

جایابی کلیدهای قدرت در سیستم‌های قدرت انرژی الکتریکی

خانم مریم برهانی دیزجی (نویسنده مسئول)^۱، آقای دکترمهرداد ستایش نظر^۲

ma.borhanii@gmail.com

^۱ دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

Setayeshnazar@gmail.com

^۲ دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

چکیده

در این مقاله با استفاده از روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نحوه آرایش شبکه خودترمیم مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بدین صورت که در ابتدا شبکه ۸ شینه شعاعی فوق توزیع استاندارد IEEE با مفروضات سنتی خود در دوفاز طراحی و بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود و سپس با بررسی آرایش‌های مختلف توسط الگوریتم بهینه‌سازی، شبکه‌ی خودترمیم یافته مناسب پیشنهاد می‌شود. شبیه‌سازی با هدف کمینه‌کردن تلفات، کمینه‌کردن هزینه نصب منابع تولید پراکنده، کمینه‌کردن هزینه احداث خطوط Tie-Switch و نیز کمینه‌کردن تعداد بارهای دچار خاموشی شده در شرایط رخداد خطا در شبکه فوق توزیع شعاعی صورت گرفته است. برای انجام شبیه‌سازی و بدست آوردن آرایش مورد نظر شبکه ۸ شینه IEEE استاندارد می‌شود که به صورت شعاعی به عنوان نماینده‌ای از یک سیستم فوق توزیع فرض می‌شود، انتخاب گردیده و با استفاده از محیط کدنویسی نرم‌افزار MATLAB مراحل مختلف شبیه‌سازی انجام گرفته است. کلیات روش بکار گرفته شده برای شبیه‌سازی به این صورت است که در ابتدا با مدل شبکه مورد نظر به صورت کد شده با مفروضات اولیه به نرم‌افزار MATLAB داده می‌شود و سپس با اعمال الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بر روی آن و با توجه به قیود مساله، مدلی از شبکه خودترمیم یافته طراحی می‌گردد. سپس در مرحله بعدی متدولوژی بهره‌برداری از آن ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

سیستم‌های فوق توزیع انرژی الکتریکی، جایابی کلیدهای قدرت، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

۱. مقدمه

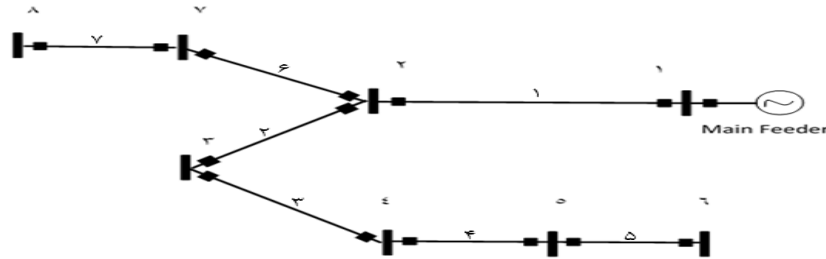
برای به حداکثر رساندن رضایت و حفظ مشتری، بهبود قابلیت اطمینان خدمات یک نگرانی عمده برای تأسیسات برق است. قابلیت اطمینان خدمات را می‌توان با قرار دادن کلیدها (سوئیچ‌ها) و ریکلوزرها در مکان‌های مناسب در سیستم قدرت بهبود بخشید تا بتوان پس از جداسازی قسمت خراب، از ایستگاه اصلی به نقاط سالم تغذیه را حفظ کرد. این مقاله روشی را برای جایابی بهینه سوئیچ‌ها و ریکلوزرها در یک سیستم قدرت برای به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و خاموشی و در عین حال به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان سیستم ارائه می‌دهد.

