

طراحی بهینه ترانسفورماتورهای خشک با استفاده از الگوریتم ژنتیک

داود عزیزیان^۱

ابولفضل ناطقی^۱

وحید رشتچی^۳

d.azizian@iran-transfo.com

abolfazl_nategi@yahoo.com

rashtchi@mail.znu.ac.ir

۱- واحد تحقیق و توسعه شرکت ایران ترانسفو- ۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر- ۳- دانشگاه زنجان

چکیده - ترانسفورماتورهای یکی از ادوات بسیار مهم و گرانبه‌تر در شبکه‌های برق می‌باشند. ترانسفورماتورهای خشک و بطور خاص انواع رزینی آن، در سال‌های اخیر به طور قابل ملاحظه‌ای در صنعت برق و بخصوص در محدوده توزیع نیروی برق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. خواصی مانند عدم اشتعال پذیری و عدم جذب آلاینده‌ها توسط ترانسفورماتورهای خشک رزینی سبب گردیده است تا اینگونه از ترانسفورماتورها به جایگزین بسیار مناسبی برای ترانسفورماتورهای روغنی در مناطق مسکونی، بیمارستان‌ها، کشتی‌ها و... تبدیل شوند. با توجه به اهمیت ابعاد و هزینه ترانسفورماتورهای خشک هم برای مصرف کننده و هم برای تولید کنندگان، طراحی بهینه اینگونه از ترانسفورماتورها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله ضمن بررسی ساختار ترانسفورماتورهای خشک رزینی، یک روش جدید مبتنی بر الگوریتم ژنتیک جهت طراحی بهینه این گونه از ترانسفورماتورها ارائه گردیده است. در ادامه، کارایی نرم‌افزار نوشته شده، از طریق مقایسه نتیجه حاصل از این نرم‌افزار با یک نمونه طراحی موجود مورد تایید قرار گرفته است.

کلید واژه- الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، ترانسفورماتور خشک رزینی.

۱- مقدمه

عموماً در نقطه اپتیمم محلی بوده و در نقطه اپتیمم مطلق واقع نمی‌گردد. تا کنون روش‌های مختلفی جهت طراحی بهینه ترانسفورماتور مطرح گردیده است. از آن جمله می‌توان به استفاده از شبکه‌های عصبی [۵] و الگوریتم ژنتیک [۶] برای طراحی ترانسفورماتورهای روغنی اشاره کرد.

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش بهینه سازی قدرتمند، کاربردهای بسیاری در موارد مختلف یافته است که از جمله آنها می‌توان به طراحی بهینه جابجائی سیم‌های سیم‌پیچ در ترانسفورماتور [۷] با استفاده از الگوریتم ژنتیک اشاره نمود.

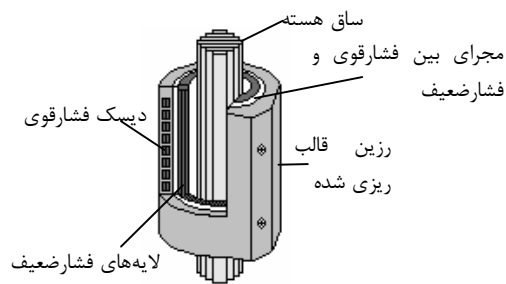
در این مقاله، از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی طراحی ترانسفورماتور خشک رزینی استفاده شده و یک تابع هدف مناسب جهت رسیدن به نقطه بهینه معرفی می‌شود. لازم به ذکر است که در این مقاله، تمامی محدودیت‌های طراحی و تولیدی موجود، به صورت دقیق مد نظر قرار گرفته‌اند.

ترانسفورماتورهای خشک و به خصوص انواع رزینی آنها امروزه بطور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند و مشخصه ضد آتش، آنها را به یک گزینه مطلوب جهت استفاده در مناطق مسکونی و بیمارستانی تبدیل کرده است. ترانسفورماتورهای خشک به دلیل اینکه هیچ گونه روغنی در ساختمان آنها وجود ندارد و عایق‌های مورد استفاده در می‌باشند، به شدت مقاوم در F آنها دارای کلاس حرارتی برابر اشتعال و انفجار هستند.

