

## طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم بکمک الگوریتم PSO بهبود یافته

حسن منصف  
دانشیار گروه قدرت دانشگاه تهران  
hmonsef@ut.ac.ir

میثم مهدوی  
دانشجوی دکتری برق دانشگاه تهران  
me.mahdavi@ece.ut.ac.ir

واژه‌های کلیدی: الگوریتم PSO بهبود یافته، طراحی بهینه، موتور القایی تکفاز

### چکیده

هدف اصلی از طراحی موتورهای القایی تکفاز با خازن دائم، افزایش بازده و کاهش هزینه ساخت آنها می‌باشد. از روشهای کلاسیک می‌توان برای طراحی این نوع موتورها استفاده نمود، اما عیب این روشها وابستگیشان به وجود مدلی خطی است که این خطی‌سازی مدل، به نوبه خود باعث کاهش دقت طراحی می‌گردد، در حالیکه در روشهای جستجوی تصادفی از جمله الگوریتم ژنتیک (GA) و اجتماع ذرات (PSO) به خطی‌سازی مدل نیازی نیست. با توجه به دقت بالای روشهای جستجوی تصادفی در فرایندهای طراحی و بهینه‌سازی، در این تحقیق از الگوریتم اجتماع ذرات بهبود یافته جهت طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم استفاده شده است. تابع هدف در الگوریتم پیشنهادی، بازده ماشین می‌باشد و به منظور تطابق با واقعیت، محدودیتهایی نیز در طراحی اعمال شده است. نتایج بدست آمده گویای آن است که طراحی موتور با روش PSO بهبود یافته منجر به افزایش بازده آن نسبت به روشهای کلاسیک، ژنتیک و حتی PSO می‌شود.

### ۱- مقدمه

موتورهای القایی تک فاز با خازن دائم، همانند انواع دیگر ماشینهای القایی نقش بسزایی در ایجاد رفاه اجتماعی ایفا می‌نمایند و اغلب آنها در توانهای خروجی پایین ساخته می‌شوند. این موتورها نسبت به موتورهای القایی سه فاز مشابه خود (هم توان) دارای حجم و قیمت بیشتری می‌باشند که از مهمترین مزایای آنها می‌توان به سر و صدای کم، عملکرد نرم و قابلیت اطمینان زیاد آنها (بدلیل عدم حضور کلید گریز از مرکز) اشاره نمود [۱]. در صنعت، جهت طراحی موتورهای القایی تکفاز با خازن دائم معمولاً از روشهای تجربی استفاده می‌شود بطوریکه ابعاد ماشین، سیم پیچ استاتور، نحوه چیدن سیمها در شیارها، مقدار خازن و ماده بکار رفته در هسته اصلی موتور از فرمولهای مربوطه و گاهی به صورت تجربی بدست آمده و با داشتن این مقادیر، بازده، ضریب توان، قیمت، گشتاور راه اندازی، جریان راه اندازی، لغزش و گشتاور شکست بدست می‌آید که معمولاً، جوابهای بدست آمده قابل قبول هستند اما بهینه نمی‌باشند. بنابراین

**بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق**

روش حل مساله بیان خواهد شد. در نهایت با اجرای روش پیشنهادی بر روی یک موتور القایی تکفاز با خازن دائم که مشخصات آن در [۲] آمده است نتایج حاصله بیان می‌شوند.

**۲- روابط حاکم بر موتور القایی تکفاز با خازن دائم**

روابط حاکم بر موتور القایی تکفاز با خازن دائم به صورت زیر می‌باشند [۸]:

$$X_{1m} = 2\pi f \mu_0 L \sum_{i=1}^{S_s/P} \left[ \left( \frac{h_1}{3w_s} + \frac{h_2}{w_s} \right) (S_{mi})^2 \right] \quad (1)$$

$$X_{1a} = 2\pi f \mu_0 L \sum_{i=1}^{S_s/P} \left[ \left( \frac{h_1}{3w_s} + \frac{h_2}{w_s} \right) (S_{ai})^2 \right] \quad (2)$$

