چهاردهمین کنفرانس حفاظت و اتوماسیون در سیستم‌های قدرت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
۱۰ و ۱۱ دی ماه ۱۳۹۸

تعیین زمان مناسب انجام تعمیر و نگهداری انواع مختلف رله‌های استاتیک و دیجیتال موجود در شبکه

رضا اسلامی[۱*]، سید امیر حسینی[۲]

[۱] استادیار، گروه قدرت دانشکده برق، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز
eslami@sut.ac.ir

[۲] استادیار، دانشکده برق، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان، گلپایگان
hosseini.amir@gut.ac.ir

چکیده

امروزه در صنعت برق از تجهیزات متعددی استفاده می‌شود که هر کدام از این تجهیزات نیازمند برنامه‌ریزی زمانی مناسبی برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری هستند تا ضمن کاهش حداکثری خاموشی‌ها، هزینه‌های مربوطه نیز تا حد امکان کاهش یابد. بر اساس تجربه و تحلیل حوادث به وجود آمده در یک بازه زمانی چند ساله و بررسی حوادثی که در زمینه حفاظت پست های فوق توزیع اتفاق افتاده است، می توان نحوه برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری را تغییر داد تا ضمن کاهش حوادث، شبکه پایدارتری داشت. بنابراین باید راهکاری جهت بهبود برنامه‌ریزی و انجام عملیات تعمیر و نگهداری اندیشید. هدف این مقاله بهینه کردن هزینه نگهداری پیشگیرانه با توجه به هزینه-هایی که در سال های اخیر به وقوع پیوسته، می‌باشد. در این مقاله بر اساس بررسی هزینه انرژی تامین نشده، خاموشی‌هایی که در خصوص انجام برنامه‌های نگهداری و همچنین خاموشی‌هایی که بر اثر وقوع حوادث و یا نواقص اتفاق می‌افتد و همچنین بر اساس هزینه انجام کار گروه‌های نگهداری در پست‌های برق، برنامه‌ریزی نگهداری بهینه شده و مطابق با نوع و سیستم رله‌های حفاظتی بهترین بازه زمانی جهت انجام یک تعمیر و نگهداری موفق و با قابلیت اطمینان بالا محاسبه می‌شود.

کلمات کلیدی

افزایش قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری، بهینه سازی، کاهش هزینه

۱- مقدمه

برنامه ریزی صحیح و مناسب برای تعمیر و نگهداری اجزا مختلف شبکه، تاثیر بسیار زیادی بر روی کاهش احتمال خرابی‌ها و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان سیستم خواهد داشت [۱]. تعمیرات در حالت کلی به دو دسته عمده تعمیرات اصلاحی و تعمیرات پیشگیرانه تقسیم بندی می‌شوند. تعمیر و نگهداری را به عنوان یک دسته از فعالیت و رویه های طراحی شده برای نگه داشتن وضعیت و مشخصات اجزا شبکه در محدوده از پیش تعیین شده توصیف می کنند که هدف آن پیشگیری و رفع به موقع خرابی هاست [۲]. در [۳] الگوریتم جدیدی را برای نگهداری هماهنگ سیستماتیک اجزای یک بی انتقال معرفی می‌کند و روش معرفی شده سعی می‌کند برنامه بهینه نگهداری را برای تمام عناصر یک بی انتقال با هم و با هماهنگ‌سازی برنامه نگهداری هر جزء ارزیابی کند. همچنین دو دیدگاه برای مسئله زمان بندی نگهداری وجود دارد. اولین دیدگاه, دیدگاه سیستماتیک است که در این دیدگاه زمان‌های قطع با در نظرگرفتن امنیت شبکه، برنامه‌ریزی می‌شوند. در دسته دوم, مسئله زمان-بندی نگهداری با دیدگاه اعتبار عناصر حل می‌شود و از مفهوم حالت فرعی برای فراهم نمودن مدل برنامه‌های مختلف CBM استفاده شده است. شرکت‌های برق از یک طرف برای سود بیشتر و حفظ قدرت رقابت-

