

Üç Bölge Bir Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü için Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Kontrolör Tasarımı

A Neural Network Based Controller Design For Load-Frequency Control In Three-Area Power System

Volkan Yamaçlı¹, Kadir Abacı², Zafer Özer³

^{1,2} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Çiftlikköy Kampusu

¹yamacli@gmail.com, ²kabaci@mersin.edu.tr

³Mersin Üniversitesi, Mersin Meslek Yüksekokulu, Uzaktan Eğitim Bölümü, Tece Kampusu
²zaferozer@mersin.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları tekniği (YSA) yardımıyla üç bölge bir güç sisteminde yük frekans kontrolü amaçlanmıştır. Öncelikle MATLAB-SIMULINK ortamında üç bölge güç sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Tasarlanan YSA tabanlı kontrolör online öğrenme algoritması (Multi layer perceptron - MLP) ile eğitilmiş ve parametreler hatayı en kısa sürede azaltacak şekilde seçilmiştir. Önerilen Yapay Sinir Ağları (YSA) temelli kontrolörün performansı literatürde kullanılan klasik PID kontrol parametreleriyle karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen YSA tabanlı kontrolörün, PI ve PID kontrolöre göre yerleşme zamanı ve aşım miktarı gibi kıyaslama kriterleri açısından daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiş ve sunulmuştur.

Abstract

In this work, it is intended to achieve load-frequency control in a three area power system. In order to do it, three area power system is designed in MATLAB-SIMULINK. The ANN based controller is educated with online learning algorithm (MLP) and parameters are chosen in best way so that the algorithm will converge for the minimum error as soon as possible. The ANN based controller is compared with classical PID controllers presented in literature. It is presented that the ANN based controller, which is simulated, is better than PI and PID controllers when compared by settling time and overshoot values.

1. Giriş

Modern güç sistemleri bir çok enterkonnekte bölgelerden oluşmaktadır. Bu bölgeler arasında ara bağlantı hatlarıyla güç aktarımı yapılır. Enterkonnekte güç sistemlerinde, sistemin kontrol edilmesinin öncelikli amacı, güç sistemini normal çalışma durumunda tutmaktır.

Generatörler yükleri besleyerek düzenli bir şekilde şebekenin çalışmasını sağlarlar. Güç sistemlerinde yükler sabit olmadığından frekans devamlı değişir. Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekans sabit kalmalıdır. Sabit

frekansa çalışabilme güç dengesi durumunda mümkündür. Bunu sağlamak için frekans kontrolüne ihtiyaç vardır. Frekansla aktif güç arasında doğrudan bir ilişki olduğu bilinmektedir. Frekans sistemin her noktasında etkili ve bilinen bir faktör olduğundan, bir noktada olabilecek aktif güç talep değişimi, frekansa değişikliğe yol açacak ve bu değişim, büyüklüğüne göre sistemin başka noktalarında da hissedilecektir. Aktif güç talebinde meydana gelen herhangi bir değişiklik generatörün üretimine yansımaktadır. Bu da frekansın değişmesine neden olur. Güç sistemlerinin boyutlarının artması ve yapısının değişmesi yüklerde meydana gelen ani değişimler gerilim ve frekans kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutma gereksinimini artırmıştır.

Birçok araştırmacılar son yıllarda enterkonnekte güç sistemlerinde yük frekans kontrolü hakkında çalışmalar yapmaktadırlar. Bu araştırmacıların ana hedefi güç sisteminin çalışmasında önemli bir rol oynayan yük frekans kontrolü ile güvenilir ve iyi kalitede bir elektrik güç üretiminin sağlanmasına yardımcı olmaktır.

Klasik kontrol metodlarından olan PID kontroller farklı çalışma şartlarında optimal cevap vermekte zorlandığı için ayarlanması büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

frekans kontrolü çalışmalarında Bulanık mantık ve akıllı zeka teknikleri, yapay sinir ağları, hibrid bulanık sinir ağları ve genetik algoritmaların uygulamaları gerçekleştirilmiştir. [1-3].

