

## طراحی کنترل کننده فازی جدید جهت استفاده برای کنترل اتوماتیک تولید (AGC) سیستم حرارتی چند ناحیه‌ای به هم پیوسته

بابک محمودی<sup>۱\*</sup>، سید سعیداله مرتضوی<sup>۲</sup>، حسن براتی<sup>۳</sup>

\* ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،

*b\_mahmoodi57@yahoo.com*

۲- دانشیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، *mortazavi\_s@scu.ac.ir*

۳- استادیار گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، *barati216@gmail.com*

چکیده: در این مقاله، مسئله کنترل اتوماتیک تولید (AGC) سیستم حرارتی سه و پنج ناحیه‌ای با نواحی غیر یکسان و توربین‌هایی با قید نرخ تولید 3% مورد بررسی قرار گرفته و کنترل کننده بهینه فازی جدیدی جهت استفاده در AGC پیشنهاد داده شده است. این کنترل کننده فازی با استفاده از تکنیک تکاملی محاسباتی الگوریتم ژنتیک بهینه شده است. مقایسه رفتار دینامیکی سیستم در حضور کنترل کننده پیشنهادی و کنترل کننده‌های مرسوم، برتری کنترل کننده پیشنهادی را برای AGC نشان می‌دهد. آنالیز حساسیت کنترل کننده پیشنهادی نسبت به تغییرات پارامترهای سیستم (ثابت اینرسی  $H$ ، ثابت زمانی ری هیتر  $T_r$  و ضریب ری-هیتر  $K_r$ ) انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی بدست آمده از آنالیز حساسیت، برتری کنترل کننده فازی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، سیستم پنج ناحیه‌ای حرارتی، *SLP*, *AGC*, *FLPDC*

### ۱- مقدمه

دارای کمبود است که یا به سیستم‌های با نواحی کم می‌پردازند یا این-که کنترل کننده ثانویه به کار رفته در AGC کنترل کننده‌های کلاسیکی هستند که با توجه به مدل خطی شده سیستم قدرت حول نقطه کار معینی طراحی شده‌اند، با تغییر نقطه کار سیستم این کنترل کننده‌ها به تنظیم مجدد نیاز پیدا می‌کنند. بنابراین استفاده از کنترل کننده‌های غیر خطی و یا هوشمند به عنوان کنترل کننده ثانویه به کار رفته در AGC مناسب‌تر به نظر می‌رسد. برای طراحی کنترل کننده‌های غیرخطی به نوشتن روابط دقیق ریاضی حاکم بر سیستم نیاز است، در صورتی که در کنترل هوشمند نیازی به روابط سیستم نمی‌باشد. در [6] از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت کنترل اتوماتیک تولید سیستم سه ناحیه‌ای استفاده شده است. یکی از مشکلات اصلی استفاده از این شبکه‌ها، نیاز به داده‌های آموزشی زیاد است. کنترل کننده‌های فازی از نوع کنترل کننده‌های هوشمند هستند که با توجه به قوانین تجربی طراحی می‌شوند و به تغییر نقطه کار، پارامترها و ساختار سیستم حساس نیستند و در عمل نیز به راحتی می‌توان آن‌ها را به کار گرفت [7, 8]. در [7] کنترل کننده PI فازی برای AGC سیستم قدرت دوناچه‌ای به کار گرفته شده است. سیستم‌های قدرت بزرگ دارای تعداد نواحی کنترلی بیشتری هستند و با افزایش تعداد نواحی سیستم حل مسئله AGC دشوارتر می‌شود.

کنترل اتوماتیک تولید (AGC) یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی و عمل کرد سیستم قدرت است. سیستم کنترل AGC به خاطر نقشی که در امنیت سیستم قدرت، تثبیت سرعت موتورهای القایی و سنکرون و در نتیجه بهبود عمل کرد واحدهای نیروگاهی دارد، دارای اهمیت فراوان است [1]. AGC سیستم کنترلی است که عمدتاً دو هدف دارد [2]:

۱. حفظ فرکانس سیستم در مقدار نامی در حالت عمل کرد عادی و به خصوص پس از بروز اغتشاشات سیگنال کوچک مثل قطع و وصل بارها.

۲. حفظ توان تبادلی بین نواحی کنترلی همسایه در یک سیستم قدرت بزرگ.

در دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی در حوزه AGC انجام شده است، اکثر تحقیقات به بررسی AGC در سیستم دوناچه‌ای با نواحی یکسان می‌پردازند [3]. در [4, 5] مسئله AGC در سیستم دوناچه‌ای بررسی شده است. در [3] کاربری کنترل کننده‌های کلاسیک در AGC سیستم‌های چند ناحیه‌ای با هم مقایسه شده‌اند و کنترل کننده  $^2$ IDD به عنوان بهترین آن‌ها انتخاب شده است. تحقیقات فوق از این جهت

با توجه به استراتژی مسئله تابع هدفی به صورت زیر برای الگوریتم بهینه‌سازی GA در نظر گرفته شده است:

$$J = \int_0^T \{ (\Delta f_i)^2 + (\Delta P_{tiei-j})^2 \} dt \quad (1)$$

که در آن  $\Delta f_i$  تغییرات فرکانس در ناحیه  $i$  و  $\Delta P_{tiei-j}$  تغییرات توان تبادل بین ناحیه  $i$  و دیگر نواحی است. در [3] عمل کرد کنترل‌کننده‌های کلاسیک و مرسوم (I, PI, PID و IDD) در AGC با هم مقایسه شده است که همه کنترل‌کننده‌ها پاسخ تقریباً مشابهی دارند. از میان کنترل‌کننده‌های فوق کنترل‌کننده (IDD) پاسخ نسبتاً بهتری را فراهم می‌کند. تمام کنترل‌کننده‌های فوق با توجه به مدل خطی شده سیستم قدرت حول نقطه کار مشخص طراحی شده‌اند، در صورتی که سیستم قدرت، سیستمی غیرخطی و پیچیده است. در اینجا از کنترل‌کننده فازی در AGC استفاده شده است و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مقایسه‌ای انجام شده عمل کرد برتر این کنترل‌کننده را نشان می‌دهد.