در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای طراحی ترانسفورماتور در سطح آموزشی [۱] و حرفه‌ای استفاده می‌شود. در طراحی حرفه‌ای توسط شرکت‌های سازنده ترانسفورماتور، از روش‌هایی مانند سعی و خطا [۲]، المان محدود [۳] و سیستم‌های بر پایه دانش شیء گرا [۴] جهت طراحی ترانسفورماتور به صورت تقریباً بهینه استفاده می‌شود. این در حالی است که نقطه طراحی در این روش‌ها

۲- ترانسفورماتورهای خشک رزینی والگوریتم طراحی

ترانسفورماتورهای روغنی به عنوان ترانسفورماتورهای کاملاً شناخته شده، در رنج‌های مختلف تولید شده و در شبکه استفاده می‌شوند. ترانسفورماتورهای جدید با نام ترانسفورماتورهای خشک، به علت دارا بودن مزایای مختلف نسبت به انواع روغنی، اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله این مزایا می‌توان به عدم اشتعال پذیری، سازگاری بیشتر با محیط زیست، حذف بوشینگ، تانک روغن، سنجۀ سطح روغن، آلارم گاز و حذف ترمومتر اشاره نمود. در این نوع از ترانسفورماتورها، عموماً از فویل به جای سیم‌های هادی و نیز رزین به جای روغن استفاده می‌شود. ساختار نمونه یک ترانسفورماتور خشک رزینی در شکل ۱ نشان داده شده است. جزئیات بیشتر در رابطه با ساختار این گونه از ترانسفورماتورها در [۸] آورده شده است.

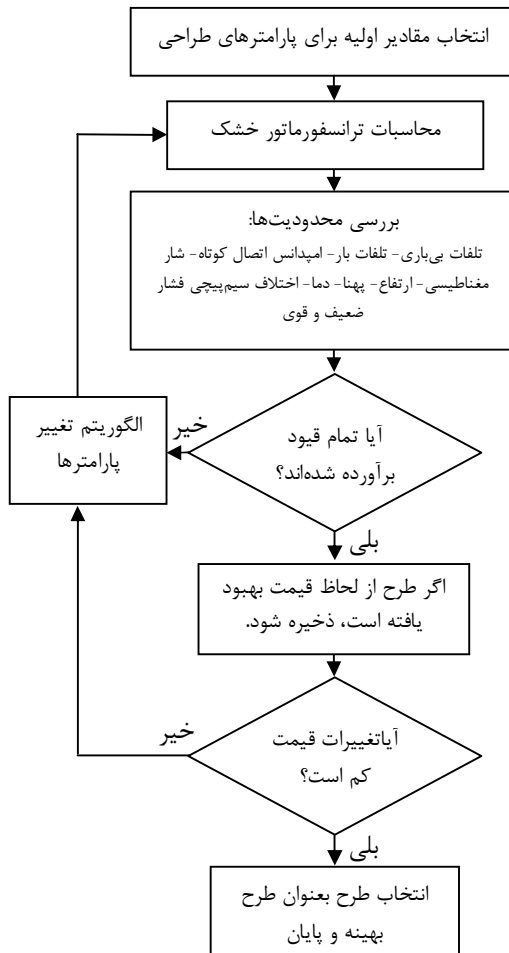


شکل ۱- شماتیک یک ترانسفورماتور خشک رزینی

در این ساختار، از دی‌ام‌دی (Dmd) برای عایق کاری فویل‌های فشار ضعیف و از مایلار (Mylar) برای عایق کاری فویل‌های فشار قوی استفاده می‌شود. برای ایجاد کانال‌های حرارتی در سیم‌پیچ‌ها نیز از تیرکهای عمودی (DogBone) استفاده می‌شود. در نهایت پس از مونتاژ کامل بوبین‌ها، سیم‌پیچی فشار ضعیف توسط لایه‌ای از رزین پوشانده و بوبین فشار قوی توسط قالب‌هایی رزین ریزی می‌شود.

