

# کنترل بهینه فرکانس بار سیستم‌های قدرت با استفاده از الگوریتم‌های کلونی زنبور عسل و کرم شب تاب

آرش رحیمی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، Arash.Rahimi85@yahoo.com

مسئول مکاتبات: آرش رحیمی

## چکیده

در این مقاله با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی کلونی زنبور عسل و کرم شب تاب یک کنترل کننده PID بهینه برای کنترل فرکانس بار سیستم‌های قدرت طراحی شده است. روش ارائه شده برای سیستم‌های قدرت سه ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گرفته که نتایج نشان دهنده کارایی روش‌های ابتکاری است. در این مقاله برای تنظیم کنترل فرکانس بار فقط نیاز به تنظیم کنترل کننده PID برای تابع انتقال در ناحیه  $i$  داریم. که با استفاده از الگوریتم‌های کلونی زنبور عسل و کرم شب تاب مقدار بهینه برای تنظیم کننده PID به دست آمده است. و نتایج به دست آمده از این دو روش مورد مقایسه قرار گرفته است که عملکرد میرایی مطلوب را می توان به دست آورد. نتایج شبیه سازی‌ها توسط نرم افزار MATLAB انجام شده است.

**کلمات کلیدی:** کنترل فرکانس بار (LFC)، کنترل کننده تناسبی-انتهزالی غیر مشتق گیر (کنترلر PID)، الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC)، الگوریتم کرم شب تاب (FA).

## مقدمه

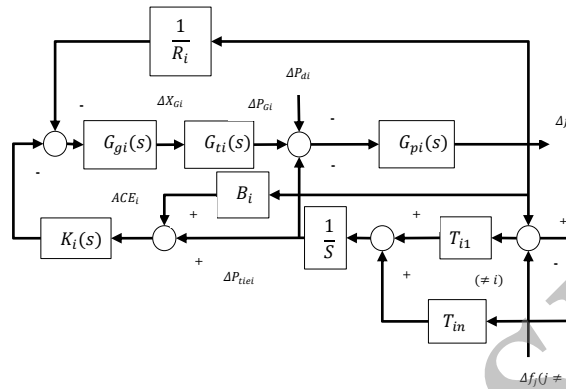
در این مقاله از میان روش‌های بهینه سازی، الگوریتم زنبور عسل و کرم شب تاب را به منظور بهینه سازی مقدار تنظیم کننده PID انتخاب کرده ایم. با توجه به پیشرفت سیستم‌های قدرت، کنترل فرکانس بار (LFC) از مسائل مهم در کنترل سیستم‌های قدرت است که بدون استفاده از این کنترل شبکه قدرت با مشکلاتی مواجه می شود. کنترل فرکانس بار (LFC) یک تابع اصلی کنترل تولید خودکار سیستم (AGC) است. سیستم کنترل تولید خودکار AGC معمولاً در سه سطح است: سیستم کنترل اولیه وظیفه پاسخ به تغییرات بار جهت برگرداندن فرکانس کار سیستم به مقدار مطلوب را بر عهده دارد و این عمل توسط گاورنر انجام می شود. کنترل ثانویه بازگرداندن فرکانس به مقدار اسمی آن و حفظ تبادل قدرت در میان نواحی با تنظیم خروجی از ژنراتور انتخاب شده است. کنترل مرحله سه توزیع اقتصادی است و بازگرداندن سطح امنیت در صورت لزوم است.