### ۳- کنترل‌کننده فازی (FLPDC)

یکی از مزیت‌های مهم کنترل‌کننده‌های فازی نسبت به دیگر انواع کنترل‌کننده‌ها این است که این کنترل‌کننده به تغییر ساختار سیستم، نقطه کار و مقدار پارامترهای سیستم حساس نیست. شکل ۲ کنترل‌کننده فازی پیشنهادی را نشان می‌دهد که یک کنترل‌کننده PD است و برای بخش استنتاج آن از قوانین تاکاگی-ساجینو استفاده شده است (TS\_FLC<sup>۵</sup>). ورودی‌های کنترل‌کننده خطای ناحیه (ACE<sup>۶</sup>) و مشتق مرتبه اول زمانی آن (ACE<sup>۷</sup>) می‌باشند. خروجی آن نیز نقطه تنظیم گاورنرها را مشخص می‌کند. به طور کلی کنترل‌کننده فازی نوع TS یک کنترل‌کننده غیرخطی دارای گین‌های متغیر و قوانین خطی می‌باشد [7]. گین‌های کنترل‌کننده با تغییر بردار ورودی تغییر می‌کنند. تمام پارامترهای تشکیل دهنده قوانین فازی قابل تنظیم می‌باشند و تعداد آن‌ها با افزایش ورودی‌ها افزایش می‌یابد.

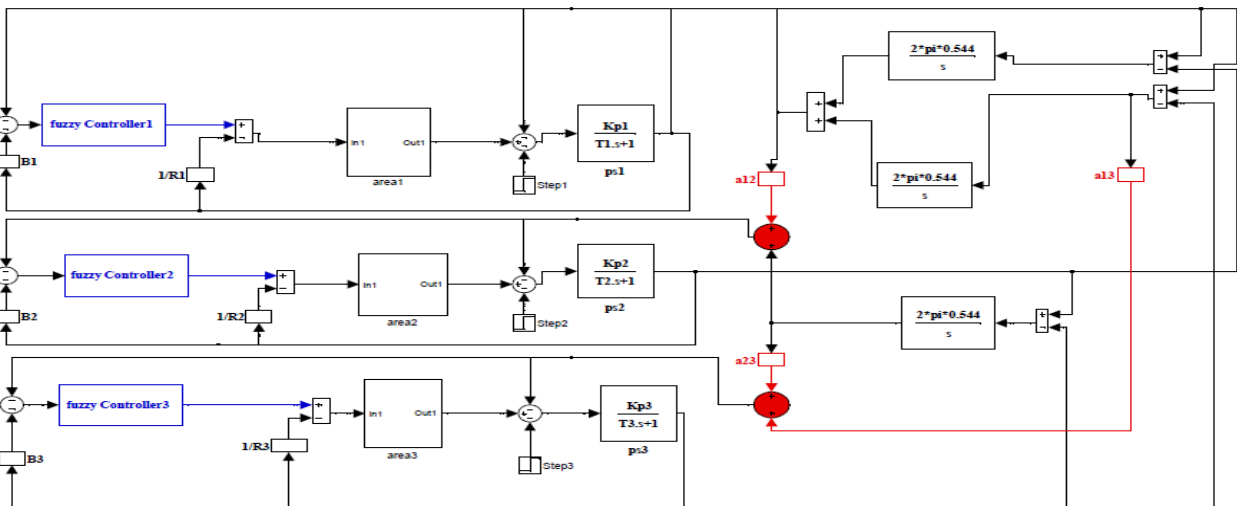
در این مقاله، کنترل‌کننده بهینه PD فازی (FLPD<sup>۸</sup>) تاکاگی-ساجینو جهت به‌کارگیری در AGC سیستم‌های حرارتی سه و پنج ناحیه‌ای با نواحی غیر یکسان پیشنهاد شده است. برای بهینه‌سازی کنترل‌کننده فازی از الگوریتم محاسباتی تکاملی ژنتیک (GA<sup>۹</sup>) استفاده شده است. با توجه به دو عمل تقاطع و جهش ژنی احتمال این‌که این الگوریتم در تله بهینه محلی قرار بگیرد کم است [9]. بخش‌های دیگر مقاله به قرار زیر است:

در بخش ۲ مدل سیستم بررسی شده آورده شده است. در بخش ۳ کنترل‌کننده فازی معرفی شده است. در بخش ۴ الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک توضیح داده شده است. در بخش ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آورده شده است. در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری آمده است.