الگوریتم مورد استفاده برای طراحی ترانسفورماتورهای در شکل ۲، با خشک رزینی در شکل ۲ نشان داده شده است. انتخاب پارامترهای طراحی، مقادیر خروجی‌های مورد نیاز و تمامی محدودیت‌ها محاسبه می‌شوند. در روند طراحی یک ترانسفورماتور خشک با استفاده از این فلوچارت، در صورتی که در یک مرحله همه محدودیت‌های طراحی ارضا شده باشند، این طرح به عنوان یک طرح مجاز انتخاب می‌شود،

ولی تا زمانی که یک قیمت مناسب حاصل نشود طرح‌های مختلف بعدی نیز بررسی خواهند شد. در طی این مسیر، در صورتی که محدودیت‌ها برقرار نباشند، پارامترهای طراحی با یک روند هدایت شده به گونه‌ای تغییر داده می‌شوند که الگوریتم را به سمت ارضای این محدودیت‌ها خواهد برد.



شکل ۲- الگوریتم طراحی ترانسفورماتور خشک رزینی

۱-۲ پارامترهای طراحی

این پارامترها که همان مشخصات و ابعاد فیزیکی ترانسفورماتور خشک هستند، به عنوان پایه اصلی طراحی مد نظر می‌باشند. لیست کامل این پارامترها که برخی از آنها در شکل ۲ دیده می‌شوند، در بخش ۳ آورده شده است.

تمامی پارامترهای طراحی گسسته می‌باشند، بدین معنی که هر کدام از این پارامترها در محدوده مجاز خود دارای گام گسسته مجاز برای تغییر می‌باشند.

محدودیت از بالا و پائین می‌باشند که این بازه‌ها در بالا نشان داده شده‌اند.

۲-۳- الگوریتم تغییر پارامترهای طراحی

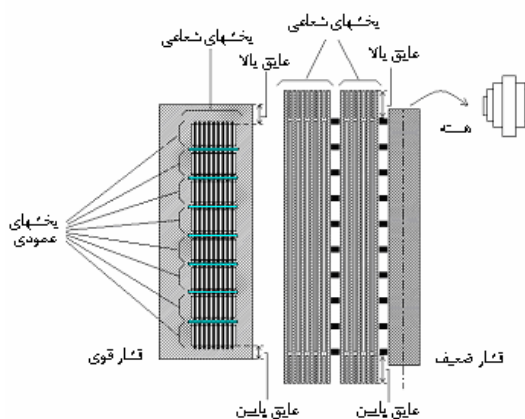
الگوریتم‌های پیوسته و گسسته مختلفی وجود دارند که می‌توانند جهت تغییر پارامترهای طراحی مورد استفاده قرار گیرند. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به روش سعی و خطا، استفاده از شبکه‌های عصبی و یا استفاده از الگوریتم ژنتیک اشاره نمود. در بخش آینده، استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت تغییر پارامترهای مسئله موجود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳- الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه سازی

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار بهینه سازی قدرتمند، در مسائل مختلف بهینه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این الگوریتم ابتدا ورودی‌ها و محدوده تغییرات آنها مشخص می‌شوند که هر یک از این ورودی‌ها به عنوان یک ژن برای الگوریتم ژنتیک عمل خواهند کرد. این ژن‌ها در کنار هم تشکیل یک کروموزوم را داده و چندین کروموزوم در کنار هم تشکیل یک جمعیت را می‌دهند. هدف از اجرای الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه سازی، یافتن نقطه اپتیمم آن مسئله با توجه به تابع هدف مربوطه می‌باشد که مقدار این تابع برای هر کروموزوم با توجه به مقادیر اختصاص یافته به ژن‌های آن کروموزوم قابل محاسبه است. برای راه اندازی یک الگوریتم ژنتیک، در ابتدا یک جمعیت به عنوان جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد شده و به الگوریتم داده می‌شود و در ادامه کار، جمعیت هر نسل جدید با توجه به نسل قبل تولید می‌شود. این کار با انجام عملیات باز () و جهش (Cross Over) ، () ، توزیع (Reproduction) تولید () بر روی کروموزوم‌های نسل قبل صورت (Mutation) می‌گیرد [۹]. روند حرکت در این الگوریتم به گونه‌ای است که جمعیت جدید را با هدف تولید نسل بهتر (تابع هدف بزرگتر) تولید می‌کند.

