

## طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده (SOA) با در نظر گرفتن باند مرده گاورنر

احسان افضلان<sup>۱</sup> و محمود جورابیان<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق قدرت

Ehsan.afzalan@ymail.com

۲- استاد، دانشکده مهندسی - دانشگاه شهید چمران اهواز - اهواز - ایران

mjoorabian@scu.ac.ir

**چکیده:** روش بهینه‌سازی جستجوکننده (SOA) همان‌گونه که هم‌اکنون خوانده می‌شود، به دلیل مؤثر بودن در حل بعضی مسائل مشکل بهینه‌سازی دنیای واقعی، در حال به دست آوردن محبوبیت در میان جامعه محققان است. این مقاله روش کنترل فرکانس بار (LFC) بر پایه SOA را برای حذف نوسان‌های سیستم قدرت ارائه می‌دهد. یک سیستم حرارتی دو ناحیه‌ای و یک سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای تجدید ساختار یافته مجهز به کنترلرهای تناسبی - انتگرالی (PI) در نظر گرفته شده‌اند. SOA برای جستجوی پارامترهای بهینه کنترلر از طریق کمینه کردن تابع هدف حوزه زمان به کار بسته شده است. عملکرد کنترلر پیشنهادی با عملکرد کنترلر PI متداول و کنترلر PI تنظیم شده با الگوریتم‌های جستجوی ذرات (PSO)، کاوش باکتری (BFA) مقایسه شده تا قابلیت برتر SOA پیشنهادی در تنظیم کنترلر PI نشان داده شود. نتایج شبیه‌سازی بر عملکرد بهتر کنترلر PI بهینه شده بر مبنای SOA در مقایسه با کنترلر PI بهینه شده با PSO و BFA و کنترلر مرسوم در دامنه وسیعی از نقاط کاری و تغییرات پارامترهای سیستم تأکید دارند.

**واژه‌های کلیدی:** کنترل فرکانس بار (LFC)، کنترلرهای تناسبی - انتگرالی (PI)، روش بهینه‌سازی جستجوکننده (SOA)، کنترل سیستم قدرت.

### ۱- مقدمه

خروجی و نگر داشتن تبادل توان بین نواحی مطابق برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. در سیستم قدرت مقررات زدایی شده، هر ناحیه کنترلی دارای انواع مختلف عدم قطعیت و اغتشاش‌های گوناگون ناشی از افزایش پیچیدگی، خطاهای مدل‌سازی سیستم و تغییر ساختار سیستم قدرت است. سیستم قدرتی که به صورت مناسب طراحی و بهره‌برداری می‌شود، باید بتواند از عهده تغییرات بار و اغتشاشات سیستم برآید و همچنین باید حد قابل قبولی از کیفیت توان را در عین نگر داشتن ولتاژ و فرکانس در محدوده‌های قابل تحمل فراهم آورد [۱].

در دهه‌های اخیر چندین استراتژی برای LFC در سیستم‌های قدرت توسط محققان پیشنهاد شده است. یک روش طراحی کنترلر LFC مقاوم و مرکز زدایی شده برای سیستم

در سیستم‌های قدرت مقیاس بزرگ که معمولاً متشکل از ناحیه کنترلی به هم پیوسته هستند، کنترل فرکانس - بار (LFC) به جهت هر چه نزدیک نگر داشتن فرکانس سیستم و قدرت درون ناحیه به مقادیر برنامه‌ریزی شده، دارای اهمیت است. توان مکانیکی ورودی به ژنراتور برای کنترل فرکانس توان الکتریکی

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۲/۱۲/۲۱

نام نویسنده مسئول : احسان افضلان

نشانی نویسنده مسئول : ایران - اهواز - دانشگاه شهید چمران اهواز -

دانشکده مهندسی برق

استفاده گرافیکی از چارت نیکولز استوار است. سیستم‌های بررسی شده شامل AGC با سیستم قدرت دو ناحیه‌ای متصل به هم چند واحدی تمام آبی و دو سیستم تست دیگر شامل تمام حرارتی و ترکیبی حرارتی-آبی است.

به تازگی الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلی، از قبیل: PSO، BFA<sup>۱۰</sup> در زمینه بهینه‌سازی پارامترهای کنترلر جلب توجه کرده‌اند [۲۱-۱۷]. بر خلاف سایر روش‌ها این الگوریتم‌ها بر مبنای جمعیتی که بیانگر حل‌های گوناگون هستند، کار می‌کند. بنابراین، این خاصیت موازی بودن باعث می‌شود که قابلیت جستجو بهبود یابد و پاسخ بهینه در مسائل پیچیده بهینه‌سازی به سرعت یافت شود. متأسفانه، تحقیقات اخیر برخی نقایص را در عملکرد این الگوریتم‌ها شناسایی کرده‌اند که از جمله می‌توان به همگرایی نابهنگام این الگوریتم‌ها اشاره کرد که عملکرد آنها را تنزل داده، قابلیت جستجوی آنها را کاهش می‌دهد. روش SOA<sup>۱۱</sup> به عنوان راه حلی برای مشکلات و معایب ذکر شده پیشنهاد شده و تاکنون برای حل این مسأله به کار برده نشده است [۲۲]. همچنین، به دلیل قدرت و تکنیک‌های منحصر به فرد خود در جست‌وجو می‌تواند نواحی مطلوب را هنگامی که جمعیت مورد بررسی کوچک است، پیدا کند. این قابلیت ویژه الگوریتم، مشکل همگرایی نابهنگام را حل نموده، قابلیت جستجو را افزایش می‌دهند. بنابراین، این الگوریتم، روش بهینه‌سازی مناسبی برای کنترل‌کننده‌های سیستم قدرت است.

در این مقاله، علاوه بر حداکثر محدودیت‌های نرخ تولید<sup>۱۲</sup> (GRC) و سرعت دریچه بخار<sup>۱۳</sup> (VSL) برای کاهش هر چه سریعتر انحراف فرکانسی در حالت دینامیکی، نامعینی‌های سیستم قدرت نیز از ۷۵٪ تا ۱۲۵٪ با گام ۵٪ از مقادیر نامی پارامترهای سیستم در نظر گرفته شده‌اند و شبیه‌سازی‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های اشباع گاورنر و توربین (غیرخطی) سیستم قدرت انجام شده است.

بنابراین، مقاله حاضر روش بهینه‌سازی جدیدی به نام SOA را برای طراحی بهینه کنترل‌کننده PI برای LFC در سیستم‌های قدرت به هم پیوسته دو ناحیه‌ای برای میرا سازی نوسان‌های سیستم قدرت پیشنهاد می‌کند. از SOA برای تنظیم پارامترهای کنترلر LFC استفاده می‌شود. مسأله طراحی کنترلر پیشنهادی به صورت یک مسأله بهینه‌سازی فرمول بندی شده و SOA برای

قدرت با استفاده از مقدار تک ساختاری در [۲] ارائه شده است. دو کنترلر LFC مقاوم مرکز زدایی شده در [۳] پیشنهاد شده‌اند: اولی بر مبنای تئوری  $H_{\infty}$  بوده و به کنترلی با مرتبه بالا می‌انجامد. کنترلر دوم کنترل‌کننده‌ای  $PI^2$  تنظیم شده توسط الگوریتم ژنتیک<sup>۱۴</sup> (GA) برای رسیدن به عملکرد مقاومی همانند کنترلر اولی است. یک ساختار کنترلی تطبیقی مرکز زدایی شده برای LFC سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای برای عملکرد مناسب در هنگام تغییرات پارامترهای سیستم در [۴] معرفی شده است. کاربردی از کنترلر تناسبی انتگرالی با بهره‌های برنامه‌ریزی شده به روش فازی برای LFC سیستم قدرت به هم پیوسته دو ناحیه‌ای در [۵] معرفی شده است. روشی بر مبنای الگوریتم جستجوی تابو<sup>۱۵</sup> (TS) برای طراحی بهینه LFC تناسبی انتگرالی بر مبنای منطق فازی<sup>۱۶</sup> (FLPI) در یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای به هم پیوسته در [۶] ارائه شده است. در [۷] پارامترهای کنترلی PI و I بر مبنای بهینه‌سازی جستجوی ذرات ترکیبی<sup>۱۷</sup> (HPSO) برای کنترل LFC در یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای تنظیم شده‌اند. در [۸] کنترلر فازی چند مرحله‌ای بر مبنای الگوریتم جستجوی ذرات برای حل مسأله LFC در سیستم قدرت پیشنهاد شده است. طراحی کنترلر PID برای LFC در سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم جستجوی ذرات در [۹] مورد بحث قرار گرفته است. روش ترکیبی فازی-عصبی<sup>۱۸</sup> (HNF) در [۱۰] برای کنترل خودکار تولید (AGC) سیستم قدرت به هم پیوسته با و بدون محدودیت نرخ تولید<sup>۱۹</sup> (GRC) به کار بسته شده است. اعمال GA کد شده به صورت همزمان برای بهینه‌سازی بهره‌های یک کنترلر PI در سیستم قدرت در [۱۱] بحث شده است. کنترلر منطق فازی برای LFC خودکار سیستم قدرت به هم پیوسته دو ناحیه‌ای در [۱۲] طراحی شده است. یک روش جدید تطبیقی حذف بار که حفاظت اضطراری در برابر کاهش شدید فرکانس را فراهم آورده و در عین حال، ریسک اضافه بار خط را کمینه می‌کند، در [۱۳] ارائه شده است. انواع روش‌های جستجوی تصادفی سلسله مراتبی جدید در [۱۴] برای بهینه‌سازی بهره‌های PID استفاده شده در کنترل خودکار تولید نیروگاه‌های تولیدی حرارتی چند ناحیه‌ای بر مبنای منطق فازی معرفی شده‌اند. یک کنترلر PID مقاوم جدید برای AGC سیستم‌های قدرت با توربین آبی در [۱۵] ارائه شده است. این روش عمدتاً بر مشخصه بیشینه پیک رزونانس با

به شمار می‌رود. در این راستا، دو نوع رفتار مشارکت‌گونه در فعالیت‌های گروهی مطالعه و بررسی می‌شود. این رفتارهای مشارکت‌گونه بر اساس رفتارهای خودپسندانه و هم‌نوع پسندانه شکل می‌گیرد. هر *seeker* به عنوان یک عضو از جامعه، رفتاری شخصی و مربوط به خود بر اساس قضاوت‌های شخصی و میل به سمت بهترین موقعیت گذشته انجام می‌دهد. این رفتار *i* امین *seeker* می‌تواند توسط بردار جهتی تجربی  $d_{i,ego}(t)$  به صورت زیر مدل گردد:

$$d_{i,ego}(t) = \text{sign}(p_{i,best}(t) - x_i(t)) \quad (1)$$

در معادله (۱)،  $\text{sign}(\cdot)$  برای هر متغیر تابع علامت است. از طرف دیگر، در یک فضای هم‌نوع پسندگونه، *seeker* ها به ارتباط با یکدیگر تمایل دارند. بنابراین، به طور واضح با یکدیگر فعالیت مشترک انجام می‌دهند و رفتارهایشان را در پاسخ به دیگر همسایگان‌شان برای رسیدن به اهداف مطلوب تنظیم می‌کنند. به عبارت دیگر، این *seeker* ها کاملاً یک رفتار گروهی حرفه‌ای را نشان می‌دهند. این جمعیت یک رفتار گروهی سازمان یافته را از خود نشان می‌دهد. این دو جهت اختیاری بر اساس تمایلات گروهی به صورت زیر مدل می‌شوند:

$$d_{i,alt1}(t) = \text{sign}(g_{best}(t) - x_i(t)) \quad (2)$$

$$d_{i,alt2}(t) = \text{sign}(I_{best}(t) - x_i(t)) \quad (3)$$

در معادلات (۲-۳)  $g_{best}(t)$  و  $I_{best}(t)$  به ترتیب بهترین موقعیت گذشته و جاری همسایه *seeker* را نشان می‌دهند. بعلاوه، *seeker* ها توانایی ارائه رفتار هدف‌گرایانه را دارند؛ به گونه‌ای که رفتار آینده می‌تواند توسط رفتار گذشته پیش‌بینی و آموزش داده شود. در نتیجه، جمعیت *seeker* برای تغییر جهت جستجو و ارائه رفتار هدف‌گرایانه براساس رفتار گذشته‌اش عمل می‌کند. بنابراین، هر *seeker*، متناظر است با یک جهت تجربی که اصطلاحاً جهت بیش‌فعالی نامیده می‌شود و به صورت زیر مدل می‌گردد:

$$d_{i,pro}(t) = \text{sign}(x_i(t_1) - x_i(t_2)) \quad (4)$$

جستجوی پارامترهای بهینه کنترلر به کار بسته می‌شود. با کمینه سازی تابع هدف حوزه زمانی که انحراف‌های فرکانس و توان خط ارتباطی را در نظر گرفته است، عملکرد پایداری سیستم بهبود داده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی مؤثر بودن کنترلر پیشنهادی را در تأمین مشخصه میرایی مناسب به نوسان‌های سیستم در رنج وسیعی از شرایط بارگیری و پارامترهای سیستم تضمین می‌کنند. همچنین این نتایج، برتری روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های PSO و BFA و روش مرسوم در تنظیم کنترلر تأیید می‌کنند.