۲. پیشینه تحقیق

در یک شبکه برق، خطاها در سیستم توزیع بیشتر از سایر قسمت‌های سیستم است که منجر به وقفه در تأمین مشتریان می‌شود [۱]. قابلیت اطمینان خدمات را می‌توان با قرار دادن سوئیچ‌ها و ریکلوزرها در مکان‌های مناسب در سیستم توزیع بهبود بخشید تا قسمت‌های سالم سیستم پس از جداسازی قسمت معیوب سیستم فعال شوند. بنابراین، برای بهبود قابلیت اطمینان سرویس، استراتژی جایابی بهینه کلیدها و ریکلوزرها باید توسعه داده شوند. در ادبیات موضوع، مطالعاتی برای بررسی مشکل جایابی بهینه دستگاه‌های سوئیچینگ در یک سیستم توزیع انجام شده است. در [۲] مشکل تقسیم بندی محل قرارگیری سوئیچ با استفاده از روش شبیه‌سازی آنیل (SA) برای یافتن تعداد و مکان بهینه سوئیچ‌ها حل شده است. در [۳] یک طرح مبتنی بر نمودار مکان‌یابی سوئیچ برای پشتیبانی از مشتریان اولویت‌دار توسط یک یا چند تولیدپراکنده در صورت بروز خطا پیشنهاد شده است. یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم ایمی (IA) در [۴] برای مکان‌یابی بهینه سوئیچ در یک سیستم توزیع پیشنهاد شده است تا هزینه سرمایه‌گذاری و خاموشی را با توجه به کلاس‌های مختلف مشتری به حداقل برساند. رویکرد سه‌حالت بهینه‌سازی ازدحام‌ذرات (PSO) در [۵] برای پیدا کردن همزمان تعداد و مکان‌های بهینه کلیدهای سگشن‌بندی و قطع‌کننده در یک سیستم توزیع ارائه شده است. در [۶] یک روش مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) برای جایابی بهینه سوئیچ‌های سگشن‌بندی در یک سیستم توزیع با تولیدپراکنده (DG) برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم و به حداقل رساندن هزینه سوئیچ‌ها پیشنهاد شده است. یکی دیگر از روش‌های بهینه‌سازی چندمنظوره مبتنی بر ACO در [۷] برای جایابی سوئیچ‌ها و دستگاه‌های حفاظتی در سیستم توزیع برای بهبود قابلیت اطمینان ارائه شده است. در [۸] یک مشکل مکان‌یابی دستگاه سوئیچینگ چندمنظوره با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی بدون غالب (NSGA-II) با در نظر گرفتن عدم قطعیت DG، هزینه تجهیزات و قابلیت اطمینان شبکه بدون حالات عملکرد شبکه در حالت جزیره‌ای حل شده است. یک روش مبتنی بر برنامه‌نویسی صحیح مختلط (MILP) در [۹] برای جایابی سوئیچ‌های سگشن‌بندی در یک سیستم توزیع با در نظر گرفتن هزینه قطع مشتری و هزینه‌های مربوط به نصب، بهره‌برداری و نگهداری سوئیچ پیشنهاد شده است. روش دیگری برای تعیین تعداد و مکان بهینه سوئیچ‌های سگشن‌بندی با استفاده از روش MILP در [۱۰] پیشنهاد شده است. در این کار، مساله جایابی سوئیچ در شبکه توزیع با حضور DG برای به حداقل رساندن کل هزینه‌های مربوط به منظور دستیابی به سطح اطمینان مشخص مورد بررسی قرار گرفت. در [۱۱] یک مشکل بهینه‌سازی چندمنظوره مبتنی بر PSO برای جایابی سوئیچ‌ها در سیستم توزیع شعاعی برای به حداقل رساندن تعداد مشتریان ارائه‌نشده (CNS) پیشنهاد شده است. الگوریتم توسعه‌یافته فقط به تعداد مشتری در هر نقطه بار و توپولوژی شبکه نیاز دارد. در این روش از نرخ خرابی و میزان تعمیر اجزای سیستم استفاده نمی‌کند. در همه مطالعات فوق، شرایط بارگذاری استاتیک در نظر گرفته شده است.

۳. ساختار کلی مساله

در این مقاله شبکه ۸ شینه استاندارد IEEE که به صورت شعاعی به نمایندگی از یک سیستم فوق توزیع مفروض است در دو فاز طراحی و بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود. همانطوریکه در شکل ۱ دیده می‌شود شبکه ۸ شینه IEEE استاندارد متشکل از ۸ شین، ۷ خط و یک ژنراتور (که نمایانگر فیدر تغذیه شده از شبکه بالادست می‌باشد) است؛ تعداد کلیدهای قدرتی که در این توپولوژی بکار بسته شده است ۱۵ عدد می‌باشد؛ فرض می‌شود که خطا در شبکه در فاصله بین خطوط رخ می‌دهد و رله‌های دو سر خط بلافاصله کلیدهای قدرت در دو انتهای خط را باز می‌کنند. جزئیات اطلاعات مربوط به هر بخش در ادامه آورده شده است. فیدر تغذیه‌کننده شعاعی از شبکه بالادست به شین شماره ۱ وصل شده است و بر روی هریک از شین‌های ۲ الی ۸ نمایش داده شده در شکل ۱ بارهایی به عنوان مدل‌کننده شبکه پایین دست در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱. شبکه ۸ شینه شعاعی استاندارد IEEE

۱.۳. مشخصات اجزای مختلف شبکه‌های مورد شبیه‌سازی

به منظور انجام شبیه‌سازی مساله مورد نظر لازم است که مدلی برای شبکه فرض شود؛ این مدل متناسب با اطلاعات امپدانس خطوط، اندازه بارهای قرار گرفته بر روی شین‌ها، محدودیت ولتاژ و جریان شین‌ها و خطوط و ... تعیین می‌شود. لذا در این قسمت از این اثر قصد بر آن است که تمامی داده‌های لازم برای شبیه‌سازی در جداول مجزا ارائه شوند.