### ۲- سیستم تحت بررسی

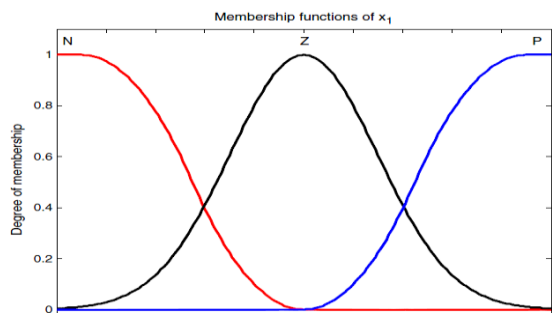
مطالعات بر روی سیستم حرارتی سه ناحیه‌ای دارای نواحی غیر یکسان با ظرفیت‌های  $area_1=2000MW$ ,  $area_2=4000MW$  و  $area_3=8000MW$  و سیستم پنج ناحیه‌ای با ظرفیت‌های  $area_1=2000MW$ ,  $area_2=4000MW$ ,  $area_3=8000MW$  و  $area_4=10000MW$ ,  $area_5=120000MW$  که دارای توربین‌های دارای ری‌هیتر با قید نرخ تولید 3% هستند، انجام شده است. مقادیر پربونیت پارامترهای متفاوت در نواحی مختلف در مبنای مربوطه مقدار مشابهی دارند، در مدل‌سازی نواحی به هم پیوسته با ظرفیت‌های متفاوت، پارامتر  $a_{ij} = -P_{ij}/P_{ij}$  در مدل سیستم لحاظ شده است [3]. برای مثال  $a_{12} = -P_{12}/P_{12}$  می‌باشد.

دیاگرام سیستم سه‌ناحیه‌ای در شکل ۱ آمده است. در هر ناحیه دو زیرسیستم وجود دارد. یکی از زیرسیستم‌ها مربوط به کنترلر هر ناحیه و دیگری مربوط به مدل عناصر آن ناحیه است. دیاگرام بلوکی زیرسیستم‌ها به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. هر ناحیه شامل گاورنر و توربین‌های دارای ری‌هیتر با محدودیت نرخ تولید می‌باشد. دیاگرام سیستم پنج ناحیه‌ای نیز با توجه به سیستم سه ناحیه‌ای قابل ترسیم است.



شکل (۱): بلوک دیاگرام سیستم حرارتی سه ناحیه‌ای مورد مطالعه.

توابع عضویت نقش مهمی را در عمل کرد کنترل کننده بازی می‌کند. رنج عمل کرد متغیرها باید به وسیله توابع عضویت انتخاب شده، کاملاً پوشش داده شود [8,7]. در اینجا با توجه به نوع سیستم و با سعی و خطا توابع عضویت به صورت دو تابع سیگموئید در کنار و یک تابع گوسی در وسط انتخاب شده اند که در شکل ۳ قابل مشاهده هستند. مقدار بهینه گین‌های کنترل کننده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده‌اند.



شکل (۳): توابع عضویت کنترل کننده‌های فازی

#### ۴- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک (GA)

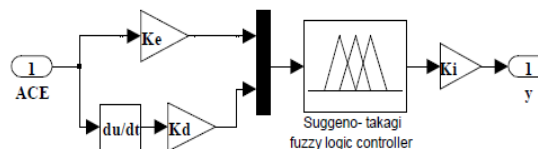
الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی و جستجو است. الگوریتم ژنتیک جزئی از محاسبات تکاملی است که خود بخشی از هوش مصنوعی می‌باشد. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوانیم آن را یک جستجوگر تصادفی ساده قلمداد کنیم.

الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از جواب‌ها که از طریق کروموزوم‌ها نشان داده می‌شوند شروع می‌شود. این مجموعه جواب‌ها جمعیت اولیه نام دارند. در این الگوریتم جواب‌های حاصل از یک جمعیت برای تولید جمعیت بعدی استفاده می‌شوند. در این فرآیند امید است که جمعیت جدید نسبت به جمعیت قبلی بهتر باشد. انتخاب بعضی از جواب‌ها از میان کل جواب‌ها (والدین Parent) به منظور ایجاد جواب‌های جدید یا همان فرزندان (Offspring) بر اساس میزان مطلوبیت آنها می‌باشد. طبیعی است که جواب‌های مناسب‌تر شانس بیشتری برای تولید مجدد داشته باشند. این فرایند تا برقراری شرطی که از پیش تعیین شده است (مانند تعداد جمعیت‌ها یا میزان بهبود جواب) ادامه می‌یابد [8].

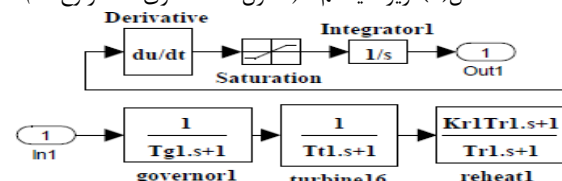
فلوچارت مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک در شکل ۴ آورده شده است. خلاصه مراحل ذکر شده را می‌توان به شکل زیر تشریح نمود [8,9]:

**مرحله ۱:** ابتدا با توجه به صورت مسأله، متغیرهایی که باید تعیین شوند، مشخص می‌شوند. سپس این متغیرها به نحو مناسبی کدگذاری شده و به شکل کروموزوم نمایش داده می‌شوند. براساس تابع هدف، یک تابع برازندگی برای کروموزوم‌ها تعریف می‌گردد و یک جمعیت اولیه دل‌خواه نیز بطور تصادفی انتخاب می‌شود. دنبال آن، میزان تابع برازندگی برای هر کروموزوم جمعیت اولیه حساب می‌شود.

در عمل تنظیم دستی این پارامترها ممکن است نامناسب، نا کارآمد و خصوصاً در مواردی که پارامترها زیادند غیر ممکن باشد. معمولاً از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای تنظیم پارامترها استفاده می‌شود.



