



**University of Kurdistan**

Dept. of Electrical and Computer Engineering

*Smart/Micro Grid Research Center*

[smgrc.uok.ac.ir](http://smgrc.uok.ac.ir)

## **Automatic generation control in interconnected power system with TCPS using fuzzy logic.**

Waseei H, Bevrani H

Published (to be published) in: 5th Iranian National Conference on Electronics and Electrical Eng. (in Persian), Azad University, Gonabad, Iran

(Expected) publication date: 2013

### **Citation format for published version:**

Waseei H, Bevrani H (2013) Automatic generation control in interconnected power system with TCPS using fuzzy logic. 5th Iranian National Conference on Electronics and Electrical Eng. (in Persian), Azad University, Gonabad, Iran.

### **Copyright policies:**

- Download and print one copy of this material for the purpose of private study or research is permitted.
- Permission to further distributing the material for advertising or promotional purposes or use it for any profit-making activity or commercial gain, must be obtained from the main publisher.
- If you believe that this document breaches copyright please contact us at [smgrc@uok.ac.ir](mailto:smgrc@uok.ac.ir) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# کنترل تولید اتوماتیک سیستم بهم پیوسته قدرت با حضور TCPS با استفاده از منطق فازی

<sup>۱</sup>حسام واسعی، <sup>۲</sup>احسن بیورانی

<sup>۱</sup>دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه کردستان، Hesam.vaseei@stu.uok.ac.ir

<sup>۲</sup>دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه کردستان، Bevrani@uok.ac.ir

## چکیده

در این مقاله به بررسی مساله کنترل فرکانس - بار ۳ ناحیه بهم پیوسته تریستورهای کنترل شده تغییردهنده فاز Thyristor Controlled Phase Shifter (TCPS). با استفاده از کنترلر منطق فازی (FLC) و در نظر گرفتن اثر تاخیر پرداخته شده است. برای پایداری فرکانس و کنترل نوسانات توان بین ۳ ناحیه، میتوان از کنترل زاویه فاز TCPS استفاده کرد. هدف از استفاده از TCPS کنترل موثر فرکانس سیستم است. FLC در اینجا به گونه‌ای طراحی شده است که اثر نامعینی پارامترهای گاورنر، توربین و اختلالات بار را کاهش می‌دهد. هر کدام از نواحی کنترلی به طور مستقل طراحی شده‌اند و پایداری سیستم حلقه بسته آنها تضمین شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی اعتبار می‌دهد و مقایسه انجام گرفته بین FLC پیشنهادی و کنترلر PI متداول نشان از برتری FLC دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کنترل فرکانس- بار، کنترلر PI، FLC، TCPS

## ۱- مقدمه

اثرات پارامتریک نامعینی‌ها در کنار اثر تغییر بار در سیستم‌های قدرت بهم پیوسته، بر پایه مدل FLC بررسی می‌گردد. در اینجا محدودیت‌های سیستم، از قبیل محدودیت سرعت تولید (GRC) نیز در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی در حضور FLC نشان می‌دهد که این روش کنترلی عملکرد مقاوم را در حضور نامعینی‌ها تضمین می‌کند.

## ۲- دینامیک سیستم

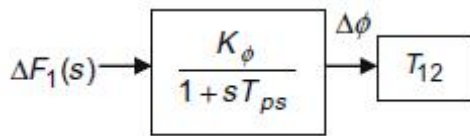
این سیستم قدرت شامل ۳ ناحیه بهم پیوسته توسط Tie-line ها است. در یک سیستم کنترل بار-فرکانس در هر منطقه کنترلی، سیستم قدرت بهم پیوسته باید توان مبادله شده با مناطق دیگر را به خوبی فرکانس محلی خود کنترل کند، بنابراین در مدل دینامیکی سیستم LFC باید سیگنال Tie-line را هم به حساب آورد. شکل ۱

