



**University of Kurdistan**

Dept. of Electrical and Computer Engineering

*Smart/Micro Grid Research Center*

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

## **Fuzzy logic application in PI control design for frequency/voltage controller in Microgrids.**

Laleh, M S, Ahmadi S, Bevrani H

Published (to be published) in: 18th Electric Power Distribution Conference, Iran, Kermanshah.

(Expected) publication date: 2013

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

Laleh, M S, Ahmadi S, Bevrani H (2013) Fuzzy logic application in PI control design for frequency/voltage controller in Microgrids. 18th Electric Power Distribution Conference Iran (in Persian), Kermanshah, April 30-May 1, 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.

# استفاده از منطق فازی برای تعیین ضرایب PI در کنترل فرکانس و ولتاژ یک شبکه مایکروگرید

<sup>۱</sup> صالح احمدی<sup>۱</sup>، محمد سیفی لاله<sup>۲</sup>، حسن بیورانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه کردستان و شرکت میهن گستران قدرت، salehahmadi66@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشگاه کردستان، Mohammadsayfi.uok@gmail.com

<sup>۳</sup> دانشگاه کردستان، bevrani@ieee.org

مایکروگریدها در عمل و همچنین در تحقیقات علمی، پروژه های مورد مطالعه زیادی در سراسر جهان، از جمله پروژه CERTS در ایالات متحده [۱]، پروژه مایکروگرید در سنگال [۲]، مایکروگرید جزیره Kythnos در یونان [۳]، و چندین پروژه در ژاپن [۴]، وجود دارد. حضور مایکروگریدها در کنار شبکه اصلی رایج در سیستم قدرت، شاخصه های اصلی سیستم قدرت مانند ولتاژ و فرکانس را تحت تاثیر قرار می دهد که باید با استفاده از استراتژی های کنترلی مناسب کنترل شوند. در این مقاله فقط از یک PI استفاده شده است که با توجه به کاهش محاسبات و عملکرد بهتر سیستم از اهمیت ویژه ای برخوردار است

چکیده - شبکه های نوین تولید به افزایش هوشمندی و انعطاف پذیری در کنترل و بهینه سازی برای اطمینان از تولید تعادل بار و اختلاهای جدی در شبکه نیاز دارد. امروزه این مساله باعث افزایش تعداد مایکروگریدها شده است. مایکروگریدها عمدتاً از انرژی های تجدیدپذیر که به صورت طبیعی تغییر می کنند برای تولید برق استفاده می کنند. این تغییرات و عدم قطعیت در شبکه های قدرت باعث افزایش استفاده از کنترل کننده های معمول شده است. در پاسخ به این چالش در این مقاله راهکاری نوین برای تعیین ضرایب PI بر مبنای تغییرات پارامترهای دخیل در تعیین ضرایب با استفاده از منطق فازی برای کنترل فرکانس و ولتاژ ارائه شده است. کلید واژه - شبکه های هوشمند، منابع پراکنده، منطق فازی

## ۱- مقدمه

افزایش تقاضا برای انرژی باعث وارد شدن چندین منبع غیرمعمول برای تولید برق شده است که افزایش پیچیدگی شبکه و عدم قطعیت در شبکه را بالا برده است. مایکروگریدها در سطح ولتاژ پایین (LV) و متوسط (MV) در شبکه های توزیع قرار می گیرند. با افزایش تعداد مایکروگریدها متصل به شبکه توزیع، چالش های جدیدی مانند ثبات سیستم، کیفیت توان، شبکه و عملکرد آن باید حل شود که استفاده از تکنیک های پیشرفته کنترلی در سطح MV / LV و نه در سطوح ولتاژ بالا که در کنترل سیستم قدرت مرسوم است را ایجاب می کند. به عبارت دیگر، شبکه های توزیع (طرف تقاضا) باید از حالت منفعل به فعال تغییر نقش دهد. امروزه، با توجه به اهمیت روز افزون