Yapay sinir ağları gerek yapısal açıdan çeşitlilikleri gerekse öğrenme algoritmalarının çeşitliliği açısından karmaşık problemlerin çözümünde tasarımcıya oldukça değişik olanaklar sunmaktadır. Literatürde, integral kazancının belirlenmesi amacıyla mevcut ayar yöntemlerinin yanı sıra, sistemin yüksek mertebeli, doğrusal olmayan yapısından dolayı yapay zeka tabanlı optimizasyon yöntemleri de ağırlıklı olarak kullanılmıştır [4] 1997'de Chang ve Fu[5], 2005 yılında ise Çam ve Kocaarslan integral kontrol kazancını bulanık mantık kullanarak ayarlamışlar [6]; Çam 2007 yılında bu yöntemi hidroelektrik güç sistemine uygulamıştır [7]. Benzer bir yöntemi 2007 yılında Shayeghi, hibrit bir genetik algoritma-bulanık mantık yapısı kullanarak

gerçekleştirmiştir [8]. [9]'da Çok Bölgeli Güç Sisteminde PID Parametreleri YSA ile bulunmaya çalışılmıştır. [10]'da Tabu Search Algoritmasıyla çok bölgeli bir güç sisteminde IP Kontrolör tasarlanmıştır. [11]'de Yapay Zeka Tekniği yardımıyla 3 Bölgeli Enterkonnekte Güç Sisteminde yük frekans kontrolü problemi çözülmeye çalışılmıştır.

Bu bildiri 5 bölümden oluşmuştur. İlk bölümde Yük frekans kontrolü problemi tanımlanmış Çok bölgeli güç sistemlerinin modeli anlatılmıştır. 3.Bölümde YSA ile ilgili tanımlamalar yapılarak kontrol sistemlerine uygulanabilirliği açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde problemin çözümü için önerilen YSA tabanlı kontrolör tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. 4. Bölümde MATLAB/SIMULINK ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar resmedilmiş ve önerilen kontrolörün klasik PID kontrolör ile kıyaslaması yapılmıştır. Son bölümde elde edilen sonuçlar vurgulanmış ve önerilen kontrolörün performansının başarısına değinilmiştir.

2. Yük Frekans Kontrolü

Frekans Kontrolü, bir elektrik sisteminin üretim-tüketim dengesinin kontrolüdür ve üç seviyede ele alınır [12] .

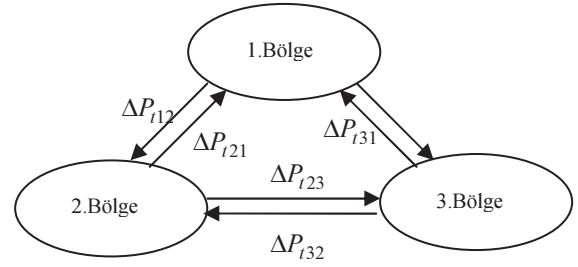
1-Primer Kontrol: Elektrik Enerjisi üretim ve tüketiminin eşit olmaması durumunda sapmaya uğrayan sistem frekansını, sabit bir değerde dengeleyip frekans değişimini durdurmak için ünite rezerv kapasitesinin, türbin hız regülatörünün ayarlanan hız eğim (speed-droop) oranında, frekans sapması süresince merkezi müdahale olmaksızın, otomatik olarak sağlanması suretiyle katkıda bulunmasıdır. Eğer frekans sapması $\pm 20\text{mHz}$ 'i geçerse primer frekans aktive olur. Primer kontrol yapan üniteler frekanstaki sapmayı takip ederek maksimum 15 saniye içerisinde primer rezerv yükünün % 50'sini, 30 saniye içerisinde de tamamını aktive edebilmelidir.

2-Sekonder Kontrol: Sekonder kontrol edici aracılığıyla ve primer kontrol (primer kontrol rezervi) tarafından kullanılan gücün serbest kalması amacıyla frekansın nominal değerine geri dönebilmesi için katkıda bulunmasıyla (özellikle en büyük üretim ünitesinin servis harici olmasından sonra) Alan Kontrol Hatasını (ACE) otomatik olarak düşürmeye yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. Ünitenin çıkışındaki değişimin başlaması için maksimum tepki süresi 30 saniyedir ve sapma maksimum 15 dakika içinde dengelenmelidir.

3-Tersiyer Kontrol: Sekonder kontrole katılan ünitelerin çalışma noktasını değiştirmeye ve sekonder kontrol gücünü ekonomik açıdan farklı ünitelere mümkün olan en iyi şekilde dağıtmaya yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. Tersiyer kontrol rezervi herhangi bir anda devreye alınabilmelidir.