تغییر در بار یک ناحیه و یا اختلالات وارد به آن ناحیه، منجر به عدم تطابق در فرکانس و توان مبادله شده بین نواحی می‌شود که این معضل را میتوان بوسیله کنترل فرکانس - بار اصلاح کرد. از اهداف LFC تنظیم فرکانس و حفظ توان مبادله شده بین نواحی، در یک مقدار مشخص شده در حضور اختلالات است [۱]. کنترلرهای سنتی به شکل گسترده در LFC به کار رفته‌اند. پارامترهای این نوع از کنترلرها ثابت هستند و برای نقطه کار عادی طراحی شده‌اند و ممکن است برای شرایط دیگر مناسب نباشد به همین دلیل از روش‌های کنترل هوشمند، شبیه کنترل فازی استفاده می‌کنیم. از مزیت‌های روش فازی این است که نیازی به داشتن مدل دقیق از سیستم نداریم و لازم نیست تا دینامیک دقیق سیستم را بدانیم [۲]. استفاده از وسایل الکترونیک قدرت، مانند ادوات FACTS برای کنترل سیستم‌های قدرت پذیرفته شده است و ادوات FACTS انعطاف بیشتری را در بهره برداری و کنترل سیستم‌های قدرت فراهم می‌آورند [۳]. در این مقاله

شماره کلی از یک سیستم قدرت بهم پیوسته را با  $N$  ناحیه کنترلی نشان می‌دهد [۵].

$$ACE_i = \beta_i \Delta F_i + \Delta P_{tie\ i} \quad (4)$$

شکل ۳ یک ناحیه از سیستم قدرت بهم پیوسته را در حضور بلوک TCPS و بلوک کنترلر فازی نشان می‌دهد. شکل ۲ استراتژی بلوک TCPS را بیان میکند [۶] و در شکل ۴ بلوک کنترلر فازی را به صورت مدل گسترده شده نشان داده می‌شود.



شکل ۲. بلوک استراتژی TCPS

### ۳- طراحی کنترلر فازی

در شکل ۵ سیستم استنتاج فازی را مشاهده می‌کنید [۲]. طی یک فرایند ورودی‌های سیستم را از مجموعه CRISP به فازی تبدیل می‌کنیم بعد از اعمال قوانین فازی خروجی سیستم فازی را فازی‌زدایی کرده تا برای سیستم قابل قبول باشد. در این کار یک شبه PI بر پایه دانش فازی طراحی شده است. ACE و  $\Delta ACE$  به عنوان ورودی‌های کنترلر فازی و  $u$  به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. علت آنکه  $\Delta ACE$  را نیز بعنوان ورودی گرفته ایم، ناچیز بودن تغییرات ACE است. ورودی‌ها و خروجی به  $\gamma$  متغیر زبانی NB, NM, NS, PM, PS, Z تبدیل می‌شوند. در اینجا از توابع عضویت مثلثی متقارن برای هر  $\gamma$  متغیر ACE  $\Delta ACE$  استفاده شده است. توابع عضویت در محدوده min و max مقدار ACE در شکل ۶ نشان داده شده است.

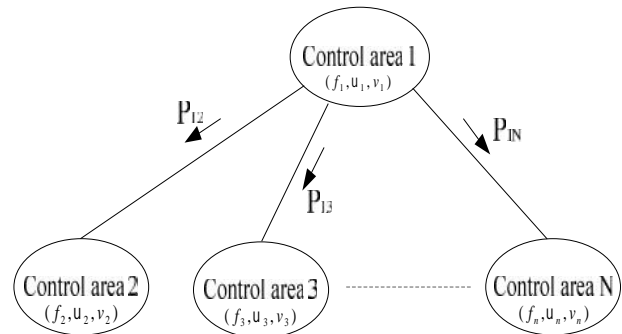
ساختار اصلی یک کنترلر PI معمولی بوسیله فرمول زیر بیان می‌شود:

$$u = k_p e + k_i \int e dt \quad (5)$$

که در آن  $k_p$  و  $k_i$  ضرایب تناسبی و انتگرالگیر و  $e$  سیگنال خطاست. هر کدام از ۳ متغیر به  $\gamma$  مجموعه فازی تبدیل می‌شوند بنابراین ۴۹ قانون ایجاد می‌شود که در جدول ۱ آنها را نشان داده ایم.