۳-۱- کروموزوم انتخابی برای بهینه سازی:

در مسئله حاضر که بهینه سازی طراحی ترانسفورماتورهای



شکل ۳: بعضی از پارامترهای ورودی الگوریتم ژنتیک

برخی از این پارامترها ذاتا و برخی نیز به علت محدودیت‌های موجود در مواد و دستگاه‌های مورد استفاده، دارای گسستگی می‌باشند.

لازم به ذکر است که تمامی محدودیت‌های ساخت، بر اساس مدارک موجود در شرکت ایران ترانسفو استخراج گردیده‌اند.

۲-۲- محدودیت‌های طراحی

همانطور که اشاره شد، در کنار کمترین هزینه ساخت بایستی قیود مورد نظر نیز برآورده شوند. برخی از این قیود مربوط به محدودیت طراحی بوده و برخی نیز توسط مشتری مشخص می‌شوند که به صورت زیر می‌باشند:

۱- محدودیت اختلاف ارتفاع بین سیم‌پیچی فشار ضعیف و

$$H_{diff_min} < H_{diff} < H_{diff_max} \text{ قوی:}$$

$$B_{min} < B < B_{max} \text{ ۲- محدودیت چگالی شار:}$$

$$\theta < \theta_{max} \text{ ۳- محدودیت جهش حرارتی:}$$

$$H < H_{max} \text{ ۴- محدودیت ارتفاع ترانسفورماتور:}$$

$$W < W_{max} \text{ ۵- محدودیت عرض ترانسفورماتور:}$$

$$U_{k_min} < U_k < U_{k_max} \text{ ۶- محدودیت امپدانس درصد:}$$

$$P_0 < P_{0_max} \text{ ۷- محدودیت تلفات بی باری:}$$

$$P_k < P_{k_max} \text{ ۸- محدودیت تلفات بارداري:}$$

از میان قیود بالا موارد ۱ تا ۳ مربوط به طراحی و استانداردهای مربوطه بوده و بقیه، قیود درخواستی توسط مشتری می‌باشند. همچنین از میان محدودیت‌های فوق، تعدادی دارای محدودیت از بالا و تعدادی نیز دارای

خشک می باشد، تعداد ژن های هر کروموزوم برابر با تعداد پارامترهای طراحی در نظر گرفته شده است. قیود در این الگوریتم ژنتیک، همان قیود مطرحه در بخش ۲ می باشند. کروموزوم مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- پارامترهای ترانسفورماتور خشک رزینی که در کنار هم یک کروموزوم را تشکیل می دهند

ژن های کروموزوم نمونه	پارامتر معادل	
LV_{Rad}	تعداد بخشهای شعاعی	تعداد بخشهای شعاعی
LV_{Axi}	تعداد بخشهای عمودی	
LV_{UD}	مجموع عایق بالا و پایین	
LV_{Axich_sum}	مجموع عایق بین بخشهای عمودی	
LV_{Foil_Width}	ضخامت فویل	
LV_{Foil_Height}	ارتفاع فویل	
HV_{Rad}	تعداد بخشهای شعاعی	تعداد بخشهای شعاعی
HV_{Axi}	تعداد بخشهای عمودی	
HV_{UD}	مجموع عایق بالا و پایین	
HV_{Axich_sum}	ارتفاع فویل	
HV_{Foil_Width}	مجموع عایق بین بخشهای عمودی	
HV_{Foil_Height}	ضخامت فویل	
Duct_{LV_Core}	بین هسته و فشار ضعیف	مکان فیل
Duct_{LV}	داخل فشار ضعیف	
Duct_{LV_HV}	بین فشار ضعیف و قوی	
Duct_{HV}	داخل فشار قوی	
Turn	تعداد دور فشار ضعیف	
Core	سطح مقطع هسته	

همانطور که در بخش ۲ اشاره شد، تمامی ژنهای جدول ۱ دارای گام گسسته جهت تغییر در محدوده مجاز خود می باشند. بعنوان نمونه، پهنای فویل فشار ضعیف می تواند با گام ۰/۱ میلیمتر تغییر و تا ۲/۵ میلیمتر افزایش یابد.