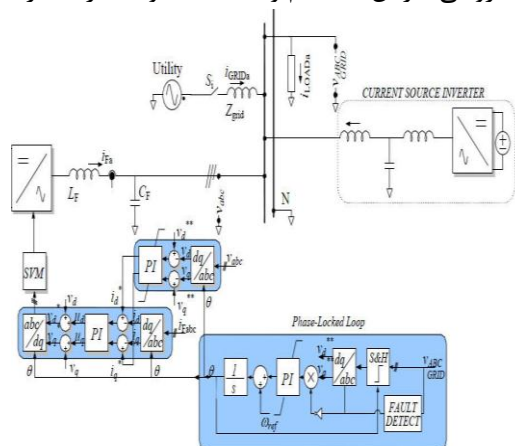
## ۲- شبکه های هوشمند

شبکه های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین فناوری های روز دنیا و حاصل سعی و تلاش متخصصین جهت مدرنیزه نمودن شبکه های توزیع و ورود به قرن دیجیتال است. اصلی ترین هدف، تأمین برق مطمئن و پاسخگو به نیازهای رو به رشد مشتریان با کمترین خسارت به محیط زیست است. از مزایای شبکه های هوشمند پیک سازی (کم کردن ریپل)، کاهش مصرف سوخت های فسیلی، کاهش خاموشی ها، کاهش سرمایه گذاری مورد نیاز برای پروژه های توزیع و انتقال به جهت بهبود بالانس بار و کاهش بار در پیک مصرف به دلیل مدیریت پیشرفته تقاضا و همچنین کاهش

هزینه‌ها می‌باشد.

## ۱-۲ روش‌های کنترل شبکه‌های هوشمند

داده شده و خروجی آن به یک ذخیره ساز داده می‌شود. نهایتاً خروجی ذخیره‌ساز به اینورتر جهت تامین مقادیر جریان متناوب مورد نظر داده می‌شود. با توجه به توضیحات ذکر شده می‌توان یک منبع تولید پراکنده به عنوان محرک اولیه را به گونه‌ای در نظر گرفت که با به همراه داشتن یک سیستم ذخیره ساز انرژی، دارای خروجی جریان مستقیم و ثابت ۴۰۰ ولت فاز به فاز باشد.



شکل ۱: فرم کلی یک منبع تولید پراکنده به همراه ساختار کنترلی.

منبع تولید پراکنده به صورت منبع ۴۰۰ ولت و جریان مستقیم در نظر گرفته شده است [۵]. جهت تبدیل جریان مستقیم به جریان متناوب از یک اینورتر با دیودهای ماسفت استفاده شده است. ساختار کنترل فرکانس و ولتاژ مربوط به کنترل مدولاتور پهنای پالس گیت است. از مدولاتور پهنای پالس برای تامین پالس‌های گیت دیودهای به کار رفته در اینورتر، استفاده شده است [۶]. در مرحله بعدی مقدار  $\Delta V_d$  از مقدار یک پریونیت و  $\Delta V_q$  از صفر پریونیت کم شده و به ورودی کنترلر تناسبی انتگرالی (PI) اعمال می‌شود. ضرایب این کنترل کننده به گونه‌ای انتخاب می‌شود که خروجی‌های آن که به عنوان مرجع جریان به کار می‌روند به ترتیب یک و صفر پریونیت باشند.

### ۱-۳ شبیه‌سازی DG در حالت مجزا از شبکه اصلی

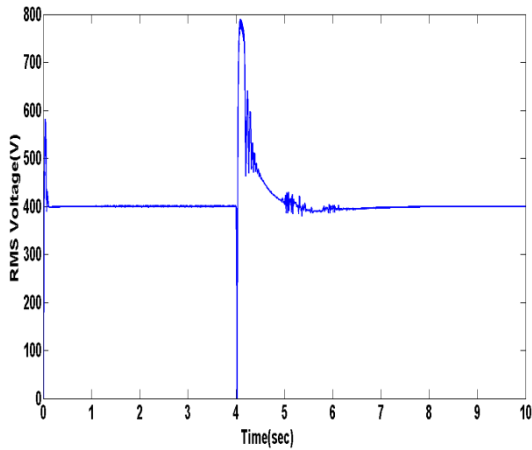
شبیه‌سازی در محیط Simpower و در ۱۰ ثانیه انجام شده است. خروجی منبع تولید پراکنده یک بار ثابت ۳۰ کیلو اهم مقاومتی و ۱۰ کیلو هانری سلفی است. در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب فرکانس و ولتاژ یک منبع تولید پراکنده نشان داده شده است که فرکانس و ولتاژ آنها ۵۰ هرتز و ۴۰۰ ولت فاز به فاز می‌باشد. همچنین در شکل‌های ۴ و ۵ ولتاژ موثر فاز به فاز با اعمال خطای سه فاز در زمان ۴/۲ ثانیه نشان داده شده است.