رفتار بین  $\Delta P_{mi}$  -  $\Delta P_{ti}$  به صورت ریاضی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\Delta f_i = \left( \frac{\Delta P_{mi}}{2H_i} \right) - \left( \frac{\Delta P_{ti}}{2H_i} \right) - \left( \frac{D_i}{2H_i} \right) \Delta f_i - \left( \frac{\Delta P_{tie\ i}}{2H_i} \right) \quad (1)$$



شکل ۱. سیستم قدرت با  $N$  ناحیه کنترلی

و رفتار گاورنر بشکل زیر بیان می‌شود:

$$\Delta P_{mi} = \left( \frac{\Delta P_{gi}}{T_{ti}} \right) - \left( \frac{\Delta P_{mi}}{T_{ti}} \right) \quad (2)$$

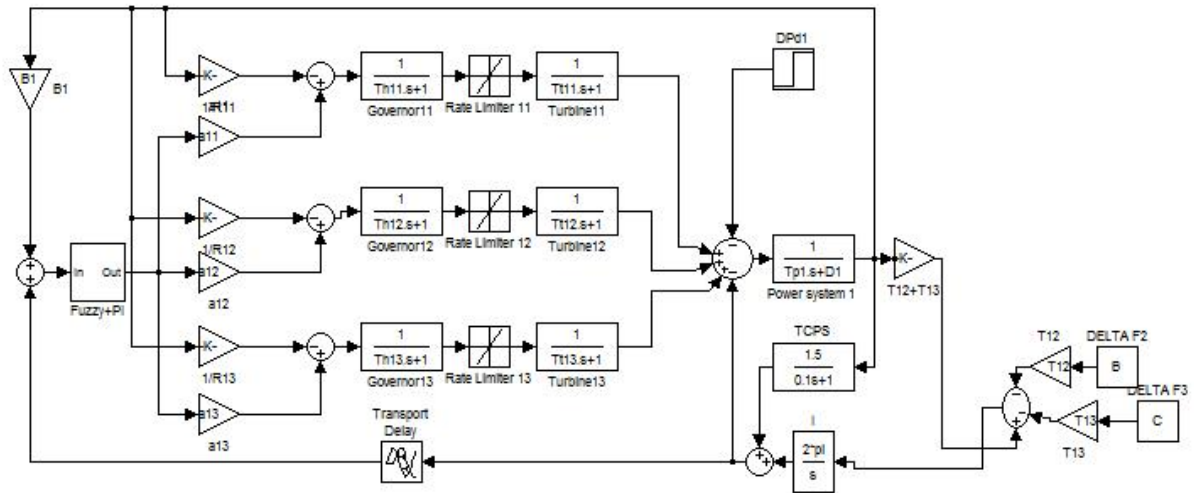
و رفتار توربین نیز بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta P_{gi} = \left( \frac{\Delta P_{ci}}{T_{gi}} \right) - \left( \frac{\Delta f_i}{R_i T_{gi}} \right) - \left( \frac{\Delta P_{gi}}{T_{gi}} \right) \quad (3)$$