۳-۲- تابع هدف:

هدف از طراحی بهینه، به دست آوردن یک ترانسفورماتور با صرف کمترین هزینه برای ساخت، همزمان با رعایت کلیه قیود موجود می باشد. در حل مسائل بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک که بهینه نمودن تابع هزینه همراه با رعایت قیود مختلف مورد نظر می باشد از دو روش استفاده می شود. در روش اول، جمعیت اولیه و جمعیت های بعدی به نحوی تولید می شوند که همه قیود مسئله را ارضا کنند [۱۰]. در این حالت فضای جستجوی مورد نظر بسیار

کوچک و سرعت همگرایی بالا می باشد، ولی ممکن است جواب به دست آمده نقطه اپتیمم مطلق نباشد. در روش دوم، جمعیت در هر مرحله بدون توجه به محدودیتها تولید شده و این قیود به صورت یک ضریب جریمه در تابع هدف وارد می شوند [۱۱]. در این حالت سرعت همگرایی کمی کاهش یافته ولی رسیدن به نقطه اپتیمم مطلق تضمین می شود.

در مقاله حاضر به علت اهمیت بهینه بودن قیمت ترانسفورماتور نسبت به سرعت همگرایی، روش دوم مورد استفاده قرار گرفته است. لذا بایستی تابع هدف به گونه ای باشد که به صورت همزمان هزینه ساخت را در کنار برآورده کردن قیود، در نظر بگیرد. هزینه عمده ساخت یک ترانسفورماتور متشکل از هزینه مواد بکار رفته در آن و هزینه پرسنل می باشد. با توجه به اینکه هزینه پرسنل تقریباً مقدار ثابتی بوده و نسبت به هزینه مواد بکار رفته در ساخت ترانسفورماتور مقدار کوچکی می باشد، می توان از هزینه پرسنل صرف نظر نمود. بنابراین هزینه تمام شده ترانسفورماتور بصورت رابطه زیر قابل بیان است:

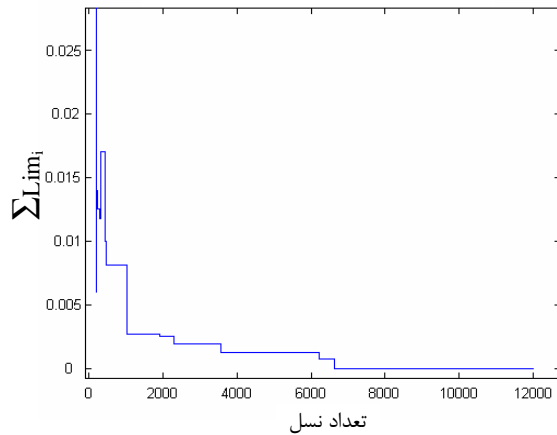
$$C_{product} = C_{conductors} + C_{insulators} + C_{core} + C_{NL-Losses} + C_{FL-losses} \quad (1)$$

که در آن C_{core} , $C_{conductors}$, $C_{insulators}$, $C_{NL-Losses}$, $C_{FL-Losses}$ بترتیب هزینه های هسته، مواد هادی، مواد عایقی، تلفات هزینه تمام شده می باشند. $C_{product}$ بی باری، تلفات بارداری و با توجه مطالب ذکر شده، تابع هدف به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$Fitness = \frac{10^9}{C_{product} + K \cdot \sum_{i=1}^n Lim_i} \quad (2)$$

میزان خروج از محدوده برای هر کدام Lim_i در رابطه بالا، از قیود ذکر شده در بخش ۲-۲ می باشد. مقدار این پارامتر در محدوده مجاز برابر صفر و در غیر اینصورت متناسب با فاصله نسبی آن از محدوده مجاز می باشد. برای اینکه این پارامتر در تابع هدف با مقدار هزینه تمام شده قابل مقایسه نیز در آن ضرب شده است. در صورت K باشد، یک ضریب تاثیر قیود بالاتر رفته و K تخصیص مقادیر نسبتاً بزرگ به سرعت سیستم جهت ورود به محدوده مجاز افزایش می یابد. اما در عین حال، این امر سبب به دام افتادن الگوریتم در نقاط بهینه محلی می شود. از طرف دیگر، انتخاب مقادیر

بهینه بصورت جدول ۳ به دست آمد. با توجه به نتیجه به دست آمده می‌توان دریافت که در این ترانسفورماتور نمونه، ۵/۸٪ قیمت طرح به دست آمده از طریق الگوریتم ژنتیک ۵/۸ کم تر از قیمت طرح موجود می‌باشد. لازم به ذکر است که ترانسفورماتور طراحی شده در محدوده مجاز قرار دارد و تمامی قیود ذکر شده در بخش ۲-۲ رعایت شده‌اند.