پذیری به سمت کاهش هزینه‌های جاری خود حرکت می‌کنند که در این راستا کاهش هزینه‌های تعمیرات که قسمت بزرگی از هزینه‌های بهره-برداری شبکه انتقال را تشکیل می‌دهد، اهمیت مضاعفی دارد. از طرف دیگر تجهیزات شبکه برق مانند ترانسفورماتور، خطوط انتقال، تجهیزات حفاظتی و کلیدهای قدرت که در طول چند دهه گذشته مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند به طور طبیعی با افزایش طول عمر دچار فرسودگی شده اند [۴-۵]. در [۶] دقت مدل‌های غیردوره‌ای با شبیه‌سازی مونت‌کارلو آزمایش شده و نشان داده شده است که دقت مدل مارکوف برای مدل‌های غیردوره ای کافی نمی‌باشد که این مسئله با معرفی مدل نمودار حالت بر مبنای حالت‌های نیمه خرابی حل شده است. در [۳] و [۷] شرکت‌های برق با چالش‌های زیادی از قبیل افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، افزایش تقاضا، فرسودگی تجهیزات، حفظ و افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت توان مواجه هستند، پس باید یک روش مؤثر برای تعمیر و نگهداری را انتخاب کرد تا برق با کیفیت و قابلیت اطمینان بالا به مشتریان تحویل گردد. از آنجا که در بسیاری از موارد هزینه ساخت و خرید تجهیزات ثابت است، کیفیت عملیات و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری گزینه اصلی افزایش پایایی شبکه و کاهش هزینه‌های کلی، صرفه‌جویی و سوددهی است. همچنین در [۳] دو شاخص اساسی در مطالعات تعمیر و نگهداری قابلیت اطمینان محور (MTTR , MTTF) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به روند جهانی اقبال به سمت تغییر استراتژی نگهداری و تعمیرات از زمان محور به قابلیت اطمینان محور می‌باشد.

برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری تجهیزات حفاظتی را بر اساس شرایط می‌توان تغییر داد، همچنین می‌توان در برنامه‌ریزی نهایی با کمترین تغییر نسبت به حالت ممکن پیش رفت، به این مفهوم که با توجه به تست‌های سالیانه فعلی که گروه رلیاژ و تجهیزات با هم کار می‌کنند، می‌توان طرح نهائی را بر اساس توضیحات زیر برنامه‌ریزی کرد:

- نیازی به تغییر در برنامه تعمیر و نگهداری گروه تجهیزات نمی‌باشد و سالی یکبار انجام شود.
- تست‌هایی از رلیاژ را که نیاز به خاموشی و همراهی با گروه تجهیزات ندارد، در دوره‌های شش ماهه و یا سه ماهه انجام شود.
- تست هایی از رلیاژ را که نیاز به خاموشی یا همراهی با گروه تعمیرات دارند، با توجه به دستورالعمل در زمان‌های سالیانه، دوسالانه و ... قرار داد.

به این ترتیب گروه‌های رلیاژ هر شش ماه یکبار به پست سر می‌زنند و در اولین و سومین و ... دفعات (زمان‌هایی که بدون حضور گروه تجهیزات هستند) برخی تست‌ها را انجام می‌دهند. در مراجعات دوم، چهارم و ... (که مصادف با حضور گروه تجهیزات و مجوزهای خاموشی است) تست‌های باقیمانده و متناسب با زمان انجام می‌شود.