عملکرد کنترل اولیه که معمولاً برای بازگرداندن فرکانس سیستم است، به ویژه در یک سیستم قدرت به هم پیوسته کافی نیست و حلقه کنترل ثانویه مورد نیاز است. کنترل ثانویه معمولاً به عنوان کنترل فرکانس بار اشاره شده است [۱]. با یک بررسی کامل از پیشرفت‌های اخیر در LFC مشاهده می شود امروزه LFC با افزایش اندازه و پیچیدگی سیستم‌های قدرت به هم پیوسته بسیار قابل توجه است [۲-۳]. تکنیک‌های کنترل چند متغیره را برای طراحی کنترل فرکانس بار متمرکز می توان مورد استفاده قرار داد. در [۴] کنترل فرکانس بار غیرمتمرکز برای سیستم‌های قدرت با عدم قطعیت پارامتری با استفاده از روش معادله ریکاتی مورد بحث قرار گرفته است. در [۵] راه حل طراحی کنترل فرکانس بار غیرمتمرکز به عنوان یک مشکل در طراحی کنترل کننده غیرمتمرکز برای یک سیستم کنترلی چند ورودی و چند خروجی و طراحی ناحیه LFC مورد بحث قرار گرفته است. در [۶] یک رویکرد سامانمند برای طراحی کنترل فرکانس بار غیرمتمرکز متوالی با روش سنتز  $H_1$  پیشنهاد شده است و در [۷] مطابقت با طرح غیرمتمرکز کنترل فرکانس بار برای کنار آمدن با تغییر در پارامترهای سیستم قدرت پیشنهاد شده است. بسیاری از روش‌ها نشان می دهد پیشنهاد روش کنترل دینامیکی برای کاربردهای صنعتی عملی نیست. طراحی کنترل کننده نوع PI و PID در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در [۸] طراحی کنترل فرکانس بار غیرمتمرکز نوع PI با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) و روش‌های نابرابری ماتریس خطی (LMI) و در [۹] استفاده از یک الگوریتم تکرار شونده LMI و [۱۰] کنترل فرکانس بار استفاده از برنامه ریزی منطق فازی کنترل کننده PI مورد بحث قرار گرفته است. در [۱۱-۱۳] با در نظر گرفتن روش‌های مختلف برای بهینه سازی دستاوردهای PID برای سیستم‌های قدرت سه ناحیه‌ای ارائه شده است. در این روش کنترل فرکانس بار بسیار ساده است روش طراحی بر روی پارامترها که به ساختار سیستم‌های قدرت تکیه می کنند. البته اگر پارامترها و یا ساختار تغییر کند، کنترل باید دوباره طراحی شود. در [۱۴] روش تنظیم برای توان‌های تک ناحیه‌ای مطرح شده است و نتیجه این

است که سیستم دو ناحیه‌ای [۱۵-۱۷] از طریق روش کنترل مدل داخلی (IMC) برای تنظیم PID کنترل فرکانس بار پیشنهاد شده است. نشان داده شد که با روش تنظیم دو پارامتر می‌تواند عملکرد خوبی برای سیستم‌های قدرت به دست آورد.

## سیستم مورد مطالعه:

کنترل فرکانس بار برای یک سیستم قدرت سه ناحیه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته که هر ناحیه دارای ساختار نشان داده شده در شکل ۱ است.



شکل ۱- بلوک دیاگرام کنترل ناحیه i

نام گذاری :

$\Delta f_i$  : تغییرات تدریجی فرکانس ناحیه i

$\Delta P_{G_i}$  : تغییرات تدریجی در خروجی ژنراتور در ناحیه i

$\Delta X_{G_i}$  : تغییرات تدریجی در موقعیت شیر گاورنر در ناحیه i

$\Delta X_{G_i}$  : اغتشاش بار در ناحیه i

$\Delta P_{tiei}$  : تغییرات تدریجی در توان بار tie-line بین ناحیه i و سایر نواحی

$G_{g_i}$  : تابع انتقال گاورنر در ناحیه i

$G_{t_i}$  : تابع انتقال توربین در ناحیه i

$G_{p_i}$  : تابع انتقال ژنراتور در ناحیه i

$R_i$  : مشخصه drooping

$B_i$  : تنظیمات بایاس فرکانس از ناحیه i

$T_{ij}$  : ضرایب هماهنگ‌سازی بین ناحیه i و j

سیستم قدرت سه ناحیه‌ای مورد بحث را در نظر بگیرید. توابع انتقال برای سیستم‌های قدرت عبارتند از:

$$G_{g_i} = \frac{1}{T_{G_i}s + 1}, G_{t_i} = \frac{1}{T_{T_i}s + 1} \text{ و } G_{p_i} = \frac{K_{p_i}}{T_{p_i}s + 1} \quad (1)$$