روش کنترل مرکزی دارای یک سیستم کنترل مرکزی می‌باشد. در چنین کنترلی، اطلاعات همه منابع انرژی پراکنده به کنترل مرکزی می‌رود و در آنجا برای وضعیت شبکه هوشمند تصمیم‌گیری می‌شود. در این حالت مثلاً با اضافه و کم شدن باری به شبکه هوشمند سیستم کنترل مرکزی با دانستن اطلاعات تولیدکننده‌ها بار اضافه شده را بین آنها تقسیم می‌کند [۵، ۷]. منابع، فرمان‌های کنترلی را صادر و اطلاعات مربوط به این تولیدکننده‌ها از طریق خطوط ارتباطی به کنترل مرکزی فرستاده می‌شود و نقاط کار تمامی این تولید فرکانس تعیین می‌شود. در کنترل تک عامله یک منبع انرژی پراکنده بزرگ (منبع تولید یا ذخیره) وجود دارد که به منظور تنظیم فرکانس شبکه هوشمند و همچنین برقراری تعادل انرژی در لحظات گذرا و دائمی کنترل می‌شود. در این رویه منبع مرجع بیستی فرمان-پذیر و دارای ذخیره انرژی کافی باشد. از معایب این روش هزینه‌های بالای DG‌های تحت کنترل می‌باشد. در کنترل پراکنده هر تولیدکننده با استفاده از سیگنال‌های اندازه‌گیری شده‌ی محلی به صورت مستقل عمل کند. در این حالت هیچ منبعی مرجع نیست و همگی از نظر کنترلی هم درجه می‌باشند که خارج شدن یکی از آنها از مدار اختلالی در کار بقیه ایجاد نمی‌کند.

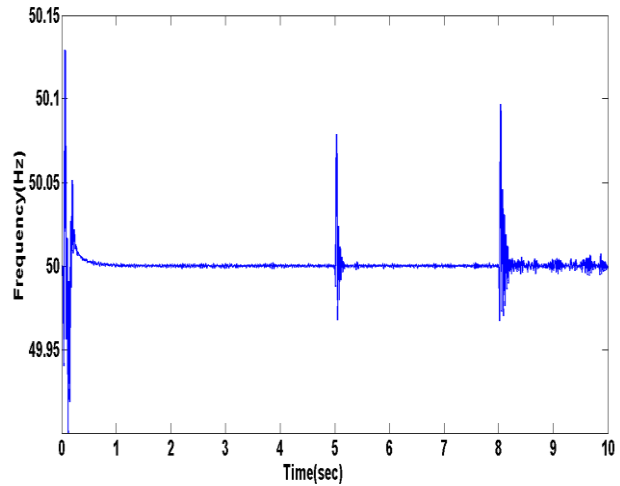
### ۲- کنترل ولتاژ و فرکانس یک منبع تولید پراکنده

وجود دستگاه‌های ذخیره ساز در سیستم مایکروگرید حیاتی است. به دلیل اینرسی پایین در بسیاری از Microsource‌ها، در صورت وقوع یک اختلال جدی مانند اختلال بار یا قطع یک واحد تولید پراکنده، شاخص‌های اصلی سیستم تحت تاثیر قرار می‌گیرد، و ممکن است منجر به یک وضعیت بحرانی شود. استفاده از ذخیره‌سازهای پشتیبان شامل باتری، فلاپویل و خازن‌ها با عملکرد خود پایداری در شبکه مایکروگرید را بهبود می‌بخشند.

مدل اولیه یک منبع تولید پراکنده می‌تواند به صورت شکل ۱ باشد. اگر خروجی منبع، جریان مستقیم باشد، پس از عبور آن از یک چارپر به یک ذخیره ساز متصل می‌شود. خروجی ذخیره ساز به یک اینورتر جهت ساختن مقدار جریان متناوب مورد نظر اعمال می‌شود. همچنین اگر خروجی منبع، جریان متناوب باشد از یک مبدل جریان متناوب به جریان مستقیم عبور داده می‌شود. مقدار خروجی که جریان مستقیم است از یک چارپر عبور



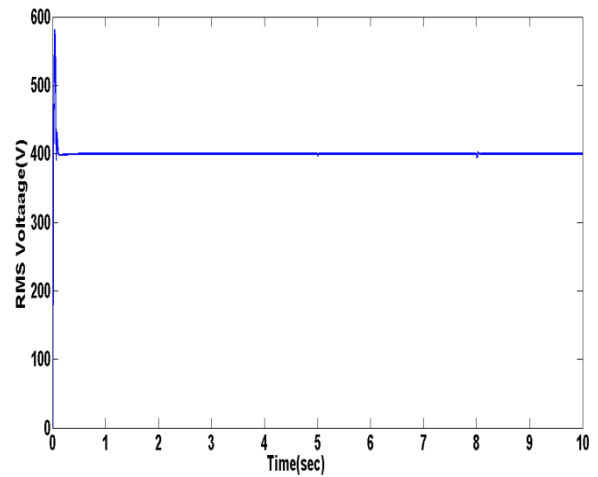
شکل ۵: ولتاژ فاز به فاز یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان با اعمال خطای سه فاز.