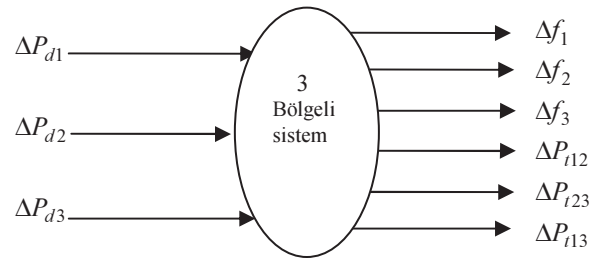
2.1 Üç Bölgeli yük frekans Kontrolü.

Güç sisteminin temel gösterimi Şekil 1 'de verilmiştir. Bölgeler arasında güç transferlerini yönleri de 1. Bölgeden 2 ve 3 Bölgeye, 2. Bölgeden 3. Bölgeye doğrudur 3 Bölgeli sisteme ait blok diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1: Üç Bölgeli Güç sistemi.

Burada $\Delta P_{D1}, \Delta P_{D2}, \Delta P_{D3}$ üç bölgeye ait aktif güç değişimlerini $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ ve $\Delta P_{T1}, \Delta P_{T2}, \Delta P_{T3}$ sırasıyla her bir bölgeye ait frekans ve Çıkış gücü değişimlerini vermektedir.



Şekil 2: Üç Bölgeli Güç sisteminin basit blok diyagramı

3 Bölgeli bir sistem için, birinci bölgede meydana gelen ΔP_{L1} 'lik bir yük artışı durumunda frekansta ve bağlantı hattından aktarılan güçteki değişim Denklem 1'de ve bağlantı hattında meydana gelen değişim Denklem 2'de verilmiştir.

$$\Delta w = \frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + D_1 + D_2 + D_3} \quad (1)$$

$$\Delta P_{12} = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + D_1 + D_2 + D_3} \quad (2)$$

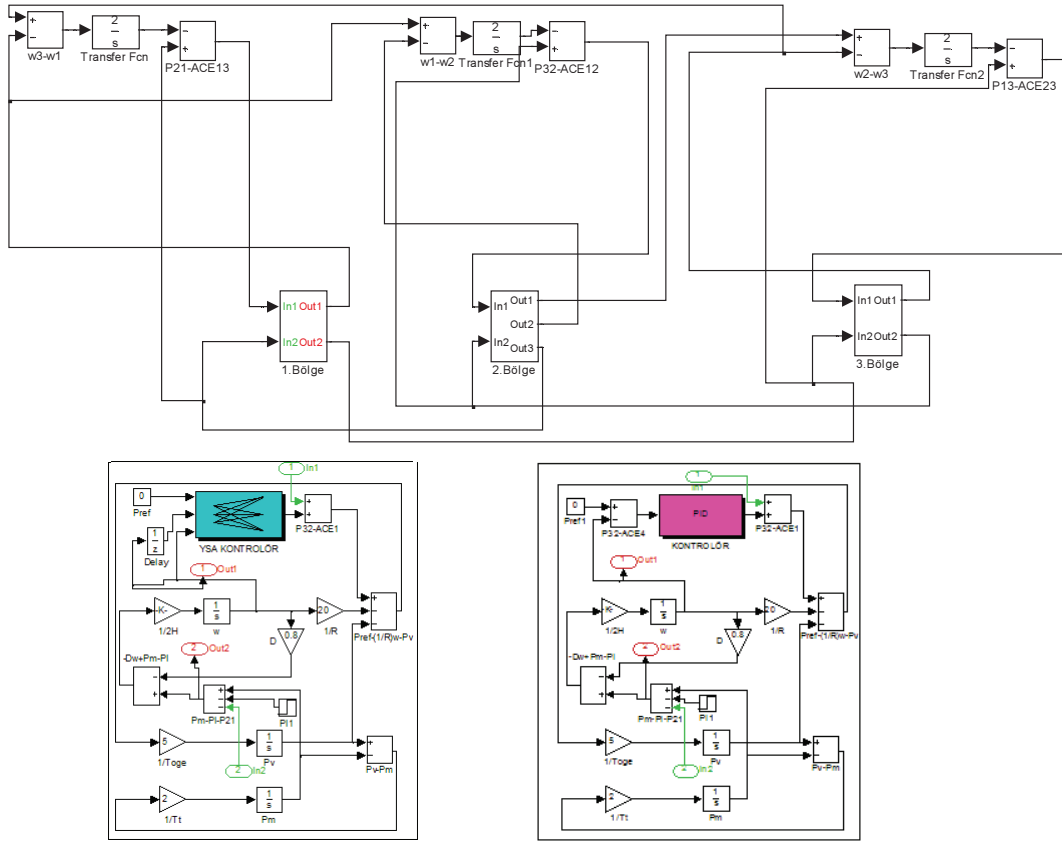
Alan kontrol hatası ise, frekansın ve bağlantı hattındaki güç değişiminin toplamı şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + B_i \Delta w \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