## ۲- الگوریتم بهینه‌سازی SOA

الگوریتم SOA [۲۲-۲۴] برای اولین بار در سال ۲۰۰۷ توسط دای و همکاران [۲۲] ارائه شده و همانند سایر الگوریتم‌های زیستی بر اساس جمعیت اولیه است. در این الگوریتم جواب بهینه با استفاده از جمعیت جستجوکننده به دست می‌آید. هر عضو این جمعیت اصطلاحاً *seeker* نامیده می‌شود. این جمعیت اولیه رندوم‌گونه در سه گروه دسته‌بندی می‌شود. این سه گروه چندین ناحیه مختلف از فضای جستجو را برای رسیدن به جواب بهینه جستجو می‌کنند. تمامی *seeker*‌های عضو یک گروه، یک همسایگی را اطراف خود ایجاد می‌کنند. این همسایگی، مؤلفه اجتماعی برای اشتراک‌گذاری اجتماعی اطلاعات را نشان می‌دهد.

### ۲-۱- مراحل الگوریتم بهینه‌سازی جستجوکننده

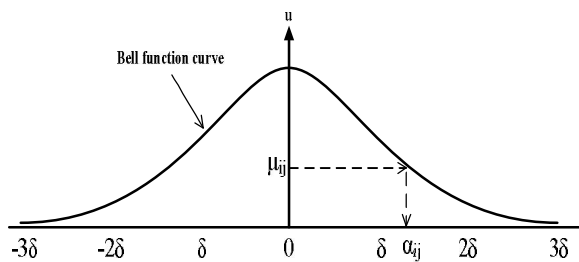
(SOA)

در الگوریتم SOA جهت جستجو  $d_{ij}(t)$  و اندازه گام  $\alpha_{ij}(t)$  به صورت جداگانه برای *i* امین *seeker* و *j* امین متغیر مورد بهینه‌سازی در هر گام زمانی *t* محاسبه می‌شود؛ به طوری که  $\alpha_{ij}(t) \geq 0$  و  $d_{ij}(t) \in \{-1, 0, 1\}$  برقرار باشد.

### ۲-۱-۱- محاسبه جهت جستجو

به طور کلی، معامله کردن در یک فضای گروهی و مشارکتی برای برآوردن نیازها و اهداف از گرایش‌های طبیعی یک گروه

$$\mu = \mu_{\max} - \frac{S - I_i}{S - 1} (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \quad (6)$$



شکل (۱): نحوه عملکرد سیستم فازی

در معادله (۶)  $I_i$  رتبه مرتب شده  $x_i(t)$  بعد از مرتب سازی مقادیر تابع هدف است.  $\mu_{\max}$  مقدار درجه عضویت ماکزیمم که برابر یا کوچکتر از ۱ است و همچنین، مقدار  $\mu_{\max}$  برابر ۰/۹۵ در نظر گرفته می شود.

یک سیستم فازی بر طبق اصول قانون کنترلی به صورت زیر عمل می کند:

if {the conditional part}, then {the action part}

در این راستا، از تابع عضویت Bell به صورت  $\mu(x) = e^{-x^2/2\delta^2}$  برای ارائه بخش action استفاده شده است. مقادیر درجه عضویت حدود متغیرهای ورودی  $[-3\delta, +3\delta]$  مقداری کمتر از ۰/۰۱۱۱ ( $\mu(\pm 3\delta) = 0.0111$ ) را داراست. از حد عناصر  $[-3\delta, +3\delta]$  در جمعیت sekker ها می توان صرف نظر کرد. بنابراین، مقدار مینیمم  $\mu$  برابر با ۰/۰۱۱۱ تنظیم می گردد. همچنین، پارامتر  $\delta$  از تابع عضویت Bell به صورت زیر تعیین می گردد:

$$\delta = \omega \times abs(x_{best} - x_{rand}) \quad (7)$$

در این معادله مقدار قدرمطلق بردار ورودی متناظر با بردار خروجی توسط نماد  $abs(\cdot)$  نشان داده شده است. پارامتر  $\omega$  برای کاهش اندازه گام با افزایش گام زمانی استفاده می شود؛ به گونه ای که به آهستگی دقت جستجو را بهبود می دهد. در این مقاله  $\omega$  به صورت خطی از مقدار ۰/۹ تا ۰/۱ در زمان اجرای برنامه کاهش پیدا می کند.  $x_{rand}$  و  $x_{best}$  به ترتیب بهترین

در معادله (۴)  $t_1, t_2 \in \{t, t-1, t-2\}$  است و فرض می شود که  $x_i(t_1)$  موقعیت بهتری نسبت به  $x_i(t_2)$  دارد. چهار جهت تجربی فوق الذکر که در معادلات (۱) تا (۴) نشان داده شده اند، هر seeker را به سمت یک تصمیم گیری منطقی در فضای جستجویش هدایت می کند.

اگر  $j$  امین متغیر از  $i$  امین seeker به سمت جهت مثبت محور مختصات حرکت کند، جهت  $d_{ij}(t)$  مقدار +۱ را می گیرد. اگر  $j$  امین متغیر از  $i$  امین seeker به سمت جهت منفی محور مختصات حرکت کند، جهت  $d_{ij}(t)$  مقدار -۱ را می گیرد. اگر  $j$  امین متغیر از  $i$  امین seeker در موقعیت فعلی خود بماند، مقدار  $d_{ij}(t)$  برابر ۰ است. با به کار بردن قانون انتخابی زیر جهت تجربی  $d_i(t)$  برای هر عنصر  $j$  انتخاب می گردد.

$$d_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } r_j \leq p_j^{(0)} \\ +1 & \text{if } p_j^{(0)} \leq r_j \leq p_j^{(0)} + p_j^{(+1)} \\ -1 & \text{if } p_j^{(0)} + p_j^{(+1)} \leq r_j \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

در معادله (۵)  $r_j$  یک عدد تصادفی در بازه  $[0, 1]$  است؛ به طوری که  $p_j^{(m)}$  ( $m \in 0, +1, -1$ ) میزان درصد تعداد  $m$  از مجموعه  $\{d_{ij,ego}, d_{ij,alt1}, d_{ij,alt2}, d_{ij,pro}\}$  برای  $j$  امین متغیر و چهار جهت تجربی است. به عبارت دیگر  $p_j^{(m)}$  برابر است با  $m/4$ .

## ۲-۱-۲- محاسبه اندازه گام

مسائل بهینه سازی متفاوت اغلب محدوده متنوعی از مقادیر تابع هدف را دارند. جهت طراحی یک سیستم فازی برای کاربردی کردن در طیف وسیعی از مسائل بهینه سازی، مقدار تابع هدف برای تمامی seeker ها از شماره ۱ تا  $S$  مرتب می گردد و به عنوان ورودی برهان فازی اعمال می گردد. همچنین، یک تابع عضویت خطی در قسمت شرطی استفاده می شود. این تابع به صورت زیر مدل می گردد. شکل (۱) چگونگی عملکرد سیستم فازی را نشان می دهد.

$$x_{k_n,j,worst} = \begin{cases} x_{j,best} & \text{if } \text{rand}_j \leq 0.5 \\ x_{k_n,j,worst} & \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

در معادله فوق  $\text{rand}_j$  یک عدد حقیقی رندوم یکنواخت در بازه  $[0,1]$  است.  $x_{k_n,j,worst}$  برابر است با  $j$  امین متغیر از بدترین موقعیت  $n$  ام در گروه  $k$  ام.  $x_{j,best}$  برابر است با  $j$  امین متغیر از بهترین موقعیت در گروه  $l$  ام؛ به نحوی که  $n, k, l = 1, 2, \dots, K-1$  and  $k \neq l$ . به منظور افزایش تنوع در جمعیت، اطلاعات مفید به دست آمده توسط هر گروه در میان تمامی گروه‌ها به اشتراک گذاشته می‌شود.

### ۳- سیستم قدرت

یکی از مهمترین آثار غیرخطی موجود در سیستم وجود باند مرده در گاورنرهاست که بر اثر برخی چرخ دنده‌ها و تقویت کننده های هیدرولیک و اصطکاک موجود در سیستم مکانیکی ایجاد می‌گردد. وجود این باند مرده باعث می‌شود که تا هنگامی که اندازه سیگنال ورودی به یک مقدار خاص نرسد، سیستم گاورنر پاسخی در خروجی نداشته باشد و در واقع، گاورنر به ازای تغییرات سرعتی که کمتر از مقدار باند مرده هستند، هیچ عکس‌العملی از خود نشان ندهد.

محدودیت افزایش تولید در واحدها، یکی دیگر از جلوه‌های غیرخطی در سیستم فرکانس- بار است. به بیان دیگر، افزایش یا کاهش تولید انرژی با توجه به سقف حداکثر و حداقل تولید واحدها محدود است؛ چرا که از نظر عملی توان تولیدی تنها می‌تواند با حداکثر مشخصی تغییر کند و این حدود سرعت به این جهت در نظر گرفته شده که از نظر انحرافات گسترده متغیرهای پروسه، از قبیل: دما و فشار (جهت ایمنی سیستم) اجتناب شود. در این مقاله از روش پیشنهادی استفاده شده است. بنابراین، در نظر گرفتن محدوده اشباع، سیستم مورد نظر را غیرخطی می‌کند. همچنین، باعث افزایش نقطه اوج و زمان نشست تغییرات فرکانسی به ازای تغییرات پله بار نسبت به حالت خطی می‌شود. شکل (۳) مدل کاملتر گاورنر و توربین را با در نظر گرفتن محدودیت سرعت دریچه بخار و محدودیت نرخ تولید در هر ناحیه نشان می‌دهد.

$\text{seeker}$  و  $\text{seeker}$  انتخاب شده به صورت تصادفی است که از یک زیر گروه مشابه از  $\text{seeker}$  به دست می‌آید. شایان ذکر است که  $x_{rand}$  متفاوت از  $x_{best}$  است و برای همه  $\text{seeker}$  ها در یک گروه مشابه  $\delta$  به اشتراک گذاشته می‌شود.

به منظور رندومی کردن هر متغیر و بهبود قابلیت جستجوی محلی معادله (۸) معرفی می‌شود که  $\mu_i$  به یک بردار  $\mu_i$  تبدیل می‌گردد. در این راستا، عناصر این بردار به صورت زیر معین می‌شود:

$$\mu_{ij} = \text{RAND}(\mu_i, 1) \quad (8)$$

در معادله فوق  $\text{RAND}(\mu_i, 1)$  یک عدد حقیقی رندوم یکنواخت در بازه  $[1, \mu_i]$  است. معادله (۹) بخش عمل برهان فازی را نشان می‌دهد و اندازه گام  $(\alpha_{ij})$  برای هر متغیر  $j$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\alpha_{ij} = \delta_j \sqrt{-\ln(\mu_{ij})} \quad (9)$$

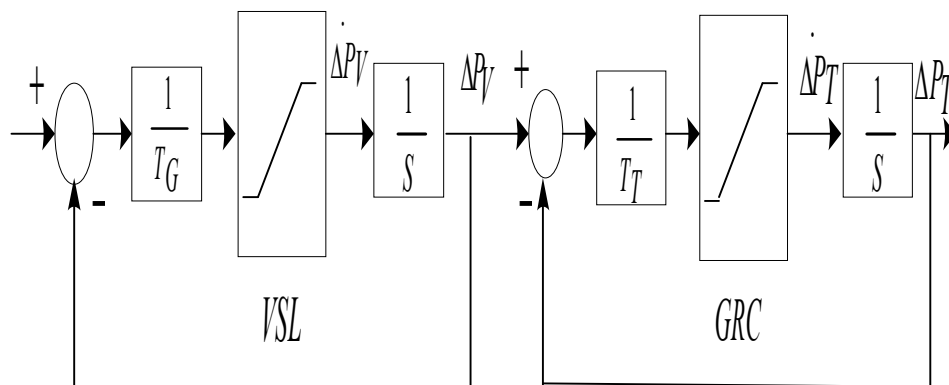
### ۳-۱-۲- به روز کردن موقعیت $\text{seeker}$ ها

در یک جمعیت به اندازه  $S$ ، موقعیت  $i$  امین  $(1 \leq i \leq S)$   $\text{seeker}$  برای بعد  $j$  ام به صورت زیر به دست می‌آید:

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + \alpha_{ij}(t) \times d_{ij}(t) \quad (10)$$

