

# Dört Bölge Güç Sisteminde PID Kontrolör ile Yük Frekans Kontrolü

## Load Frequency Control In Four-Area Power Systems Using PID Controller

Enes YALÇIN<sup>1</sup>, Ertuğrul ÇAM<sup>2</sup>, Murat LÜY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ARGE ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı  
MKE Kurumu Genel Müdürlüğü  
enes.yalcin@mkek.gov.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kırıkkale Üniversitesi  
ertugrul\_cam@yahoo.com, muratluy@yahoo.com

### Özet

*Bu makalede, enterkonnekte güç sistemlerinde kontrol edilmesi gereken en önemli konulardan birisi olan yük frekans kontrolünün (LFC), günümüzde bir çok alanda kullanılan ve kullanılmaya devam eden PID kontrolör ile denetimi gerçekleştirilmiş ve performansı irdelenmiştir. Çok bölgeli güç sisteminde LFC problemi tek bölgeli güç sisteminden hem daha karmaşık hem de daha önemli olması nedeniyle dört bölgeli güç sistemi tercih edilmiştir. Bu makalede, ilkönce LFC probleminin tanımı yapılmış ardından güç sisteminin matematiksel modeli izah edilmiş, son olarak PID kontrolör kısaca anlatılarak MATLAB Simulink ortamında modellemeleri gerçekleştirilmiştir.*

### Abstract

*In this paper, load frequency control (LFC) which is one of the most important issues in interconnected power systems is effected by using PID controller which is used in many sectors, and also investigated its performance. Four-area power system is preferred for LFC problem in multi area power systems are more complex and important than one area power system. In this paper, LFC problem is defined firstly, and then mathematical models of power systems are explained. Finally PID controller are described shortly and power system is modelled by using MATLAB-Simulink platform.*

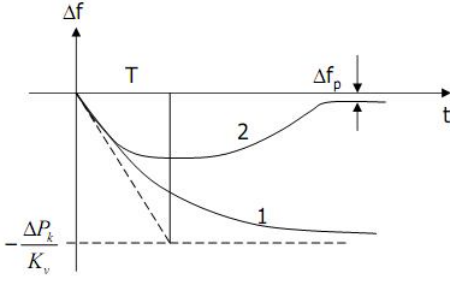
### 1. Giriş

Sanayi Devriminden itibaren sanayide makineleşme hızla artmış ve elektrik enerjisine olan ihtiyaçta paralelinde artış göstermiştir. Ancak var olan enerji ihtiyacının çoğunlukla fosil yakıtlar kullanan başka bir ifadeyle yenilenemeyen enerji kaynakları kullanan elektrik santrallerince karşılanması sonucu enerji kaynaklarında hızla azalma meydana gelmiştir. Bu problemlere elektrik enerjisinin büyük miktarda depo edilememesi sorunu da eklenince çözüm olarak hem elektrik enerjisinin o anki talebi karşılayacak miktarda ve çok daha yüksek verimde üretilmesi hem de enerji kaynağı olarak da

yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi mecburiyetini doğurmuştur.

Bilim adamlarının minimum altyapı maliyeti ile maksimum enerji sağlama konusunda getirdiği çözümlerin en önemlilerinden birisini ise enterkonnekte güç sistemleri oluşturmuştur. Bu sayede ülkeler, aralarında kilometrelerce mesafe olmasına rağmen enerji alış-verişinde bulunma imkanı bulmuşlardır. Öyle ki ülkeler sadece kendi santralleri arasında bir enterkonnekte şebeke oluşturmakla kalmamakta, diğer ülkelerin enterkonnekte ağlarına da dahil olup enerji alış-verişi yapmaktadır. Bu amaçla ülkemizde, açılımı Avrupa Elektrik İletimi Koordinasyonu Birliği olan ve kısaca UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) olarak ifade edilen ağa dahil olabilmek için UCTE tarafından istenen teknik kriterleri sağlamaya yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bu teknik kriterlerden en önemlilerinden biri ise frekans kararlılığıdır. UCTE kriterlerine göre anlık frekansın değeri minimum 49.2 Hz. ile maksimum 50.8 Hz. aralığında olmak mecburiyetinde olup yük frekans kontrolü sürecinde gerçekleştirilen primer, sekonder ve tersiyer kontrolün UCTE tarafından tanımlanmış süreler içerisinde gerçekleştirilmesini mecbur kılmaktadır [1]. Yukarıda ifade edilen gelişmeler ışığında yük frekans kontrolü üzerine hazırlanan bu makale gerek bilim dünyasına gerekse UCTE kriterlerin sağlanmasına yönelik çalışmaları yürüten TEİAŞ'a yol gösterici olması bakımından da önem arz etmektedir.

