.Borkoski, R.J. Kafka,

Archive of SID

www.SID.ir

"Powe System Restoration - The Second Task Force Report",IEEE Trans. On Power Systems, Vol. PWRS-2, No.4, Nov. 1987, pp. (927-933).

[5] M.M.Adibi, R.J.Kafka, "Power System Restoratoin Issues",IEEE Computer Applicatoin on Power, April 1991, PP. (19-24).

[6] Y. Kojima, S. Warshina, "The Development of Power System Restoration Method for A Bulk Power Systems by Applying knowledge Engineering Techniques", Vol.4, No.3, Aug. 1989, PP. (1228-1235).

[۷] حمید اسمار، "تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها و انتخاب مسیر خطوط انتقال نیرو دربازوصل شبکه قدرت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، مرداد ۱۳۷۹.

[۸] حمید اسمار، علیمحمد رنجبر، ناصر ساداتی، "انتخاب بهینه راه‌اندازی نیروگاهها و خطوط انتقال نیرو دربازوصل شبکه قدرت"، پانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۷۹

[9] M.M.Adibi, K.J.Kafka, D.P.Milanicz, "Expert System Requirments for Power System Restoratoin", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 9, No.3, Aug. 1994, PP.(1592-1600).

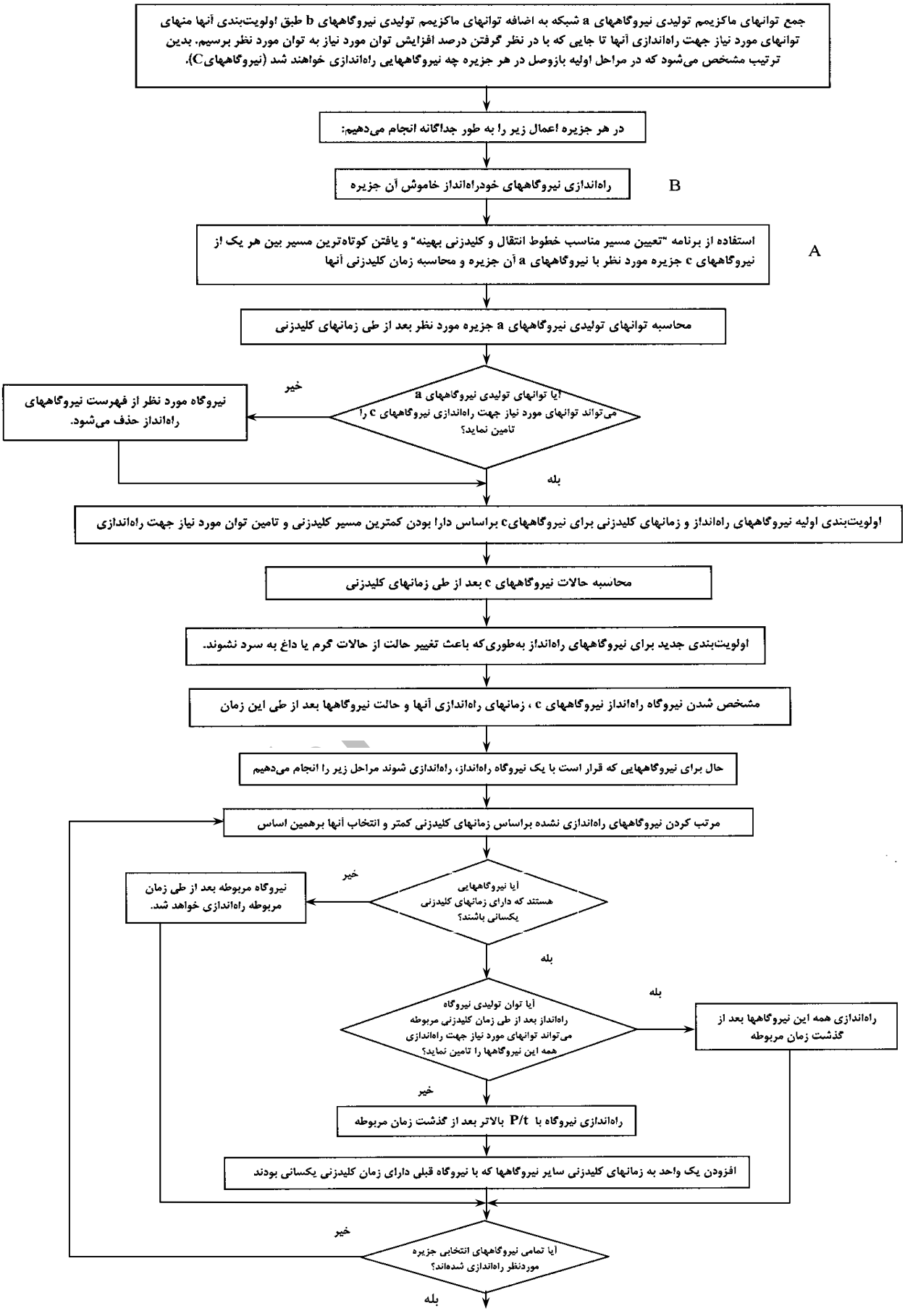
[۱۰] گروه پژوهشی بهره‌برداری شبکه، " گزارش تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها در بازوصل شبکه قدرت" ، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، اسفند ۱۳۸۰.