Burada B_i frekans kutuplama çarpanı olarak adlandırılır ve şeklinde ifade edilir.

$$B_i = \frac{1}{R_i} + D_i \quad (i=1,2,3)$$

3 Bölgeli sistemin MATLAB ortamında modellenmesi sonucu gerçekleştirilen detaylı sistem modeli Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: MATLAB/SIMULINK ortamında modellenen Üç Bölge Güç sisteminin Yük Frekans Kontrolü ve Kontrolör modelleri.

3. Yapay Sinir Ağları

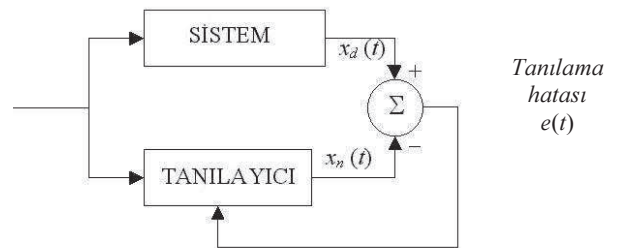
YSA dinamik sistemlerin kontrolüne başarılı şekilde uygulanabilmektedir. YSA klasik modellemeye göre hızlı, basit yapıda ve modellenmesi zor problemlerde kabul edilebilir sonuçlar sunması açısından üstünlükler arz etmektedir. En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak İleri ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak iki grupta incelenebilir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağı ağırlıkları güncellenir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli sinirsel ağı, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağıın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ 'dir. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları notasyonu kullanılarak $o(t + \Delta) = f[w.o(t)]$ şeklinde yazılabilir. Burada Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir [13].

3.1 YSA ile kontrol

Tanıma ve kontrol problemleri endüstride de sıkça karşılaşılan problemlerdir. Bir sistemin YSA kullanılarak

tanınmasının nasıl yapılacağı Şekil 4. de gösterilmiştir. Sistem ve tanılayıcı aynı girdileri almakta ve bu girdilerle karşı sistemden x_d , tanılayıcıdan x_n çıktısı alınmaktadır.

Amaç tanılayıcıdan sistemin ürettiği yanıtı almak olduğuna göre, x_d ile x_n arasındaki hatayı en aza indirecek şekilde parametre güncellemesi yapılmalı ve e ile gösterilen hata değeri, tasarımcıyı öngördüğü belli bir sınırın altına düşene kadar eğitim sürdürülmelidir [14]



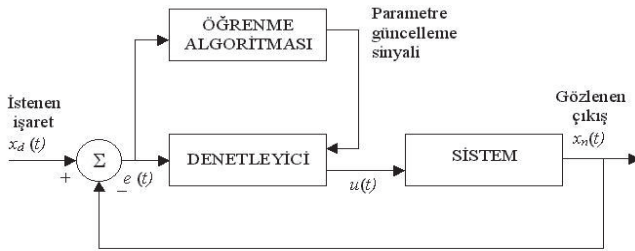
Şekil 4: Sistem tanılama mimarisi

3.2 Önerilen YSA tabanlı Kontrolörün Tasarımı

Yapılan çalışmada Ek A'da verilen parametrik değerlere sahip üç bölge güc sisteminin aktif güç değişimlerine karşı frekansının kararlı halde kalabilmesi hedeflenmektedir. Frekans değişiminin istenilen referans değerinde sabit tutmak