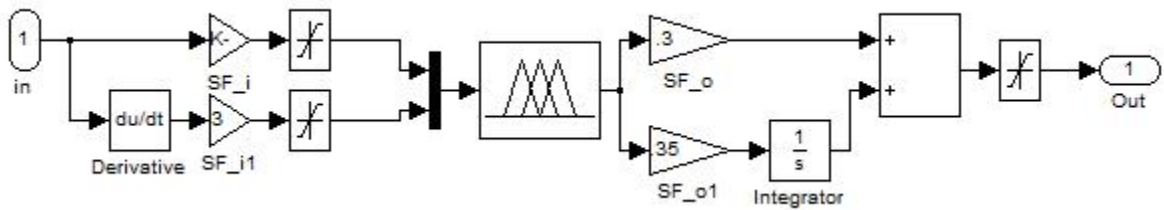
که در آن  $P_{gi}$  تغییرات خروجی گاورنر  $i$ ،  $P_{mi}$  تغییرات مکانیکی ناحیه  $i$ ،  $f_i$  انحراف فرکانس ناحیه  $i$ ،  $P_{ti}$  تغییرات ناحیه  $i$ ،  $P_{ci}$  عمل کنترل ثانویه ناحیه  $i$ ،  $H_i$  ثابت اینرسی ناحیه  $i$ ،  $D_i$  ثابت میرایی ناحیه  $i$ ،  $R_i$  شاخص افت،  $B_i$  فاکتور بایاس فرکانس ناحیه  $i$ ،  $T_{ij}$  ضریب مشترک سنکرونیزوم با منطقه  $j$ ،  $P_{tie\ i}$  کل تغییر توان tie-line بین منطقه  $i$  و دیگر مناطق است.

در یک سیستم که از چند ناحیه کنترلی تشکیل شده است، کنترل ثانویه علاوه بر تنظیم فرکانس باید تبادل توان را هم با مناطق همسایه در یک مقدار مشخص، حفظ کند [۷].

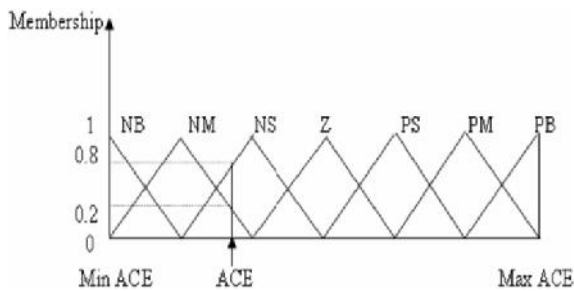
ACE نیز یک ترکیب خطی از تغییرات فرکانس و توان Tie-line است.



شکل ۳: یک ناحیه سیستم قدرت بهم پیوسته در حضور TCPS



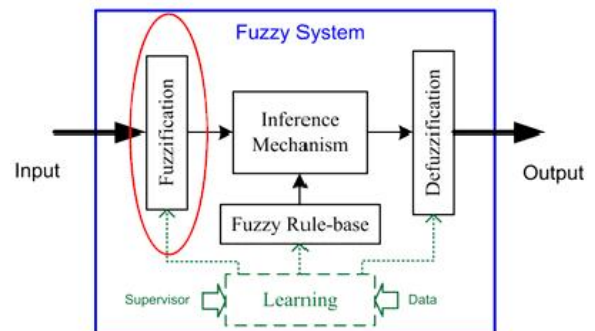
شکل ۴: مدل گسترده بلوک کنترلر فازی



شکل ۶: توابع عضویت

جدول ۱. قوانین فازی

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	Z
NM	PB	PM	PM	PS	PS	Z	Z
NS	PM	PS	PS	PS	Z	Z	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
PS	Z	Z	Z	NS	Z	NS	NS
PM	Z	Z	NS	NS	NM	NM	NB
PB	Z	NS	NS	NM	NM	NB	NB



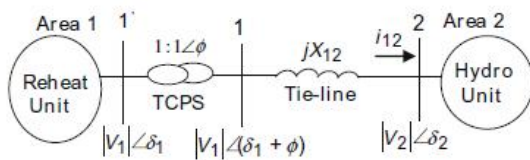
شکل ۵: سیستم استنتاج فازی

#### ۴- مدل خط انتقال توان با حضور TCPS

#### ۵- نتایج شبیه سازی

به هریک از نواحی ۳ گانه به ترتیب اختشاشاتی برابر با  $DP1=0.1$  PU و  $DP2=0.08$  PU و  $DP3=0.05$  PU اعمال می-کنیم. با در نظر گرفتن اثر تاخیر برای هر ۳ ناحیه، تحت ۲ سناریو به بررسی و مقایسه عملکرد سیستم کنترل بار-فرکانس (LFC) می-پردازیم، یکی با استفاده از کنترلر PI و دیگری با استفاده از کنترلر فازی و نتایج را با یکدیگر مقایسه می-کنیم.