شکل (۲): زیر سیستم (۱) کنترل کننده فازی PD از نوع (TS)



شکل (۳): زیر سیستم (۲) (دیگرام بلوکی عناصر یک ناحیه)

با توجه به شکل ۱ رابطه بین ورودی و خروجی کنترل کننده به صورت زیر است:

$$y = K_e K_i ACE + K_d K_i \overset{0}{ACE} \quad (2)$$

که  $y$  خروجی،  $ACE^0$  و  $ACE$  ورودی‌های و  $K_e, K_d, K_i$  گین‌های کنترل کننده می‌باشند. برای هر ورودی سه تابع عضویت در نظر گرفته شده است. بنابراین تمام فضای کنترل با نه قانون پوشش داده می‌شود که به شکل زیرند:

Rule: If  $x_1$  is  $A_1^l$  and  $x_2$  is  $A_2^l$

Then  $y^l = a_1^l x_1 + a_2^l x_2 + a_0$

که  $Ru^l$  معرف یک قانون فازی برای  $x_1$  و  $x_2$ ،  $l=1,2,3,\dots,9$  ورودی‌های قانون  $Ru^l$ ،  $A_i^l$  یک مجموعه فازی،  $a_i^l$  گین‌های قانون مربوطه و  $y^l$  مجموعه قاطع خروجی می‌باشد. این کنترل کننده با استفاده از روابط فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مرکز طراحی شده است و کنترل کننده قوی است. به طور ساده روند طراحی در زیر آمده است:

- انتخاب دو ورودی  $x_1$  و  $x_2$  که به ترتیب  $x_1$  خطای کنترل ناحیه ( $ACE$ ) و  $x_2$  مشتق خطای کنترل ناحیه ( $ACE^0$ ) می‌باشند.
- انتخاب سه تابع عضویت ( $MFS$ ) برای هر ورودی در رنج  $[-1, 1]$ .
- تعریف قوانین فازی که با توجه به تعداد ورودی‌ها نه تا می‌باشند و به طور خلاصه در زیر آمده‌اند:

- Rule 1: If  $x_1$  is P and  $x_2$  is P Then  $y=1$
- Rule 2: If  $x_1$  is P and  $x_2$  is Z Then  $y=0.75$
- Rule 3: If  $x_1$  is P and  $x_2$  is N Then  $y=0.25$
- Rule 4: If  $x_1$  is Z and  $x_2$  is P Then  $y=0.5$
- Rule 5: If  $x_1$  is Z and  $x_2$  is Z Then  $y=a_1 x_1 + a_2 x_2$
- Rule 6: If  $x_1$  is Z and  $x_2$  is N Then  $y=-0.5$
- Rule 7: If  $x_1$  is N and  $x_2$  is P Then  $y=-0.25$
- Rule 8: If  $x_1$  is N and  $x_2$  is Z Then  $y=-0.75$
- Rule 9: If  $x_1$  is N and  $x_2$  is N Then  $y=-1$

### ۵- نتایج شبیه سازی

این بخش شامل سه قسمت می‌باشد: در قسمت اول نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم سه ناحیه‌ای و در قسمت دوم نتایج مربوط به شبیه‌سازی سیستم پنج ناحیه‌ای آورده شده است. در قسمت سوم نتایج حاصل از آنالیز حساسیت کنترل‌کننده‌ها آورده شده است. در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته از نرم افزار MATLAB/ SIMULINK استفاده شده است.

### ۵-۱- سیستم سه ناحیه‌ای

عملکرد دینامیکی کنترل‌کننده IDD و کنترل‌کننده فازی پیشنهادی با ایجاد 1% تغییر پله‌ای در بار ناحیه یک (SLP=1%) با هم مقایسه شده است. مقادیر پارامترهای سیستم از [3] برداشته و در ضمیمه A آورده شده است. مقادیر بهینه گین‌های کنترل‌کننده فازی که با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده‌اند، در جدول ۱ آورده شده است.

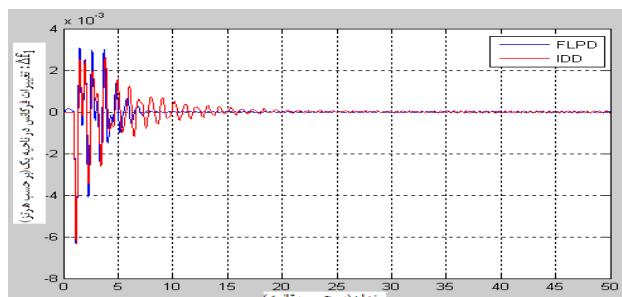
کنترل‌کننده IDD از گروه کنترل‌کننده‌های کلاسیک می‌باشد که تابع تبدیل آن به شکل زیر است:

$$TF_{IDD} = \frac{K_I}{S} + K_{DD}S^2 \quad (2)$$

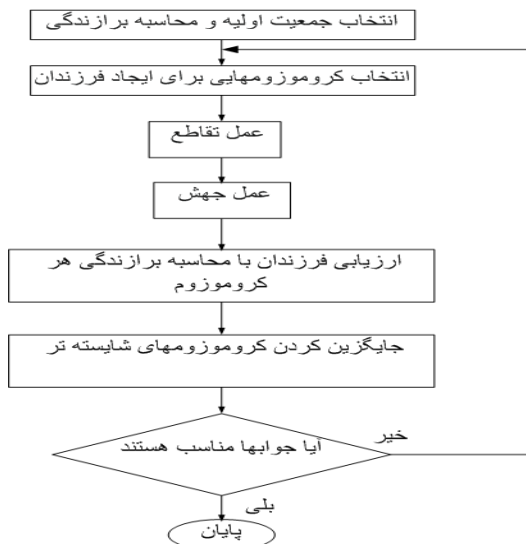
شکل ۵ پاسخ‌های دینامیکی تغییرات فرکانس در نواحی مختلف و نیز تغییرات توان تبدیلی بین نواحی مختلف به عنوان تابعی از زمان را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مقادیر بهینه برای گین‌های کنترل‌کننده فازی