و تنظیمات بایاس فرکانس و ضرایب هماهنگ بصورت زیر است:

$$B_i = 0.4 \text{ و } T_{12} = T_{13} = T_{21} = T_{23} = T_{31} = T_{32} = 0.5 \quad (2)$$

برای نشان دادن عملکرد کنترل کننده PID،  $\Delta P_{d_i} = 0.01$  که در آن  $(i = 1, 2, 3)$  می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای سیستم کنترل

ناحیه	$T_{G_i}$	$T_{T_i}$	$T_{p_i}$	$K_{p_i}$	$R_i$
۱	۰/۰۸	۰/۳	۲۰	۱۲۰	۲/۴
۲	۰/۰۷۲	۰/۳۳	۲۵	۱۱۲/۵	۲/۷
۳	۰/۰۷	۰/۳۵	۲۰	۱۱۵	۲/۵

تابع هدف بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J = \int_0^t t(|ACE_i| + |P_{tiei}|) dt \quad (۳)$$

که در رابطه (۳)،  $ACE_i$  کنترل خطای ناحیه‌ای و  $P_{tiei}$  توان بار ناحیه‌ای است و همچنین محدوده  $K_i(s)$  در بازه [0,3] در نظر گرفته می‌شود که می‌توان به عنوان قید مسئله تعریف کرد.

### الگوریتم کلونی زنبور عسل:

الگوریتم‌های هوش ازدحامی مختلفی بر اساس رفتار زنبورها در طبیعت، موجود می‌باشند. الگوریتم مصنوعی کلونی زنبور عسل (ABC)، رفتار کاوشی زنبورها را شبیه‌سازی می‌کند. یک نهاد فردی (مانند یک زنبور در یک کلونی زنبور) نشان‌دهنده مجموعه ساده‌ای از سیاست‌های رفتاری (مانند مهاجرت، دفاع و مرگ) می‌باشد ولی یک گروه از نهادها (مانند یک کلونی زنبور) نشان‌دهنده رفتار پیشامدی پیچیده‌ای با ویژگی‌های مفید مانند مقیاس‌پذیری و سازگاری است. کلونی زنبور عسل یک الگوریتم شبیه‌سازی کننده رفتارهای کاوشی و هوشمندانه، مجموعه‌ای از زنبورهای عسل می‌باشد که توسط Basturk و Karaboga ارائه گردید. در این الگوریتم، زنبورها شامل زنبورهای کارگر، تماشچی و کاوشگر می‌باشد [۱۸]. یک زنبور منتظر جهت تصمیم‌گیری برای انتخاب یک منبع غذا، زنبور تماشچی نامیده می‌شود و زنبوری که منبع غذا توسط او نظارت می‌شود، زنبور کارگر است. نوع دیگری از زنبورها، زنبور کاوشگر می‌باشد که جستجوی تصادفی را برای کشف منابع جدید انجام می‌دهد. موقعیت یک منبع نشان‌دهنده یک راه حل ممکن برای مشکل بهینه‌سازی بوده و میزان شربت منبع (کیفیت غذا) به ارزش راه حل اضافه می‌گردد. یک ازدحام از زنبورهای مجازی تولید شده و جستجو به صورت تصادفی آغاز می‌گردد. زنبورها تا زمانی تعامل دارند، که شربت نهایی را بیابند و راه حل مشکل از طریق شدت تعامل‌های این زنبورها به دست آورده می‌شود. یک زنبور کارگر، راه حل‌ها را در حافظه خود و بسته به اطلاعات محلی (اطلاعات بصری) تولید می‌کند و میزان شربت (مقدار تناسب) منبع را بررسی می‌کند. با توجه به این موضوع که میزان شربت منبع جدید بالاتر از منبع قبلی باشد، زنبور موقعیت جدید را به خاطر سپرده و قبلی را فراموش می‌کند. پس از این‌که تمامی زنبورهای کارگر فرآیند جستجو را کامل نمودند، آن‌ها اطلاعات شربت منابع (غذا) و اطلاعات موقعیت آن‌ها را، برای مورچه‌های کاوشگر به اشتراک می‌گذارند. در فاز بعدی بر اساس میزان احتمال مربوط به منبع غذا یعنی  $P_i$ ، زنبور کاوشگر یک منبع غذا را انتخاب می‌کند.