شکل ۵- میزان خروج از قیود برای بهترین کروموزوم هر نسل

جدول ۳- مقایسه نتایج الگوریتم بهینه سازی و نمونه موجود

کروموزوم	طراحی بهینه	طراحی موجود
LV _{Rad}	3	3
LV _{Axi}	1	1
LV _{UD}	60mm	60mm
LV _{Axich_sum}	0mm	0mm
LV _{Foil_Width}	2.9mm	3mm
LV _{Foil_Height}	1120mm	1120mm
HV _{Rad}	11	12
HV _{Axi}	11	12
HV _{UD}	46mm	46mm
HV _{Axich_sum}	147mm	144mm
HV _{Foil_Width}	1.7mm	1.8mm
HV _{Foil_Height}	1200mm	1130mm
Duct _{LV_Core}	20mm	22mm
Duct _{LV}	16mm	14mm
Duct _{LV_HV}	32mm	32mm
Duct _{HV}	0mm	0mm
Turn	12	12
Core	536.9 cm ²	581.3 cm ²
C _{Product}	303,247,496	321,928,279

، جستجو را کاملاً از مناطق مجاز دور ساخته K کوچک برای ورود به آن را تقریباً غیر ممکن می‌سازد. بنابراین با توجه به صورت هدفمند و متعادل K به موارد ذکر شده، پارامتر مقدار دهی می‌شود.

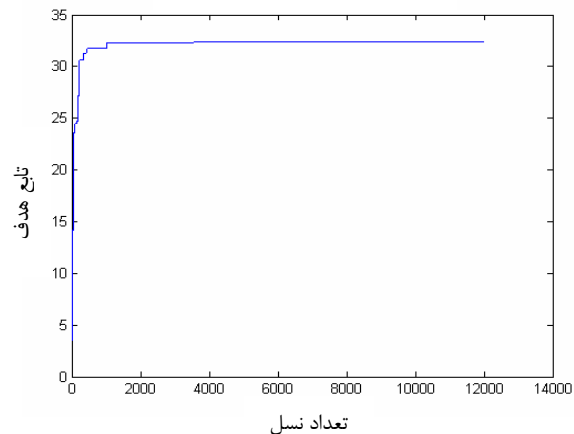
۴- نتیجه طراحی بهینه ترانسفورماتور خشک رزینی توسط الگوریتم ژنتیک (GA)

در این بخش، نتیجه طراحی یک ترانسفورماتور نمونه توسط الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود. مقادیر نامی این ترانسفورماتور و نیز قیود مربوط به آن، در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر نامی و محدودیت‌های طراحی

اتصال: Dyn11	ولتاژ: 6.6/0.4kV	توان: 2000kVA
$H_{diff} = 30mm$	$B < 1.7T$	$\theta < 71^\circ C$
$P_0 < 3850w$	$P_k < 13600w$	$U_k = (6 \pm 0.1)\%$

پس از چندین بار اجرای برنامه و با اعمال مقادیر مختلف به عدد 6×10^4 به عنوان مقدار مناسب برای آن در K ضریب نظر گرفته شد. با اعمال این تنظیمات و اجرای برنامه، الگوریتم به سمت نقطه بهینه خود حرکت کرد. تغییرات تابع هدف برای بهترین کروموزوم هر نسل در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- تغییرات مقدار تابع هدف برای بهترین کروموزوم هر نسل

(نیز برای بهترین کروموزوم $\sum_{i=1}^n Lim_i$ میزان خروج از قیود)

هر نسل به صورت شکل ۵ می‌باشد. با اجرای برنامه و همگرا شدن آن پس از ۸۰۰۰ نسل، کروموزوم مربوط به نقطه

	ریال	ریال
--	------	------

۵- نتیجه گیری:

در این مقاله، مسئله طراحی بهینه ترانسفورماتور خشک رزینی مورد بررسی قرار گرفت. از میان ابزار مختلف برای بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش قدرتمند در مسائل بهینه‌سازی انتخاب گردیده و برای حل مسئله موجود مورد استفاده قرار گرفت.