مقدار بهینه پارامتر شماره ناحیه	$K_c$	$K_d$	$K_i$
۱	0.0042	5.0018	1.3132
۲	0.0015	4.1030	1.1893
۳	0.0013	4.3103	1.2843



الف: تغییرات فرکانس در ناحیه ۱



شکل (۴): فلوچارت مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

**مرحله ۲:** در این مرحله، تعداد مناسبی از زوج کروموزوم‌ها بر اساس میزان برازندگی آنها انتخاب می‌شوند تا در مراحل بعدی مورد استفاده قرار بگیرند. کروموزوم‌هایی که دارای عدد برازندگی بالایی هستند، ممکن است چندین بار در مراحل تولید انتخاب شوند، در حالی که کروموزوم‌هایی که برازندگی آنها کم می‌باشد، ممکن است هیچ‌گاه انتخاب نگردند. ساده‌ترین روش برای اجرای این مرحله، استفاده از مدل چرخ رولت *Roulette Wheel* است.

**مرحله ۳:** در این مرحله عملگر تقاطعی با احتمال  $P_c$  بر روی کروموزوم‌های والد عمل کرده و با ترکیب آنها، کروموزوم‌های جدیدی (فرزندان) را تولید می‌کند.

**مرحله ۴:** در این مرحله عمل جهش با احتمال  $P_m$  بر روی کروموزوم‌های حاصل از عمل جابجایی انجام شده و با تغییر بیت‌های این کروموزوم‌ها، راهی را برای ورود اطلاعات جدید بوجود می‌آورد.

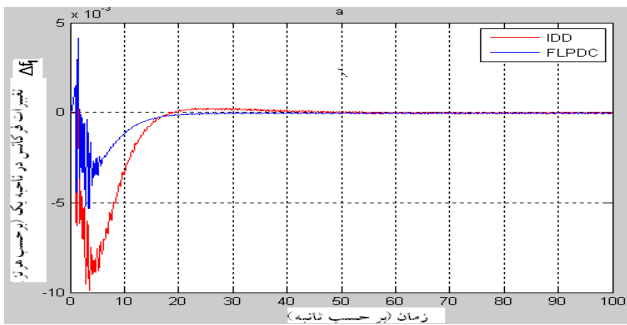
**مرحله ۵:** در این مرحله به منظور ارزیابی فرزندان، مقدار برازندگی کروموزوم‌های جدید محاسبه می‌گردد.

**مرحله ۶:** در این مرحله، جمعیت جدید برای ورود به مرحله بعد الگوریتم، انتخاب می‌گردد. این کار با مقایسه مقدار برازندگی کروموزوم‌ها انجام می‌شود.

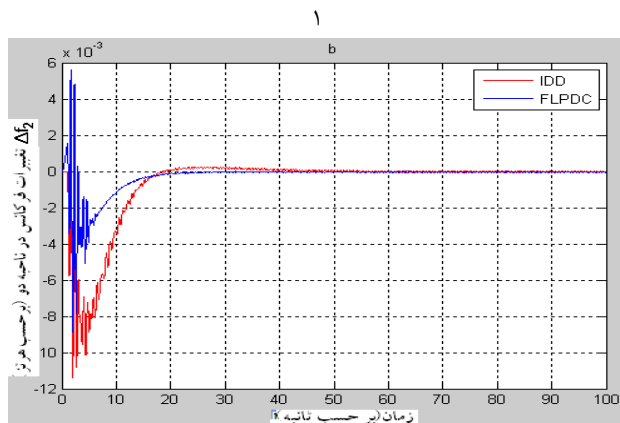
**مرحله ۷:** در این مرحله همه افراد جمعیت جدیدالورود مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. چنانچه شرایط خاتمه الگوریتم فراهم باشد، الگوریتم پایان می‌پذیرد و در غیر این صورت جمعیت موجود به عنوان جمعیت اولیه برای مرحله بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۲): مقادیر بهینه کنترل کننده فازی سیستم پنج ناحیه‌ای

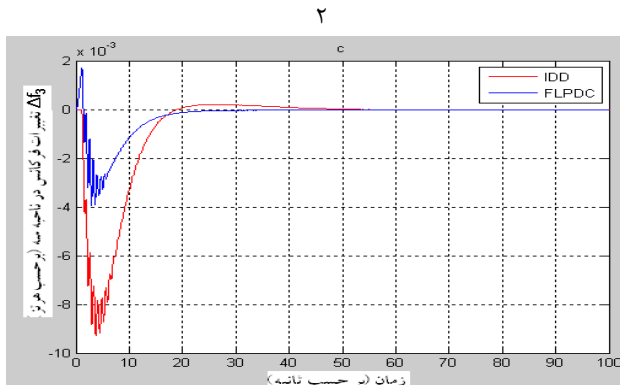
مقدار بهینه پارامترها شماره ناحیه	$K_p$	$K_c$	$K_i$
۱	0.۰۰۲۲	5.0013	۱.۲283
۲	۰.۰۰۱۱	5.0030	۱.0463
۳	۰.۰۰۱۶	5.0103	۱.۲86۳
۴	۰.۰۰۱۴	5.004	۱.۲۹79
۵	۰.۰۰۱۴	5.0015	۱.۲۹۸۷