اطلاعات مربوط به طول خطوط، امپدانس:

در مدلی که مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است برای هر یک از خطوط فاصله مشخصی فرض شده است و متناسب با آن امپدانس به ازای در نظر گرفته شده است. $Z=0.07+j0.01$ امپدانس هر کیلومتر از خط به صورت هر کیلومتر خط در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به طول خطوط در جدول ۱ آمده است. لازم است توجه شود که خطوط ۱ الی ۷ موجود هستند و برای اینکه الگوریتم بتواند از بین خطوط ناموجود نیز انتخاب‌های داشته باشد لازم است که فواصل بین آنها نیز ارائه گردد.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به طول خطوط مدل

طول خطوط (برحسب کیلومتر)	خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)	طول خطوط (برحسب کیلومتر)	خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)	طول خطوط (برحسب کیلومتر)	خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)
۱۲	۵-۶	۱۰	۲-۷	۱۰	۱-۲
۱۶	۵-۷	۱۲	۲-۸	۲۰	۱-۳
۱۹	۵-۸	۱۰	۳-۴	۱۸	۱-۴
۲۲	۶-۷	۱۴	۳-۵	۱۵	۱-۵
۲۵	۶-۸	۱۸	۳-۶	۱۲	۱-۶
۵	۷-۸	۱۳	۳-۷	۱۸	۱-۷
		۱۴	۳-۸	۲۰	۱-۸
		۱۰	۴-۵	۱۰	۲-۳
		۱۴	۴-۶	۱۲	۲-۴
		۱۸	۴-۷	۱۴	۲-۵
		۲۰	۴-۸	۱۷	۲-۶

ششمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

6th International Conference on the New Horizons in Electrical Engineering, Computer and Mechanical

www.mhconf.ir

اطلاعات مربوط به حد حرارتی جریان آن‌ها:

پس از مشخص شدن طول و امپدانس هر یک از خطوط لازم است که حد حرارتی هر یک از خطوط نیز مشخص گردد. این اطلاعات در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به حد حرارتی جریان خطوط

خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)	حداکثر جریان (برحسب MA)	خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)	حداکثر جریان (برحسب MA)	خطوط (شین ابتدایی و انتهایی)	حداکثر جریان (برحسب MA)
۱-۲	۰,۹۶	۲-۷	۱,۲۴	۵-۶	۱,۴
۱-۳	۲,۲	۲-۸	۱,۳	۵-۷	۱,۷۸
۱-۴	۲	۳-۴	۰,۳	۵-۸	۲,۱
۱-۵	۱,۶۷	۳-۵	۱,۴۸	۶-۷	۰,۸۵
۱-۶	۱,۳	۳-۶	۲	۶-۸	۲,۲
۱-۷	۲	۳-۷	۱,۴	۷-۸	۱,۱
۱-۸	۲,۲	۳-۸	۱,۴۸		
۲-۳	۰,۹۶	۴-۵	۰,۷		
۲-۴	۱,۳	۴-۶	۱,۴۸		
۲-۵	۱,۴۸	۴-۷	۲		
۲-۶	۱,۷۸	۴-۸	۲,۲		

همانطوریکه در جدول ۲ نیز مشاهده می‌گردد اطلاعات مربوط به حد حرارتی جریان خطوط به دو دسته حد حرارتی جریان برای خطوط موجود و خطوط Tie-Switch که امکان نصب خواهند داشت، تقسیم می‌گردند.

اطلاعات مربوط به توان اکتیو و راکتیو شین‌ها:

پس از آنکه اطلاعات مربوط به هر یک از خطوط به الگوریتم تحویل گردد لازم است که اطلاعات توان اکتیو و راکتیو مصرفی هر شین نیز معین گردد. در جدول ۳ این اطلاعات به تفکیک هر شین ارائه شده‌اند.

جدول ۳. اطلاعات مربوط به توان مصرفی و تولیدی شین‌ها

شین‌ها	توان ظاهری تولیدی (با علامت مثبت) یا مصرفی (با علامت منفی) برحسب MVA
۱	10+j8
۲	-0.4-j0.3
۳	-0.5-j0.45
۴	-0.2-j0.15
۵	-0.6-j0.4
۶	-0.5-j0.4
۷	-0.4-j0.35
۸	-0.35-j0.3

ششمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

6th International Conference on the New Horizons in Electrical Engineering, Computer and Mechanical

www.mhconf.ir

مطابق جدول ۳ توان مصرفی شین‌های ۲ الی ۸ مربوط به فیدرهای شبکه پایین دست می‌باشند . توجه شود که ولتاژ اولیه همگی شین‌ها ۱ پریونیت در نظر گرفته می‌شود که پس از انجام محاسبات پخش بار مقادیر دقیق آن‌ها قابل محاسبه می‌باشد .

در شبیه‌سازی مدل مساله مورد نظر، برای برخی از شین‌ها قابلیت نصب منابع تولید پراکنده محلی در نظر گرفته شده است؛ به منظور ساده‌سازی محاسبات، منابع مورد نظر به دو صورت کلی توربین‌های بادی و سلول‌های خورشیدی مفروض می‌باشند که در ادامه مشخصه هر یک از آنها ارائه شده است.

قابلیت نصب منابع تولید پراکنده بر روی شین‌های شبکه:

در جدول ۴ قابلیت نصب منابع تولید پراکنده از نوع بادی و خورشیدی بر روی شین‌های مختلف ارائه شده است.