$$X_m = K_x \times 0.2546 \times K_m C_{sk} \quad (3)$$

$$K_x = [2\pi f (Z \times K_{wm})^2 \times 10^{-8}] \quad (4)$$

$$K_m = \frac{\pi D_i L}{P^2 \times 1.28 \times L_g} \quad (5)$$

$$C_{sk} = \frac{\sin(\alpha/2)}{\pi\alpha/360} \quad (6)$$

$$R_{1m} = \rho \frac{(\pi(D_i/2) + 2L) T_m}{\pi(D_{1m}^2/4)} \quad (7)$$

$$R_{1a} = \rho \frac{(\pi(D_i/2) + 2L) T_a}{\pi(D_{1a}^2/4)} \quad (8)$$

$$R_{2m} = 4N_m^2 K_{wm}^2 \times \rho \left[ \frac{L_b}{A_b N_b} + \left( \frac{2}{\pi} \times \frac{D_m}{P^2 A_e} \right) \right] \quad (9)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (10)$$

$$Z_{1m} = R_{1m} + jX_{1m} \quad (11)$$

$$Z_{1a} = R_{1a} + jX_{1a} - jX_c \quad (12)$$

$$Z_f = \frac{jX_m (R_{2m}/S)}{jX_m + (R_{2m}/S)} \quad (13)$$

$$Z_b = \frac{jX_m (R_{2m}/2 - S)}{jX_m + (R_{2m}/2 - S)} \quad (14)$$

$$Z_d = \frac{1}{2} \left( \frac{Z_{1a}}{a^2} - Z_{1m} \right) \quad (15)$$

$$R_f = \text{real}(Z_f) \quad (16)$$

$$R_b = \text{real}(Z_b) \quad (17)$$

$$V_{mf} = (V_t/2) \times (1 - j/a) \quad (18)$$

$$V_{mb} = (V_t/2) \times (1 + j/a) \quad (19)$$

برای رسیدن به جوابهای بهینه نیاز به استفاده از روشهای دیگری از قبیل طراحی کلاسیک [۲] و روشهای تصادفی است.

عیب روشهای کلاسیک وابستگیشان به وجود مدلی خطی است که این خطی سازی مدل، به نوبه خود باعث کاهش دقت طراحی می‌گردد، در حالیکه در روشهای جستجوی تصادفی از جمله الگوریتم ژنتیک [۳]-[۵] و PSO [۶]، [۷] به خطی سازی مدل نیازی نیست و این الگوریتم‌ها به راحتی می‌توانند برای بهینه‌سازی معادلات غیرخطی با دقت خوبی به کار روند [۸]. تا کنون تحقیقات مختلفی در زمینه طراحی [۲]، بهینه‌سازی بازده [۹]، [۲] و گشتاور [۱۰] موتورهای القایی تکفاز صورت گرفته است. در [۲] طراحی موتور القایی تکفاز به منظور افزایش بازده موتور انجام شده که از روشهای کلاسیک برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده شده است. در [۹] از تریاک جهت افزایش بازده موتور القایی تکفاز با خازن دائم استفاده شده است اما این روش باعث ایجاد هارمونیک در جریان سیم پیچ اصلی می‌شود. در [۱۰] نیز با استفاده از تعیین ظرفیت خازن موثر، حداکثر مقدار گشتاور برای یک موتور القایی تکفاز بدست آمده است. نهایتاً در [۸]، از الگوریتم ژنتیک جهت طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم به منظور بدست آوردن بیشترین بازده استفاده شده است، اما با توجه به دقت و سرعت همگرایی بیشتر روش PSO بهبود یافته نسبت به الگوریتم ژنتیک و PSO استاندارد در فرایندهای بهینه‌سازی [۶]، در این مقاله از الگوریتم PSO بهبودیافته برای طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم جهت بدست آوردن بیشترین بازده استفاده شده است. نتایج بدست آمده در این تحقیق بیانگر این واقعیت است که طراحی موتور القایی تکفاز با استفاده از PSO بهبودیافته باعث افزایش بازده موتور نسبت به روشهای کلاسیک، GA و PSO می‌شود.