$$P_i = \frac{food_i}{\sum_{n=1}^N food_n} \quad (۴)$$

در این جا،  $N$  تعداد منابع خوراکی است،  $food_i$  مقدار تناسب محلول  $i$  است که با میزان شربت منبع خوراکی در موقعیت  $i$  متناسب است. در آخرین فاز (تعویض زنبور و انتخاب)، اگر یک موقعیت را نتوان بهبود داد، آنگاه آن منبع خوراکی به صورت رد شده در نظر گرفته می‌شود. مقدار تعداد از پیش مشخص شده چرخه‌ها یک پارامتر کنترلی مهم از الگوریتم کلونی زنبور می‌باشد که حدی برای رهاسازی نامیده می‌شود. پس از هر عمل، موقعیت منبع تولید می‌شود و سپس توسط زنبور مصنوعی ارزیابی می‌شود و کارایی آن با کارایی نمونه قدیمی مقایسه می‌شود. اگر خوراکی جدید دارای شربت بهتر یا مساوی با منبع قدیمی باشد، جایگزین نمونه قدیمی در حافظه می‌شود. در غیر این صورت، منبع قدیمی در حافظه باقی می‌ماند. کارایی جستجوی محلی الگوریتم کلونی زنبور به جستجوی همسایگی و مکانیسم‌های انتخاب حریصانه توسط زنبورهای کارگر و کاوشگر بستگی دارد. کارایی جستجوی سراسری الگوریتم نیز به فرآیند جستجوی تصادفی انجام شده توسط زنبورهای کاوشگر و مکانیسم تولید راه حل مجاور توسط زنبورهای کاوشگر و کارگر وابسته می‌باشد.

### الگوریتم کرم شب تاب:

الگوریتم کرم شب تاب عنوان الگوریتم ذهنی مبتنی بر ازدحام، برای وظایف بهینه‌سازی محدود، توسط Yang ارائه شد. در این الگوریتم از رفتار تابشی کرم‌های شب تاب الهام گرفته شده است. این الگوریتم یک رویه تکراری مبتنی بر جمعیت را با عوامل بی‌شمار (تحت عنوان کرم‌های شب تاب) به کار می‌گیرد. به این عوامل امکان داده می‌شود تا فضای تابع هزینه را به صورت مؤثرتری نسبت به جستجوی تصادفی توزیع شده، بررسی کنند. تکنیک بهینه‌سازی هوشمند، مبتنی بر این فرضیه است که راه حل یک مشکل بهینه‌سازی را، می‌توان به عنوان عاملی (کرم شب تاب) در نظر گرفت که به صورت متناسب با کیفیت آن در یک محیط تابیده می‌شود. متعاقباً هر کرم شب تاب، هم‌تایان خود را جذب می‌کند که فضای جستجو را به صورت مؤثرتری بررسی می‌کند. الگوریتم کرم شب تاب دارای سه قانون خاص می‌باشد که مبتنی بر برخی ویژگی‌های کرم‌های شب تاب واقعی است. این سه قانون عبارتند از:

- ۱- تمامی کرم‌های شب تاب دوجنسیتی هستند و آن‌ها صرف نظر از جنسیت خود به صورت جذاب‌تر و شفاف‌تری حرکت خواهند کرد.
  - ۲- درجه جذابیت یک کرم شب تاب با درخشش آن متناسب است. همچنین ممکن است درخشندگی با افزایش فاصله از کرم‌های شب تاب دیگر کاهش یابد. حال اگر یک کرم شب تاب جذاب‌تر یا شفاف‌تری نسبت به این کرم وجود نداشته باشد، آنگاه به صورت تصادفی حرکت خواهد کرد.
  - ۳- درخشندگی یا شدت نور یک کرم شب تاب، توسط مقدار تابع هدف مشخص می‌شود [۱۹].
- این الگوریتم مبتنی بر برقراری ارتباط سراسری میان ذرات می‌باشد. بنابراین در بهینه‌سازی چند هدفی کارآمدتر و مؤثرتر است.