[۱۱] گروه پژوهشی بهره‌برداری شبکه، " گزارش تعیین مسیر مناسب خطوط انتقال و کلیدزنی بهینه در بازوصل شبکه قدرت" ، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، مهر ۱۳۸۰.

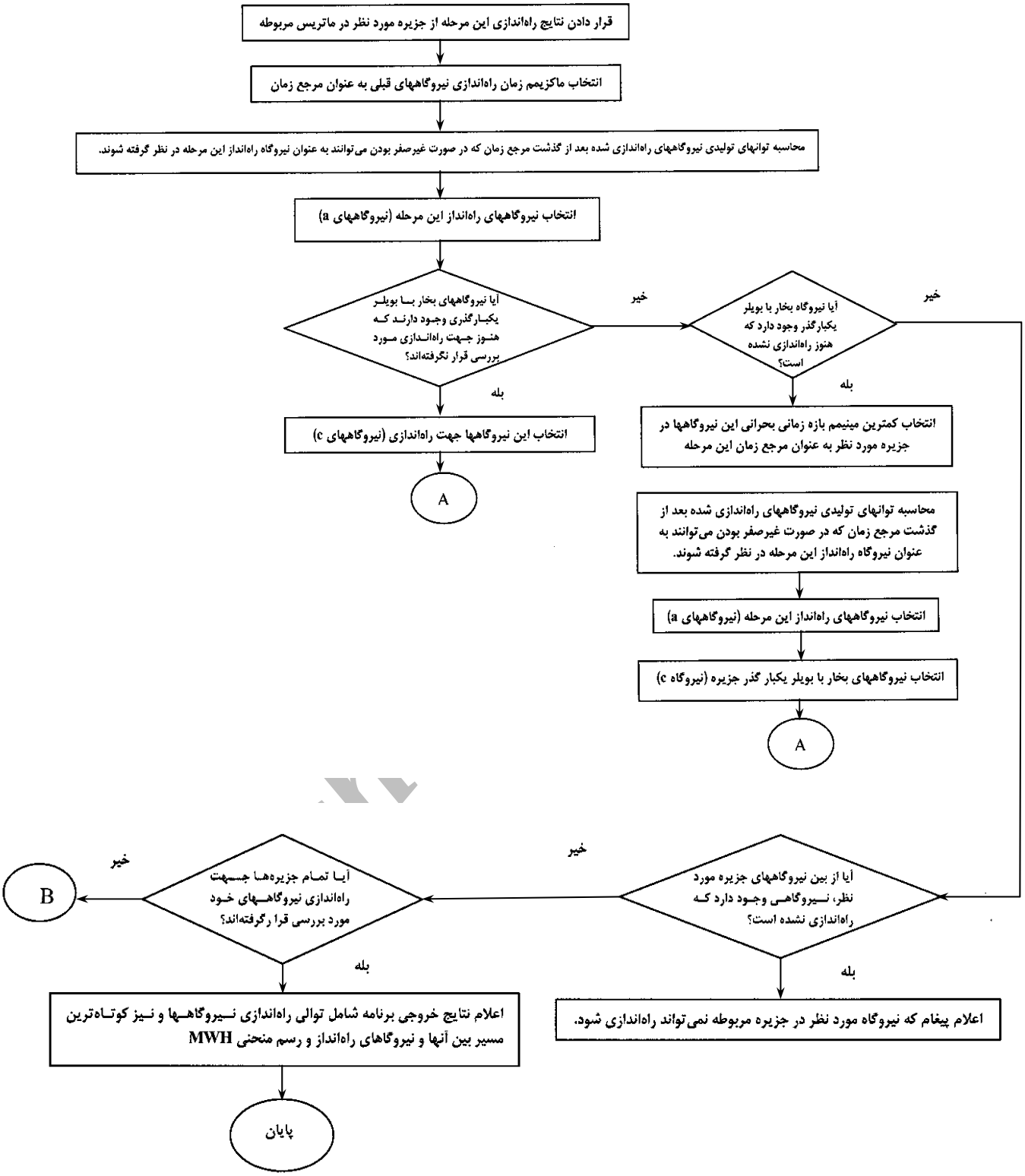
[۱۲] گروه پژوهشی بهره‌برداری شبکه، " گزارش تقسیم‌بندی جزایر در بازوصل شبکه قدرت" ، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، مرداد ۱۳۸۰.