### ۳-۱-۲- یادگیری گروه‌ها از یکدیگر

هر الگوریتم هوشمند جواب بهینه را با استفاده از اطلاعات اعضای جمعیت جستجو می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که ممکن است جمعیت در مینیمم محلی قرار بگیرد و موجب همگرایی زودرس شود. بنابراین، در این الگوریتم از چند زیر گروه مربوط به جمعیت اصلی استفاده می‌شود و در این الگوریتم هر گروه باید اطلاعات بهینه را (که در ناحیه مربوط به خود به دست آورده‌اند) از گروه‌های دیگر فرا گیرد. بنابراین موقعیت بدترین  $\text{seeker}$  مربوط به هر گروه با بهترین  $\text{seeker}$  مربوط به دیگر گروه‌ها با استفاده از عملگر  $\text{crossover}$  دوگانه به صورت زیر تعریف می‌گردد:



شکل (۲): مدل غیر خطی گاورنر و توربین در سیستم دو ناحیه‌ای

### ۳-۱- سیستم قدرت دوناحیه‌ای

یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای به هم پیوسته کنترل شده مرتبط با نیروگاه حرارتی در شکل (۳) نشان داده شده است که در آن  $f_i$  فرکانس سیستم بر حسب (Hz)،  $R_i$  ثابت تنظیم (Hz بر واحد)،  $T_{Gi}$  ثابت زمانی گاورنر سرعت بر حسب (s) و  $T_{PI}$  ثابت زمانی سیستم قدرت بر حسب (s) است.  $ACE_i$  خطای کنترل ناحیه‌ای،  $\Delta P_{Di}$  تغییر تقاضای بار،  $\Delta P_G$  تغییر موقعیت دریچه گاورنر،  $\Delta P_C$  تغییرات تنظیم کننده سرعت (گاورنر)،  $K_{PI}$  بهره سیستم قدرت و  $\Delta P_{tie}$  تغییر توان خط ارتباطی است. کل سیستم می‌تواند به عنوان یک سیستم چند متغیره به شکل زیر مدل شود:

$$x = Ax + Bu + Ld \tag{۱۲}$$

$$y = Cx \tag{۱۳}$$

که در آن:

$$u = [u_1 u_2]^T$$

$$y = [y_1 y_2]^T = [ACE_1 ACE_2]^T$$

$$x = [\Delta f_1 \Delta P_{T1} \Delta P_{G1} \Delta P_{c1} \Delta P_{tie} \Delta f_2 \Delta P_{T2} \Delta P_{G2} \Delta P_{c2}]^T$$

$$d = [d_1 d_2]^T = [P_{D1} P_{D2}]^T$$

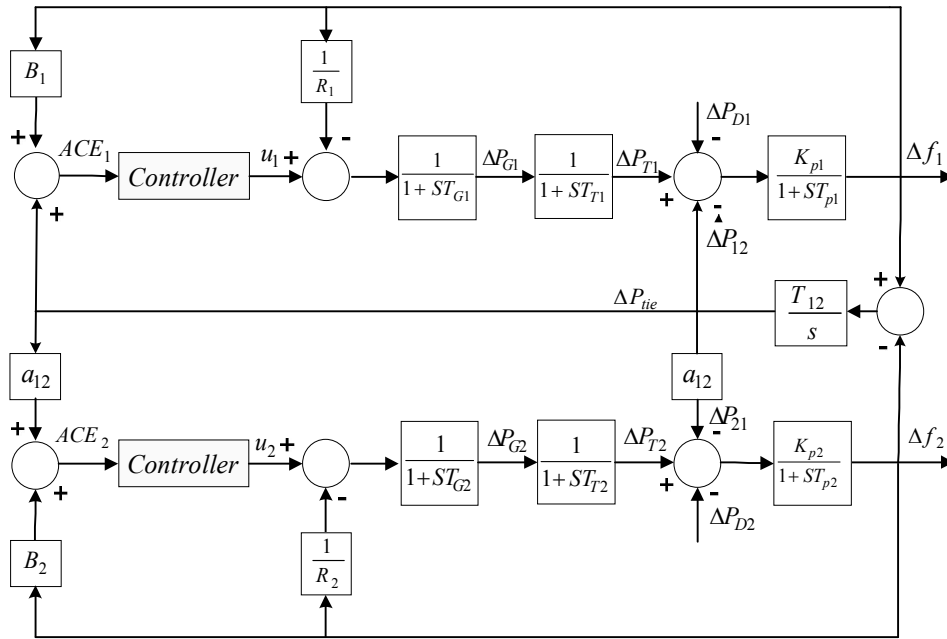
پارامترهای بهره فیدبک برای چنین کنترل‌هایی با استفاده از SOA بهینه‌سازی می‌شوند. برای دو ناحیه در نظر گرفته شده در این مطالعه کنترل‌کننده انتگرالی مرسوم با یک کنترل کننده PI با ساختار زیر جایگزین شد:

$$K(S) = K_p(S)^* + \frac{K_I}{S} \tag{۱۴}$$

که در آن  $K_p$  بهره تناسبی و  $K_I$  بهره انتگرالی است. کنترل‌کننده‌های PI در هر دو ناحیه یکسان در نظر گرفته شدند. سیگنال کنترلی برای کنترل‌کننده PI می‌تواند مطابق معادله زیر بیان شود:

$$U_i(S) = -K(S)^* ACE_i(S) \tag{۱۵}$$

مقادیر نامی پارامترهای سیستم قدرت دوناحیه‌ای در ضمیمه آورده شده است.



شکل (۳): سیستم تحت مطالعه

### ۲-۳- سیستم قدرت تجدیدساختار یافته

در طول سال‌های اخیر چندین حالت کاری مختلف کنترل کننده فرکانس بار به منظور تطبیق طرح‌های سنتی آن با تغییر محیط در سیستم‌های قدرت که تحت تجدید ساختار قرار گرفته‌اند، پیشنهاد شده است. در این گونه سیستم‌ها هر ناحیه کنترلی دارای انواع عدم قطعیت‌ها و اغتشاشات است که این امر می‌تواند ناشی از تغییر ساختار سیستم قدرت و حتی خطای ناشی از مدل‌سازی باشد. بنابراین، در این گونه سیستم‌ها یک کنترل‌کننده قابل انعطاف می‌تواند کاربرد بیشتری نسبت به کنترل‌کننده کلاسیک داشته باشد.

حال به منظور نشان دادن کارایی و عملکرد مقاوم روش پیشنهادی، این روش بر روی سیستم قدرت چهارناحیه‌ای تجدید ساختار یافته تحت شرایط کاری مختلف تست شده است. نتایج بیان‌کننده این موضوع است که استفاده از الگوریتم جستجوکننده، پارامترهای دینامیکی سیستم مورد مطالعه را از جمله زمان نشت، میزان جهش و همین‌طور پاسخ ماندگار سیستم با در نظر گرفتن غیر خطی بدون سیستم، اغتشاش در هر یک از نواحی و عدم قطعیت پارامترها نسبت به روش کلاسیک و سایر روش‌های مقایسه شده بهبود بیشتری می‌دهد.

از آنجا که ممکن است در واقعیت قراردادهای مختلفی بین شرکت‌های تولید و توزیع این سیستم قدرت وجود داشته باشد

و به منظور محاسبه اثر قراردادهای ردیابی بار بر دینامیک سیستم قدرت مورد مطالعه از ماتریس مشارکت تولید افزوده [۲۵] به منظور مدل کردن کنترل‌کننده فرکانس بار استفاده شده است. این ماتریس بیان‌کننده شاخص مشارکت شرکت تولید در قرارداد ردیابی بار با یک شرکت توزیع است. شرکت‌های تولید و توزیع کل سیستم قدرت تحت تست به ترتیب سطرها و ستون‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهند. توان تولیدی کل هر یک از شرکت‌های تولید و همچنین، تقاضای شرکت‌های توزیع در هر قرارداد در [۲۵] آورده شده است.

توضیحات تفضیلی و شماتیک سیستم قدرت تجدید ساختار یافته، اطلاعات مربوط به شرکت‌های تولید و انتقال و توزیع، بلوک دیاگرام کنترل‌کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت تجدید ساختار یافته، پارامترهای سیستم تحت مطالعه، در [۲۶] آورده شده است.

### ۴- تابع هدف

یک معیار عملکردی می‌تواند به صورت انتگرال زمان ضربدر خطای مطلق انحراف فرکانس دو ناحیه و توان خط ارتباطی تعریف شود (Integral of Time multiply Absolute Error: ITAE). مطابق با این تعریف تابع هدف J به صورت زیر بیان می‌شود:

طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....

که در آنها:

$$J = \int_0^{\infty} t(|\Delta f_1| + |\Delta f_2| + |\Delta P_{tie}|) dt \quad (16)$$

$\dot{X}_{g \max}$  : حداکثر سرعت دریچه

بخار(گاورنر)،  $\dot{X}_{g,j,k \max}$  : حداکثر سرعت دریچه بخار

شبیه سازی شده به ازای ورودی پله ناحیه k ام،  $\dot{X}_{t \max}$  :

حداکثر ورودی مجاز توربین (GRC)،  $\dot{X}_{t,j,k \max}$  : حداکثر

ورودی مجاز توربین شبیه سازی شده به ازای ورودی پله ناحیه k ام است.

از روابط (۱۸) تا (۲۰) ملاحظه می شود خروج مقادیر

شبیه سازی شده سیگنال های  $\dot{X}_{g,j,k \max}$  و  $\dot{X}_{t,j,k \max}$  از

محدوده مجاز به صورت مقادیر جریمه مثبت به تابع هدف

اضافه می شود. به علاوه اینکه در شبیه سازی ها محدوده های

اشباع گاورنرها و توربین ها به ترتیب

$$\dot{X}_{g \max} = 1 \text{ و } \dot{X}_{t \max} \text{ فرض شده است.}$$

برای در نظر گرفتن نامعینی ها در طراحی کنترل کننده، تابع

هدف را به ازای %p نامعینی از مقدار نامی در نظر گرفته و در

این شرایط پارامترهای سیستم قدرت پس از شبیه سازی محاسبه

می شوند. تابع هدف J شبیه سازی شده به ازای %p مقدار نامی

پارامترهای نامعین سیستم با  $J^P$  نمایش داده می شود. تابع

هدف نهایی، بیشترین مقدار تابع هدف  $J^P$  به ازای تمام

نامعینی هاست. تابع هدف نهایی طراحی کنترل کننده پیشنهادی به

صورت زیر تعریف می شود:

$$J = \max \left\{ J^{P=-\%25}, J^{P=-\%20}, \dots, J^{P=+\%25} \right\} \quad (21)$$

بنابراین، این مطالعه بر تنظیم بهینه کنترل کننده ها برای LFC

و کنترل توان خط ارتباطی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی

جستجوکننده متمرکز است. هدف از بهینه سازی جستجو برای

تنظیم پارامترهای کنترل کننده بهینه ای است که حداقل نسبت

میرایی سیستم را بیشینه کنند. از طرف دیگر در این مطالعه،

اهداف کنترل فرکانس و توان ارتباطی بین ناحیه ای با میرایی

مناسب نوسان ها و نیز به دست آوردن عملکرد مناسب تحت

کلیه شرایط کاری و بارهای متغیر و در نهایت، طراحی کنترل-

کننده مرتبه پایینی با پیاده سازی آسان مورد نظر است.

همچنین، در نظر گرفتن اثرهای غیرخطی در طراحی باعث

افزایش قابلیت استفاده از کنترل کننده در سیستم های عملی

بر مبنای تابع هدف J مسأله بهینه سازی می تواند بدین شکل

بیان شود: J را تحت شرایط زیر کمینه کن:

$$K_p^{\min} \leq K_p \leq K_p^{\max}, K_I^{\min} \leq K_I \leq K_I^{\max} \quad (17)$$

برای سهولت مطالعه دو ناحیه به هم پیوسته همانند هم

فرض شدند. پارامترهای بهینه آنگونه اند که:  $K_1 = K_2 = K$ .

تابع هدف اولیه، بر مبنای تابع ITAE با اضافه کردن تابع

جریمه ای برای در نظر گرفتن محدودیت های اشباع است. بدون

در نظر گرفتن نامعینی ها تابع هدف اولیه به صورت رابطه زیر

بیان می شود:

$$J = \sum_{k=1}^N \left( \sum_{i=1}^N \int_0^{\infty} |\Delta f_{i,k}^{sim}| dt \right) + \sum_{j=1}^n w_g (|E_{g,j,k}| - E_{g,j,k}) + \sum_{j=1}^n w_t (|E_{t,j,k}| - E_{t,j,k}) \quad (18)$$

که در آن:

N: تعداد نواحی سیستم قدرت، n: تعداد کل گاورنرها یا

توربین ها،  $\Delta f_{i,k}$ : انحراف فرکانسی شبیه سازی شده ناحیه i ام به

ازای ورودی پله ناحیه k ام،  $E_{g,j,k}$ : انحراف سیگنال گاورنر J

ام از محدوده اشباع به ازای ورودی پله ناحیه k ام،  $E_{t,j,k}$ :

انحراف سیگنال توربین J ام از محدوده اشباع به ازای ورودی

پله ناحیه k ام است. در این تابع

هدف،  $w_t (|E_{t,j,k}| - E_{t,j,k})$  و  $w_g (|E_{g,j,k}| - E_{g,j,k})$  توابع

جریمه ای هستند که باعث می شوند نقطه بهینه تابع هدف یا

پارامترهای بهینه طراحی شده برای کنترل کننده PI پیشنهادی

طوری باشد که سیگنال کنترلی کنترل کننده طراحی شده در

محدوده مجاز ورودی گاورنر و توربین باشد.