نتایج و بحث:

به منظور ارزیابی عملکرد روش‌های بهینه‌سازی، شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده است که نتایج زیر حاصل گردید.

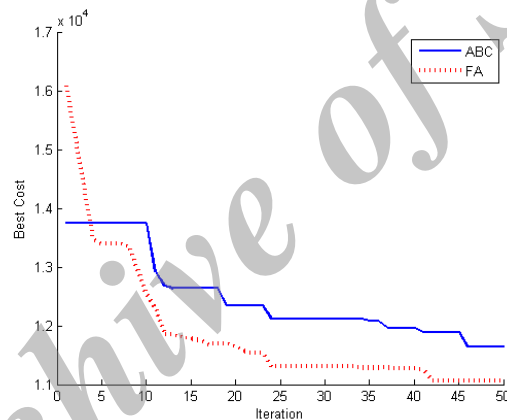
جدول ۲- نتایج تنظیم‌کننده به‌دست‌آمده با الگوریتم کلونی زنبورعسل

PID	P	I	D
$K_1(s)$	۱/۵۸۴۴	۲/۶۶۸۶	۱/۰۶۸۵
$K_2(s)$	۲/۹۴۵۷	۳	۱/۶۸۱۲
$K_3(s)$	۱/۴۵۲۸	۱/۸۰۴۴	۰/۶۶۷۲۲

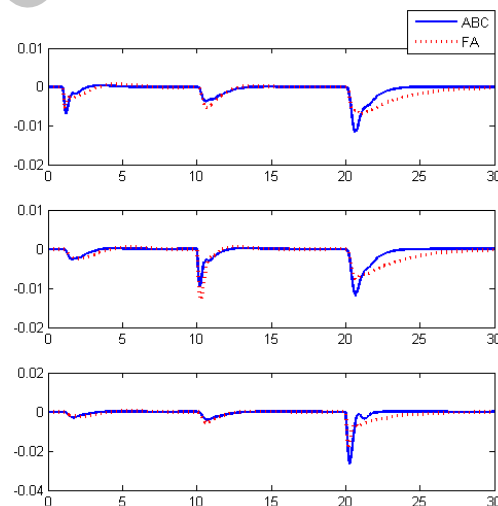
جدول ۳- نتایج تنظیم‌کننده به‌دست‌آمده با الگوریتم کرم شب‌تاب

PID	P	I	D
$K_1(s)$	۱/۰۲۱۲	۲/۲۳۳۱	۱/۸۲۵۸
$K_2(s)$	۱/۷۶۰۹	۲/۵۰۰۴	۱/۰۱۳۱
$K_3(s)$	۲/۱۳۱۶	۰/۹۹۹۶	۱/۳۵۸۳

شکل ۱ مشخصه همگرایی دو الگوریتم را در ۵۰ تکرار با تعداد ۲۰ اعضای جمعیت نمایش می‌دهد. مقایسه این دو مشخصه نشان می‌دهد که الگوریتم FA با دقت بیشتری به جواب بهینه‌تر همگرا می‌شود. و شکل ۲ پاسخ توان  $\Delta F$  سیستم سه ناحیه‌ای به کمک الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نتایج همگرایی الگوریتم‌های زنبورعسل و کرم شب‌تاب



شکل ۲- پاسخ توان  $\Delta F$  سیستم سه ناحیه‌ای به کمک الگوریتم‌های زنیورعسل و کرم شبتاب