شماره شین	نوع DG قابل نصب	حداکثر توان قابل نصب بر حسب MVA	میزان ضریب توان	هزینه به ازای نصب هر MVA بر حسب \$100000
۱	---	---	---	---
۲	بادی	۴	۰,۸۵	۴
۳	بادی	۳	۰,۸	۴
۴	---	---	---	---
۵	خورشیدی	۵	۰,۹	۳
۶	خورشیدی	۲	۰,۹۵	۳
۷	بادی	۶	۰,۸	۴
۸	---	---	---	---

جدول ۴. اطلاعات مربوط به قابلیت نصب منابع تولید پراکنده در شین‌های مختلف شبکه

همانطوریکه در جدول ۴ مشاهده می‌گردد قابلیت نصب منابع تولید پراکنده در شین‌های مختلف و همچنین حداکثر ظرفیت نصب آن‌ها ارائه شده است. این اطلاعات در این مدل کاملاً فرضی می‌باشند و در عمل می‌توانند با توجه به ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی تعیین گردند.

همچنین لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به توپولوژی شبکه نیز به صورت ماتریسی متشکل از درایه‌های ۰، ۱ و -۱ به الگوریتم اعمال می‌گردد. توجه شود که خطوط Tie-Switch که امکان نصب برای آن‌ها در نظر گرفته شده است نیز در این ماتریس با عدد صفر جایگذاری شده‌اند.

$$NG = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	-1

۲,۳. مشخصات اجزای مختلف شبکه‌های مورد شبیه‌سازی

روند انجام شبیه‌سازی بدین صورت است که در ابتدا شبکه با مفروضات اولیه در نظر گرفته می‌شود و سپس به ترتیب در هر یک از خطوط خطا رخ می‌دهد که بدنبال آن کلیدهای قدرت خط مربوطه را از سایر قسمت‌های شبکه جداسازی می‌کنیم. پس از جداسازی خط متناظر با ناحیه رخداد خطا، محاسبات پخش بار برای شبکه انجام می‌گیرد. در این مقاله، از یک روش پخش بار مستقیم استفاده می‌شود. در این روش، از فرمول بندی زمان‌بر رفت و برگشتی ماتریس ژاکوبین یا ماتریس ادمیتانس که در روش‌های سنتی مورد نیاز بود، استفاده نمی‌شود؛ به جای آن از دو ماتریس (BIBC) و (BCBV) و یک ضرب ساده ماتریسی برای به دست آوردن جواب پخش بار استفاده می‌گردد.

۴. اهداف و قیود:

تابع هدف استفاده در این مقاله شامل هزینه بهره‌برداری و هزینه برنامه‌ریزی می‌باشد:

$$COST = w_1 C_{planning} + w_2 C_{operation} \quad (1)$$

هزینه برنامه‌ریزی شامل دو بخش هزینه نصب خطوط و هزینه نصب منابع تولید پراکنده می‌باشد که خود به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_{planning} = w_{p1} \frac{\text{cost of installed lines}}{\text{cost of all line's installation}} + w_{p2} \frac{\text{cost of installed DG}}{\text{cost of all DG installation}} \quad (2)$$

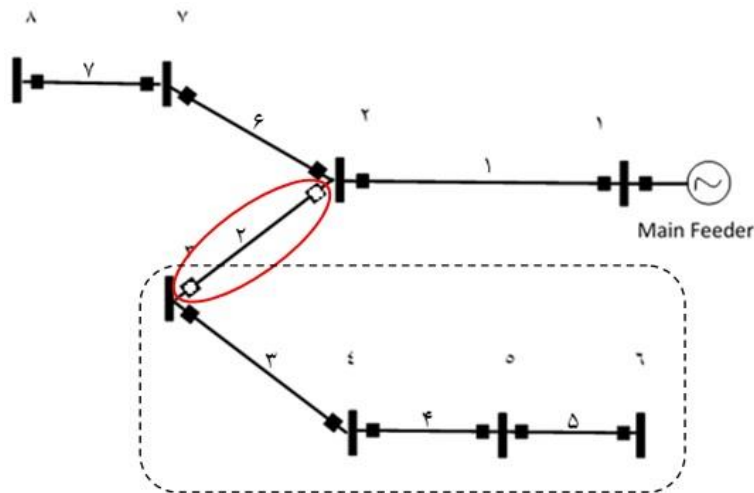
هزینه بهره‌برداری شامل هزینه تلفات هزینه بار، هزینه کلیدزنی، هزینه تلفات سیستم توزیع و هزینه دیسپاچینگ اقتصادی می‌باشد. قیود مساله نیز شامل موارد زیر می‌باشد:

مهمترین قید این پروژه عدم تجاوز تعداد کلیدهای نصب شده از مقداری مشخص می‌باشد. این قید به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{nbr} (1 - X_{S,i}) \leq N_{as} \quad (3)$$

در این رابطه، N_{as} تعداد کلیدهای موجود است.

$X_{S,i}$ متغیری است که در صورتی که کلید در شاخه i ام باشد مقدارش صفر در غیر این صورت مقدارش برابر با یک است. از جمله قیود دیگر حدود توان فیدرهای توزیع و توان منابع تولید پراکنده را می‌توان نام برد. پس از آنکه محاسبات پخش بار انجام و بخش دچار خاموشی شناسایی گردد، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به صورت تصادفی آرایشی جدید متشکل از منابع تولید پراکنده قابل نصب و خطوط Tie-Switch ممکن، را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای بررسی کاربردی بودن مدل پیشنهادی تابع هزینه و جریمه‌های متناظر با آن را محاسبه می‌کنیم؛ این کار برای آرایش‌های ممکن دیگر نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت بهینه‌ترین آرایش به ازای هر خطا پیشنهاد خواهد شد. به منظور درک بهتر روند محاسبه بهینه‌ترین آرایش توسط الگوریتم، در اینجا با ارائه یک مثال بحث را دنبال می‌کنیم. به طور مثال اگر فرض شود خطایی در خط ۲ مابین شین‌های ۲ و ۳ رخ می‌دهد و مطابق شکل ۲، خط متناظر با ناحیه رخداد خطا باز خواهد شد.