$E_{g,j,k}$  و  $E_{t,j,k}$  که به ترتیب میزان خروج از حد اشباع سیگنال

ورودی گاورنر و توربین J ام به ازای ورودی پله ناحیه k ام را

نشان می دهند، به صورت روابط زیر تعریف می شوند:

$$E_{g,j,k} = \dot{X}_{g \max} - \dot{X}_{g,j,k \max} \quad (19)$$

$$E_{t,j,k} = \dot{X}_{t \max} - \dot{X}_{t,j,k \max} \quad (20)$$



نشست را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که سیستم با کنترل‌کننده مرسوم دچار میرایی بحرانی ناشی از نسبت میرایی کوچک مدهای سیستم ( $\zeta = 0.021$ ) و فاکتور میرایی کوچک ( $\sigma = -0.086$ ) است. به علاوه، بیشترین نسبت میرایی در روش SOA رخ داده است. همچنین، واضح است که کنترل‌کننده پیشنهادی مقادیر ویژه مدهای سیستم را به مقدار زیادی به نیمه چپ صفحه s انتقال می‌دهد. بنابراین، در مقایسه با سیستم کنترلر مرسوم PI روش SOA پایداری سیستم را به مقدار زیادی افزایش داده، مشخصات میرایی مدهای سیستم را بهبود می‌بخشد. به علاوه، مقدار معیار عملکردی با کنترل‌کننده پیشنهادی در مقایسه با کنترل‌کننده مرسوم و PSO و BFA کوچکتر است. این نشان دهنده آن است که زمان نشست و نوسان‌ها با اعمال کنترل‌کننده پیشنهادی به شدت کاهش می‌یابند.

خواهد بود. کنترل‌کننده طراحی شده با این روش از حداکثر قابلیت‌های مجاز اجزای سیستم برای کاهش مقدار انحراف فرکانس بهره می‌گیرد. تابع هدف باید از اشباع اجزای سیستم نیز جلوگیری کند.

## ۵- نتایج و شبیه‌سازی‌ها

### ۵-۱- سیستم قدرت دوناچه‌ای

در این قسمت موارد مقایسه‌ای مختلفی بررسی می‌شوند تا قابلیت روش SOA پیشنهادی را در بهینه‌سازی پارامترهای کنترل‌کننده نشان دهند.

به منظور اجرای الگوریتم محدودیت نرخ تولید و محدودیت سرعت دریچه بخار هر ناحیه برای هر دو محدوده برابر 0.015 پریونیت بر ثانیه فرض شده است.

جدول (۱) مقادیر ویژه سیستم، حداقل ضریب میرایی مدهای سیستم، معیار عملکرد، پارامترهای کنترل‌کننده و زمان

جدول (۱): مقادیر ویژه سیستم، حداقل ضریب میرایی مدهای سیستم، معیار عملکرد، پارامترهای کنترل‌کننده و زمان نشست

method	Conventional	PSO	BFA	Proposed method (SOA)
PI controller	$K_p= 0.7005$ $k_i= 0.3802$	$K_p= -0.3608$ $k_i= 0.2734$	$K_p= -0.4205$ $k_i= 0.2794$	$K_p= -0.3094$ $k_i= 0.4580$
Min Damping ratio	0.021	0.183	0.2359	0.2421
Performance index	3.5795	2.549	1.826	1.772
Settling time	29.4190	7.4587	4.1681	3.7654
System modes	-13.7342 -13.6218 $-0.086 \pm 4.1699j$ $0.9568 \pm 3.402j$ -1.8538 -0.2359 -0.2355	-13.1102 -13.1025 $-0.5641 \pm 3.1788j$ $-1.1767 \pm 1.9198j$ -1.1995 -0.4473 -0.4291	-13.0100 -12.9600 $-0.7035 \pm 2.8982j$ $-1.0628 \pm 1.3218j$ $-0.7331 \pm 0.3488j$ -0.7977	-13.0198 -12.9923 $-0.8344 \pm 2.8993j$ $-1.0732 \pm 1.4412j$ $-0.8893 \pm 0.4563j$ -0.8756

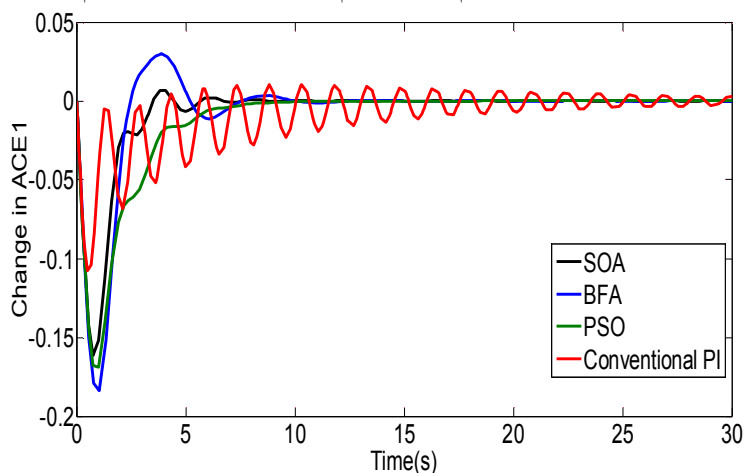
شکل‌ها پاسخ سیستم با کنترل‌کننده مرسوم PI دچار زمان نشست طولانی و نوسان‌های نامطلوب است. همچنین، در مقایسه با PSO و BFA، روش پیشنهادی حقیقتاً در بهبود مشخصه میرایی سیستم قدرت کارا تر است. با اعمال کنترل‌کننده پیشنهادی پایداری سیستم حفظ شده و از نوسان‌های سیستم قدرت جلوگیری شده است.

### ۵-۱-۱- افزایش پله‌ای در تقاضای بار ناحیه اول

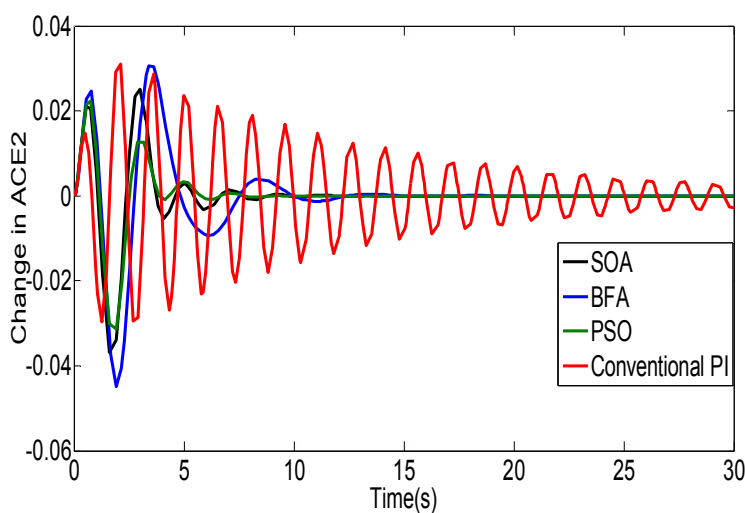
$$(\Delta P_{D1})$$

به عنوان اولین مورد آزمایش، افزایشی پله‌ای در تقاضای بار ناحیه اول ( $\Delta P_{D1}$ ) در نقطه کاری ۱ (نقطه کار نامی) اعمال می‌شود. انحراف فرکانسی ناحیه اول  $\Delta f_1$ ، انحراف فرکانسی ناحیه دوم ( $\Delta f_2$ )، سیگنال توان ارتباطی سیستم حلقه بسته و انحراف ACE در شکل‌های ۴ تا ۸ نشان داده شده‌اند. در این

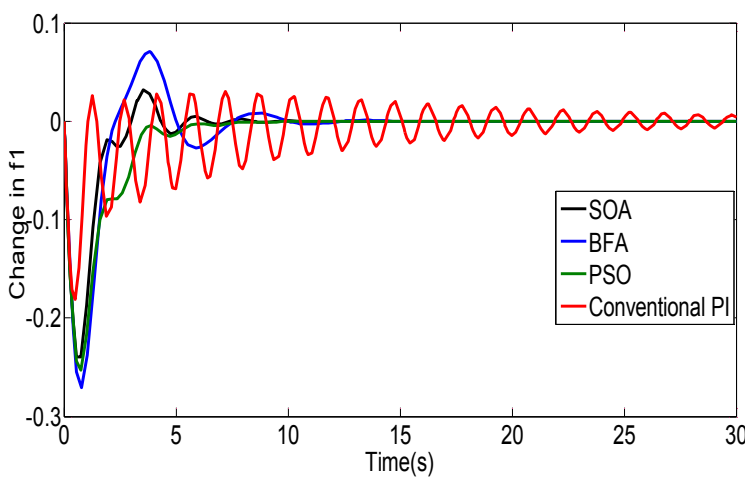
طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....



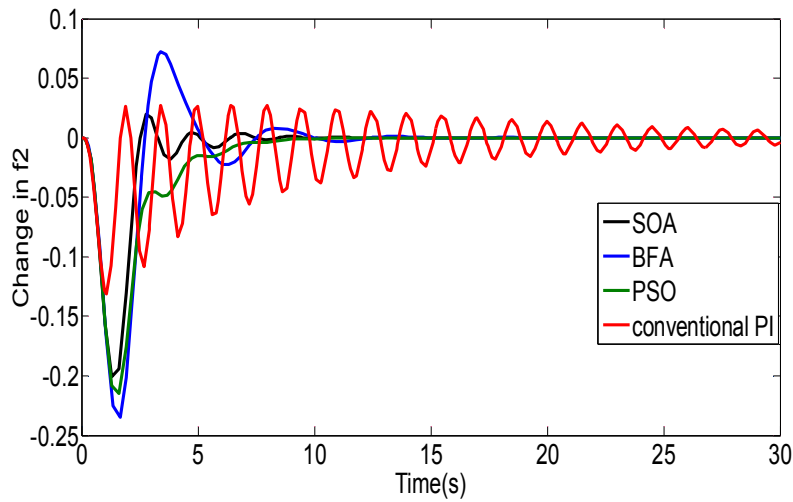
شکل (۴): انحراف خطای کنترل ناحیه اول



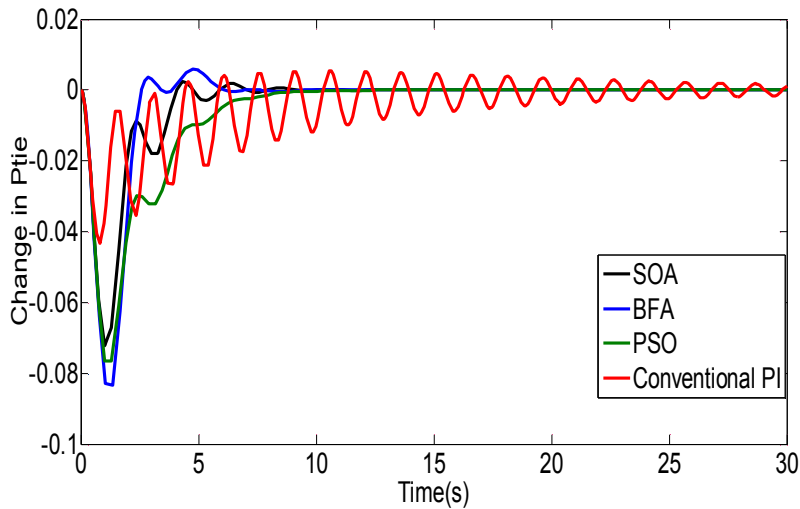
شکل (۵): انحراف خطای کنترل ناحیه دوم



شکل (۶): انحراف فرکانسی ناحیه اول ( $\Delta f_1$ )



شکل (۷): انحراف فرکانسی ناحیه دوم ( $\Delta f_2$ )