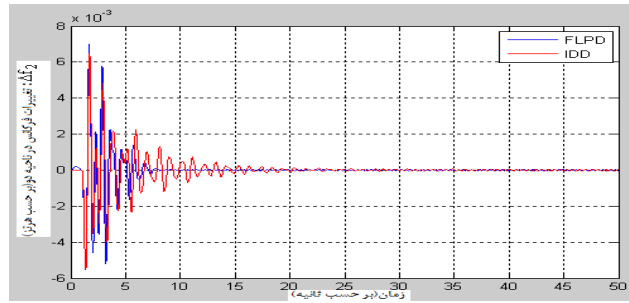
الف: تغییرات فرکانس در ناحیه



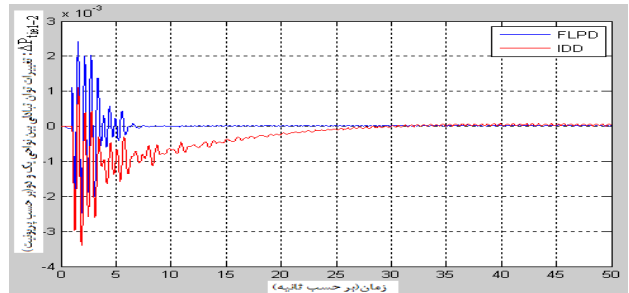
ب: تغییرات فرکانس در ناحیه



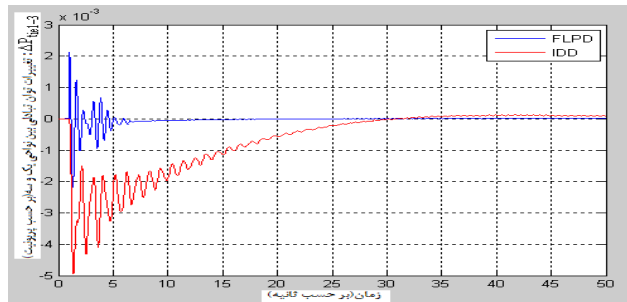
پ: تغییرات فرکانس در ناحیه ۳



الف: تغییرات فرکانس در ناحیه ۴



پ: تغییرات توان تبدالی بین نواحی ۱ و ۲



ت: تغییرات توان تبدالی بین نواحی ۱ و ۳

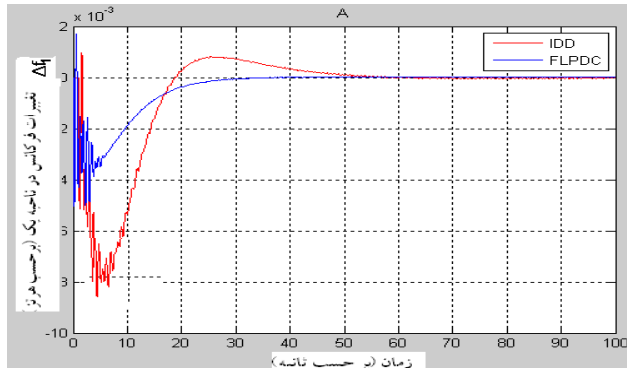
شکل (۵): مقایسه عملکرد کنترلر فازی و IDD در سیستم سه ناحیه‌ای

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که کنترل کننده فازی پیشنهادی پاسخ‌های بهتری را فراهم می‌کند.

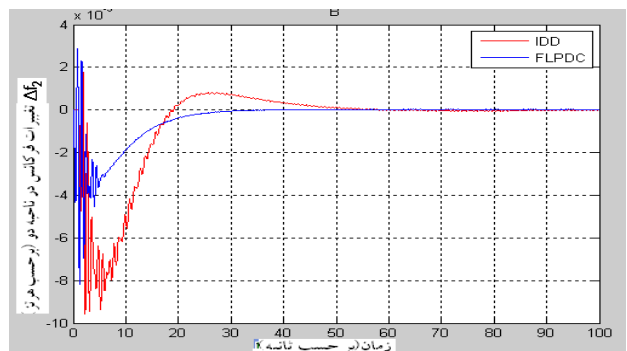
## ۵-۲- سیستم پنج ناحیه‌ای

پاسخ دینامیکی سیستم شکل ۱ با ایجاد  $SLP=1\%$  در ناحیه یک برای کنترل کننده IDD و کنترل کننده فازی پیشنهادی در شکل ۶ ترسیم شده است. مقادیر بهینه بدست آمده برای کنترل کننده فازی در جدول ۲ آورده شده است. این نتایج با اجرای الگوریتم ژنتیکی با تعداد جمعیت اولیه ۱۴ و ۳۰۰ تکرار بدست آمده‌اند:

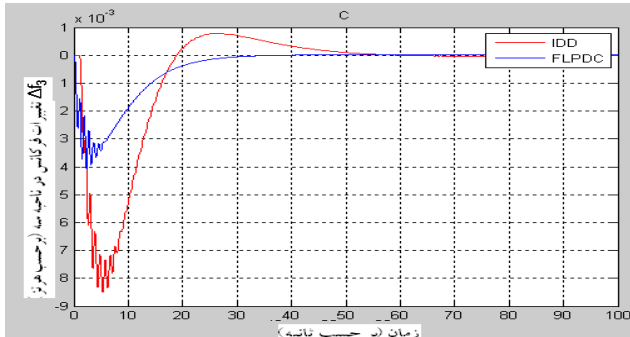
در ناحیه یک بعد از تغییر پارامترهای نواحی مختلف در شکل ۷ آورده شده است.