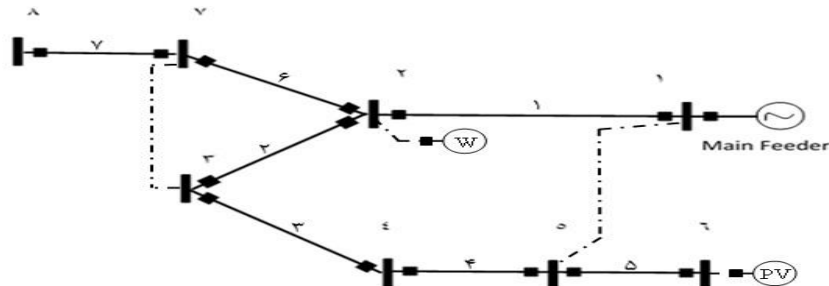


شکل ۲. شبکه مورد نظر در شرایط رخداد خطا در خط ۲

همانطوریکه در شکل ۲ مشاهده می‌گردد تمامی بارهای قرار گرفته در کادری که با خط ۲ چین مشخص شده‌اند، پس از شدن خط ۲ (مابین شین‌های ۲ و ۳) دچار خاموشی خواهند شد. در این لحظه برنامه خودترمیمی اتوماتیک اجرا می‌شود و بخش مشخص شده را به عنوان بخش دچار خاموشی تشخیص می‌دهد. حال جای آن است که الگوریتم مورد نظر با ایجاد بازآرایشی متشکل از منابع تولید پراکنده و خطوط Tie-Switch، بخش دچار خاموشی شده را به صورت بهینه برقرار نماید. در هر بار تعیین بازآرایشی از شبکه، برنامه خودترمیمی اتوماتیک محاسبات پخش بار را اجرا می‌کنیم و در صورت ارضا شدن تمامی قیود، نتیجه به صورت بسته شدن چند خط Tie-Switch، باز شدن چند خط در حالت عادی بسته (Normally Close) و در مدار قرارگیری تعدادی از منابع تولید پراکنده با ظرفیت مورد نیاز ارائه می‌گردد.

به منظور جستجوی بهینه‌ترین پاسخ، الگوریتم می‌تواند حالت‌های مختلفی را مورد بررسی قرار دهد؛ به طور مثال دسته‌ای از پاسخ‌ها می‌تواند به صورت احداث خطوط Tie-Switch از شین‌های خارج ناحیه جزیره شده به داخل آن و بهره‌برداری از آن‌ها باشد و دسته دیگر پاسخ‌ها می‌تواند به صورت نصب و بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده محلی در شین‌های ممکن باشد. همچنین ترکیب چند حالت مختلف با یکدیگر نیز می‌تواند پاسخ مطلوبی باشد؛ به طور مثال بهره‌برداری از Tie-Switch نصب شده مابین

شین‌های ۲ و ۵ و در مدار قرار دادن ۳۰٪ از حداکثر توان سلول خورشیدی نصب شده در شین ۶ ممکن است به عنوان یک راه حل بهینه پیشنهاد گردد. در واقع در این شبیه‌سازی برای تمامی خطاها، بهینه‌ترین پاسخ ارائه می‌گردد که این پاسخ‌ها ایده باز طراحی سیستم می‌باشند؛ پس از آنکه پاسخ بهینه برای همه خطاها توسط الگوریتم ارائه گردد، در نهایت طراح با توجه به درجه اهمیت بارهای مختلف و نیز امکان بازطراحی در نقاط مختلف شبکه، یک طراحی برای کلیه خطاها ارائه را انتخاب می‌کند. به عبارت دیگر برای هر یک از خطاهای ممکن در شبکه یک متد بهره‌برداري پیشنهاد می‌گردد که طراح به اقتضای شرایط شبکه، یک آرایش را برای بازطراحی سیستم انتخاب می‌نماید. به عنوان مثال در نهایت طراح تصمیم می‌گیرد که با احداث دو Tie-Switch مابین شین‌های ۱ به ۵ و ۷ به ۳ و نیز نصب یک توربین بادی در شین ۲ به ظرفیت S1 و یک سلول خورشیدی در شین ۶ با ظرفیت S2، شبکه را به یک شبکه خودترمیم در شرایط رخداد تمامی خطاها بازطراحی نماید. پس از آنکه بازطراحی برای سیستم مورد نظر صورت پذیرد، لازم است که به ازای تک تک خطاها شرایط بهره‌برداري ویژه‌ای با توجه به بازطراحی صورت گرفته، به بهره‌بردار ارائه گردد.