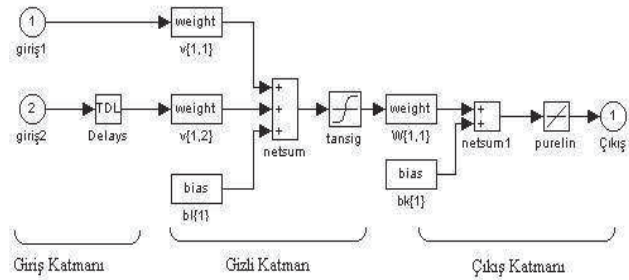
için YSA denetleyici referans ile açılmalık frekans (ω) çıkışını karşılaştırarak bir hata değeri elde etmekte ve bu hatayı azaltmak için sistemi referans değere yaklaştıracak aktif güç ayarlamasını parametre güncelleyerek yapmaktadır. Sistem denetiminde ise şekil 5. de gösterilen yapı kullanılmaktadır

Önerilen Yapay sinir ağı denetleyicisi iki girişli, bir çıkışlıdır. Girişler denetlenen sistem çıkışı ve aynı sistemin bir önceki çıkışıdır. Denetleyici on-line olarak sürekli eğitilmekte ve sistemin denetimi için uygun frekans değerini çıkış olarak vermektedir. Öğrenme katsayısı 0.1 olarak seçilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmiştir. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış - $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.



Şekil 5. Yapay sinir ağları ile oluşturulan bir denetleyici ve denetim sistemi

Denetleyici mimarisi Şekil 6'daki yapıda olup gizli katmanda 5 adet nöron vardır. Gizli katmanda doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu çıkış katmanında ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon her giriş değerine karşılık bir çıkış üretmekte elde edilen çıkış ile referans değeri karşılaştırılarak hata değeri bulunmaktadır. YSA'ya ait parametre güncelleme işlemi ise bu hata değerine göre gerçekleştirilmektedir.

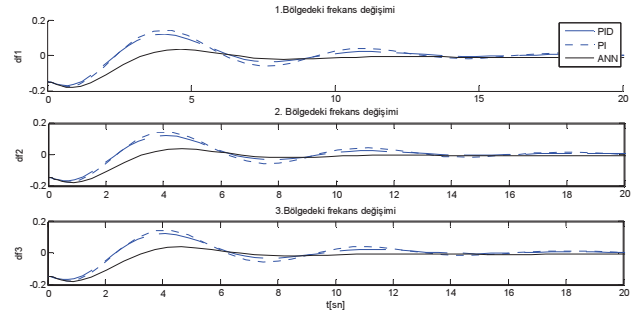


Şekil 6. Oluşturulan yapay sinir ağı denetleyicisi mimarisi.

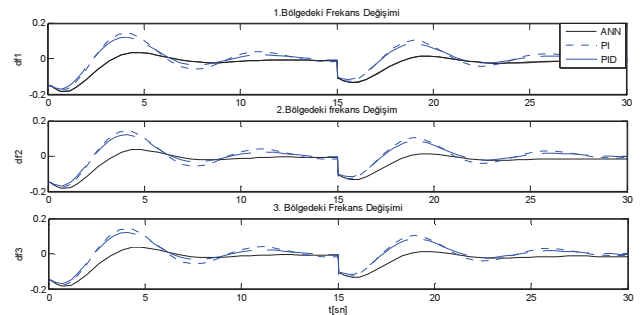
4. Simülasyon Sonuçları

Sistemin dinamik performansı üç farklı kontrolör için gözlemlenmiştir. Her bir bölge için frekans değişimleri Şekil 7'de çizdirilmiştir. Şekil 7. incelendiğinde önerilen kontrolörün iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. PI ve PID kontrolöre nazaran daha hızlı istenen sistem çıkışını vermiş ayrıca diğer kontrolörlere nazaran daha az salınım yapmaktadır. Şekil 8'de 15. saniyede meydana gelen $\Delta P_D = 0.2$ p.u.'lık bir artım sonunda önerilen kontrolörün diğer kontrolörlere nazaran daha iyi bir performans gösterdiği

açıktır. Simülasyonlarda kullanılan üç bölgeyi güç sistemine ait parametreler Ek A'da verilmiştir.