بدین ترتیب، بعد از معرفی روابط حاکم بر موتور القایی تکفاز با خازن دائم، الگوریتم PSO به کار رفته در این تحقیق بطور کامل تشریح می‌گردد. در بخش چهارم تابع هدف و

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

$N_b$ : تعداد کل میله‌های روتور.

$A_e$ : مساحت انتهای حلقه.

$D_m$ : قطر متوسط انتهای حلقه.

$S$ : لغزش موتور.

$a$ : تعداد دور سیم پیچ کمکی به اصلی.

راکتانس نشستی سیم‌پیچهای اصلی و کمکی، راکتانس مغناطیس‌کنندگی، مقاومت سیم‌پیچهای اصلی و کمکی و مقاومت ارجاع شده روتور به سیم پیچ اصلی استاتور به ترتیب طبق روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۷)، (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند. روابط (۱۰) تا (۱۴) نیز به ترتیب، راکتانس خازن، امپدانس سیم پیچهای اصلی و کمکی، امپدانس مولفه مستقیم و معکوس مداری، را نشان می‌دهند. همچنین ولتاژ و جریان مولفه‌های مستقیم و معکوس، جریان سیم‌پیچهای اصلی و کمکی، جریان خط، ضریب توان، توانهای خروجی و ورودی و نهایتاً بازده به ترتیب مطابق روابط (۱۸) تا (۲۹) تعریف می‌شوند.

### ۳- الگوریتم PSO بهبود یافته

الگوریتم اجتماع ذرات (PSO) از جمله الگوریتم‌های جستجوی تصادفی الهام گرفته از طبیعت می‌باشد که بر پایه رفتارهای اجتماعی پرندگان استوار است. ایده‌های اولیه اجتماع ذرات تشکیل دهنده یک شبکه در سال ۱۹۹۵ توسط Kennedy و Eberhart مطرح گردید [۱۱]. این ایده در حل انواع مسایل بهینه‌سازی عملکرد مناسبی داشته است [۱۲]. در این الگوریتم جمعیتی  $L$  فردی از بردارهای  $X$  در نظر گرفته می‌شود و بردار  $X$  یک بردار  $n$  عضوی است که هر یک از اعضای آن یکی از پارامترهای طراحی موتور القایی مورد بحث می‌باشد. در ابتدا جمعیت ذرات بصورت تصادفی مقداردهی شده و در روند اجرای الگوریتم ذرات بسوی هدف که همان یافتن نقطه بهینه می‌باشد هدایت می‌گردند. موقعیت هر ذره در واقع بردار  $X$  مربوط به آن می‌باشد و ارزش آن نیز مقدار تابع برازش در موقعیت مربوطه می‌باشد. در روند اجرای الگوریتم می‌توان بهترین تجربه هر ذره و موقعیت مربوط به آن را ذخیره نمود. بهترین تجربه ذره  $i$ -ام،  $pbest_i$  و

$$I_{mf} = \frac{V_{mf}(Z_{1a} + Z_b + Z_d) + V_{mb}Z_d}{(Z_{1m} + Z_f + Z_d)(Z_{1a} + Z_b + Z_d) - Z_d^2} \quad (20)$$

$$I_{mb} = \frac{V_{mb}(Z_{1m} + Z_f + Z_d) + V_{mf}Z_d}{(Z_{1m} + Z_f + Z_d)(Z_{1a} + Z_b + Z_d) - Z_d^2} \quad (21)$$

$$I_m = I_{mf} + I_{mb} \quad (22)$$

$$I_a = \frac{jI_{mf}}{a} - \frac{jI_{mb}}{a} \quad (23)$$

$$I_L = I_m + I_a \quad (24)$$

$$I_L = |I_L| \angle \theta \quad (25)$$

$$Pf = \cos(\theta) \quad (26)$$

$$P_{out} = 2(R_f I_{mf}^2 - R_b I_{mb}^2)(1 - S) - P_{rot} \quad (27)$$

$$P_{in} = |V_L| \times |I_L| \times Pf \quad (28)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (29)$$

که در روابط بالا:

$L$ : طول استاتور.