شکل های ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ به ترتیب F1 و F2 و F3 را نشان می-دهند.



شکل ۷: ارتباط دو ناحیه بوسیله TCPS

همان طور که مشاهده می-شود، کنترلر فازی نوسانات سیستم را پس از وارد شدن اغتشاش کاهش میدهد. دقت در شکل موج های بدست آمده این نکته را مشخص میکند که مقدار بالازدگی و پایین زدگی به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کرده است و سرعت پاسخ سیستم نیز به میزان قابل توجه بهبود پیدا کرده است.

در حالت کلی بسیاری از قوانین با یکدیگر همپوشانی دارند و می-توان از بعضی از آنها صرف نظر کرد این کار باعث سرعت بیشتر پردازش نیز می-شود. در اینجا از ۴۹ قانون ایجاد شده، در نهایت به ۹ قانون رسیده-ایم .

#### ۳-۱ عکس فازی سازی

خروجی مکانیزم، یک مقدار فازی است بنابراین لازم است تا به یک مقدار واقعی تبدیل شود. در اینجا از روش center of gravity (cog) به خاطر سادگی آن استفاده شده است. خروجی  $\Delta u$  به وسیله cog از فرمول زیر بدست می-آید.

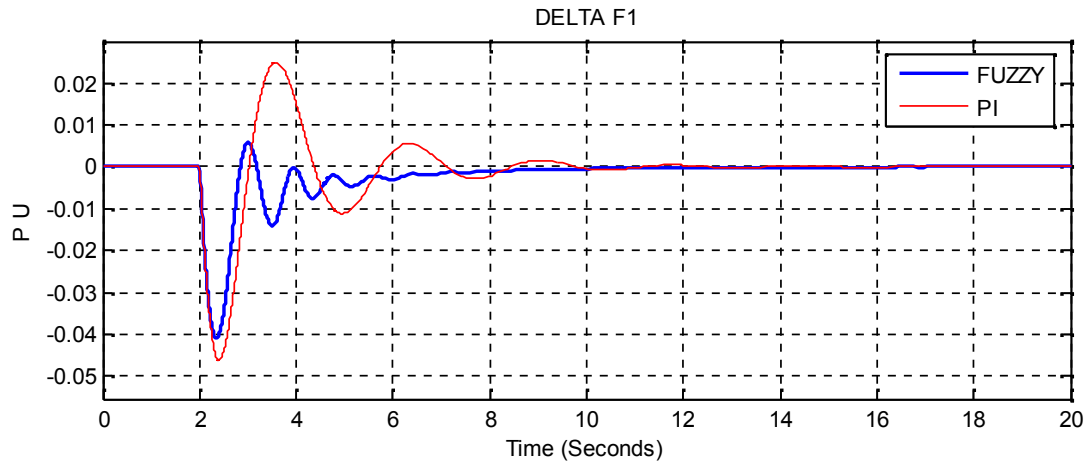
$$\Delta u = \frac{\sum_{j=1}^{49} \mu_j u_j}{\sum_{j=1}^{49} \mu_j} \quad (6)$$

که در آن  $\mu_j$  مقدار تابع عضویت عمل کنترلی و  $u_j$  مقدار عددی مربوط به آن عمل کنترلی است. از روش های دیگر مانند mean of max هم می-توان استفاده کرد اما اشکال این روش آن است که از تمام دستورات فازی منتقل شده استفاده نمیکنند و بخشی از اطلاعات سیستم از بین می-رود.