در این مقاله بهینه‌سازی تنظیم‌کننده PID کنترل فرکانس بار با الگوریتم‌های کلونی زنیورعسل و کرم شبتاب مورد بررسی قرار گرفت. عمل طراحی برای سیستم‌های قدرت سه ناحیه‌ای انجام شد که توانست عملکرد میرایی خوبی ایجاد کند. نتایج نشان داد که الگوریتم FA با دقت بیشتری به جواب بهینه همگرا می‌شود، و از نظر میزان بهینگی نسبت به ABC کیفیت بالاتری دارد. همچنین با بررسی پاسخ‌های دو الگوریتم در چندین بار اجرا با جمعیت‌های مختلف، مشخص گردید FA نسبت به ABC پایدارتر است. بنابراین FA قابلیت حل مسئله بهینه‌سازی کنترل‌کننده PID را به خوبی داراست و نسبت به الگوریتم ABC جواب‌های بهینه‌تر و مشخصه همگرایی مطلوب‌تری دارد.

منابع مورد استفاده:

- [1] Kundur P. Power system stability and control. McGraw-Hill; 1994.
- [2] Ibrabeem PK, Kothari DP. Recent philosophies of automatic generation control strategies in power systems. IEEE Trans Power Syst 2005;20(1):346–57.
- [3] Shayeghi H, Shayanfar HA, Jalili A. Load frequency control strategies: a state-of-the-art survey for the researcher. Energy Convers Manage 2009;50(2):344–53.
- [4] Lim KY, Wang Y, Zhou R. Robust decentralized load-frequency control of multiarea power systems. IEE Proc Part C 1996;143:377–86.
- [5] Yang TC, Ding ZT, Yu H. Decentralized power system load-frequency control beyond the limit of diagonal dominance. Int J Elect Power Energy Syst 2002;24(3):173–84.
- [6] Bevrani H, Mitani Y, Tsuji K. Sequential design of decentralized load frequency controllers using l synthesis and analysis. Energy Convers Manage 2004;45:865–81.
- [7] Zribi M, Al-Rashed M, Alrifai M. Adaptive decentralized load frequency control of multi-area power systems. Int J Elect Power Energy Syst 2005;27:575–83.
- [8] Rerkpreedapong D, Hasanovic A, Feliachi A. Robust load frequency control using genetic algorithms and linear matrix inequalities. IEEE Trans Power Syst 2003;18(2):855–61.
- [9] Bevrani H, Mitani Y, Tsuji K. Robust decentralized load-frequency control using an iterative linear matrix inequalities algorithm. IEE Proc Gener Transm Distrib 2004;151(3):347–54.
- [10] Chang CS, Fu WH. Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers. Elect Power Syst Res 1997;42(2):145–52.
- [11] Ghoshal SP, Goswami SK. Application of GA based optimal integral gains in fuzzy based active power-frequency control of non-reheat and reheat thermal generating systems. Elect Power Syst Res 2003;67:79–88.
- [12] Ghoshal SP. Application of GA/GA-SA based fuzzy automatic generation control of a multi-area thermal generating system. Elect Power Syst Res 2004;70:115–27.
- [13] Ghoshal SP. Optimization of PID gains by particle swarm optimizations in fuzzy based automatic generation control. Elect Power Syst Res 2004;72:203–12.
- [14] A. Khodabakhshian, N. Golbon, Unified PID design for load frequency control. In: Proc 2004 IEEE int conf on control applications (CCA), Taipei, Taiwan; 2004. p. 1627–32.
- [15] Khodabakhshian A, Edrisi M. A new robust PID load frequency controller. Control Eng Pract 2008;16:1069–80.
- [16] Tan W. Tuning of PID load frequency controller for power systems. Energy Convers Manage 2009;50(6):1465–72.
- [17] Tan W. Unified tuning of PID load frequency controller for power systems via IMC. IEEE Trans Power Syst 2010;25(1):341–50.
- [18] Karaboga. D and Basturk. B, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, Journal of Global Optimization 39, 459–471, 2009.
- [19] Yang. X.S, Firefly algorithm for multimodal optimization in proceedings of the stochastic Algorithms, Foundations and Applications(SAGA 109) , 5792 of Lecture notes in Computer Sciences Springer,2009.