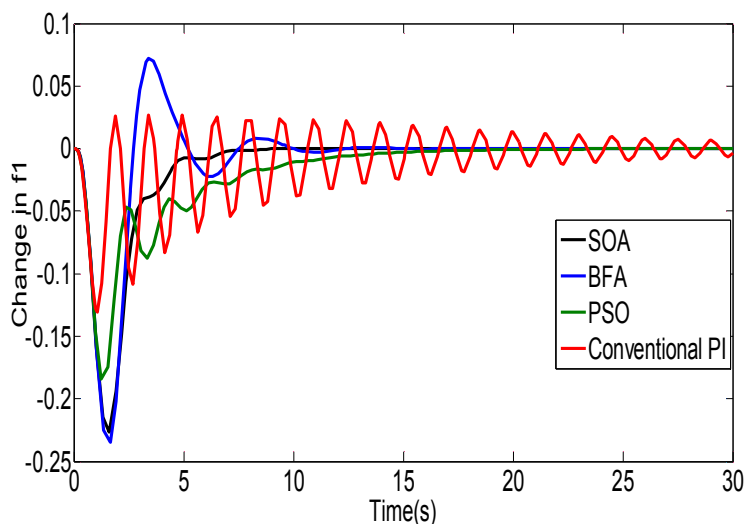


شکل (۸): سیگنال توان ارتباطی سیستم بین دو ناحیه

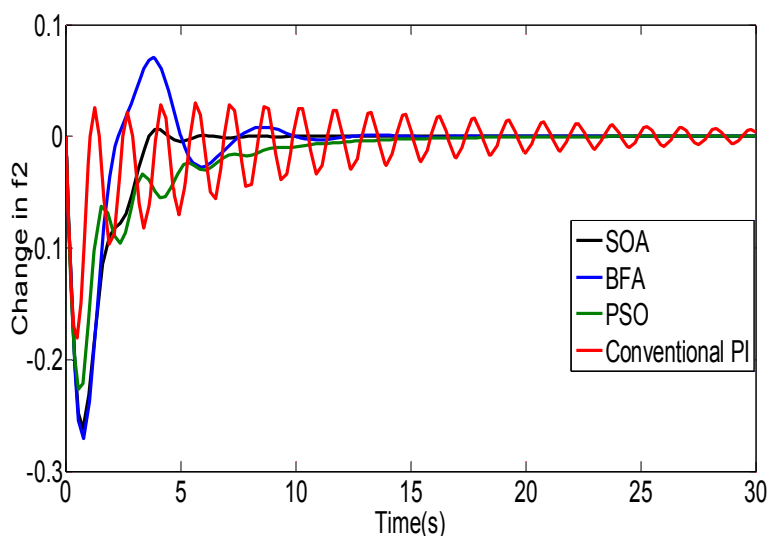
کنترل‌کننده پیشنهادی حفظ شده‌اند. به علاوه، روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به PSO و BFA در میراسازی مؤثر نوسان‌ها و کاهش زمان نشست است. بنابراین، در مقایسه با کنترل‌کننده مرسوم و کنترل‌کننده‌های بر پایه PSO و BFA، کنترلر PI با استفاده از SOA پایداری سیستم را به شدت افزایش داده، مشخصه‌های میرایی سیستم قدرت را بهبود می‌بخشد.

#### ۵-۱-۲- افزایش پله‌ای در تقاضای بار ناحیه دوم ( $\Delta P_{D2}$ )

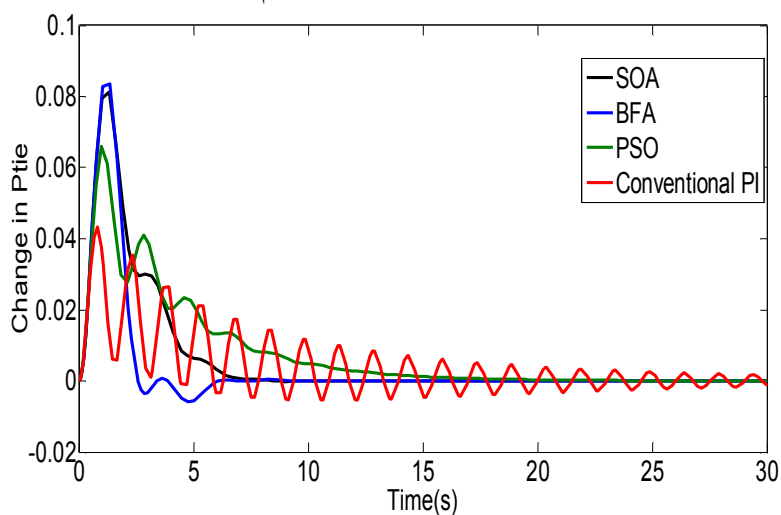
در این حالت یک افزایش پله‌ای ۱۰ درصدی در تقاضای بار ناحیه دوم در نقطه کار ۲ اعمال می‌شود. انحراف فرکانسی ناحیه اول  $\Delta P_{D1}$ ، انحراف فرکانسی ناحیه دوم ( $\Delta P_{D2}$ )، سیگنال توان ارتباطی سیستم حلقه بسته در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان داده شده‌اند. در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که نوسان‌ها در غیاب



شکل (۹): انحراف فرکانسی ناحیه اول ( $\Delta f_1$ )



شکل (۱۰): انحراف فرکانسی ناحیه دوم ( $\Delta f_2$ )



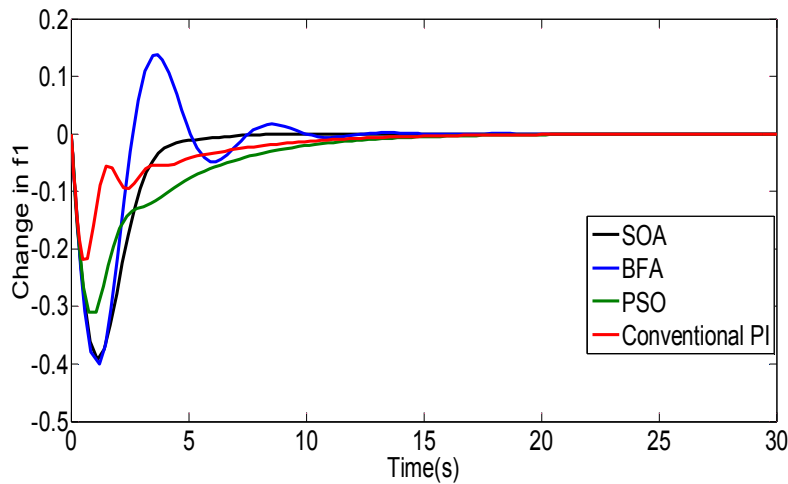
شکل (۱۱): سیگنال توان ارتباطی سیستم بین دو ناحیه

### ۵-۱-۳- افزایش پله‌ای در تقاضای بار نواحی اول و

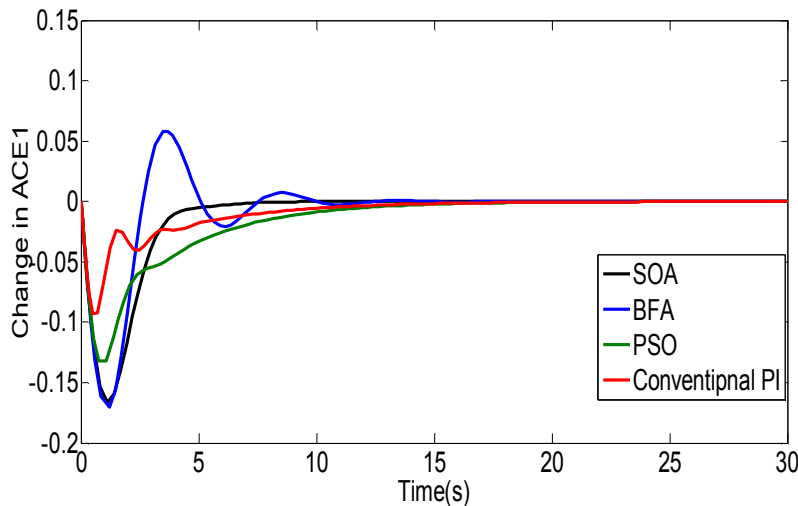
#### دوم به صورت همزمان

در این حالت یک افزایش پله‌ای ۰/۱ در تقاضای بار ناحیه اول ( $\Delta P_{D1}$ ) و ناحیه دوم ( $\Delta P_{D2}$ ) در نقطه کار ۳ اعمال می‌شود. سیگنال‌های سیستم حلقه بسته در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌اند. از این شکل‌ها مشخص است که برای کنترلر

مرسوم، نوسان‌های سیستم قدرت به صورت ضعیفی میرا شده‌اند. همچنین، در مقایسه با PSO و BFA روش پیشنهادی دارای زمان نشست کوتاهتری بوده، پاسخ سیستم به سرعت به صفر رانده می‌شود. به علاوه، پتانسیل و برتری روش پیشنهادی بر روش مرسوم و PSO و BFA نشان داده شده است.



شکل (۱۲): انحراف فرکانسی ناحیه اول ( $\Delta f_1$ ) برای تغییرات هر دو ناحیه



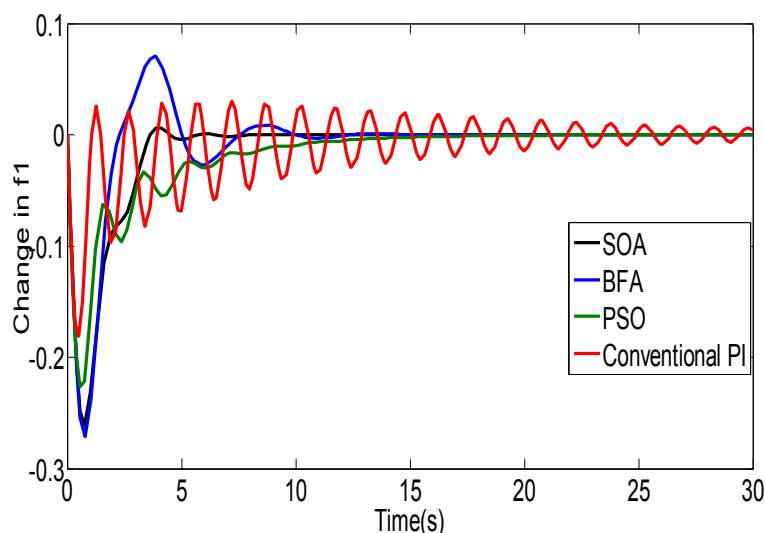
شکل (۱۳): انحراف خطای کنترل ناحیه اول برای تغییرات هر دو ناحیه

### ۵-۱-۴- تغییر پارامترها

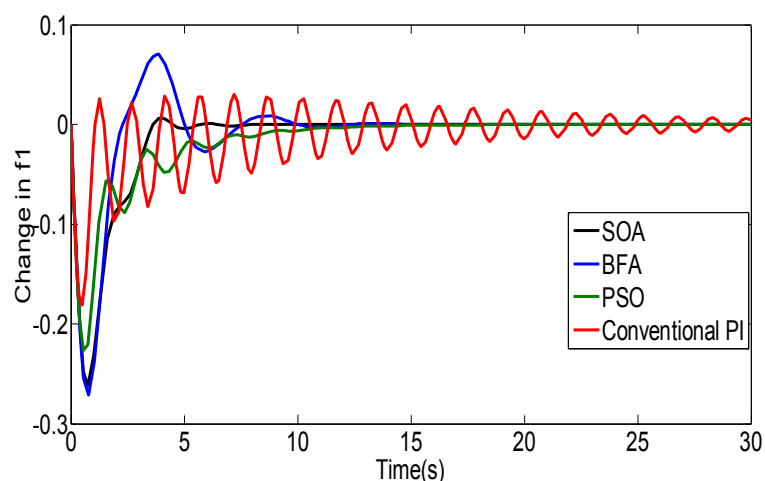
یک تست تغییر پارامتر نیز برای بررسی مقاوم بودن کنترل‌کننده پیشنهادی اعمال شده است. شکل ۱۴ پاسخ فرکانس ناحیه اول را با تغییر  $T_{12}$  نشان می‌دهد. مشخص است که

سیستم با کنترل‌کننده پیشنهادی پایدار است. یک تست تغییر پارامتر دیگر نیز برای بررسی مؤثر بودن کنترل‌کننده پیشنهادی اعمال می‌شود. شکل ۱۵ پاسخ فرکانس را با تغییر ثابت زمانی گاورنر نشان می‌دهد. کنترل‌کننده طراحی شده قادر به تأمین

طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....  
 میرایی کافی با مودهای نوسانی سیستم تحت شرایط کاری تأیید می شود.  
 مختلف بوده و به این صورت پایداری کنترل کننده پیشنهادی



شکل (۱۴): انحراف فرکانسی ناحیه اول ( $\Delta f_1$ ) با تغییر  $T_{12}$



شکل (۱۵): انحراف فرکانسی ناحیه اول ( $\Delta f_1$ ) با تغییر ثابت زمانی گاورنر

نقطه کار نامی نتایج مطلوبی دارد، اما از آنجا که فقط برای یک نقطه کار نامی طراحی شده است، با تغییر نقطه کار، دیگر کنترل کننده طراحی شده کارایی مطلوب را نخواهد داشت. لذا با در نظر گرفتن نامعینی‌ها، کنترل کننده پیشنهادی رفتار مطلوبتری را برای محدوده وسیعی از تغییرات نقطه کار نسبت به کنترل کننده کلاسیک و سایر روش‌های مقایسه شده به ازای محدودیت‌های نرخ تولید و سرعت دریاچه بخار دار از خود نشان می‌دهد.