پیوست (۱): روندنمای تعیین توالی راه‌اندازی بهینه نیروگاهها

www.SID.ir

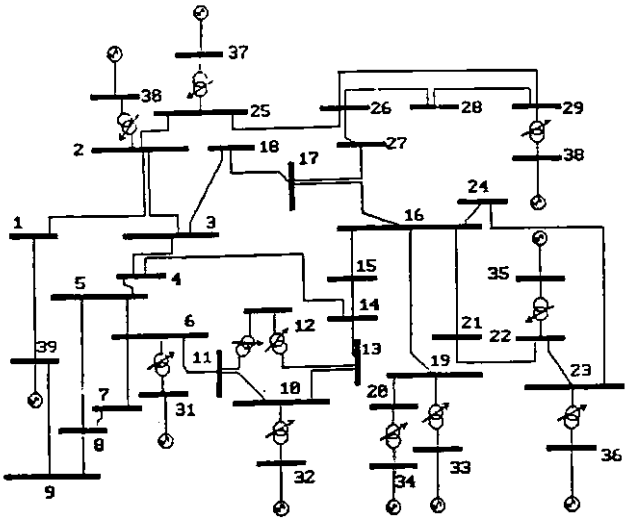

جمع توانهای ماکزیمم تولیدی نیروگاههای a شبکه به اضافه توانهای ماکزیمم تولیدی نیروگاههای b طبق اولویت‌بندی آنها منهای توانهای مورد نیاز جهت راه‌اندازی آنها تا جایی که با در نظر گرفتن درصد افزایش توان مورد نیاز به توان مورد نظر برسیم. بدین ترتیب مشخص می‌شود که در مراحل اولیه بازوصل در هر جزیره چه نیروگاههایی راه‌اندازی خواهند شد (نیروگاههای C).
در هر جزیره اعمال زیر را به طور جداگانه انجام می‌دهیم:
راه‌اندازی نیروگاههای خودراه‌انداز خاموش آن جزیره
B
استفاده از برنامه "تعیین مسیر مناسب خطوط انتقال و کلیدزنی بهینه" و یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین هر یک از نیروگاههای c جزیره مورد نظر با نیروگاههای a آن جزیره و محاسبه زمان کلیدزنی آنها
A
محاسبه توانهای تولیدی نیروگاههای a جزیره مورد نظر بعد از طی زمانهای کلیدزنی
آیا توانهای تولیدی نیروگاههای a می‌تواند توانهای مورد نیاز جهت راه‌اندازی نیروگاههای c را تامین نماید؟
خیر
نیروگاه مورد نظر از فهرست نیروگاههای راه‌انداز حذف می‌شود.
بله
اولویت‌بندی اولیه نیروگاههای راه‌انداز و زمانهای کلیدزنی برای نیروگاههایc براساس دارا بودن کمترین مسیر کلیدزنی و تامین توان مورد نیاز جهت راه‌اندازی
محاسبه حالات نیروگاههای c بعد از طی زمانهای کلیدزنی
اولویت‌بندی جدید برای نیروگاههای راه‌انداز به‌طوری‌که باعث تغییر حالت از حالات گرم یا داغ به سرد نشوند.
مشخص شدن نیروگاه راه‌انداز نیروگاههای c ، زمانهای راه‌اندازی آنها و حالت نیروگاهها بعد از طی این زمان
حال برای نیروگاههایی که قرار است با یک نیروگاه راه‌انداز، راه‌اندازی شوند مراحل زیر را انجام می‌دهیم
مرتب کردن نیروگاههای راه‌اندازی نشده براساس زمانهای کلیدزنی کمتر و انتخاب آنها برهمین اساس
آیا نیروگاههایی هستند که دارای زمانهای کلیدزنی یکسانی باشند؟
خیر
نیروگاه مربوطه بعد از طی زمان مربوطه راه‌اندازی خواهد شد.
بله
آیا توان تولیدی نیروگاه راه‌انداز بعد از طی زمان کلیدزنی مربوطه می‌تواند توانهای مورد نیاز جهت راه‌اندازی همه این نیروگاهها را تامین نماید؟
بله
راه‌اندازی همه این نیروگاهها بعد از گذشت زمان مربوطه
خیر
راه‌اندازی نیروگاه با P/t بالاتر بعد از گذشت زمان مربوطه
افزودن یک واحد به زمانهای کلیدزنی سایر نیروگاهها که با نیروگاه قبلی دارای زمان کلیدزنی یکسانی بودند
آیا تمامی نیروگاههای انتخابی جزیره موردنظر راه‌اندازی شده‌اند؟
خیر
بله