$h_1$ : ارتفاع سیم پیچ اصلی.

$h_2$ : ارتفاع سیم پیچ کمکی.

$w_s$ : پهنای شیار.

$S_{mi}$ : تعداد هادیهای سیم پیچ اصلی در شیار  $i$  ام.

$S_{ai}$ : تعداد هادیهای سیم پیچ کمکی در شیار  $i$  ام.

$Z$ : تعداد کل هادیهای سیم پیچ اصلی.

$K_{wm}$ : ضریب سیم پیچ کمکی.

$D_i$ : قطر داخلی استاتور.

$P$ : تعداد قطبهای ماشین.

$L_g$ : طول فاصله هوایی.

$\rho$ : مقاومت ویژه مس.

$D_{1m}$ : قطر سیم پیچ اصلی.

$T_m$ : تعداد کل دورهای سیم پیچ اصلی.

$D_{1a}$ : قطر سیم پیچ کمکی.

$T_a$ : تعداد کل دورهای سیم پیچ کمکی.

$\alpha$ : گام قطب.

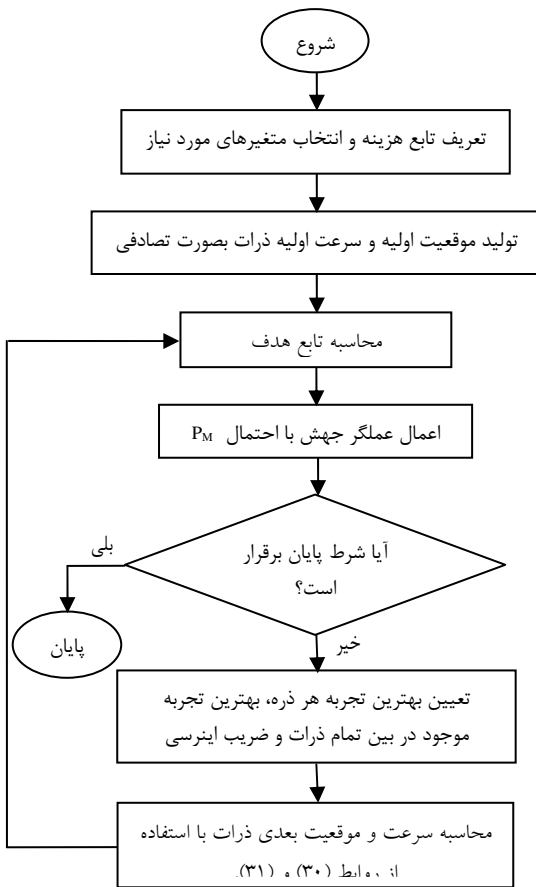
$N_m$ : تعداد کل هادیهای سیم پیچ اصلی.

$L_b$ : طول هر میله روتور.

$A_b$ : سطح مقطع هر میله روتور.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

حالت ذرات تنها در نقطه‌ای از وزن اینرسی  $\omega$  باقی می‌مانند. اگر سرعت ذرات خیلی نزدیک به صفر شود، این ذرات قادر به جابجایی جهت رسیدن به  $gbest_i$  نخواهند بود، این بدان معناست که ذرات به بهترین تجربه هر ذره همگرا شده و از ذرات گروهی دور خواهند شد، در این حالت سرعت همگرایی کاهش خواهد یافت [۱۶]. در این مقاله برای جبران این مشکل از الگوریتم PSO بهبود یافته استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی مطابق الگوریتم PSO بوده با این تفاوت که با عملگر جهش (Mutation) که یکی از عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد [۳]-[۵]، تلفیق شده است. این عملگر سبب می‌شود که ذرات خارج از مکان بهینه محلی پرش کرده و در دیگر نواحی فضای بهینه‌سازی به جستجو بپردازند. این عمل موجب افزایش سرعت همگرایی و دقت الگوریتم می‌شود. فلوجارت روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: فلوجارت روش پیشنهاد