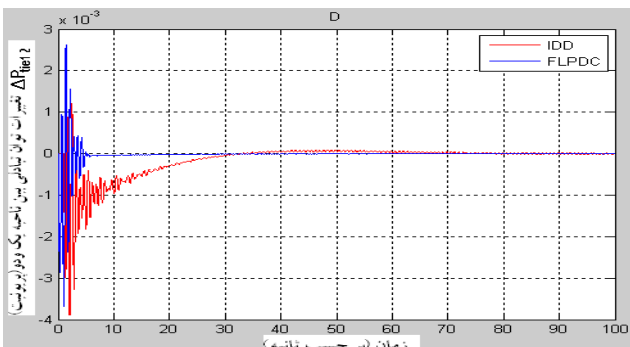
الف: تغییرات فرکانس در ناحیه ۱



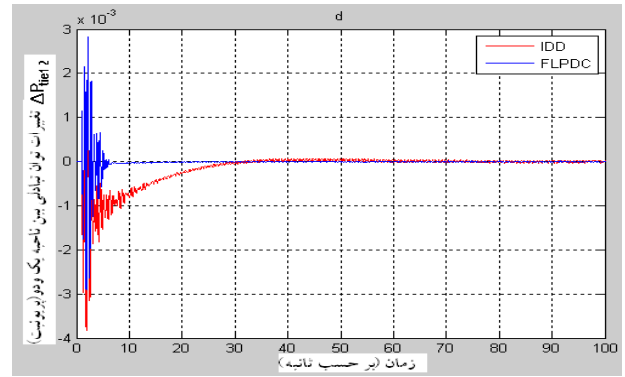
ب: تغییرات فرکانس در ناحیه ۲



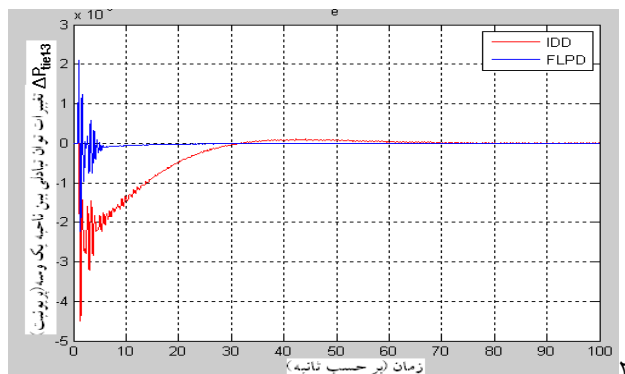
پ: تغییرات فرکانس در ناحیه ۳



ت: تغییرات توان تبدالی بین نواحی ۱ و ۲



ت: تغییرات توان تبدالی بین ناحیه ۱ و ۲

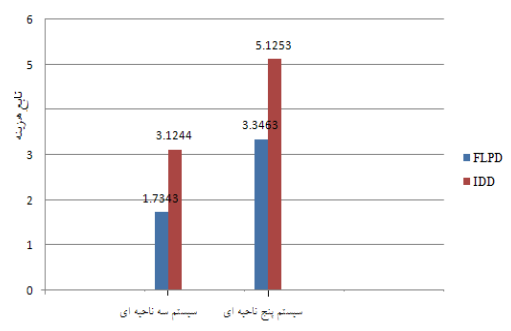


ث: تغییرات توان تبدالی بین ناحیه ۱ و ۳

شکل (۶): مقایسه عمل کرد کنترلر فازی و IDD بکار رفته در سیستم پنج ناحیه‌ای

با توجه به شکل ۶ کنترل کننده فازی عملکرد مناسبتری نسبت به کنترلر IDD دارد.

در شکل ۷ مقدار تابع هزینه (J) برای هر دو سیستم بررسی شده، ترسیم شده است.



شکل (۷): مقدار تابع هزینه به ازای کنترلرهای مختلف

با توجه به شکل ۷ عملکرد کنترلر فازی مناسبتر است.

### ۳-۵- آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت برای سنجش قدرت کنترل کننده پیشنهادی با تغییر بزرگی در پارامترهای سیستم (۵۰٪ تغییر در  $H$  و  $T_r$  و  $K_r$ ) در هر ناحیه انجام شده است. پاسخ دینامیکی سیستم به ازای  $SLP=1\%$

$K_{pi}=120\text{Hz/p.u.MW}$ ; loading=50%;  $T_{ij}=0.544$ ;