Güç sistemlerinde kontrol edilmesi gerekli en önemli parametrelerden biri frekanstır [2]. Şekil 1'de görüleceği üzere, frekanstaki herhangi bir anda meydana gelen değişim istenilen sınırları aştığı takdirde sistemde ciddi kararsızlık problemlerine, sisteme bağlı santrallerin durmasına (trip) daha ileriki aşamada da tüm elektrik sisteminin çökmesine (black-out) neden olabilmektedir. Bu nedenle frekansın devamlı olarak istenilen nominal değerde (Türkiye için 50 Hz.) tutulması gerekmektedir.



Şekil 1: Yükteki değişime bağlı olarak frekansın zamana göre değişimi

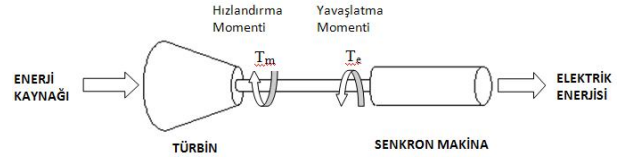
Frekansın kontrolü direkt olarak aktif gücün kontrol edilmesi ile mümkündür. Enterkonnekte güç sistemlerinde herhangi bir güç sistem alanında meydana gelecek bir yük değişimi, bağlantı halinde olan diğer güç sistem alanlarının da frekans ve güç yönünden etkilenmesine neden olmaktadır [3]. Ayrıca enterkonnekte ağa bağlı bölgeler arasındaki yük paylaşımı sırasındaki bağlantı hattı güç değişimi de frekans etkileyen diğer bir unsurdur. Dolayısıyla sistemdeki yük değişimine bağlı olarak değişen frekansın, üretilen enerji ile bağlantı hattındaki güç değişiminin yeniden regüle edilerek frekansın istenilen nominal değerine getirilmesi işlemine LFC denilmektedir.

Güç sisteminde çözülmesi gerekli bu önemli problem için literatürde birçok kontrolör önerilmiştir. Literatürde en çok kullanılan kontrolör PI kontrolör olup bunun yanında PID [4-6], bulanık mantık kontrolör [7-9], yapay sinir ağı kontrolör [10,11], genetik algoritmalar [12], kazancı bulanık mantık ile ayarlanan PI kontrolörler [13] ile bulanık sinir ağları da [3,14] LFC için önerilmektedir.

## 2. Yük Frekans Kontrolü

LFC üç aşamalı gerçekleştirilen bir operasyondur. Bunlar; primer frekans kontrolü, sekonder frekans kontrolü ve tersiyer kontrolüdür. Primer frekans kontrolü, hız regülatörlerine gerçekleştirilen ve enterkonnekte ağa bağlı güç sistemlerinin her biri için belirlenmiş primer kontrol rezerv miktarını kullanarak üretim-tüketim dengesini sağlamaya çalıştığı kontrol işlemidir. Bu kontrol işlemi frekans istenilen frekans seviyesine getirememekte ve kalıcı frekans hatasına neden olmaktadır. Bu nedenle ikincil bir kontrol işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kontrol işlemine sadece bu kontrolden sorumlu gruplar katılmaktadır. Bu kontrolde, frekans değişimi ile bağlantı hattındaki güç değişimi bilgilerini toplanması ile elde edilen Alan Kontrol Hatası bilgisini kullanarak frekansın anma değerine getirilmesi işlemidir. Önerilen kontrolörler genellikle bu kontrol için gerekli kontrolörler içindir. Tersiyer kontrolde ise olası başka bir frekans bozulması durumunda yeterli sekonder kontrol rezervine sahip olabilmek için gerek jeneratörlerin güçlerini azaltıp/arttırarak gerekse kontrollü yük atarak yapılan kontrol aşamasıdır. Ayrıca bu denetimin diğer bir amacı, var olan elektrik ihtiyacının karşılanması için her bir ünitenin güç üretiminin mümkün olan en ekonomik şekliyle yapılmasının sağlanmasıdır.