با توجه به اینکه تست‌های مکرر بر روی تجهیزات حفاظتی انجام می شده است و با توجه به بررسی سوابق حوادث سال‌های گذشته شرکت برق منطقه آذربایجان مشخص گردید که تست‌های روتینی که به وسیله دستگاه‌های تست با تزریق جریان و ولتاژ به تجهیزات حفاظتی انجام می-شد و هر ساله به صورت ثابت این کار بر اساس زمان‌بندی منظم انجام می‌شد، باعث کاهش حوادث و اعمال خاموشی‌های ناخواسته نشده است و لذا باعث عملکرد کاذب رله‌های حفاظتی در برخی موارد نیز شده است. بنابراین هدف این مقاله ارائه روش جدیدتر و کارامدتر در خصوص تست-های مذکور می‌باشد.

۲- مدل مورد مطالعه

در این مقاله از حوادث اتفاق افتاده در شبکه فوق توزیع ۶۳ کیلوولت که عملکرد سیستم حفاظتی به دلایل مختلف اشتباه بوده، استفاده می-شود و هزینه‌ای که وقوع این حوادث باعث بوجود آمدن مقداری انرژی تأمین نشده می‌شود، محاسبه می‌گردد و هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه-ای که برای آن تجهیز مورد حادثه و همچنین میزان هزینه‌ی خاموشی اعمال شده محاسبه گردیده و کارآمد بودن برنامه تعمیر و نگهداری در بازه زمانی مشخص و همچنین نحوه کارآیی گروه‌های تعمیر و نگهداری مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر این اساس برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری تغییر می‌کند تا هزینه آن کاهش پیدا کرده و همچنین از این طریق حوادث و نواقص نیز کاهش پیدا کند و به طور کلی هزینه‌های (PM) کاهش پیدا کند.

۲-۱- روش انجام روش پیشنهادی

یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری تجهیزات پست و خطوط انتقال، بررسی میزان تاثیر خرابی تجهیزات روی قابلیت اطمینان شبکه قدرت می‌باشد. با این وجود یکی از مشکلات همیشگی تحلیل قابلیت اطمینان شبکه قدرت و تخمین عمر باقیمانده تجهیزات شبکه، عدم دسترسی به داده‌های قابل اعتماد در زمینه حوادث و رفع نقص‌های انجام شده در رابطه با تجهیزات است. بنابراین برای انجام تحلیل‌های دقیق‌تر در این مقاله، داده‌های مربوط به اطلاعات فنی و آماری حوادث و رفع نقص‌های انجام شده در ترانسفورماتورهای قدرت، کلیدهای فشار قوی، تجهیزات حفاظتی و خطوط انتقال مورد نیاز است. اطلاعات فنی تجهیزات عبارتند از: سازنده تجهیز، سال و تکنولوژی ساخت تجهیز. همچنین اطلاعات آماری حوادث شامل علت حادثه، زمان وقوع حادثه،

مدت زمان مورد نیاز برای رفع عیب و انجام تعمیرات اصلاحی و میزان انرژی تامین نشده در اثر وقوع حادثه است. اطلاعات مرتبط با رفع نقص‌های انجام شده در شبکه شامل رفع نقص انجام شده بر روی ترانسفورماتورهای قدرت، تپ چنجر، کلیدهای فشار قوی، رله‌های حفاظتی و .... می‌باشد. علاوه بر موارد بالا، تجربیات افرادی که با بحث تعمیرات و نگهداری دوره‌ای در شبکه قدرت در ارتباط هستند، می‌تواند برای انجام مناسب‌تر تحلیل‌ها مؤثر باشد. باتوجه به توضیحات فوق در این مقاله به بحث‌های زیر پرداخته شده است:

- طراحی بانک داده برای جمع آوری اطلاعات فنی و آماری حوادث تجهیزات پست‌ها و خطوط انتقال
- طراحی بانک داده برای جمع آوری اطلاعات مرتبط با رفع نقص‌های انجام شده بر روی تجهیزات پست‌ها و خطوط انتقال