### مراجع

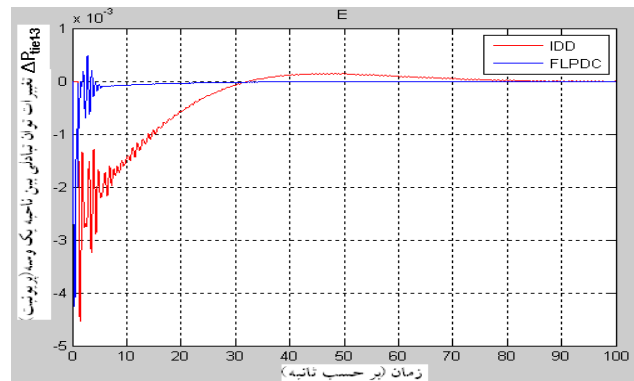
- [1] Swasti R. Khuntia, Sidhartha Panda "A Novel Approach for Automatic Generation Control of a Multi-Area Power System", IEEE CCECE, 1182-1187, Canada, 2011.
- [2] Kundur Prabha. "Power system stability and control", McGraw-Hill, 1994.
- [3] Lalit Chandra Saikia, J. Nanda, S. Mishra "Performance comparison of several classical controllers in AGC for multi-area interconnected thermal system" Electrical Power and Energy Systems, vol. 33, pp. 394-401, 2011.
- [4] C.Ertugrul and I.Kocaarslan, "load frequency control in two area power system", Elect power and energy Syst, vol 46, pp.233-243, 2005.
- [5] N .L.Kothari, J.Nanda, D.P. Kolwbi D.Das," discrete-mode Approach Automatic Generation Control of a two area interconnected thermal system ",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 2, May 1989.
- [6] Swasti R. Khuntia, Sidhartha Panda "A Novel Approach for Automatic Generation Control of a Multi-Area Power System", IEEE CCECE, 1182-1187, Canada, 2011.
- [7] C.Ertugrul and I.Kocaarslan, "A fuzzy gain scheduling PI controller application for an interconnected power system", Elect Power Syst Res, Vol. 73, pp.267-274, 2005.
- [8] Mohammad Mehdi Fateh, "Robust Fuzzy Control of Electrical Manipulators," J Intell Robot Syst, springer, 22 june 2010.Swasti R. Khuntia, Sidhartha Panda "A Novel Approach for Automatic Generation Control of a Multi-Area Power System", IEEE CCECE, 1182-1187, Canada, 2011.
- [9] Charles L.Karr and L.M. Freeman "Industrial Applications of genetic Algorithms ", CRC Press, 1999.
- [10] Coley a David "An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers", World Scientific press, 1999.
- [11] Edwin K.P Chong and Stanislaw H.Zak "An Introduction to Optimization", Wiley, Second Edition, New York, 2001.

### رزومه



**بابک محمودی** در ایذه متولد شده است (۱۳۶۴). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد دزفول (۱۳۸۷) سپری کرده است، و هم اکنون (۱۳۹۱) دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق -

قدرت همان واحد می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه دینامیک و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است.



ش: تغییرات توان تبادل بین نواحی ۱ و ۳  
 شکل (۷): مقایسه عملکرد کنترلر فازی و کنترلر IDD بعد از تغییر پارامترهای سیستم قدرت

با توجه به شکل ۷ اگرچه کنترلر IDD پاسخ‌های نسبتاً خوبی را حتی بعد از تغییر پارامترهای سیستم فراهم می‌کند، اما عمل کرد دینامیکی کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بسیار بهتر است. با دقت در شکل مشاهده می‌شود که کنترل‌کننده فازی به تغییر در پارامترهای سیستم حساس نیست.

### ۶- نتیجه گیری

کنترل‌کننده‌های کلاسیک بسیاری (مثل I, PI, ID, PID و IDD) جهت AGC سیستم‌های قدرت استفاده شده‌اند. این کنترل‌کننده‌ها با توجه به مدل خطی شده سیستم حول نقطه کار مشخص طراحی شده‌اند و همه آن‌ها کم و بیش پاسخ دینامیکی مشابهی را فراهم می‌کنند. در این مقاله کنترلر PD فازی جهت بکارگیری در AGC سیستم حرارتی چند ناحیه‌ای پیشنهاد شده است، که نسبت به کنترل‌کننده‌های مرسوم پاسخ دینامیکی مناسب‌تری را فراهم می‌کند. مقادیر گین‌های کنترلر در نواحی مختلف سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک بدست آمده‌اند. کنترلر پیشنهادی به عنوان کنترلر ثانویه در AGC سیستم‌های حرارتی سه و پنج ناحیه‌ای بکار رفته و پاسخ‌های دینامیکی مناسبی را فراهم می‌کند. آنالیز حساسیت کنترلر پیشنهادی با تغییر بزرگی در پارامترهای سیستم انجام شده است، که نشان می‌دهد علی‌رغم تغییر پارامترهای سیستم کنترلر فازی پاسخ‌های خوبی را فراهم می‌کند. این یکی از مزیت‌های مهم کنترلر فازی می‌باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت علمی و مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول کمال سپاسگزاری را دارند.

### ضمیمه الف

مقادیر نامی سیستم بررسی شده:

$$f=60\text{Hz}; T_{gi}=0.08\text{s}; T_{ti}=10\text{s}; H_i=5\text{s}; T_{di}=0.3\text{s}; K_i=0.5;$$

$$P_{tie, max}=200\text{MW}; D_i=0.00833\text{puMW/Hz}; T_{pi}=20\text{s};$$





**سید سعیداله مر تضيوی** در بهبهان متولد شده است (۱۳۴۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۶۶)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل از دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۶۹) و دکتری مهندسی برق - کنترل از دانشگاه IIT-Delhi در هند (۱۳۷۹) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه کنترل هوشمند است و در حال حاضر دانشیار گروه برق دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد.



**حسن براتی** در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱)، کارشناسی - ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه تبریز (۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

- 
- <sup>۱</sup>Automatic Generation Control
  - <sup>۲</sup>Integrator Double Derivative
  - <sup>۳</sup>Fuzzy Logic PD Controller
  - <sup>۴</sup>Genetic Algorithm
  - <sup>۵</sup>Takagi Sugeno Fuzzy logic controller
  - <sup>۶</sup>Area Control Error
  - <sup>۷</sup>Step Load Perturbation