www.SID.ir

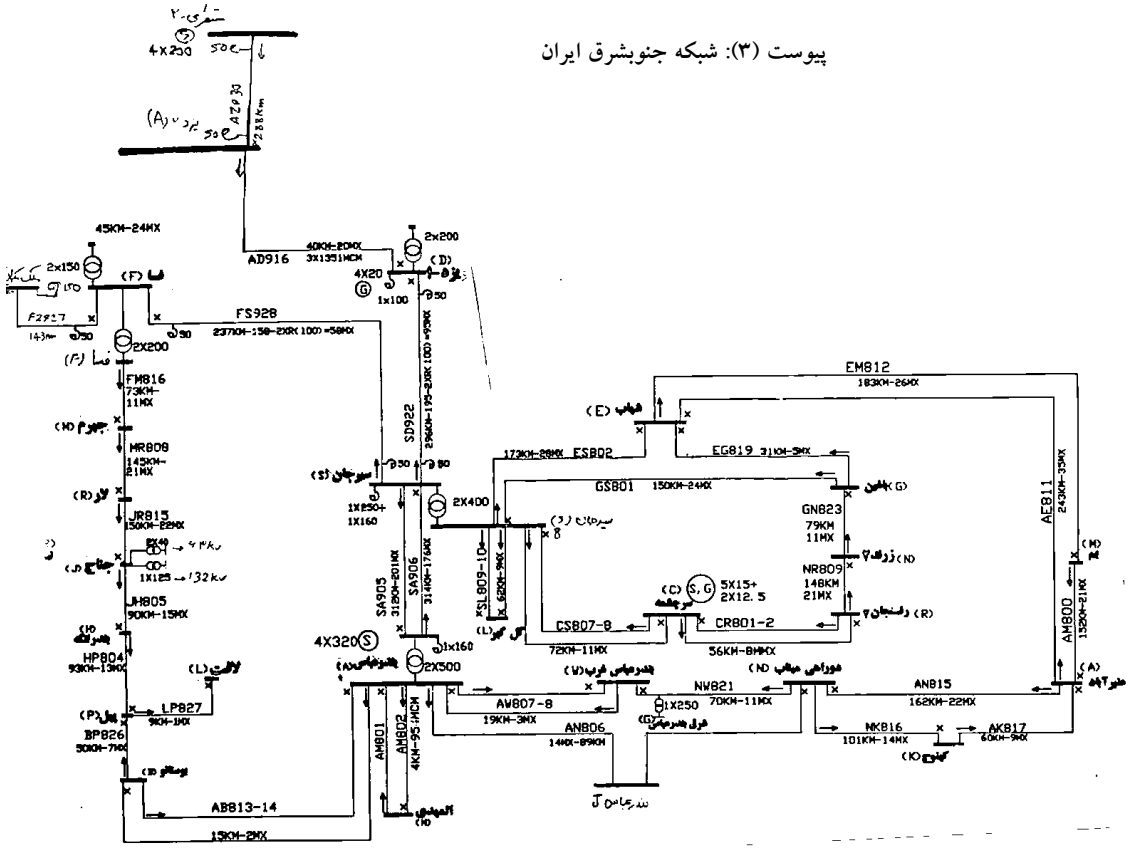

قرار دادن نتایج راه‌اندازی این مرحله از جزیره مورد نظر در ماتریس مربوطه
انتخاب ماکزیمم زمان راه‌اندازی نیروگاههای قبلی به عنوان مرجع زمان
محاسبه توانهای تولیدی نیروگاههای راه‌اندازی شده بعد از گذشت مرجع زمان که در صورت غیرصفر بودن می‌توانند به عنوان نیروگاه راه‌انداز این مرحله در نظر گرفته شوند.
انتخاب نیروگاههای راه‌انداز این مرحله (نیروگاههای a)
آیا نیروگاههای بخار بـا بویلـر یکبـارگذری وجـود دارنـد کـه هنـوز جـهت راه‌انـدازی مـورد بررسی قرار نگرفته‌اند؟
خیر
بله
آیا نیروگاه بخار یا بویلر یکبارگذر وجود دارد که هنوز راه‌اندازی نشده است؟
خیر
بله
انتخاب این نیروگاهها جهت راه‌اندازی (نیروگاههای c)
A
انتخاب کمترین مینیمم بازه زمانی بحرانی این نیروگاهها در جزیره مورد نظر به عنوان مرجع زمان این مرحله