Şekil 2, güç sisteminin çok basitleştirilmiş bir gösterimi olup (1) nolu eşitlikle ifade edilir. Burada mekanik moment ( $T_m$ ) üretimi, elektriksel moment ( $T_e$ ) ise tüketimi temsil etmektedir. Şekil 1 incelendiğinde, dönme hızının sabit olabilmesi için üretilen ile tüketilen enerjinin aynı olması gerektiği sonucu çıkar. Buna karşın, üretilen ile tüketilen enerji arasında denge olmadığı takdirde ise frekans artacak veya azalacaktır. Üretilen elektrik enerjisi tüketilen elektrik enerjisinden daha fazla ise frekans artacak, üretilen elektrik enerjisi tüketilen elektrik enerjisinden daha az ise de frekans azalacaktır.



Şekil 2: Basit bir güç sistemi

$$T_m - T_e = J \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

(2) no' lu denklem N-bölgeli güç sisteminde birinci bölgede meydana gelen  $\Delta P_L$ 'lik bir yük artışının olması durumunda frekansta meydana gelecek değişimi, (3) no' lu denklem ise bağlantı hattında meydana gelecek güç değişimini ifade etmektedir.

$$\Delta w = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} + D_1 + D_2 + \dots + D_N} \quad (2)$$

$$\Delta P_{12} = \frac{-\Delta P_{L1} \left( \frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} + D_1 + D_2 + \dots + D_N} \quad (3)$$

Alan kontrol hatası ise bağlantı hattı güç değişimi ile frekanstaki değişimin toplamının bir değeri olup her bir bölge için alan kontrol hatası (4) nolu denklem ile hesaplanır.