شکل ۳. شبکه ۸ شینه بازطراحی شده

به منظور محاسبه بهینه‌ترین پاسخ مساله برای هر یک از خطاها، در این شبیه‌سازی جمعیت ذرات ۵۰ و در ۱۰۰ تکرار استفاده شده است. اگرچه ممکن است افزایش تعداد ذرات و تکرارهای جستجو پاسخ مطلوبتری را ارائه دهد اما به سبب بزرگ بودن مساله و زیاد بودن تعداد متغیرها، زمان زیادی برای محاسبه پاسخ مورد نیاز خواهد بود که مطلوب این تحقیق نمی‌باشد. توجه شود که در این مقاله به منظور مدل نمودن رفتار تغییر پذیر منابع تولید پراکنده به صورت سه پریرود زمانی تصادفی در طول روز برای توان خروجی آن‌ها در نظر گرفته شده است.

۵. نتایج شبیه‌سازی

پس از انجام شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار MATLAB برای شبکه ۸ شینه شعاعی استاندارد IEEE نتایج به طراحی و بهره‌برداري به عنوان خروجی ارائه می‌گردد که در ادامه بدان پرداخته خواهد شد.

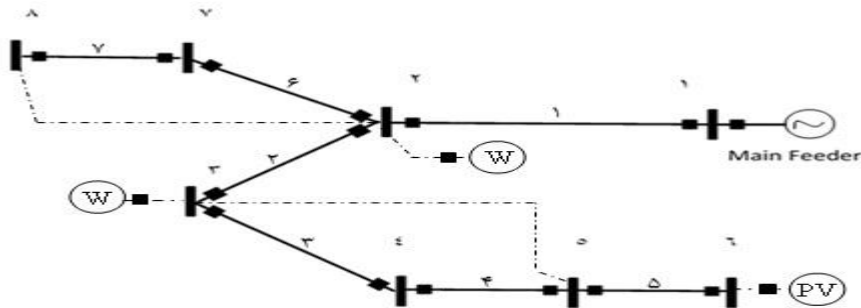
اقدامات بازطراحی شبکه ۸ شینه سنتی به شبکه خودترمیم:

پس از اجرای شبیه‌سازی برای شبکه مورد نظر و تحلیل نتایج برای تمامی خطاها بهینه‌ترین آرایش در ضمن پاسخگویی تمامی بارها و ارضای تمامی قیود از قرار زیر می‌باشد:

- نصب توربین بادی در شین‌های ۲ و ۳ به ترتیب با ظرفیت نامی ۲,۸ و ۳ مگاوات آمپر

- نصب سلول خورشیدی در شین ۶ با ظرفیت نامی ۳,۸ مگاوات آمپر

- احداث خطوط به طور معمول باز (Normally Open) بین شین‌های ۳ به ۵ و ۲ به ۸ به عنوان مدار جایگزین در شرایط خطا



شکل ۴. شبکه بازطراحی شده ۸ شینه خودترمیم

ادعا می‌شود که شبکه بازطراحی شده در شکل ۴ یکی از آرایش‌های بهینه برای تحقق مساله خودترمیمی می‌باشد که می‌تواند در شرایط رخداد خطا در نقاط مختلف شبکه، تعداد بیشینه‌ای از بارها را در حداقل زمان خاموشی برقرار نماید.

لازم است که توجه شود در این پژوهش تمایل به نصب منابع تولید پراکنده (DG) با وزن بیشتری نسبت به احداث خطوط Tie-Switch در نظر گرفته شده است؛ این امر در شرایط بهره‌برداری به صورت عکس مفروض است بدین معنا که در این فاز، بهره‌برداری از خطوط Tie-Switch موجود با وزن بیشتری نسبت به بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده مد نظر قرار گرفته است. دلیل این فرض آن است که در عمل نصب منابع تولید پراکنده محلی مقیاس کوچک غالباً با سهولت و هزینه کمتری نسبت به خطوط انتقال توان Tie-Switch همراه است و بالعکس در فاز بهره‌برداری هزینه بیشتری به منظور در مدار قرار دادن منابع تولید پراکنده به بهره‌بردار تحمیل خواهد شد. البته این امر می‌تواند بنا به نظر طراح در مدل‌های مختلفی از مساله با مفروضات دیگری نیز همراه باشد.

متدولوژی بهره‌برداری از شبکه ۸ شینه خودترمیم:

پس از بازطراحی شبکه مورد نظر در این مرحله لازم است که اقدامات مربوط به نحوه بهره‌برداری از سیستم در شرایط رخداد هر یک از خطاها، به بهره‌بردار شبکه فوق توزیع ابلاغ گردد. برای مساله مورد نظر متدولوژی بهره‌برداری به صورت زیر به تفکیک هر خطا، در جدول ۵ قابل ارائه می‌باشد:

جدول ۵. متدولوژی بهره‌برداری به ازای رخداد خطا در نقاط مختلف شبکه

محل خطا	خطوط Tie-Switch	منابع تولید پراکنده	هزینه نهایی
F1	2→5 3→4 3→5 3→6 4→5	0 W 0 0 0 0 W 0	3.3286
	7→8	0 1.9 0 0 0 0 1.1 0	
F2	1→2 1→5 1→6 2→6 2→7 3→4	0 W 0 0 PV PV W 0	3.8009
	4→5 5→6 5→7 5→8 6→8 7→8	0 1.9 0 0 4 4.8 2 0	
F3	1→2 1→7 1→8 2→4 2→5 2→6	0 0 0 0 0 0 0 0	4.1977
	2→7 3→8 4→5 4→6 5→6	0 0 0 0 0 0 0 0	
F4	1→2 2→3 2→8 3→4 5→6	0 W W 0 0 PV W 0	2.9284
	7→8	0 3.9 1.7 0 0 3.1 2.6 0	
F5	1→2 1→3 1→4 1→6 1→8	0 0 W 0 PV PV W 0	4.2495

	2→3 2→7 2→8 3→4 3→5 3→7 5→7 6→7 7→8	0 0 0.8 0 1 1.6 2.18 0	
F6	1→2 1→3 2→3 2→8 3→4 4→5 5→6 7→8	0 W 0 0 PV PV W 0 0 1.7 0 0 4.1 3.2 0.9 0	3.0127
	F7	1→2 1→5 1→7 2→3 2→7 3→4 3→5 4→5 5→6 5→8	

در این جدول منظور از F1 تا F7 خطا در خطوط ۱ الی ۷ می‌باشد.
خطاهای به صورت یگانه در نظر گرفته شده‌اند و در واقع شرایط رخداد دو خطای همزمان به دلیل احتمال بسیار پایین، صرف نظر شده است.

توجه شود که در جدول ۵ نتایج ارائه شده مربوط به شبکه اولیه می‌باشد و بازطراحی و متدولوژی بهره‌برداری از آن با توجه به این جدول در جدول ۶ ارائه می‌شود.

همانطوریکه در جدول ۵ مشاهده می‌گردد طراح می‌تواند با توجه به نتایج حاصله، تصمیمات بهینه‌ای را برای احداث خطوط Tie-Switch و یا نصب منابع تولید پراکنده با ظرفیت‌های مختلف در شین‌های مناسب اتخاذ نماید و شبکه را به صورت شکل ۴ بازطراحی کند و مطابق جدول ۶ در شرایط رخداد انواع خطاها از آن بهره‌برداری نماید.
در جدول ۶ نحوه بهره‌برداری از شبکه بازطراحی شده ارائه شده است.

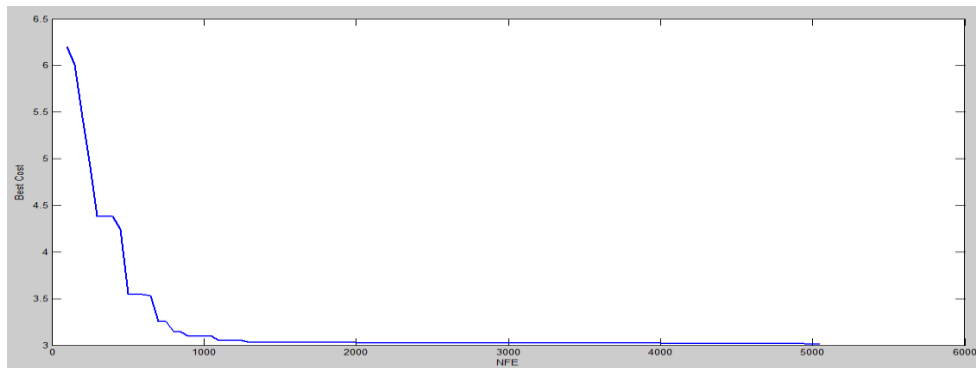
توجه شود که منظور از صفر برای منابع تولید پراکنده به معنای عدم لزوم بهره‌برداری از آن‌ها می‌باشد و مقادیر برحسب مگاوات آمپر می‌باشند. اگر در جدول ۵ توجه شود مشاهده می‌گردد که به ازای هر خطا، یک هزینه نهایی داده شده است؛ مدل شبیه‌سازی شده در این پژوهش برای هر یک از خطاها نمودار سرعت همگرایی به ازای تعداد تکرار را ارائه می‌دهد که نمودار متوسط این سرعت همگرایی در شکل ۵ آورده شده است.

جدول ۶. نحوه بهره‌برداری از شبکه بازطراحی شده

محل خطا	خطوط Tie-Switch	منابع تولید پراکنده
F1	2→7 3→4 3→5 5→6 4→5 7→8	0 W 0 0 0 0 0 0
		0 1.9 0 0 0 0 0 0
F2	1→2 2→7 3→4 4→5 5→6 6→8 7→8	0 W W 0 0 PV 0 0
		0 1.9 2 0 0 4.8 0 0
F3	1→2 2→3 2→7 3→5 4→5 5→6 7→8	0 0 0 0 0 PV 0 0
		0 0 0 0 0 1.6 0 0
F4	1→2 2→3 3→5 4→5 5→6 7→8	0 0 W 0 0 PV 0 0
		0 0 1.7 0 0 3.1 0 0

F5	1→2 2→3 2→7 2→8 3→4 4→5	0 0 0 0 0 PV 0 0
	7→8	0 0 0 0 0 1.6 0 0
F6	1→2 2→3 2→8 3→4 4→5 5→6	0 0 0 0 0 0 0 0
	7→8	0 0 0 0 0 0 0 0
F7	1→2 2→3 2→7 2→8 3→4 4→5	0 W 0 0 0 0 0 0
	5→6	0 0.9 0 0 0 0 0 0

باتوجه به نمودار شکل ۵ می‌توان استدلال نمود از آنجایی که پاسخ با سرعت مطلوبی به مقدار بهینه خود همگرا شده است، لذا بکارگیری از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات توانسته است قدرت خود را در حل مدل مساله به اثبات برساند.