مهمترین مزیت الگوریتم ژنتیک نسبت به بسیاری از روش‌های موجود از قبیل روش سعی و خطا، امکان تغییر پارامترهای طراحی در بازه‌های وسیع‌تر می‌باشد. در این حالت افزایش محدوده تغییرات پارامترها، تأثیر چندانی بر سرعت اجرای برنامه نمی‌گذارد.

با انتخاب یک ترانسفورماتور نمونه و بهینه‌سازی طراحی آن توسط الگوریتم ژنتیک، مشاهده گردید که این طرح، هزینه‌ای کمتر از نمونه موجود را ارائه می‌نماید. اجرای متناوب الگوریتم ژنتیک نشان داد که تابع هدف و ضرایب بکار رفته در آن، تأثیر به‌سزایی در همگرایی الگوریتم و یافتن نقطه بهینه دارند. از این بررسی نتایج زیر حاصل شد:

- مقادیر بزرگ ضریب K سبب افزایش سرعت سیستم در ورود به محدوده مجاز می‌شوند. با اینحال نقطه بدست آمده در اغلب موارد یک نقطه بهینه محلی می‌باشد.
- مقادیر کوچک ضریب K سبب کاهش سرعت سیستم شده و حتی ورود به محدوده مجاز را غیر ممکن می‌سازند.

با توجه موارد ذکر شده، انتخاب یک مقدار مناسب برای این ضریب، سبب نیل الگوریتم به سمت نقطه بهینه مطلق با سرعت مطلوب خواهد شد.

سپاسگزاری

با تشکر از مدیر عامل محترم مؤسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران، جناب آقای مهندس میرعلیخانی، که در تمامی مراحل پروژه ما را یاری کردند.

مراجع

- [1]. A. Rubaai, "Computer Aided Instruction of Power Transformer Design in the Undergraduate Power Engineering Class", IEEE Transactions on Power System, Vol.9, No.3, Aug. 1994.
- [3]. S. A. Holland, L. Haydock, G. P. O'Connell, "Power Transformer Design with Finite Elements-a company experience", International Conference on Computation in Electromagnetics, Nov. 1991, pp 315-318.
- [4]. C. Hernandez, M. A. Arjona, "Implementation of an Object-Oriented Knowledge-Based System for Distribution Transformer Design", 12th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2006, pp 299-299.
- [5]. L. H. Geromel, C. R. Souza, "The application of intelligent systems in power transformer design", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May. 2002, Vol. 1, vol. 1, pp 285-290.
- [6]. س. ه. حسینی، ح. سیفی، "طراحی بهینه ترانسفورماتور به کمک الگوریتم ژنتیک"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۶، شماره ۲، شهریورماه ۱۳۸۱، ص ۱۵۵-۱۶۳
- [7]. Bai Baodong, Xie Dexin, Cui Jiefan, Fei Zhenyao; "Optimal Transposition Design of Transformer Windings by Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Magnetism, Vol.31, No.6, November 1995
- [8]. د. عزیزبان، "مدلسازی حرارتی ترانسفورماتورهای خشک رزینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، آبان ۱۳۸۴.
- [9]. D. E. Goldenberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Maching Learning", Reading, MA: Wesley, 1989.

[۱۰]. ا. ابراهیمی، ج. قیصری، "مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله به مدار آوردن واحدهای حرارتی و تحلیل حساسیت آنها نسبت به تغییرات مشخصات سیستم قدرت"، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۸۱، دانشگاه تبریز.

- [11]. H. T. Yong, P. C. Yong and C. L. Huang, "Application of Genetic Algorithm to the Unit Commitment problem in Power Generation Industry" International Conference on Fuzzy systems and the second international Fuzzy Engineering, IEEE Inter.Conf.Proceeding, 1995, Vol. 1, pp 267-274