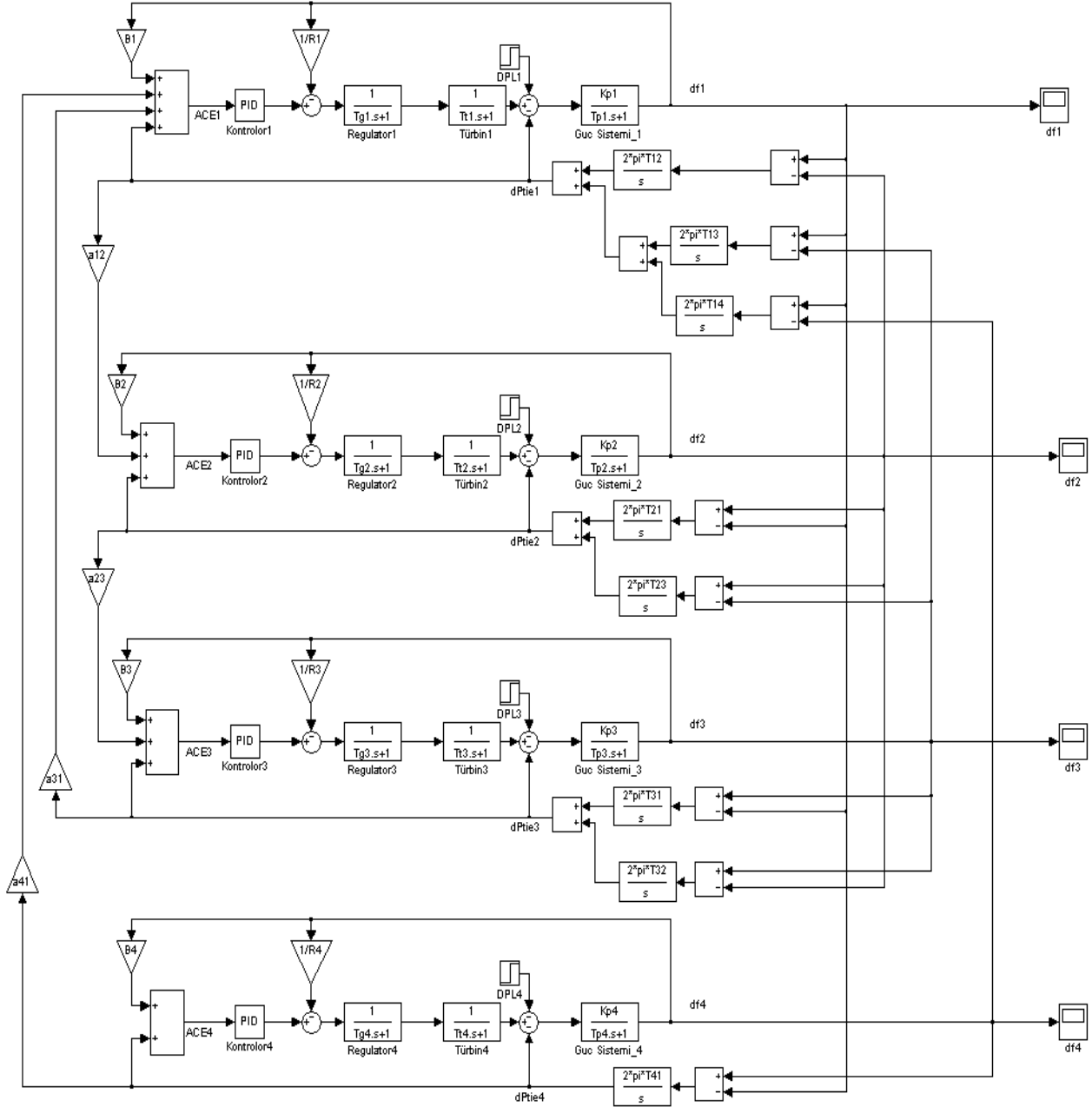
$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + B_i \Delta w \quad (4)$$

(4) no' lu denklemde geçen  $B_i$ , frekans biasını ifade etmektedir. Birimi p.u.MW/Hz'dir. Başka bir deyişle frekanstaki değişimin ( $\Delta w$ ) güç birimindeki ifadesidir ve her bir bölgenin frekans biası (5) no' lu denklemle ifade edilirler.

$$B_i = \frac{1}{R_i} + D_i \quad (5)$$

Yukarıdaki formüle göre hesaplanan alan kontrol hatası değerleri kontrolörler için giriş verisi olarak kullanılmakta ve bu hata değerine göre  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_D$  değerleri hesaplanmaktadır.

Şekil 3'de dört bölgeli bir güç sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3: Dört bölge güç sisteminde yük frekans kontrolü.

### 3. PID Kontrolör

Yükteki değişime göre üretilen gücün artırılması veya azaltılması işlemi hız regülörleri vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Hız regülörlerinin pozisyonlarının belirlenmesi ise sistemlerdeki değişimi algılayarak vana pozisyonunu ayarlayan kontrolörler tarafından yapılmaktadır.

Güç sistemlerinin nonlineer olmasından dolayı PI kontrolörler ile yapılan yük frekans kontrolü işlemlerinde, ağdaki herhangi bir yük değişimine adaptasyonda yeterince hızlı olamamakta ve kalıcı frekans hatasını sıfıra indirememektedir. Ayrıca bölge sayısı arttıkça frekansın kontrolü de zorlaşmaktadır.