شکل ۵. نمودار متوسط سرعت همگرایی به ازای تعداد تکرار تابع هدف

۵. نتیجه گیری

در این مقاله شبیه‌سازی مورد نظر بر روی شبکه ۸ شینه شعاعی استاندارد IEEE انجام شده است؛ شبیه‌سازی با هدف کمینه کردن تلفات، کمینه کردن هزینه نصب منابع تولید پراکنده، کمینه کردن هزینه احداث خطوط Tie-Switch و نیز کمینه کردن تعداد بارهای دچار خاموشی شده در شرایط رخداد خطا در شبکه فوق توزیع شعاعی صورت گرفته است. ابزار بهینه‌سازی که در این پروژه از پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌باشد و همانطوریکه مشاهده گردید این الگوریتم توانسته است پاسخ مناسبی برای مساله ارائه داده دهد به گونه‌ای که بهینه‌ترین آرایش برای مرحله طراحی و بهره‌برداری از شبکه فوق توزیع با ویژگی خودترمیمی را پیشنهاد می‌دهد. روشی که برای مدل‌سازی مساله مورد استفاده قرار گرفته است، کاملاً ابتکاری، خلاقانه و نوین می‌باشد که این امر نکته حائز اهمیت این پژوهش می‌باشد.

منابع

- [1] A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Rashidi-nejad, A reliability cost/worth approach to determine optimum switching placement in distribution systems, in: Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES, 2005, pp. 1–5.
- [2] R. Billinton, S. Jonnavithula, Optimal switching device placement in radial dis-tribution systems, IEEE Trans. Power Deliv. 11 (3) (1996) 1646–1651.

- [3] Y. Mao, K. Miu, Switch placement to improve system reliability for radial dis-tribution systems with distributed generation, *IEEE Trans. Power Syst.* 18 (4)(2003) 1346–1352.
- [4] C. Lin, C. Chen, H. Chuang, C. Li, M. Huang, C. Huang, Optimal switching place-ment for customer interruption cost minimization, in: *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2006, pp. 1–6.
- [5] A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, Optimal switch placement in distribution sys-tems using trinary particle swarm optimization algorithm, *IEEE Trans. PowerDeliv.* 23 (1) (2008) 271–279.
- [6] H. Falaghi, M. Haghifam, C. Singh, Ant colony optimization-based method forplacement of sectionalizing switches in distribution networks using a fuzzymultiobjective approach, *IEEE Trans. Power Deliv.* 24 (1) (2009) 268–276.
- [7] W. Tippachon, D. Rerkpreedapong, Multiobjective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony optimization, *Electr. Power Syst. Res.* 79 (7) (2009) 1171–1178.
- [8] A.V. Pombo, J. Murta-Pina, V.F. Pires, A multiobjective placement of switching devices in distribution networks incorporating distributed energy resources, *Electr. Power Syst. Res.* 130 (2016) 34–45.
- [9] A. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Parvania, M. Mosleh, Optimized sectionalizing switch placement strategy in distribution systems, *IEEE Trans. Power Deliv.* 27 (1) (2012) 362–370.
- [10] A. Heidari, V. Agelidis, M. Kia, Considerations of sectionalizing switches in dis-tribution networks with distributed generation, *IEEE Trans. Power Deliv.* 30 (3)(2015) 1401–1409.
- [11] J. Bezerra, G. Cordeiro Barroso, R. Saraiva Leao, R. Furtado Sampaio, Multiobjec-tive optimization algorithm for switch placement in radial power distribution networks, *IEEE Trans. Power Deliv.* 30 (2) (2015) 545–552.
- [12] Y. Xu, C.-C. Liu, K. P. Schneider and D. T. Ton, "Placement of remote-controlled switches to enhance distribution system restoration capability", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, pp. 1139-1150, 2016.
- [13] S. Ray, A. Bhattacharya and S. Bhattacharjee, "Optimal placement of switches in a radial distribution network for reliability improvement", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 76, pp. 53-68, 2016..
- [14] Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah, Wildan Alfi Syahri, Hazlie Mokhlis, Mir Toufikur Rahman, Rosli Omar, "Power System Distribution Reliability Enhancement of Pujon Feeder Malang-Indonesia Case Study using Bat and Cuckoo Search Algorithms", *Electrical Power Electronics Communications Controls and Informatics Seminar (EECCIS) 2020* 10th, pp. 87-92, 2020.
- [15] Arash Zeinalzadeh; Abouzar Estebsari; Alireza Bahmanyar , "Multi-Objective Optimal Placement of Recloser and Sectionalizer in Electricity Distribution Feeders", *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering* ,2019 and *IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)* , 2019, DOI: 10.1109/EEEIC.2019.8783430.