هدف از انجام این مرحله، جمع‌آوری اطلاعات فنی و حوادث مربوط به تجهیزات شبکه با توجه به توضیحات در رابطه با تعیین وضعیت فیزیکی تجهیزات شبکه و بررسی پیامدهای ناشی از خرابی تجهیزات مختلف در شبکه برای انجام تحلیل‌های لازم در مرحله بعدی می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق یک بانک داده شامل اطلاعات ذکر شده تهیه می‌گردد که مشخصات بخش حفاظت در شبکه فوق توزیع (پست‌های ۶۳ کیلوولت) را در آن جای می‌دهیم و تمام تجهیزات حفاظتی را در این بخش مورد بررسی قرار داده و از طریق حوادثی که در این بخش اتفاق افتاده به تحلیل برنامه تعمیر و نگهداری می‌پردازیم.

۲-۲- تجهیزات حفاظتی در بانک داده

بانک داده تجهیزات حفاظتی شامل پنج زیر بخش می‌باشد که عبارتند از:

- حفاظت دیستانس (Distance Relay)
- حفاظت دیفرانسیل (Differential Relay)
- حفاظت اضافه جریان (Over Current Relay)
- حفاظت خطای زمین (Earth Fault Relay)
- حفاظت خطای زمین محدود شده (Restricted Earth Fault Relay)

با استفاده از علائم اختصاری استفاده شده در بانک داده رله‌های حفاظتی نوع حادثه بوقوع پیوسته مشخص می‌شود. با توجه به نوع رله حفاظتی (استاتیکی، الکترومکانیکی و دیجیتالی) از علائم اختصاری در بانک داده استفاده شده است.

محل نصب رله‌های حفاظتی با استفاده از کدهای مشخص تعیین می‌شود و در ادامه شرکت سازنده رله‌های حفاظتی را نیز درج می‌شود.

در خصوص انجام مطالعه مورد نظر این مقاله، باید کلیه اطلاعات سیستم‌های حفاظتی بخش مورد مطالعه جمع‌آوری گردد تا مشخص شود رله‌های مورد استفاده در این بخش از شبکه از چه نوع می‌باشند تا نسبت به پیشنهاد سازنده و نوع رله تغییراتی را در برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری اعمال کنیم [۸]. لذا در خصوص ادامه راه و به نتیجه رسیدن این مطالعه، نیاز است تا کلیه حوادث اتفاق افتاده در بخش مورد مطالعه در بازه زمانی مورد نظر جمع‌آوری گردد که این امر مستلزم مطالعات گسترده‌ای می‌باشد و از تأثیر حوادثی که در خطوط بوجود آمده و عملکرد سیستم حفاظتی صحیح بوده صرفنظر گردد و حوادثی را که عملکرد سیستم حفاظتی در هر بخش به علل گوناگون دارای خطا بوده، دسته‌بندی کرد و از اطلاعات آنها در زمینه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری گام برداشت.

برای مینیمم کردن هزینه‌ها باید از طریق توابع زیر اقدام شود:

$$\min_{R_1^i, R_2^i} \begin{cases} Main^i + Fail^i \\ IntFail_{C1}^i + IntMain_{C1}^i \end{cases} \quad (۱)$$

با توجه به تابع بالا تک تک جزئیات آن را از طریق توابع زیر بدست می‌آوریم:

$$Fail^i = P_F^i \mu_F^i Cost_F^i \quad (۲)$$

$$Main^i = R_1^i Cost_{Mi}^i + R_2^i Cost_{Mj}^i \quad (۳)$$

$$IntFail_{C1}^i = P_F^i \mu_F^i L_{C1} IntCost_{F,C1}^i \quad (۴)$$

$$IntMain_{C1}^i = R_1^i L_{C1} IntCost_{Mi}^i + R_2^i L_{C1} Int\ cost_{Mj,C1}^i \quad (۵)$$

که در آن:

$Fail^i$: هزینه خطاهای سالانه در حالت i

$Main^i$: هزینه تعمیر و نگهداری سالانه ای در حالت i

$IntFail_{C1}^i$: هزینه قطع برق مشترکان به صورت سالانه مرحله اولیه قطع برق که خطاها سبب بوجود آمدن آن در حالت i شده‌اند.