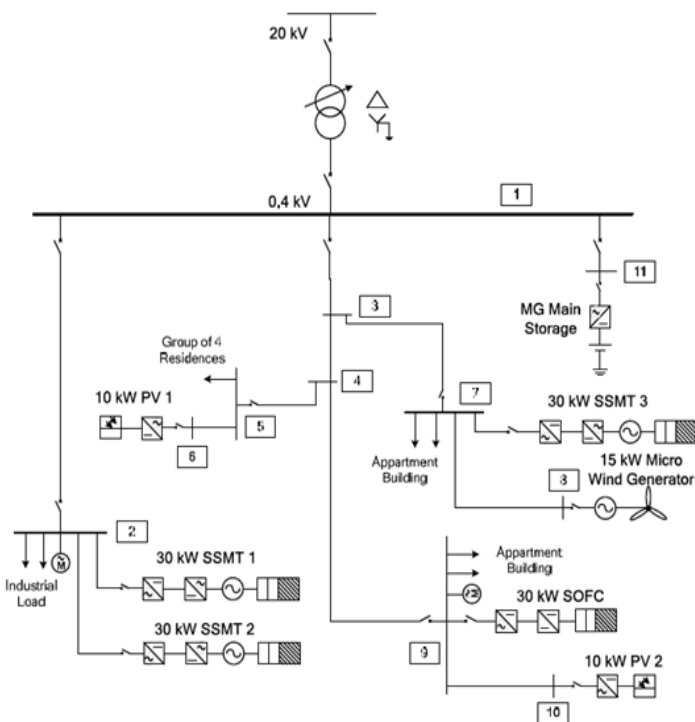
شکل ۲: فرکانس یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان.

#### ۴- نمونه مورد مطالعه (شبیه سازی سیستم ۱۱ شینه)

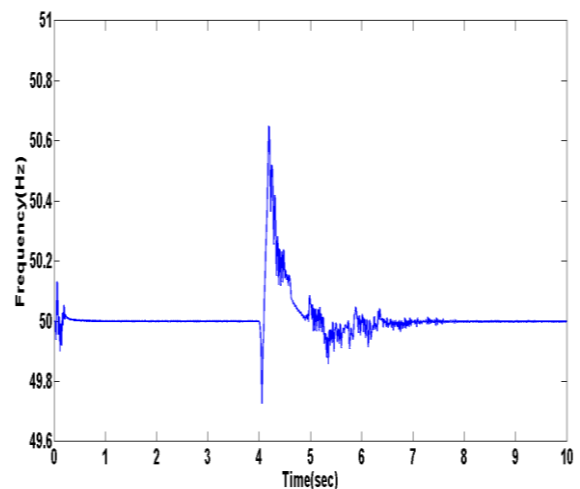
این سیستم [۶] که در شکل ۶ نشان داده شده شامل یازده شین بوده که دارای هشت منبع تولید پراکنده بدین صورت است که دو عدد میکرو توربین در شین ۲، سلول فتوولتائیک در شین ۶ و ۱۰، پیل سوختی اکسید جامد در شین ۹، میکروتوربین و توربین بادی در شین های ۷ و ۸ و یک سیستم ذخیره ساز در شین ۱۰ می باشند. شبکه اصلی در شین ۱۲ واقع بوده و در شین ۱، به شبکه هوشمند متصل شده است.



شکل ۳: ولتاژ فاز به فاز یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان.



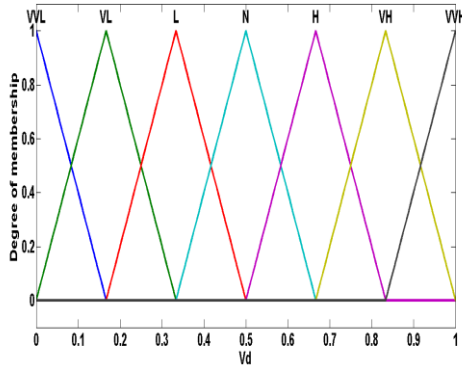
شکل ۶: سیستم یازده شینه (Case Study).



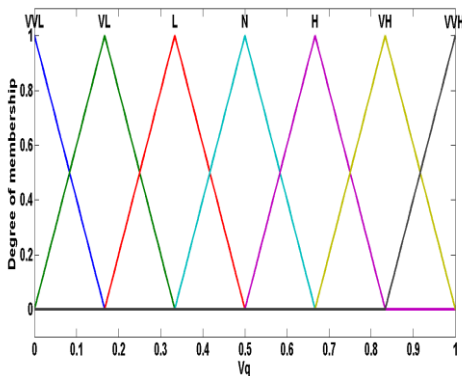
شکل ۴: فرکانس یک منبع تولید پراکنده بر حسب زمان با اعمال خطای سه فاز.