### ۵-۱-۵- بررسی کنترلر پیشنهادی به ازای نامعینی‌ها با سایر الگوریتم‌های مقایسه شده

برای بررسی و مقایسه بیشتر رفتار کنترل کننده پیشنهادی به ازای نامعینی‌ها، از معیار عملکرد ITAE استفاده شده است. نتایج این معیار با استفاده از روش پیشنهادی و سایر الگوریتم‌های مقایسه شده در جدول (۲) آورده شده است. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که اگر چه کنترل کننده کلاسیک به ازای

جدول (۲): مقایسه معیار عملکرد ITAE با سایر روش‌ها

درصد تغییر پارامترهای نامعین	Conventional	PSO	BFA	(SOA)
-0.25	1.16	1.97	1.93	1.89
-0.20	1.10	1.87	1.84	1.78
-0.15	1.04	1.79	1.71	1.71
-0.10	1.00	1.71	1.69	1.68
-0.05	0.98	1.64	1.59	1.58
نامی	0.96	1.60	1.57	1.57
0.05	1.07	1.56	1.51	1.52
0.10	1.29	1.57	1.52	1.51
0.15	1.62	1.63	1.59	1.58
0.20	2.11	1.70	1.62	1.61
0.25	2.78	1.83	1.77	1.75
بدترین حالت	2.78	1.97	1.93	1.89

انحراف‌های فرکانس تمام نواحی به سرعت به مقدار صفر و همچنین فلوی توان بین ناحیه‌ای به یک مقدار ثابت همگرا شود. نتایج شبیه‌سازی انحراف‌های فرکانس و فلوی توان بین ناحیه‌ای در این حالت به ترتیب برای هر چهار ناحیه و ناحیه‌های ۱ و ۳ در شکل‌های (۱۶) تا (۲۱) نشان داده شده‌اند.

$$\Delta P_{tie,1,sch} = -0.031, \Delta P_{tie,2,sch} = -0.027,$$

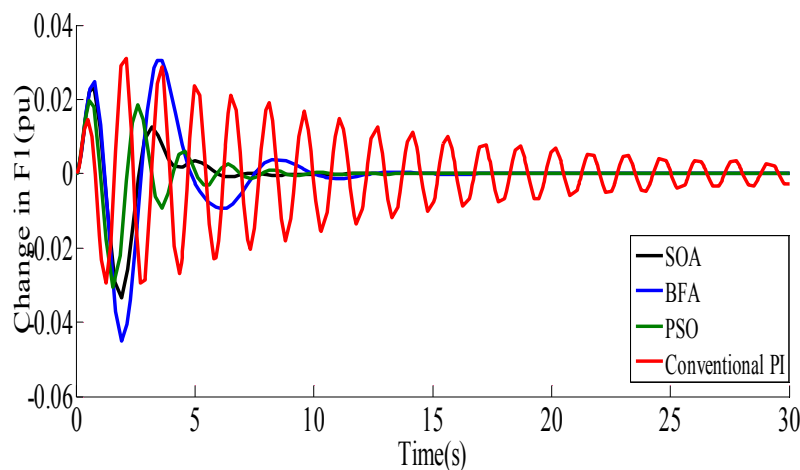
$$\Delta P_{tie,3,sch} = -0.016, \Delta P_{tie,4,sch} = -0.02$$

### ۵-۲- سیستم قدرت تجدید ساختار یافته

به منظور نشان دادن برتری روش پیشنهادی نسبت به روش کلاسیک و همچنین سایر روش‌های مقایسه شده، سه حالت مختلف شبیه‌سازی از جمله عدم قطعیت مشخص در پارامترها، تغییرات بار، لحاظ کردن قراردادهای مختلف در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی انجام گرفته بر روی سیستم مذکور در این سه حالت مختلف و همچنین تحلیل نتایج به دست آمده در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است.

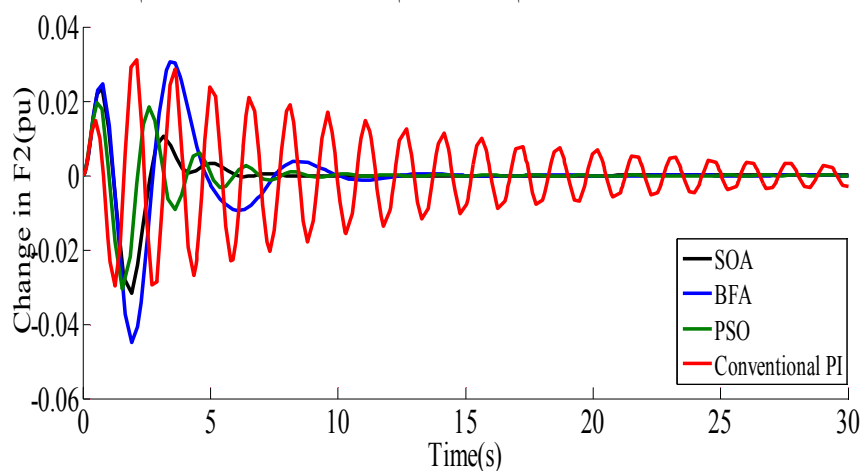
### ۵-۲-۱- شبیه‌سازی سیستم بر اساس پارامترهای اولیه

به کارگیری روش پیشنهادی در این حالت باعث می‌شود که

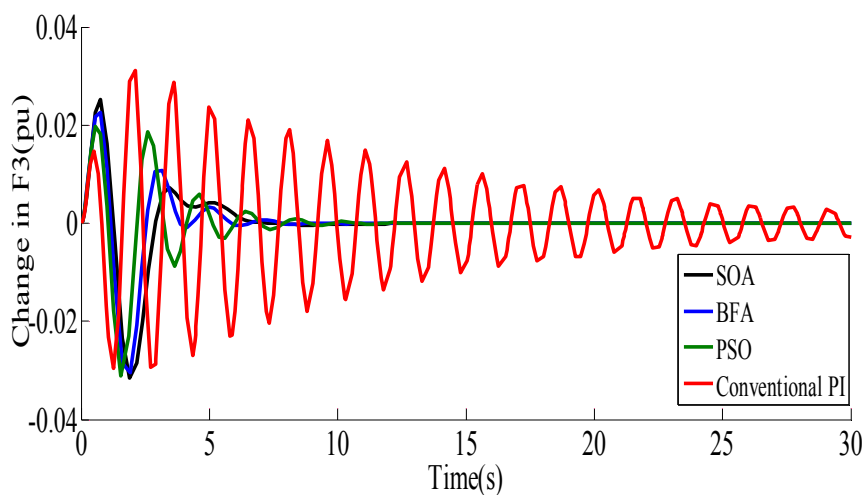


شکل (۱۶): تغییرات فرکانس ناحیه ۱

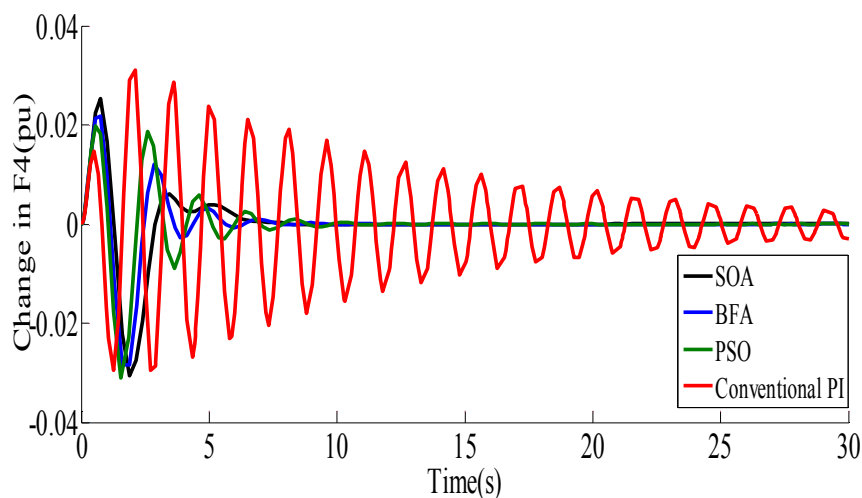
طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....



شکل (۱۷): تغییرات فرکانس ناحیه ۲

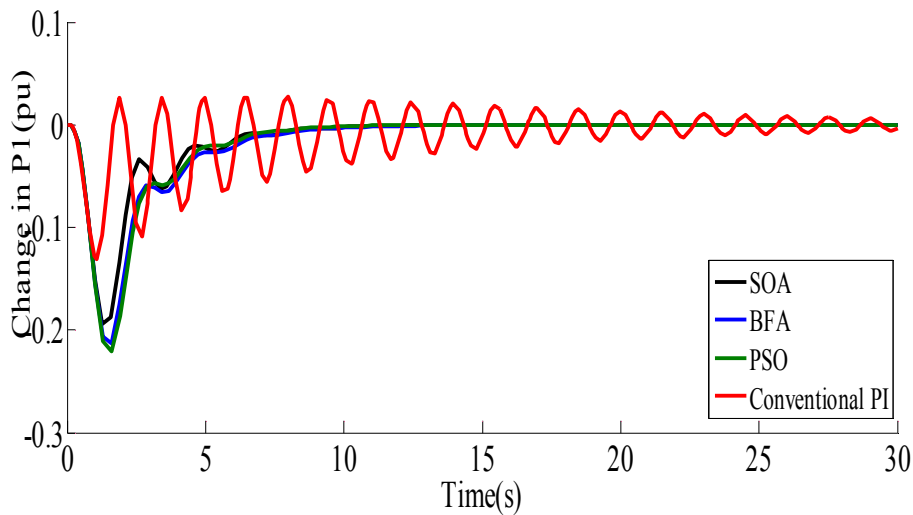


شکل (۱۸): تغییرات فرکانس ناحیه ۳

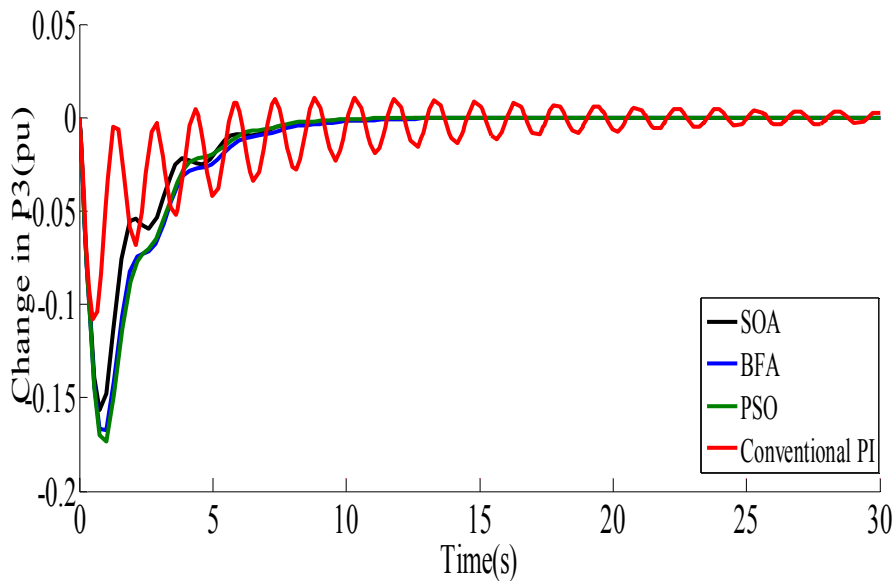


شکل (۱۹): تغییرات فرکانس ناحیه ۴





شکل (۲۰): تغییرات توان ناحیه ۱



شکل (۲۱): تغییرات توان ناحیه ۳

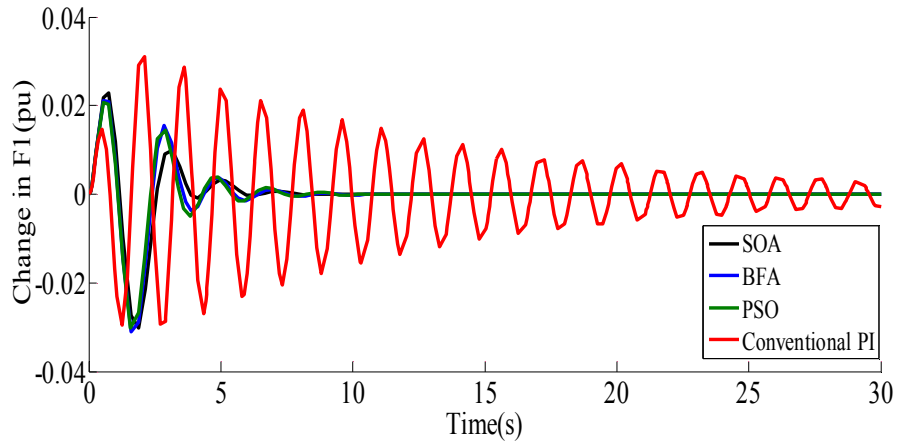
چهارم تنها برای کنترل فرکانس بار در ناحیه خودش مشارکت دارد. این در حالی است که بقیه شرکت‌های تولید وظیفه تغییرات بار در ناحیه خود و همچنین، دیگر نواحی را برعهده دارند. استفاده از روش پیشنهادی باعث می‌شود که در کوتاهترین زمان انحراف فرکانس تمام نواحی به سرعت به صفر میل کند و فلوی توان بین نواحی به همان مقدار ثابت حالت قبل همگرا شود. پاسخ سیستم قدرت در این حالت به ترتیب برای هر چهار ناحیه و ناحیه‌های ۱ و ۳ در شکل‌های (۲۲) تا (۲۷) برای انحرافات فرکانس و توان آورده شده‌است.