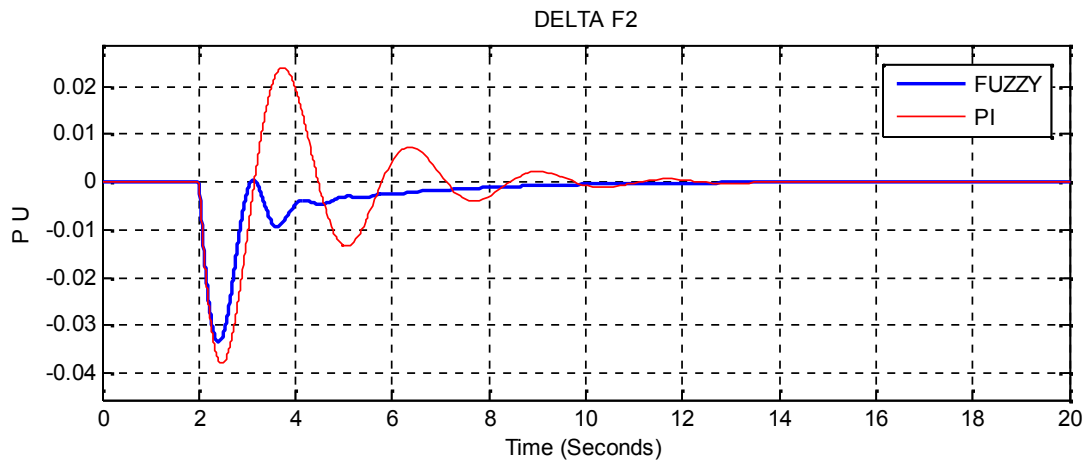
پیشرفت های اخیر در زمینه الکترونیک قدرت منجر به توسعه ادوات FACTS شده است. در واقع ادوات FACTS برای غلبه بر محدودیت های دینامیکی موجود در سیستم های قدرت طراحی شده اند. TCPS یکی از انواع آنها است که زاویه نسی فاز بین ولتاژهای سیستم را تغییر می-دهد. بنابراین با تنظیم توان حقیقی می-توان نوسانات فرکانس سیستم را کاهش و پایداری سیستم را افزایش داد. شکل ۷ شماتیک کلی یک سیستم قدرت متشکل از ۲ ناحیه در حضور TCPS را نشان می-دهد که توان Tie-line از رابطه زیر بدست می-آید.

$$\Delta P_{tie-12}(s) = \frac{2\pi T_{12}}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] + \frac{T_{12} K_{\phi}}{1 + T_{P\phi} s} \Delta F_1(s) \quad (7)$$

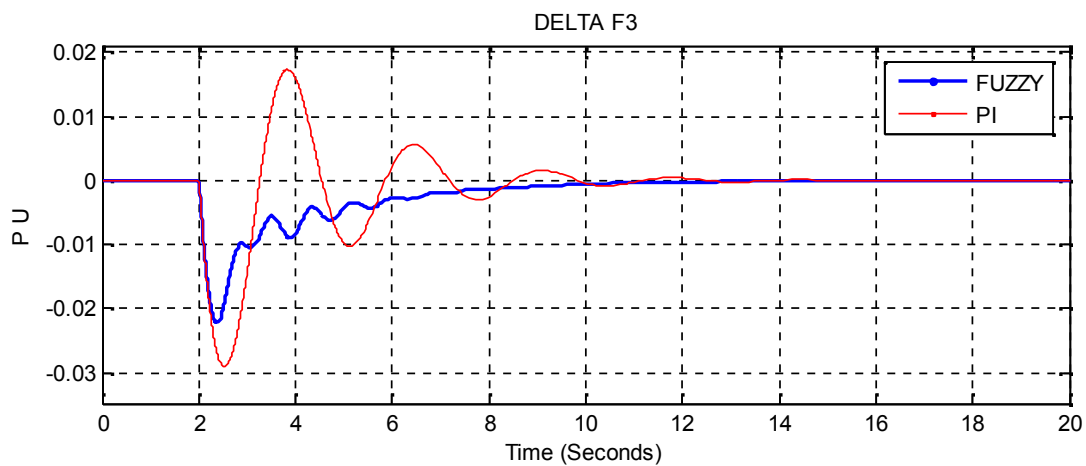
در این عبارت  $\Delta P_{tie-12}$  تغییرات توان انتقالی بین نواحی ۱ و ۲  $T_{12}$  ثابت سنکرون کننده بدون حضور TCPS،  $K_{\phi}$  و  $T_{P\phi}$  به ترتیب بهره و ثابت زمانی TCPS میباشند.