## ۵- ارائه راهکار فازی برای تعیین ضرایب PI

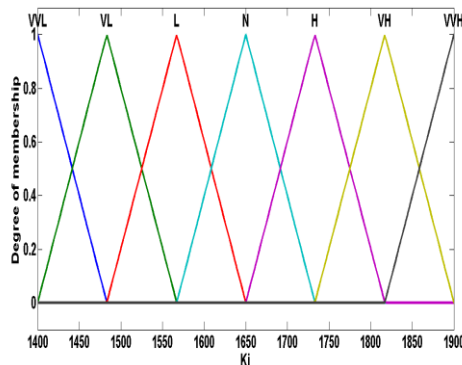
مطالعات زیادی برای تعیین ضرایب با استفاده از روش Ziegler-Nichols انجام گرفته است [۷]، اما در این مقاله سعی شده است که با استفاده قوانین فازی و بر اساس تغییرات پارامترهایی که در تعیین مقدار ضرایب موثرند ضرایب را تعیین کرد. برای انجام این کار شبیه‌سازی بر روی شینه‌هایی که بار بیشتری دارند انجام شده است، به همین منظور شین ۲ و ۷ برای این کار انتخاب شده است. مقادیر بار این دو شین در جدول ۱ آمده است. برای شبیه‌سازی این بخش از Toolbox Matlab استفاده شده است. برای این کار از چهار تابع عضویت  $\Delta V$  و  $\Delta f$  که به ترتیب بیانگر ماکزیمم تغییرات ولتاژ و فرکانس و همچنین  $\Delta V_d$  و  $\Delta V_q$  که تبدیل یافته ولتاژ سه فاز تحت تبدیل پارک می‌باشند برای ورودی و دو تابع عضویت  $K_p$  و  $K_i$  برای خروجی استفاده شده است. شکل‌های ۷ تا ۱۲ ورودی‌ها و خروجی‌ها و همچنین شکل ۱۳ قوانین فازی را نمایش می‌دهند. برای تعیین ضرایب، محدوده  $K_i$  از ۱۴۰۰ تا ۱۹۰۰ و محدوده  $K_p$  بین ۲۰۰ تا ۴۵۰ تعیین گردیده است. مقادیر  $\Delta V_d$  و  $\Delta V_q$  بین ۰ و ۱ می‌باشد.



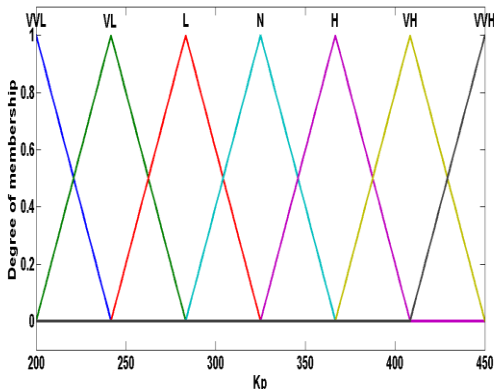
شکل ۹: تابع عضویت تغییرات  $\Delta V_d$ .



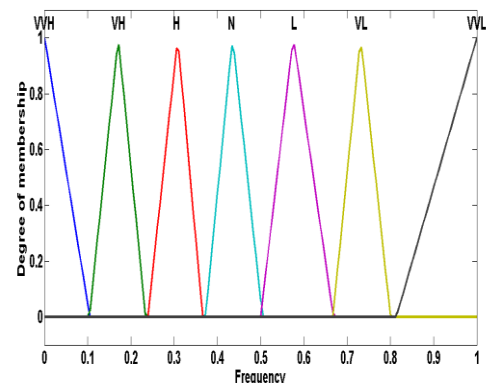
شکل ۱۰: تابع عضویت تغییرات  $\Delta V_q$ .



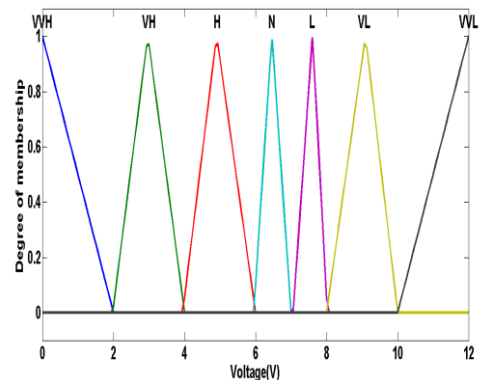
شکل ۱۱: تابع عضویت تغییرات  $K_i$ .