$IntMain_{C1}^i$: هزینه قطع برق مشترکان به صورت سالانه مرحله اولیه قطع برق که تعمیرات سبب بوجود آمدن آن در حالت i شده‌اند.

P_F^i: احتمال خطا (میانگین خرابی رله تقسیم بر تعداد رله نصب شده در پستها) در حالت i

μ_F^i: نرخ تعمیر در حالت خرابی رله که بر حسب تجربه برای تمام حالت های i یکسان در نظر گرفته می‌شود

$Cost^i$: هزینه نگهداری Mi ، Mj و F در حالت i

R_1^i: نرخ بازرسی و تعمیر و نگهداری در حالت i در حالت سلامتی (بر اساس Manual شرکت سازنده)

R_2^i: نرخ بازرسی و نگهداری در حالت i در حالت جزئی

$IntCost_{,C1}^i$: هزینه قطع بارهای متعلق به اولین درخواست قطع Mi ، Mj و F در حالت i

L_{C1}: مقدار انرژی تأمین نشده

i: اندیس خرابی بر اساس فانکشن رله و مدل

j: اندیس المان های موجود در دومین درخواست قطع تنظیم شده یک بی

Ω: تنظیم ساخت المان های دومین درخواست قطع بی

F: شاخصی که عملیات نقاط خطا را نشان می‌دهد.

Mi: شاخص تعمیر و نگهداری جزئی

Mj: شاخص تعمیر و نگهداری عمده

به طور کلی بر اساس اطلاعات جدول (۱) که در محلی که تعمیر و نگهداری انجام شده در بازه‌های زمانی مختلف از زمان انجام برنامه‌های تعمیر و نگهداری تا زمان وقوع نقصی در آن محل، ۲۴ مورد نقص بوجود آمده که با تقسیم بندی زیر به وقوع پیوسته است:

جدول (۱): مدت زمان انجام PM تا زمان بوجود آمدن نقص

ردیف	مدت زمانیکه از تعمیر تجهیز گذشته است (ماه)	تعداد نواقص به وقوع پیوسته
۱	۱	۸
۲	۲	۳
۳	۳	۳
۴	۴	۱
۵	۵	۲
۶	۶	۲
۷	۷	۲
۸	۸	۲
۹	۱۱	۱

با توجه به بانک داده تشکیل شده و اطلاعات جمع آوری شده در بخش مورد مطالعه به تکمیل اطلاعات بانک داده روی می‌آوریم و مقادیر R_1^i و R_2^i را مینیمم می‌کنیم تا بهترین و مناسب‌ترین زمان جهت انجام تعمیر و نگهداری رله‌های حفاظتی بدست آید بر اساس جدول (۱) مقدار R_2^i را بر حسب R_1^i محاسبه می‌کنیم و برای رله تیپ استاتیک پارامتر R_{1S}^i و برای رله‌های تیپ دیجیتال پارامتر R_{1D}^i را در نظر می‌گیریم. بر طبق اطلاعات جمع آوری شده رله‌های استفاده شده دارای ۹ نوع می‌باشند که بر اساس نوع ساختمان رله، به دو دسته دیجیتال و استاتیک تقسیم می‌شود. ۱۶ نوع رله باید مورد بررسی قرار گیرند، لذا در این خصوص نرخ خرابی رله‌ها در طول بازه زمانی مورد مطالعه یعنی از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۸۱ جمع‌آوری شده و در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): فراوانی i بر حسب نوع رله