موقعیت متناظر مربوط به آن را  $\bar{x}pbest_i$  گویند. به همین ترتیب بهترین تجربه موجود در بین تمام ذرات و موقعیت مربوط به آن به ترتیب با  $gbest_i$  و  $\bar{x}gbest_i$  نشان داده می‌شود. در حرکت به سوی نقطه مینیمم، سرعت حرکت هر ذره و موقعیت جدید هر ذره با استفاده از روابط (۳۰) و (۳۱) مشخص می‌شود.

$$(30)$$

$$\begin{aligned} \bar{v}_i(t+1) &= \omega * \bar{v}_i(t) + r_1 C_1 (\bar{x}_{pbest_i} - \bar{x}_i(t)) + r_2 C_2 (\bar{x}_{gbest_i} - \bar{x}_i(t)) \\ \bar{x}_i(t+1) &= \bar{x}_i(t) + \bar{v}_i(t+1) \end{aligned} \quad (31)$$

در رابطه (۳۰)،  $\omega$  ضریب اینرسی ذره و  $C_1$  و  $C_2$  ضرایب شتاب هستند. برای تصادفی کردن ماهیت سرعت، ضرایب  $C_1$  و  $C_2$  در اعداد تصادفی  $r_1$  و  $r_2$  ضرب شده‌اند. معمولاً در هنگام اجرای الگوریتم مقادیر کم  $\omega$  منجر به همگرایی سریع در یک مکان بهینه محلی می‌شوند در حالی که مقادیر خیلی زیاد ممکن است از همگرایی جلوگیری کنند. معمولاً در اجرای الگوریتم PSO، مقدار  $\omega$  در طی یادگیری تنظیم می‌شود و به صورت خطی از یک تا نزدیک صفر کاهش می‌یابد. به طور کلی ضریب اینرسی  $\omega$  مطابق زیر تنظیم می‌گردد [۱۳]:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (32)$$

در رابطه (۳۲)  $iter_{max}$  ماکزیمم شماره تکرار،  $iter$  شماره تکرار کنونی،  $\omega_{max}$  و  $\omega_{min}$  بترتیب مقدار ماکزیمم و مینیمم ضریب اینرسی می‌باشند. در رابطه سرعت (۳۰)، جمله  $r_1 C_1 (\bar{x}_{pbest_i} - \bar{x}_i(t))$  مرتبط با تجربه شخصی می‌باشد و جمله  $r_2 C_2 (\bar{x}_{gbest_i} - \bar{x}_i(t))$  اثر متقابل اجتماعی بین ذرات را نشان می‌دهد و اشاره به این دارد که افراد تجربه شخصی خود را نادیده گرفته و رفتارشان را مطابق با تجربیات موفق افراد در همسایگی تنظیم می‌کنند. مطابق رابطه (۳۰) سرعت به روز شدن ذرات شامل سه بخش می‌باشد، جمله اول نمایانگر سرعت ذرات، جمله دوم تجربه شخصی ذرات و جمله سوم اثر متقابل گروهی بین ذرات را نشان می‌دهد [۱۴]، [۱۵]. با توجه به رابطه (۳۱) می‌توان فهمید که بهترین موقعیت ذرات همزمان با  $pbest_i$  اتفاق می‌افتد، در این

**بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق**

$$P_{out} = g(S) \Rightarrow \eta = f(S) \quad (34)$$

با فرض یک توان خروجی فرضی می‌توان  $P_{out} = g(S)$  را به صورت یک معادله و یک مجهول بر حسب  $S$  نوشت. با توجه به اینکه حل این معادله بسیار دشوار می‌باشد. با تعریف یک حلقه for و تغییر  $S$  با گامهای  $0.01$  در بازه صفر تا یک و با استفاده از روش سعی و خطا می‌توان  $S$  را محاسبه کرد. بنابراین با معلوم شدن لغزش،  $\eta$  و در نتیجه تابع هدف محاسبه می‌شوند.