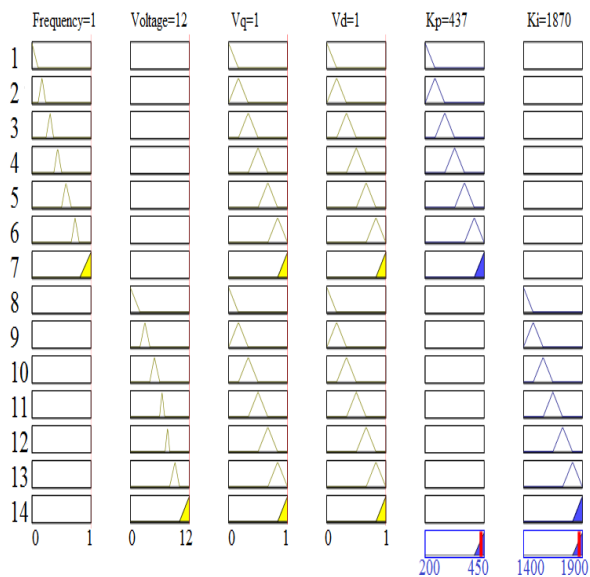
شکل ۱۲: تابع عضویت تغییرات  $K_p$ .



شکل ۷: تابع عضویت تغییرات فرکانس ( $\Delta f$ ).



شکل ۸: تابع عضویت تغییرات ولتاژ ( $\Delta V$ ).

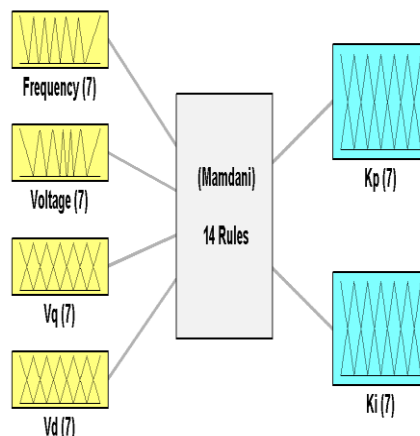


شکل ۱۵: خروجی در ساختار فازی.

در تبدیل پارک مقادیر  $\Delta Vd$  و  $\Delta Vq$  به ترتیب ۰ و ۱ می باشد که در این حالت ولتاژ سه فاز کاملاً متقارن می باشد.

- 1. If ( $\Delta$ Frequency is VVH) and ( $\Delta$ Vq is VVL) and ( $\Delta$ Vd is VVL) then ( $Kp$  is VVL) ( $Ki$  is VVL) (1)
- 2. If ( $\Delta$ Frequency is VH) and ( $\Delta$ Vq is VL) and ( $\Delta$ Vd is VL) then ( $Kp$  is VL) ( $Ki$  is VL)
- 3. If ( $\Delta$ Frequency is H) and ( $\Delta$ Vq is L) and ( $\Delta$ Vd is L) then ( $Kp$  is L) ( $Ki$  is L) (1)
- 4. If ( $\Delta$ Frequency is N) and ( $\Delta$ Vq is N) and ( $\Delta$ Vd is L) then ( $Kp$  is N) ( $Ki$  is N) (1)
- 5. If ( $\Delta$ Frequency is L) and ( $\Delta$ Vq is H) and ( $\Delta$ Vd is H) then ( $Kp$  is H) ( $Ki$  is H) (1)
- 6. If ( $\Delta$ Frequency is VL) and ( $\Delta$ Vq is VH) and ( $\Delta$ Vd is VH) then ( $Kp$  is VH) ( $Ki$  is VH) (1)
- 7. If ( $\Delta$ Frequency is VVL) and ( $\Delta$ Vq is VVH) and ( $\Delta$ Vd is VVH) then ( $Kp$  is VVH) ( $Ki$  is VVH) (1)
- 8. If ( $\Delta$ Voltage is VVH) and ( $\Delta$ Vq is VVL) and ( $\Delta$ Vd is VVL) then ( $Kp$  is VVL) ( $Kp$  is VVL) (1)
- 9. If ( $\Delta$ Voltage is VH) and ( $\Delta$ Vq is VL) and ( $\Delta$ Vd is VL) then ( $Ki$  is VL) ( $Kp$  is VL) (1)
- 10. If ( $\Delta$ Voltage is H) and ( $\Delta$ Vq is L) and ( $\Delta$ Vd is L) then ( $Ki$  is L) ( $Kp$  is L) (1)
- 11. If ( $\Delta$ Voltage is N) and ( $\Delta$ Vq is N) and ( $\Delta$ Vd is N) then ( $Ki$  is N) ( $Kp$  is N) (1)
- 12. If ( $\Delta$ Voltage is L) and ( $\Delta$ Vq is H) and ( $\Delta$ Vd is H) then ( $Ki$  is H) ( $Kp$  is H) (1)
- 13. If ( $\Delta$ Voltage is VL) and ( $\Delta$ Vq is VH) and ( $\Delta$ Vd is VH) then ( $Ki$  is VH) ( $Kp$  is VH) (1)
- 14. If ( $\Delta$ Voltage is VVL) and ( $\Delta$ Vq is VVH) and ( $\Delta$ Vd is VVH) then ( $Ki$  is VVH) ( $Kp$  is VVH) (1)

شکل ۱۳: توابع عضویت.