Bu çalışmada, günümüzde sanayide en çok kullanılan ve kullanılmaya devam eden kontrolör tiplerinden birisi olan PID kontrolörün dört bölge güç sisteminde kullanılması durumundaki performansı incelenmiştir.

En genel ifadeyle PID kontrolör aşağıdaki şekilde ifade edilir ve  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_D$  olmak üzere üç parametreden oluşur.

$$u(t) = K \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (6)$$

Söz konusu parametrelerin belirlenmesi için belli başlı yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan parametre belirleme yöntemlerinden olan Ziegler-

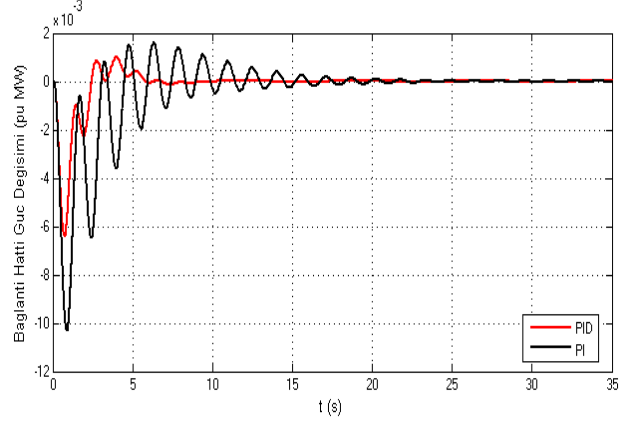
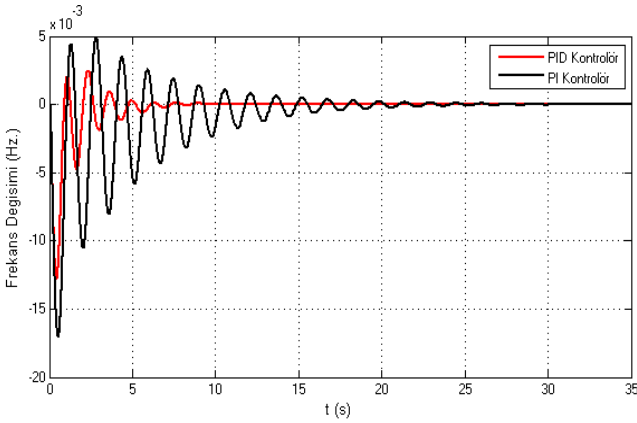
Nichols yöntemi kullanılmıştır. Literatürde birden fazla Ziegler-Nichols tablosu olmakla birlikte bu yöntemlerin performansı kontrol edilen sisteme göre de değişiklik arz edebilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada belirlenen parametreler, ilkönce Ziegler-Nichols frekans cevabı parametre belirleme yöntemi kullanılmış ardından da bu katsayılar optimizasyon işlemine tabi tutularak nihai hale getirilmiştir.

Tablo 1: PID kontrolör için Ziegler-Nichols frekans cevabı metodu parametre belirleme tablosu [15]

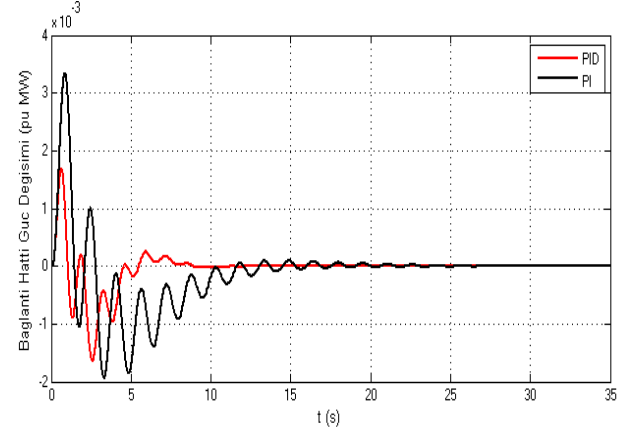
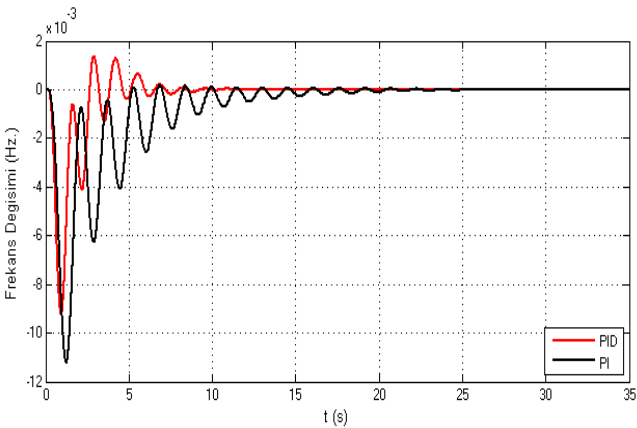
Kontrolör	$K_p$	$K_i$	$K_D$
PID	$\frac{K_u}{1,7}$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