ردیف	i	نوع رله	تیپ رله	نرخ خرابی	میانگین انرژی تأمین نشده به دلیل انجام تعمیر و نگهداری	میانگین انرژی تأمین نشده به دلیل خطای رله
۱	۱	DIS	D	۵	LINE:۳۵MW	LINE:۳۰MW
۲	۲	DIS	S	۴		
۳	۳	DEF	D	۲		
۴	۴	DEF	S	۴		
۵	۵	DOC	D	۲		
۶	۶	DOC	S	۴		
۷	۷	DIFF	D	۳	TRANS:۱۳MW	TRANS:۱۰MW
۸	۸	DIFF	S	۲		
۹	۹	EF	D	۴		
۱۰	۱۰	EF	S	۵		
۱۱	۱۱	OC	D	۵		
۱۲	۱۲	OC	S	۳		
۱۳	۱۳	REF	D	۲		
۱۴	۱۴	REF	S	۲		
۱۵	۱۵	SP	D	۰		
۱۶	۱۶	SP	S	۱		

لذا بر اساس تجربه و همچنین اطلاعات بدست آمده و تحقیقات در این زمینه، میزان انرژی تأمین نشده در زمان انجام برنامه‌های تعمیر و نگهداری کلیه رله‌های بخش خطوط یک مقدار ثابت است زیرا تعمیر و نگهداری در این بخش شامل خاموشی کل خط شده و کلیه رله‌های این بخش از مدار خارج می‌شوند و همچنین این مسئله در مورد ترانس نیز صادق است. در ستون بعد اطلاعات انرژی تأمین نشده به دلیل وجود اشکال در رله‌های مورد استفاده مورد بررسی قرار گرفته است و به طور

میانگین برای رله‌های بخش خط یک مقدار و برای رله‌های بخش ترانس یک مقدار در نظر گرفته شده است.

۲-۳- آنالیز شبکه مورد نظر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

هدف از این قسمت به دست آوردن بهترین نقطه و بهینه ترین نقطه جهت انجام تعمیر و نگهداری است لذا یک مقدار مینیمم برای پارامتر R_{1D}^{i} یعنی بهترین زمان جهت تعمیر و نگهداری در بازه زمانی بین ۱ تا ۴ سال برای رله‌های دیجیتال به پیشنهاد سازنده در نظر گرفته می‌شود. همچنین یک نقطه مینیمم نیز بر همین اساس برای پارامتر R_{1S}^{i} یعنی زمان تعمیر و نگهداری رله‌های استاتیک در نظر گرفته می‌شود که بین بازه ۱ و ۲ تعریف می‌شود. برای حل مساله بهینه‌سازی، در این مقاله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که دارای دامنه کاربرد وسیع‌تری می‌باشد و همچنین پاسخ بهتری را نسبت به الگوریتم‌های دیگر به ارمغان می‌آورد.

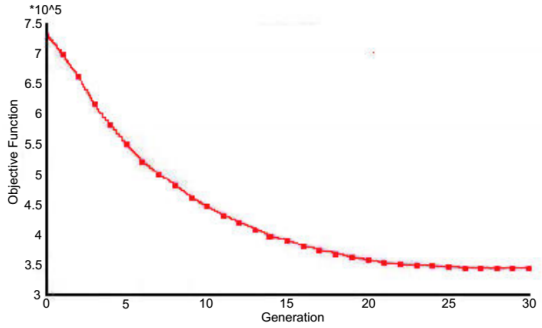
۳- نتایج شبیه‌سازی

در مساله بهینه سازی حاضر، دو گروه 16 تایی R_{1D}^{i} و R_{1S}^{i} باید طوری به دست آیند تا تابع هدف تشکیل شده کمینه گردد.با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با تبیین پارامترهای داخلی آن به صورت جدول (۳)، عمل بهینه‌سازی اعمال شده است.