محاسبه توانهای تولیدی نیروگاههای راه‌اندازی شده بعد از گذشت مرجع زمان که در صورت غیرصفر بودن می‌توانند به عنوان نیروگاه راه‌انداز این مرحله در نظر گرفته شوند.
انتخاب نیروگاههای راه‌انداز این مرحله (نیروگاههای a)
انتخاب نیروگاههای بخار با بویلر یکبار گذر جزیره (نیروگاه c)
A
آیا از بین نیروگاههای جزیره مورد نظر، نـیروگاهـی وجـود دارد کـه راه‌اندازی نشده است؟
خیر
بله
آیـا تمـام جزیره‌هـا جسـهت راه‌اندازی نیروگاهـهای خـود مورد بررسی قرا رگرفته‌اند؟
خیر
بله
B
اعلام پیغام که نیروگاه مورد نظر در جزیره مربوطه نمی‌تواند راه‌اندازی شود.
اعلام نتایج خروجی برنامه شامل توالی راه‌اندازی نـیروگاهـها و نـیز کوتـاه‌ترین مسیر بین آنها و نیروگاهای راه‌انداز و رسم منحنی MWH
پایان

www.SID.ir

پیوست (۲) : شبکه ۳۹ شینه IEEE



پیوست (۳): شبکه جنوبشرق ایران



www.SID.ir