Tablo 2: PI kontrolör için Ziegler-Nichols frekans cevabı metodu parametre belirleme tablosu [16]

Kontrolör	$K_p$	$K_i$
PI	$0,3K_u$	$0,23T_u$



Şekil 4: Bölge-1'de 0.01 pu'luk bir yük değişimi olması durumundaki frekans ve bağlantı hattı güç değişimi.



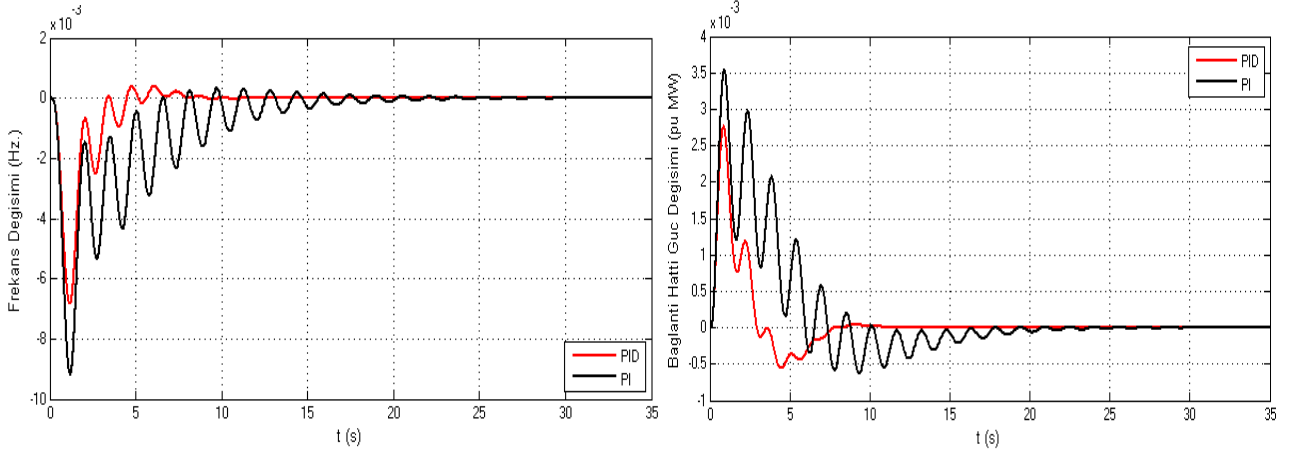
Şekil 5: Bölge-2'de 0.01 pu'luk bir yük değişimi olması durumundaki frekans ve bağlantı hattı güç değişimi.

Dört bölgeli güç sistemi için kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir.