Şekil 7: Üç bölgeye ait kontrolörlerin dinamik cevapları



Şekil 8: Bozucu etki sonrası üç bölgeye ait kontrolörlerin dinamik cevapları Sistem tanılama mimarisi

5. Sonuçlar

Çok bölgeyi güç sistemlerinde yük-frekans kontrolü problemi oldukça önemlidir. Bu çalışma üç bölgeyi güç sistemlerinde yük frekans kontrolü ile ilgilidir. YSA tabanlı online öğrenme algoritması ile eğitilen bir kontrolör tasarlanmıştır. MATLAB/SIMULINK ortamında yapılan simülasyonlarda bozucu etkilerin sonucunda önerilen YSA tabanlı kontrolörün PI ve PID gibi geleneksel kontrolörlere kıyaslaması yapılmıştır. Önerilen kontrolör hem yerleşme zamanı ve aşım miktarını düşürmek ve hem de giriş ve çıkış arasındaki hata sinyalinin daha kısa sürede sifira indirmek suretiyle daha iyi bir performans göstermiştir. Buna ilave olarak bozucu etki sonrası salınımların azalarak istenen yük frekans değerine daha kısa sürede yakınsadığı gösterilmiştir. Böylece özellikle çok bölgeyi güç sistemlerinde yük frekans kontrolü için önerilen YSA tabanlı kontrolörün büyük bir kullanım potansiyeline sahip olacağı gösterilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Deo, R. N., Pujan, S. J., Naik, M. V., "Fuzzy Logic Based Automatic Load Frequency Control of Multi-Area Power Systems", *International Journal Of Engineering Development And Research*, p.p13,17, 2013
- [2] Liu, X.J., Zhang, J.W., "CPS Compliant Fuzzy Neural Network Load Frequency Control", *2009 American Control Conference*, p.p 2755-2760, St. Louis, MO, USA, June 10-12, 2009
- [3] Rani, P., Jaswal, Mr. R., "Automatic load frequency control of multi-area power system using ANN controller and Genetic algorithm", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 4 Issue 9-* pp. 3777-3786, 2013
- [4] Ogata K., *Modern Control Engineering*, Pearson Education International, *Prentice Hall*, 2002.
- [5] Chang, C.S., Fu, W., "Area Load Frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers", *Electric Power Systems Research*, 42, 145-152, 1997
- [6] Çam, E., Kocaarslan, İ., "a Fuzzy Gain Scheduling PI Controller Application for an Interconnected Electrical Power System", *Electric Power Systems Research*, 73(3), 267-274, 2005
- [7] Çam, E., "Application of fuzzy logic for load frequency control of hydroelectrical power plants., *Energy conversion and Management*, 48, 1281-1288, 2007
- [8] Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., "Robust Modified GA Based Multi-Stage Fuzzy LFC", *Energy conversion and Management*, 48, 1656-1670, 2007
- [9] Sundaram, V.S., JAYABARATHI, T., "A Novel Approach Of Load Frequency Control In Multi Area Power System", *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol.3 No 3. Mar, 2011
- [10] Shirvani, M., Abdollahi, M., Memaripour A., E., "Multi-Area Load Frequency Control Using Ip Controller Tuned By Tabu Search", *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 244-248, 2012
- [11] Prakash, S., Sinha, S.K., "Load Frequency Control Of Three Area Interconnected Hydro-Thermal Reheat Power System Using Artificial Intelligence And PI Controllers", *International Journal Of Engineering, Science And Technology*, Vol. 4, No., pp. 23-37, 2011
- [12] Akçay, S., " Hidroelektrik Santrallerde Güç-Frekans denetimi ", KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi Yayınlandığı dergi adı, Kahramanmaraş, Ocak, 2007
- [13] Özer, Z., "Rüzgar Enerjisi dönüşüm santrallerinde kullanılan Generatörlerin Denetimi", *KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi*, Kahramanmaraş, Ocak, 2007
- [14] Efe, Ö., (varsa Editör), *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. Kitabın adı*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2000

Ek A

Şekil 3’de verilen üç bölgeli güç sistemi yük-frekans kontrolü modelinde simülasyonlarda kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

$$T_{gi} = 0.2s; T_{li} = 0.5s; T_{pi} = 2s; R_i = 20; K_P = 5, K_I = 7, K_D = 3, D_i = 0.8. (i=1,2,3)$$