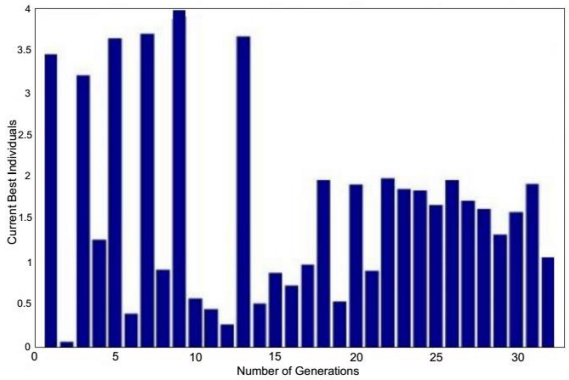
جدول(۳): مقدار پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامتر الگوریتم ژنتیک	مقدار
نرخ وراثت	۰/۸
جمعیت اولیه	۱۰۰
تعداد نسل‌های مورد ارزیابی	۳۰

محدوده انتخابی ۳۲ پارامتر به این صورت مقید شده‌اند که ۱۶ پارامتر اول که از دسته R_{1D}^{i} می‌باشند در بازه عددی ۰ تا ۴ و پارامترهایی که از دسته R_{1S}^{i} می‌باشند در بازه ۰ تا ۲ مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. پس از گذشت ۳۰ تکرار و صرف زمان ۱/۶۶ ثانیه طی همگرایی تابع هدف، نتایج زیر حاصل شده‌اند. شکل‌های (۱) تا (۳)، نرخ همگرایی تابع هدف را در طی ۳۰ نسل نشان می‌دهد. مقدار عدد به دست آمده تابع هدف برابر با ۳/۴۱۷e۵ گزارش شده است.

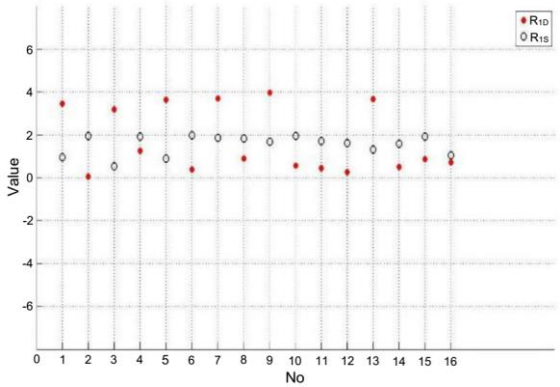


شکل(۱): میزان همگرایی تابع هدف در ۳۰ نسل با استفاده از الگوریتم ژنتیک



شکل (۲): پارامترهای بهینه شده بدست آمده در لحظه همگرایی (دو گروه ۱۶تایی)

شکل (۳) مقدار عددی دو پارامتر مورد بحث را که به صورت دو گروه ۱۶تایی در این مساله مورد توجه قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است قیود حدی برای هر کدام از پارامترها مشخص شده‌اند به طوری که کاملا واضح است پارامترهای به دست آمده برای گروه دوم هیچ یک طبق محدود مقید شده بالاتر از ۲ نیستند.



شکل (۳): نمودار پارامترهای بهینه شده بدست آمده در لحظه همگرایی (دو گروه ۱۶تایی)

جدول (۴): مقدار پارامترهای بهینه شده بدست آمده در لحظه همگرایی (دو گروه ۱۶تایی)