**۵- نتایج طراحی**

روش پیشنهادی بر روی یک موتور القایی تکفاز با خازن دائم اجرا شد که در نتیجه پارامترهای طراحی مطابق جدول ۳ بدست آمدند. مشخصات این موتور در [۲] آمده است.

جدول ۲: پارامترهای حاصل از GA [۸]

مقدار پارامتر	نام پارامتر
۰/۱۳ m	قطر حفره داخلی استاتور
۰/۰۹۴۵ m	طول روتور
۰/۰۰۱۹ m	قطر هادی اصلی
۰/۰۰۱۹ m	قطر هادی کمکی
۰/۰۰۶۲ m	قطر هادی روتور
۰/۰۱۲۶ m	ارتفاع شیار روتور
۰/۰۰۰۱ F	ظرفیت خازن
۴۴	تعداد شیارهای روتور
۰/۰۰۰۳ m	طول فاصله هوایی
۰/۹۰۸۰	بازده ماشین

جدول ۳: پارامترهای حاصل از PSO

مقدار پارامتر	نام پارامتر
۰/۱۲۶ m	قطر حفره داخلی استاتور
۰/۰۸۶۵ m	طول روتور
۰/۰۰۲ m	قطر هادی اصلی
۰/۰۰۲ m	قطر هادی کمکی
۰/۰۰۷۲ m	قطر هادی روتور
۰/۰۱۲۳ m	ارتفاع شیار روتور
۰/۰۰۰۱۲ F	ظرفیت خازن
۴۴	تعداد شیارهای روتور
۰/۰۰۲۵ m	طول فاصله هوایی
۰/۹۱۴۱	بازده ماشین

در این مقاله برای همگرایی سریع الگوریتم پیشنهادی و در عین حال حصول جوابهای دقیق، پارامترهای گفته شده به صورت جدول ۱ مقداردهی شده‌اند.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای بکار برده شده در الگوریتم پیشنهادی

نام پارامتر	مقدار
بعد مساله	۱۰
تعداد ذرات	۸۵
احتمال جهش ( $P_M$ )	۰/۱
وزن اینرسی	$\omega_{max} = 0.9$ و $\omega_{min} = 0.4$
$C_1$	۱/۵
$C_2$	۲
C	۱

**۴- معرفی تابع هدف و روش حل مساله**

هدف، تعیین ابعاد موتور القایی تکفاز با خازن دائم جهت بدست آوردن حداکثر بازده می‌باشد. بنابراین تابع هدف مساله بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F = \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (33)$$

در طراحی این موتور محدودیتهایی نیز وجود دارد که این محدودیتها عبارتند از:

$$\cos(\theta) > 0.9$$

$$T_{sn} > 1$$

$$T_{bn} > 1.1$$

$$\eta = \max \text{ value}$$

$$I_{sn} < 4$$

که:

$\cos(\theta)$ : ضریب توان.

$T_{sn}$ : نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور نامی.

$T_{bn}$ : نسبت گشتاور شکست به گشتاور نامی.

$I_{sn}$ : نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی.

در ابتدا جمعیتی از ذرات به صورت تصادفی انتخاب و با توجه به موقعیت و سرعت اولیه آنها، روابط (۱) تا (۲۹) محاسبه می‌شوند. البته به علت مجهول بودن لغزش ( $S$ )، تمامی این روابط تابعی از  $S$  می‌باشند. بنابراین بازده و توان خروجی تابعی از لغزش بوده که به صورت زیر نوشته می‌شوند:

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

همچنین مقادیر بدست آمده برای قیود مساله در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: پارامترهای حاصل از PSO بهبودیافته

مقدار پارامتر	نام پارامتر
۰/۱۲۶۲ m	قطر حفره داخلی استاتور
۰/۰۸۶۱ m	طول روتور
۰/۰۰۲۲۳ m	قطر هادی اصلی
۰/۰۰۲۱۳ m	قطر هادی کمکی
۰/۰۰۷۳۴ m	قطر هادی روتور
۰/۰۱۲۲۴ m	ارتفاع شیار روتور
۰/۰۰۰۱۲ F	ظرفیت خازن
۴۴	تعداد شیارهای روتور
۰/۰۰۲۳۸ m	طول فاصله هوایی
۰/۹۱۵۸	بازده ماشین