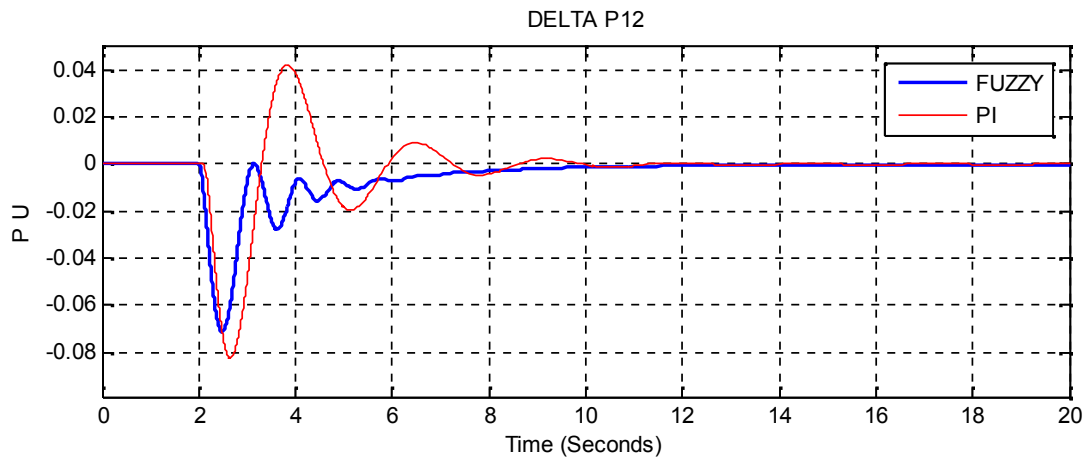
شکل ۸: تغییرات فرکانس در ناحیه ۱



شکل ۹: تغییرات فرکانس در ناحیه ۲



شکل ۱۰: تغییرات فرکانس در ناحیه ۳



شکل ۱: تغییرات توان بین ناحیه ۱ و ۲

#### ۶- نتیجه گیری

[3] J. Kumar, K. -Koeng Ng and G. Sheble, "AGC simulator for price based operation part 1," *IEEE Trans Power Syst*, vol. 12, pp. 527-532, 1997.

[4] J. Kumar, K. -Koeng Ng and G. Sheble, "AGC simulator for price based operation part 1," *IEEE Trans Power Syst*, vol. 12, pp. 527-532, 1997.

[5] H. bevrani, *Robust power system control*, new york: springer, 2009..

همان طور که مشاهده شد این مقاله به بررسی عملکرد کنترلر فازی بر اساس کنترل ۳ ناحیه TCPS می‌پردازد. روش‌های طراحی سنتی متداول نیازمند درک عمیق از سیستم، مدل ریاضی و مقادیر عددی آنها است در حالیکه یکی از ویژگی‌های کنترلر فازی این است که با یک دانش کم از سیستم می‌توانیم آن را کنترل کنیم. این کار یک قانون پایه‌ای فازی را با استفاده از ACE و ACE ایجاد کرده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که کنترلر فازی مورد نظر عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد.

#### ۷- مراجع

[1] T. H. mohamed, H. bevrani and T. hiyama, "Decentralized model predictive based load frequency control in an interconnected power system," *elsevier*, vol. 52, no. Energy Conversion and Management, pp. 1208-1214, 2011.

[2] H. bevrani "lecture note of fuzzy logic control" available online :[www.bevrani.com](http://www.bevrani.com)