#### ۵-۲-۲- تقاضای ناگهانی بار با در نظر گرفتن عدم

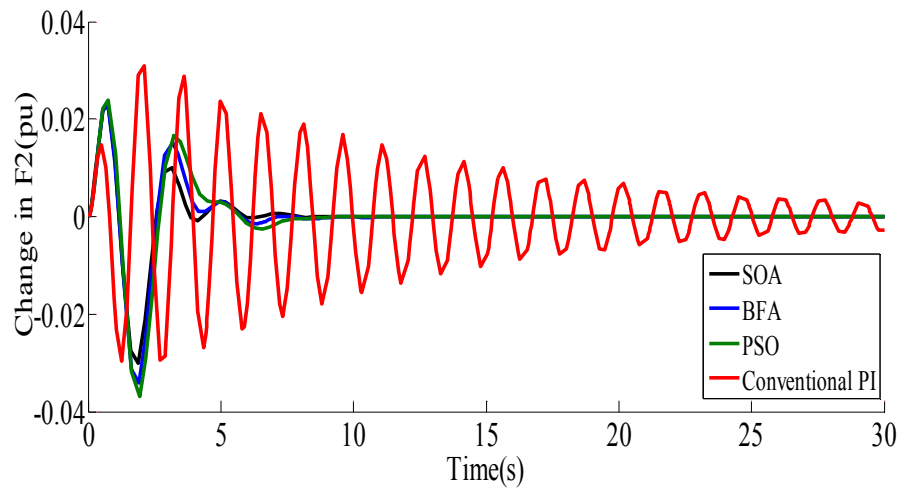
##### قطعیت‌ها طبق قرارداد

در این حالت فرض می‌شود که یک بار بزرگ با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها توسط شرکت‌های توزیع مورد تقاضا است. میزان بار مورد تقاضا و همچنین، قرارداد دوطرفه و مشترک بین شرکت‌های توزیع و تولید که در ماتریس مشارکت تولید افزوده قابل مشاهده است، در [۲۶] شرح داده شده است. در این حالت تمامی شرکت‌های تولید در کنترل فرکانس بار مشارکت می‌کنند، به این صورت که یک شرکت تولید در ناحیه

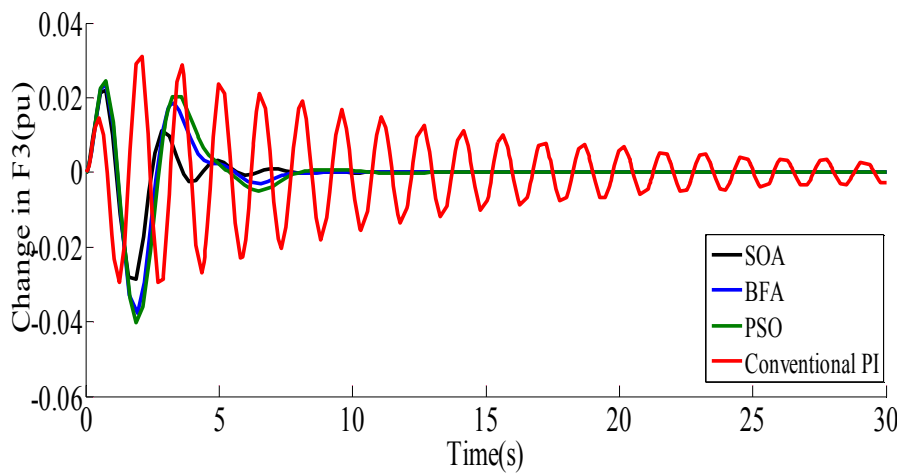
طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....



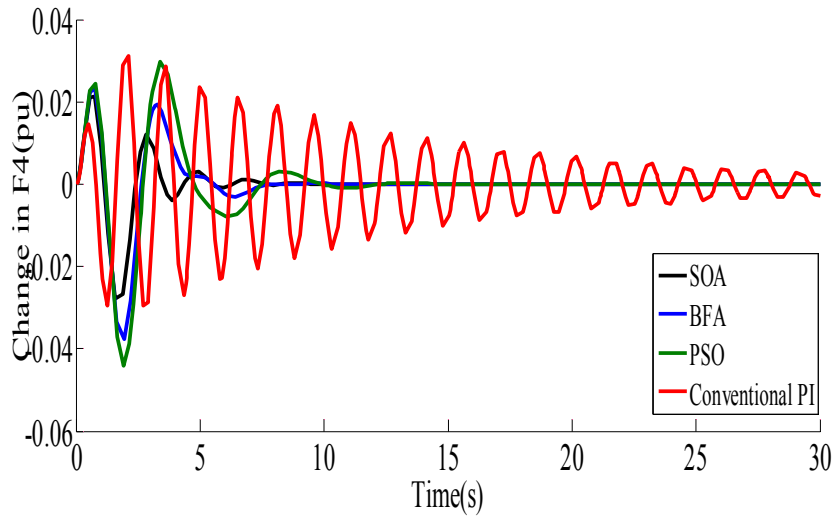
شکل (۲۲): تغییرات فرکانس ناحیه ۱



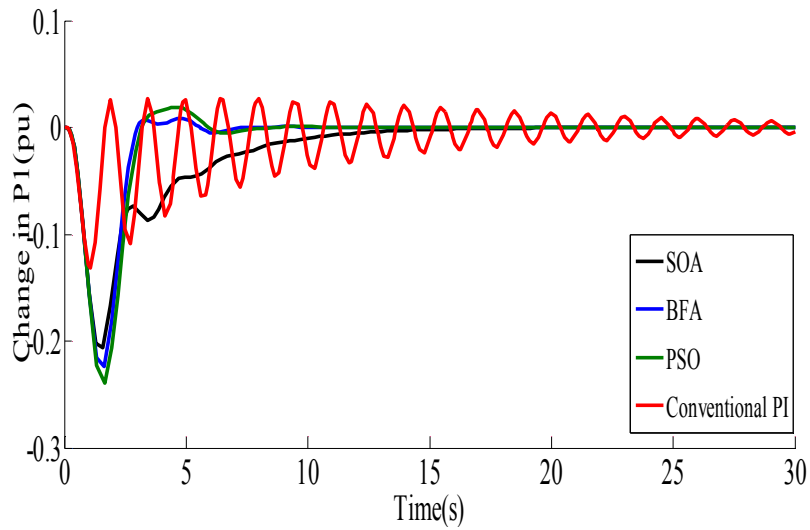
شکل (۲۳): تغییرات فرکانس ناحیه ۲



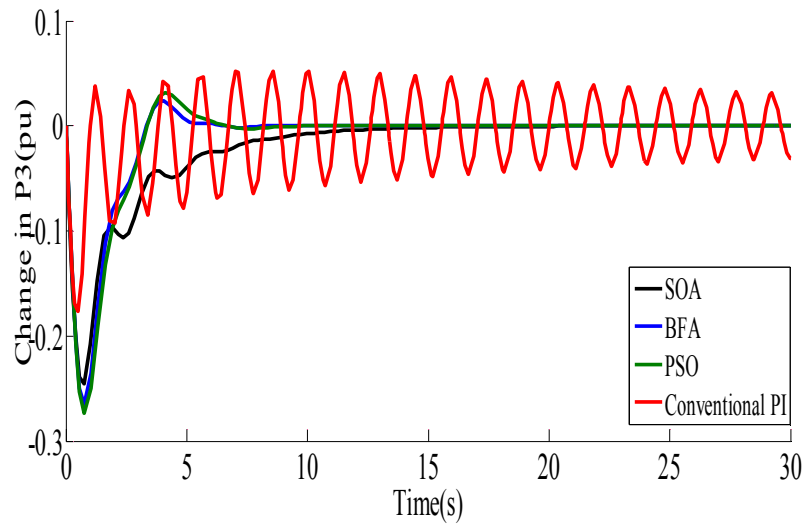
شکل (۲۴): تغییرات فرکانس ناحیه ۳



شکل (۲۵): تغییرات فرکانس ناحیه ۴



شکل (۲۶): تغییرات توان ناحیه ۱



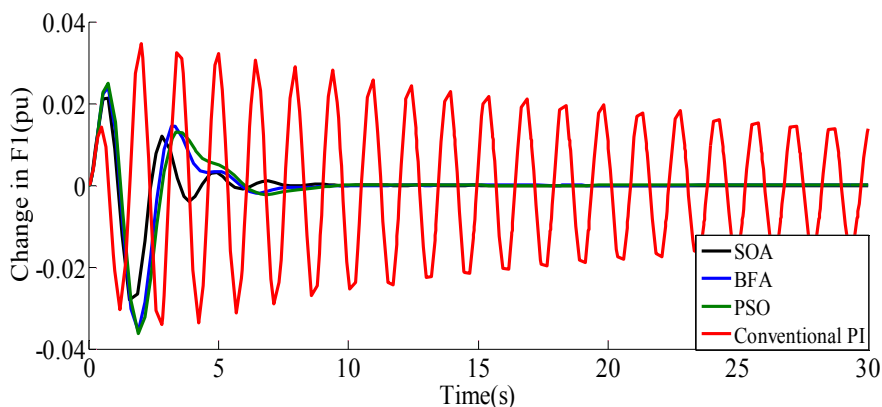
شکل (۲۷): تغییرات توان ناحیه ۳

طراحی کنترل کننده فرکانس بار برای سیستم قدرت به هم پیوسته با استفاده از الگوریتم بهینه سازی جستجوکننده.....

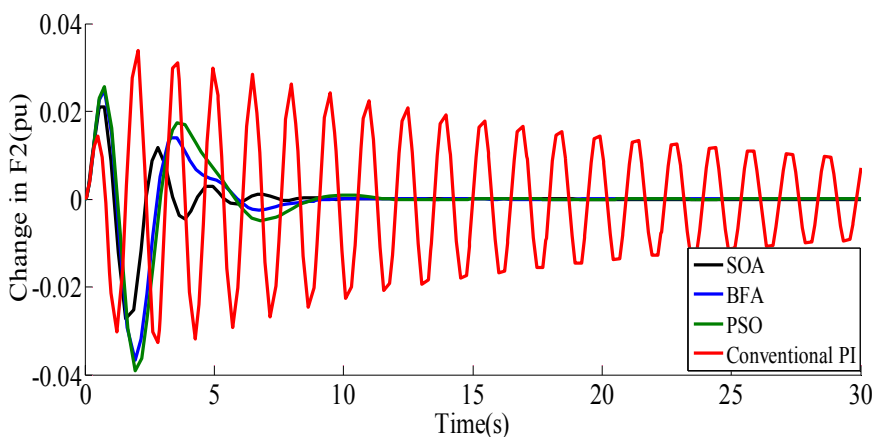
### ۳-۲-۵- تقاضای ناگهانی بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها با تجاوز از قرارداد دوطرفه

در این حالت، علاوه بر در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، فرض شده است که یک شرکت توزیع از میزان تقاضای مشخص شده در قرارداد تجاوز نموده است و این توان به صورت بار خارج شد از قرارداد مدل می‌شود. کل بار خارج از قرارداد در [۲۶]

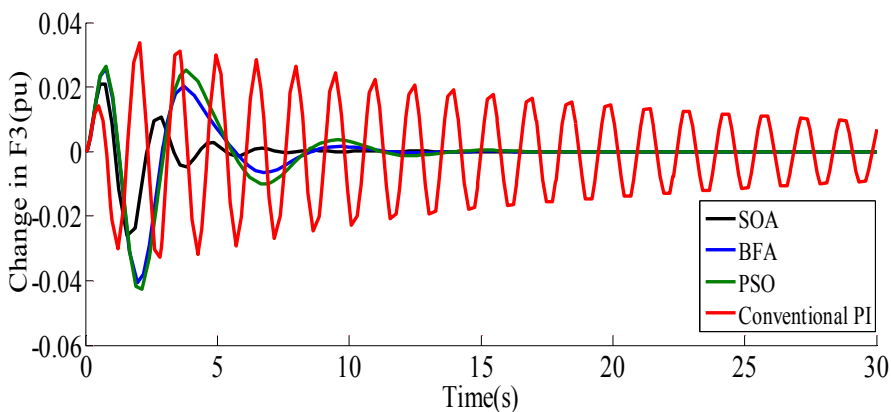
قابل مشاهده است. نتایج شبیه سازی سیستم قدرت به ترتیب برای هر چهار ناحیه و ناحیه‌های ۱ و ۳ در شکل‌های (۲۸) تا (۳۳) برای انحرافات فرکانس و توان نشان داده شده است. استفاده از روش ارائه شده باعث می‌شود که نوسان فرکانس تمام نواحی به سرعت حداقل شود و ولوی توان بین نواحی به همان مقدار ثابت حالت قبل همگرا شود.