جدول ۵: محدودیتها (قیود)

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۱/۲۲۱	$T_{bn}$	۰/۹۸۷۶	$\cos(\theta)$
۲/۲۶۳	$I_{sn}$	۱/۱۰۴	$T_{sn}$

همچنین لغزش ماشین در گشتاور نامی ( $S_n$ ) و گشتاور شکست ( $S_b$ ) با استفاده از روش پیشنهادی به ترتیب ۰/۰۱۸۵ و ۰/۰۳۶۲ بدست می‌آیند.

با مقایسه جداول ۲ و ۴ می‌توان مشاهده نمود که در صورت طراحی ماشین با استفاده از روش PSO بهبودیافته، راندمان ماشین حدود ۰/۷۸ درصد نسبت به روش ژنتیک افزایش پیدا می‌کند که این مقدار علاوه بر افزایش قدرت خروجی موتور می‌تواند در دراز مدت تاثیر قابل توجهی را در کاهش تلفات توان و هدر رفتن انرژی مصرفی موتور داشته باشد. همچنین با مقایسه جداول ۳ و ۴ می‌توان به دقت بیشتر روش PSO بهبودیافته نسبت به PSO استاندارد پی‌برد که منجر به افزایش ۰/۱۷ درصدی راندمان نسبت به روش PSO شده است. همچنین با توجه به بیشتر بودن راندمان بدست آمده از الگوریتم ژنتیک نسبت به روش کلاسیک که

در [۸] به آن اشاره شد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش PSO بهبودیافته جهت طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم باعث بهینه‌تر شدن راندمان ماشین نسبت به روشهای کلاسیک، ژنتیک و PSO می‌شود. از نظر زمان رسیدن به جواب بهینه نیز می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهادی از سرعت و همگرایی بسیار بالایی برخوردار است. کاهش تعداد تکرارهای الگوریتم پیشنهادی به ترتیب نسبت به الگوریتم ژنتیک و PSO از عدد ۱۲۰۰ و ۵۰۰ به ۴۰۰ موید این واقعیت است. الگوریتم PSO با ایجاد ارتباط بین سرعت و موقعیت ذرات با سرعتی که حاصل از برآیند سرعت قبلی و بهترین موقعیت تجربه شده هر ذره و گروه (تمامی ذرات) می‌باشد سبب همگرایی سریعتر الگوریتم نسبت به روش ژنتیک می‌شود. همچنین علت بیشتر بودن سرعت همگرایی روش پیشنهادی نسبت به PSO را می‌توان استفاده از عملگر جهش در روند بهینه‌سازی دانست. زیرا همانطور که گفته شد این عملگر سبب می‌شود که ذرات خارج از مکان بهینه محلی پرش کرده و در دیگر نواحی فضای بهینه‌سازی به جستجو پردازند که این عمل علاوه بر افزایش سرعت همگرایی، موجب افزایش دقت همگرایی نیز می‌شود.

### ۶- نتیجه‌گیری

طراحی موتور القایی تکفاز با استفاده از روش تجربی که تلفیقی از روش‌های Han-powel و جستجوی محدود می‌باشد کار زیاد مشکلی نیست اما بهینه‌سازی و بدست آوردن حداکثر بازده نیاز به بیس ریاضیاتی قوی داشته و وقت زیادی می‌برد. روشهای کلاسیک نیز به علت خطی‌سازی نسبت به روشهای تصادفی دارای دقت پایبتری می‌باشند. با توجه به بیشتر بودن دقت و سرعت همگرایی روش PSO بهبودیافته نسبت به GA و PSO استاندارد [۶]، در این تحقیق از الگوریتم PSO بهبود یافته برای طراحی موتور القایی تکفاز با خازن دائم استفاده شده است. با مقایسه نتایج این مقاله و نتایج بدست آمده در [۸]، می‌توان گفت، علاوه بر همگرایی سریعتر روش PSO بهبودیافته نسبت به GA و حتی PSO