NO	R_{1S}	R_{1D}
نقطه مینیمم در تکرار سی‌ام	۱/۷۳۰۶	۱/۵۵۷۸

بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها می‌توان بـه ایـن نتیجـه رسید که انجام برنامه‌های تعمیر و نگهداری به صـورت سـالی یکبـار و بـه طور منظم به صرفه نیست و از طرفی نیز سبب کاهش حوادث و همچنین خطاهای بوجود آمده در بخش حفاظتی پست‌ها نمی‌شود پس باید برنامـه تعمیر و نگهداری را تغییر دهیم تا بهترین و به صرفه‌ترین هزینه را داشـته باشیم و از طرفی کمترین هزینه را متحمل شویم. واضـح اسـت کـه نحـوه انجام تعمیر و نگهداری به صورت معمول باعث بـه خطـر افتـادن قابلیـت اطمینان شبکه خواهد شد و در این مقاله با بهینه کردن برنامه های تعمیر و نگهداری، قابلیت اطمینان شبکه ارتقا پیدا کـرد، بـه ایـن ترتیـب کـه از طریق شبیه سازی که توسط الگوریتم ژنتیک انجام شـد، بـه ایـن نتیجـه رسیدیم که بهترین زمان ممکن جهت انجام تعمیـر و نگهـداری رلـه‌هـای دیجیتال در بهترین حالت ممکن هر ۱/۹۳ سال یا به طـور تقریبـی هـر ۲ سال یکبار می‌باشد و این بازه جهت رله‌های استاتیک هر ۱/۴۴ سال یا بـه طور تقریبی ۱/۵ سال مناسب است که این نتایج از میانگین اجرای برنامـه پس از ۳۰ بار و محاسبه میانگین کلی آن بدست آمده اسـت و بـر اسـاس شبیه‌سازی این نقاط مینیمم‌ترین نقاط می‌باشند؛ زیرا چنانچه از این بازه، زمان بیشتری بگذرد خرابی رله‌ها بیشـتر شـده و بـه طبـع آن حـوادث و خاموشی‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند و همچنین هزینه‌هـای انـرژی تـأمین نشده افزایش پیدا خواهد کرد و لذا در خصوص کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری هیچ قدمی برداشته نخواهد شد، تنهـا باعـث افـزایش هزینـه‌هـا شده‌ایم. به همین ترتیب اگر بازه زمانی از این مقدار کمتر شود هزینه‌های تعمیر و نگهداری در جهت عدم بهبـود شـرایط و بـه صـورت کـاملاً غیـر ضروری افزایش پیدا می‌کند زیرا تجهیـزات حفـاظتی بـر اسـاس شـرایط موجود نیازمند بازدید و تعمیر و نگهداری در این بازه مـی‌باشـند و انجـام PM در بازه‌ای زودتر نیاز نمی‌باشد و باعث افزایش هزینه‌ها خواهد شد.

مراجع

[1] S. Laohanan and D. Banjerdpongchai, "*Dynamic Programming Approach to Optimal Maintenance Scheduling of Substation Equipment Considering Life Cycle Cost and Reliability*", 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTICON), pp. 388-391, 2018.

[2] M.Mesil, "*Change in Tranmission Switchyard Maintrance*", VIII Hero Cigre Conference , Cavtat, Croatia, Nov 2007.

[3] N. Moslemi, M. Kazemi, M. Abedi, H. Khatibzadeh, and M. Jafarian, "*Maintenance Scheduling of Transmission Systems Considering Coordinated Outages*", IEEE Systems Journal, 2017.

[4] E. L. Kokorin and S. A. Dmitriev, "*Maintenance of protective relays*", 58th International IEEE Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), pp. 1-5, 2017.

[5] E. A. Voloshin, A. A. Voloshin, S. S. Usachev, A. R. Ententeev, B. T. Maksudov, and S. A. Livshits, "*Increase of Efficiency of Relay Protection Reliability in Modes with Deep Saturation of Current Transformers Using The Methodology Based on The Application of Artificial Neural Networks*", International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation (RPA), pp. 1-14, 2018.

[6] N. Moslemi, M. Kazemi, S. M. Abedi, H. Khatibzadeh-Azada, and M. Jafarian, *"Mode-based reliability centered maintenance in transmission system"*, Int. Trans. Elect. Energy Syst, to be published, 2016.

[7] Zeng Ming, Huang Linxin, "*The Risk-based Optimal Maintenance Scheduling for Transmission System in Smart Grid*", International Conference on Electrical and Control Engineering, CECE, 2010.

[8] G. Goldfarb, "*Hard to find maintenance tips for electromechanical relays*", 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), pp. 1-6, 2017.