شکل ۱۴: ساختار منطق فازی.

سادگی از نظر مفهوم ریاضی، انعطاف پذیری، تحمل داده های غیردقیق فازی و همچنین قابلیت مدل سازی توابع غیر خطی پیچیده دلایل استفاده از منطق فازی در این مطالعه بوده است. یک مفهوم اساسی دیگر که نقش کلیدی را در بسیاری از کاربردهای منطق فازی ایفا می کند، قاعده ی if\_then فازی و یا به شکل ساده تر یک قانون فازی می باشد. ساختار منطق فازی مورد بررسی که در شکل ۱۴ نشان داده شده است Mamdani می باشد [۸، ۹] همچنین تعداد قوانین فازی به کار رفته ۱۴ می باشد که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. متغیرهای ورودی که در شکل های ۷ تا ۱۲ نشان داده شده است شامل ۷ تابع عضویت مثلثی با نام های VL, L, N, H, VH, VVH و VVL عبارتند از مقدار خیلی پایین، خیلی پایین، کم، نرمال، بالا، خیلی بالا و خیلی خیلی بالا. ساختار فازی ذکر شده بر روی شین های ۲ و ۷ که بیشترین بار را دارند در بدترین شرایط ممکن برای ورودی ها آزمایش شده است که مقادیر ورودی برای تغییرات ولتاژ ۱۲ ولت و برای تغییرات فرکانس ۱ هرتز و برای  $\Delta Vq$  و  $\Delta Vd$  مقادیر ۱ قرار داده شده است که در جدول ۱ و همچنین در شکل ۱۵ مقادیر به دست آمده برای ضرایب PI و در جدول ۲ و ۳ مقادیر بار متصل به شین ها و پارامترهای خطوط شبکه هوشمند را نشان می دهد. در شکل های ۱۶ تا ۱۹ تغییرات فرکانس و ولتاژ در دو باس ۲ و ۷ با استفاده از مقادیر به دست آمده با استفاده از روش های معمول و فازی نشان داده شده است، که نشان دهنده عملکرد مناسب کنترل کننده فازی می باشد.

جدول ۱: مقادیر ضرایب کنترل کننده ها.

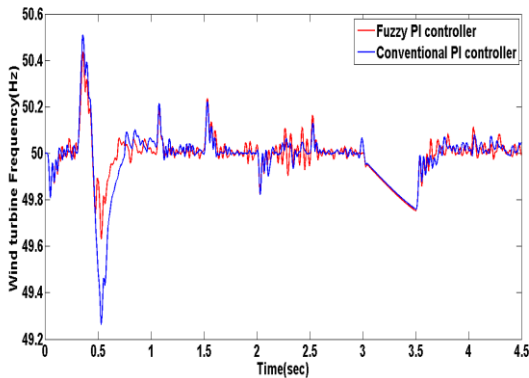
Control parameter	Value with conventional method	Value with fuzzy logic
Kp	430	437
Ki	1800	1870

جدول ۲: مقادیر بارهای متصل به شین‌های شبکه هوشمند.

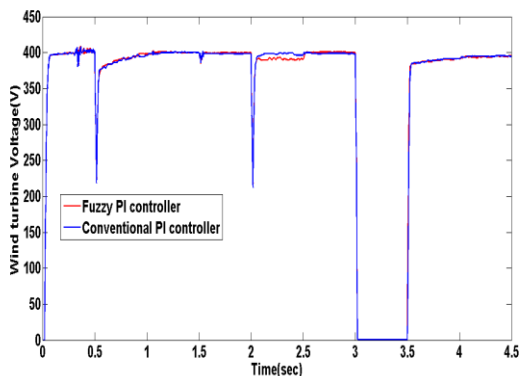
Bus Number	Load (kVA)
2	67.2+j19.6
5	19.6+j4.0
7	48.8+j11.1
9	29.3+j6.7

جدول ۳: پارامترهای خطوط شبکه هوشمند.