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- [9] Mademlis C., Koskeridis I. and Theodoulidis T., "Optimization of single-phase induction motors-part I: maximum energy efficiency control," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 20, No. 1, 2005, pp. 187-195.
- [10] Liu T. H., "A maximum torque control with a controlled capacitor for a single-phase induction motor," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 42, No. 1, 1995, pp. 17-24.
- [11] Haupt R. L. and Haupt S. E., *Practical genetic algorithms*. Second Edition, John Wiley & Sons Inc. Publication, 2004, pp. 189-190.
- [12] Xie X. F., Zhang W. J. and Yang Z. L., "Dissipative particle swarm optimization," *Proc. the 2002 Congress on Evolutionary Computation*, Honolulu, Vol. 2, 2002, pp. 1456-1461.
- [13] Hu X. and Eberhart R., "Solving constrained nonlinear optimization problem with particle swarm optimization," *Proc. the Sixth World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, 2002, pp. 203-206.
- [14] He S., Wen J. Y., Prempain E., Wu Q. H., Fitch J. and Mann S., "An improved particle swarm optimization for optimal power flow," *Proc. 2004 Int. Conf. Power System Technology*, Vol. 2, 2004, pp. 1633-1637.
- [15] M. M. Khodier and C. G. Christodoulou, "Linear array geometry synthesis with minimum sidelobe level and null control using particle swarm optimization," *IEEE Trans. Antennas and Propagations*, Vol. 53, No. 8, pp. 2674-2679, 2005.
- [16] Esmin A. A. A., Torres G. L. and De Souza A. C. Z., "A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization," *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 20, No. 2, 2005, pp. 859-866.

استاندارد، بازده بدست آمده از این روش نیز نسبت به روشهای کلاسیک، ژنتیک و PSO مقدار بیشتری بوده که این بیانگر قدرت بالای الگوریتم PSO بهبودیافته در فرایندهای طراحی و بهینه‌سازی نسبت به روشهای مزبور است.

مراجع

- [1] Mittle and mittal, *Design of electrical machines*. N.C. Jain-Delhi, 2004.
- [2] Huang H., Fuchs E. F., Zak Z. and White J. C., "Optimization of single-phase induction motor design, Parts I and II," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. EC-3, No. 2, 1988, pp. 349-366.
- [3] Jalilzadeh S., Kazemi A., Shayeghi H. and Mahdavi M., "Technical and economic evaluation of voltage level in transmission network expansion planning using GA," *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, No. 5, 2008, pp. 1119-1125.
- [4] Jalilzadeh S., Shayeghi H., Mahdavi M. and Haddadian H., "Studying influence of two effective parameters on network losses in transmission expansion planning using DCGA," *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, No. 11, 2008, pp. 3017-3024.
- [5] Mahdavi M., Shayeghi H. and Kazemi A., "DCGA based evaluating role of bundle lines in TNEP considering expansion of substations from voltage level point of view," *Energy Conversion and Management*, Vol. 50, No. 8, 2009, pp. 2067-2073.

[۶] رشتچی وحید، میرزایی جابر، کیمیاقلم علی، رحیم پور ابراهیم " استفاده از روش بهینه سازی PSO بهبودیافته در شناسایی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور " بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، آذر ۱۳۸۷، صفحات ۱-۱۰.

- [7] Jalilvand A., Kimiyaghalam A., Ashouri A. and Mahdavi M., "Advanced particle swarm optimization-based PID parameter optimization," *Proc. the 12<sup>th</sup> IEEE Int. Multitopic Conf.*, Pakistan, 23-24 December 2008, pp. 429-435.

[۸] دهستانی کلاگر ایمان، مهدوی میثم، رشتچی وحید "طراحی بهینه موتور القایی تکفاز با خازن دائم به منظور بدست آوردن بیشترین بازده به کمک الگوریتم ژنتیک" یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، زنجان، شهریور ۱۳۸۷، صفحات ۵-۱.