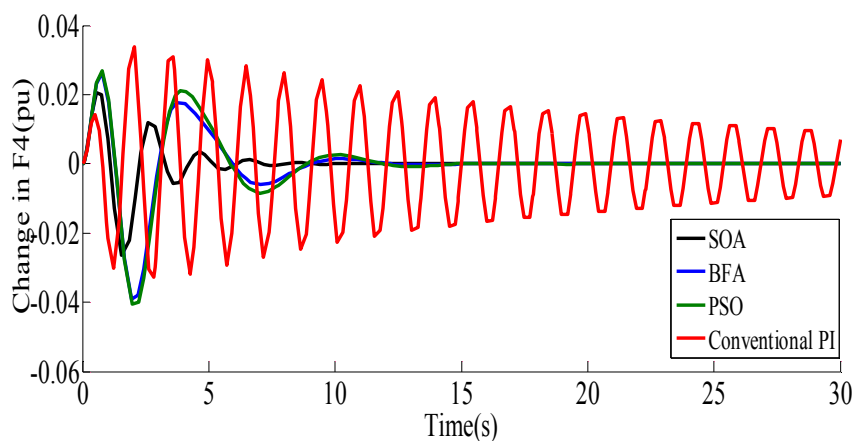
شکل (۲۸): تغییرات فرکانس ناحیه ۱



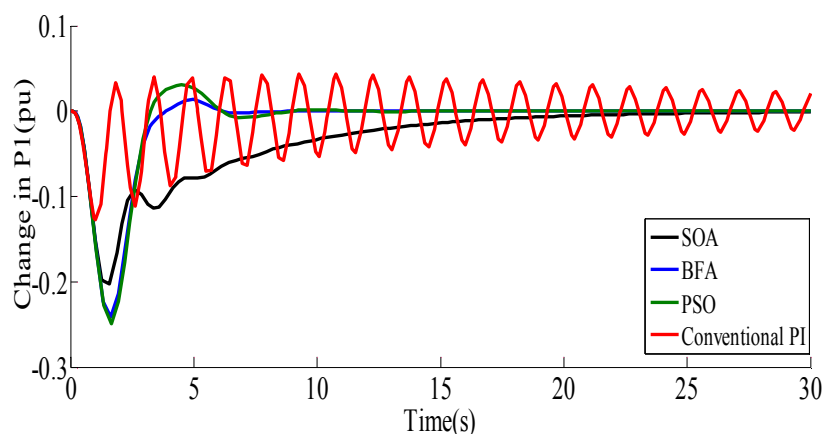
شکل (۲۹): تغییرات فرکانس ناحیه ۲



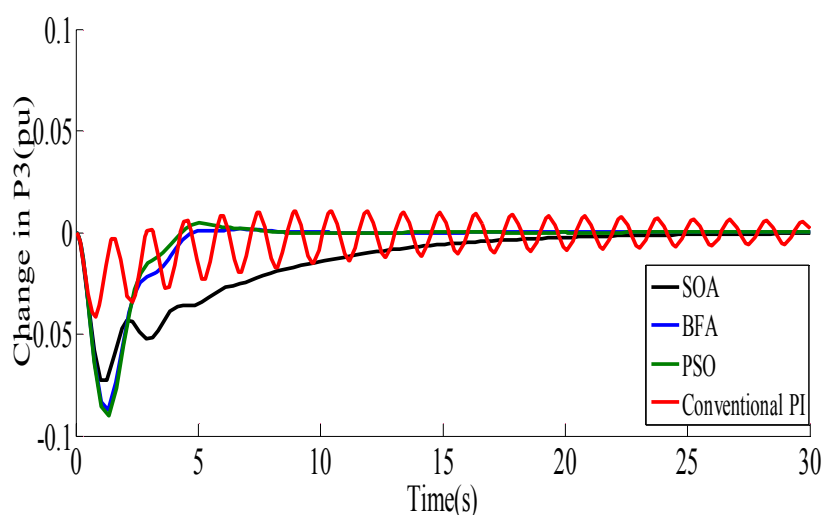
شکل (۳۰): تغییرات فرکانس ناحیه ۳



شکل (۳۱): تغییرات فرکانس ناحیه ۴



شکل (۳۲): تغییرات توان ناحیه ۱



شکل (۳۳): تغییرات توان ناحیه ۳

## ۶- نتیجه گیری

شده است. دو سیستم قدرت دو ناحیه‌ای و چهار ناحیه‌ای تجدید ساختار یافته برای نشان دادن روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. یک معیار انتگرال زمان خطای مطلق انحراف

در این مقاله روش SOA برای تنظیم کنترل کننده PI پیشنهاد

- load-frequency control'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 27, No. 8, pp.542-549, 2005.
- [6] Pothiya, S., Ngamroo, I., Runggeratigul, S., Tantaswadi, P., 'Design of optimal fuzzy logic based PI controller using multiple Tabu Search algorithm for load frequency control'. Int J Contr Autom Syst, Vol. 4, No. 2, pp.155-64, 2006.
- [7] Taher, S., Hematti, R., Abdolalipour, A., Tabei, S.H., 'Optimal decentralized load frequency control using HPSO algorithms in deregulated power systems'. Am J Appl Sci, Vol. 5, No. 9, pp.1167-1174, 2008.
- [8] Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., 'Multi stage fuzzy load frequency control using PSO'. Int J Energy Convers Manage, Vol. 49, No. 10, pp.2570-2580, 2008.
- [9] Sabahi, K., Sharifi, A., Aliyari, M., Teshnehlab, M., Aliasghary, M., 'Load frequency controller in interconnected power system using multi-objective PID controller'. J Appl Sci, Vol. 8, No. 20, pp.3676-3682, 2008.
- [10] Panda, G., Panda, S., Ardil, C., 'Automatic generation control of interconnected power system with generation rate constraints by hybrid neuro fuzzy approach'. Int J Electr Power Energy Syst Eng, Vol. 2, No. 1, pp.13-18, 2009.
- [11] Ramesh, S., Krishnan, A., 'Modified genetic algorithm based load frequency controller for interconnected power system'. Int J Electr Power Eng, Vol. 3, No. 1, pp.26-30, 2009.
- [12] Aravindan, P., Sanavullah, M.Y., 'Fuzzy logic based automatic frequency control of two area power system with GRC'. Int J Comput Intell Res, Vol. 5, No.1, pp.37-44, 2009.
- [13] Ford, J.J., Bevrani, H., Ledwich, G., 'Adaptive load shedding and regional protection'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 31, No. 10, pp.611-618, 2009.
- [14] Roy, R., Bhatt, P., Ghoshal, S.P., 'Evolutionary computation based three-area automatic generation control'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 37, No. 8, pp.5913-5924, 2010.
- [15] Khodabakhshian, A., Hooshmand, R., 'A new PID controller design for automatic generation control of hydro power systems'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 32, No. 5, pp.375-382, 2010.
- [16] Bhatt, P., Ghoshal, S.P., Roy, R., 'Load frequency stabilization by coordinated control of thyristor controlled phase shifters and superconducting magnetic energy storage for three types of interconnected two-area power systems'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 32, No. 10, pp.1111-1124, 2010.
- [17] Fogel, D.B., 'Evolutionary computation toward a new philosophy of machine intelligence'. New York: IEEE, 1995.
- [18] Passino, K.M., 'Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and

فرکانس دو ناحیه و توان ارتباطی در نظر گرفته شده تا با استفاده از آن پاسخ سیستم بر اساس زمان نشست و اورشوت‌ها بهبود یابد. نتایج شبیه‌سازی تأکید بر این دارند که کنترلر PI طراحی شده با روش SOA دارای عملکرد مقاوم بوده، برای انحراف فرکانس و توان ارتباطی، در مقایسه با کنترلر مرسوم PI و کنترلر PI تنظیم شده با PSO و BFA عملکرد میرایی برتری دارد. در کنار ساختار ساده کنترلر پیشنهادی، این روش پتانسیل اجرا در شرایط واقعی را دارد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها بخوبی می‌توان با بهره‌گیری از روش پیشنهادی، کنترل فرکانس و تبادل توان بین نواحی طبق قراردادهای منعقد شده با وجود عدم قطعیت را انجام داد که این امر باعث بهبود کیفیت انرژی الکتریکی و افزایش قابلیت اطمینان آن می‌شود.

## ۷- ضمیمه

مقادیر متداول پارامترهای سیستم تحت مطالعه در ذیل نشان

داده شده‌اند:

$$T_{P1} = T_{P2} = 20s$$

$$T_{T1} = T_{T2} = 0.3s$$

$$T_{I2} = 0.545pu$$

$$T_{G1} = T_{G2} = 0.08s$$

$$K_{p1} = K_{p2} = 120HZ / puMW$$

$$R_1 = R_2 = 2.4HZ / puMW$$

$$B1 = B2 = 0.425puMW / HZ$$

## ۸- مراجع

- [1] Kundur, P., 'Power system stability and control, McGraw-Hill', 1994.
- [2] Yang, T.C., Cimen, H., Zhu, Q.M., 'Decentralized load frequency controller design based on structured singular values'. IEE Proc-Generat Trans Distrib, Vol. 145, No. 1, pp.7-14, 1998.
- [3] Rerkpreedapong, D., Hasanovic, A., Feliachi, A., 'Robust load frequency control using genetic algorithms and linear matrix inequalities'. IEEE Trans Power Syst, Vol. 18, No. 2, pp. 855-861, 2003.
- [4] Zribi, M., Al-Rashed, M., Alrifai, M., 'Adaptive decentralized load frequency control of multi area power systems'. Int J Electr Power Energy Syst, Vol. 27, No.8, pp. 575-583, 2005.
- [5] Cam, E., Kocaarslan, I., 'Fuzzy logic controller in interconnected electrical power systems for

- control'. IEEE Contr Syst Mag, Vol. 22, No. 3, pp. 52-67, 2002.
- [19] Kim, D.H., Abraham, A., Cho, J.H., 'A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization'. Inf Sci, Vol. 177, No. 18, pp. 3918-3937, 2007.
- [20] Mishra, S., Tripathy, M., Nanda, J., 'Multi-machine power system stabilizer design by rule based bacteria foraging'. Int J Electr Power Syst Res, Vol.77, No. 12, pp.1595-1607, 2007.
- [21] Panda, S., Padhy, N. P., "Optimal location and controller design of STATCOM for power system stability improvement using PSO", Journal Franklin Ins., Vol. 345, No. 2, pp. 166-181, 2008.
- [22] Chaohua, D., Weirong, C., Member, IEEE, and Yunfang, Z., "Seeker Optimization Algorithm for Digital IIR Filter Design", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 57, NO. 5, MAY 2010.
- [23] Dai, C., Zhu, Y., and Chen, W., "Seeker optimization algorithm," in Computational Intelligence and Security, vol. 4456, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Y. Wang, Y. Cheung, and H. Liu, Eds. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 167-176, 2007.
- [24] Shaw, B., Mukherjee, V., Ghoshal, S.P., "Seeker optimisation algorithm: application to the solution of economic load dispatch problems", IET Gener Transm. Distrib, Vol. 5, No. 1, pp. 81-91, 2011.
- [25] Bevrani, H., Mitani Y. and Tsuji, K., "Robust Decentralized AGC in a Restructured Power System", Energy Conversion Management, Vol. 45, No. 15-16, pp. 2297-2312, 2004.
- [26] Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., 'A robust mixed  $H_2/H_\infty$  based LFC of a deregulated power system including SMES'. Int J Energy Convers Manage, Vol. 49, No. 12, pp.2656-2668, 2008.

- 
- 1 -Load Frequency Control
  - 2 - Proportional Integral
  - 3 -Genetic Algorithm
  - 4 -Tabu Search
  - 5 -Fuzzy Logic based Proportional Integral
  - 6 - Hybrid Particle Swarm Optimization
  - 7 - Hybrid Neuro Fuzzy
  - 8 - Automatic Generation Control
  - 9 - generation rate constraint
  - 10 - Bacterial Foraging Algorithm
  - 11 - Seeker Optimization Algorithm
  - 12 -Generation Rate Constraint
  - 13 -Valve Speed Limitation