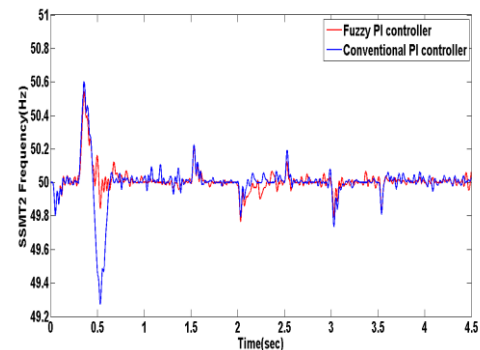
Line	Bus i	Bus j	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	0.0528	0.0142
2	1	3	0.0341	0.0103
3	1	11	0.0123	0.0021
4	3	4	0.0199	0.0058
5	3	7	0.0660	0.0128
6	4	5	0.0261	0.0025
7	4	9	0.0687	0.0149
8	5	6	0.0414	0.0026
9	7	8	0.0870	0.0084
10	9	10	0.0414	0.0026



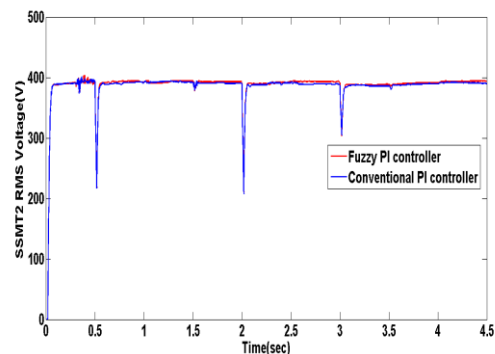
شکل ۱۸: فرکانس Wind turbine بر حسب زمان.



شکل ۱۹: ولتاژ Wind turbine بر حسب زمان.



شکل ۱۶: فرکانس SSMT2 بر حسب زمان.



شکل ۱۷: ولتاژ SSMT2 بر حسب زمان.

## ۶- نتیجه‌گیری

در شبکه متصل به منابع پراکنده راهکاری بر مبنای ایده منطق فازی برای کنترل این پارامترها ارائه شده است. در این مطالعه از کنترلر PI استفاده شده است. برای تعیین ضرایب در ابتدا با از روش‌های معمول برای تعیین این ضرایب استفاده شده است اما با توجه پیچیدگی‌های این روشها از روش منطق فازی استفاده شده است. منطق فازی در واقع مدلی برای تبدیل مدل‌های غیرخطی به روابط قابل فهم می‌باشد. بنابراین در حجم وسیعی از داده‌ها تبدیل آن به دانشی قابل فهمی برای انسان بسیار مفید می‌باشد. سادگی و همچنین زبانی بودن قوانین منطق فازی باعث شده است که استفاده از آن به شدت در حال افزایش باشد. در این مقاله از وابستگی و تغییرات ضرایب PI به پارامترهای  $\Delta V$ ,  $\Delta f$ ,  $\Delta V_q$  و  $\Delta V_d$  برای بدست آوردن قوانین فازی استفاده شده است.

- [1] R. H. Lasseter, J. H. Eto, B. Schenkman, J. Stevens, H. Vollkommer, D. Klapp, E. Linton, H. Hurtado, and J. Roy, "CERTS microgrid laboratory test bed," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 26, pp. 325–332, Jan. 2011
- [2] H. Camblong, J. Sarr, A. T. Niang, O. Curea, J. A. Alzola, E. H. Sylla, and M. Santos, "Micro-grids project, part 1: Analysis of rural electrification with high content of renewable energy sources in Senegal," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 2141–2150, Oct. 2009.
- [3] N. Hatzigiorgiou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 5, pp. 78–94, Jul.–Aug. 2007.
- [4] H. Bevrani and T. Hiyama, *Intelligent Automatic Generation Control*. New York: CRC, Apr. 2011.
- [5] H. Karimi, A. Yazdani, and R. Iravani, "Negative-Sequence Current Injection for Fast Islanding Detection of a Distributed Resource Unit," *Power Electronics*, IEEE Transactions on, vol. 23, pp. 298–307, 2008.
- [6] T. Thacker, F. Wang, and D. Boroyevich, "Islanding Control of a Distributed Generation Unit's Power Conversion System to the Electric Utility Grid," in *Proc. IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05, 2005*.
- [7] H. Bevrani, F. Habibi, P. Babahajiani, M. Watanabe and Y. Mitani, "Intelligent Frequency Control in an AC Microgrid: Online PSO-Based Fuzzy Tuning Approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2012.
- [8] S. Ahmadi, H. Bevrani, and H. Jannaty, "A Fuzzy Inference model for Short-term Load Forecasting," *IEEE Xplore*. 2012
- [9] E. Abdulhadi, O. Badran, and R. Mamlook, "Fuzzy Inference model for Short-term Load Forecasting," Elsevier publication. *Energy policy* 37 (2009) 1239–1248, 2009.