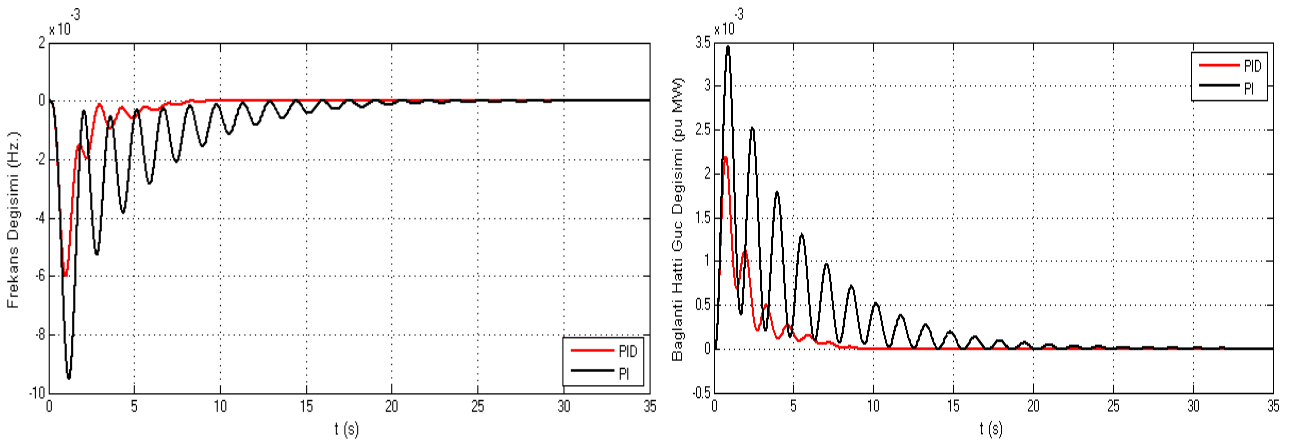
Tablo 3: Dört bölgeli güç sistemi parametreleri

$K_{P1,2,3,4}$	120	$R_{1,2,3,4}$	2.43
$T_{P1,2,3,4}$	20	$B_{1,2,3,4}$	0.425
$T_{g1,2,3,4}$	0.08	$T_{i,j}$	0.086
$T_{t1,2,3,4}$	0.3	$a_{ij}$	-1

Tablo 3'de verilen parametreler doğrultusunda dört bölgeli güç sistemi MATLAB-Simulink ortamında modellenmiş, güç sisteminin 1. bölgesine 0.01 pu'luk yük değişimi uygulanması durumunda her bir bölgede meydana gelen frekans değişimi ve bağlantı hattında meydana gelen yük değişimi hem PI kontrolör için hem de PID kontrolör için incelenmiş ve sonuçları karşılaştırılmış olup aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 6: Bölge-3'de 0.01 pu'luk bir yük değişimi olması durumundaki frekans ve bağlantı hattı güç değişimi.



Şekil 7: Bölge-4'de 0.01 pu'luk bir yük değişimi olması durumundaki frekans ve bağlantı hattı güç değişimi.

#### 4. Sonuçlar

Şekil 4-7'e göre elde edilen sonuçlar özet tablo halinde Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Önerilen PID kontrolör ile Klasik PI kontrolör sonuçlarının karşılaştırılması

Bölge No	Kontrolör Tipi	Oturma Zamanı (sn)	Maksimum Bozulma (Hz)
Bölge-1	Klasik PI	30	0.0175
	PID	10	0.0128
Bölge-2	Klasik PI	25	0.0112
	PID	12	0.0092
Bölge-3	Klasik PI	30	0.0092
	PID	11	0.0068
Bölge-4	Klasik PI	30	0.0095
	PID	10	0.0060

Şekil 4 ve Tablo 4 incelendiğinde, Bölge-1 için PID kontrolörle yapılan kontrolde sistemin oturma zamanı PI kontrolörün cevabına göre yaklaşık %67, maksimum aşma değerleri incelendiğinde ise PI kontrolöre göre yaklaşık %27 daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 5 ve Tablo 4 incelendiğinde, Bölge-2 için PID kontrolörle yapılan kontrolde sistemin oturma zamanı PI kontrolörün cevabına göre yaklaşık %52, maksimum aşma değerleri incelendiğinde ise PI kontrolöre göre yaklaşık %18 daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 6 ve Tablo 4 incelendiğinde, Bölge-3 için PID kontrolörle yapılan kontrolde sistemin oturma zamanı PI kontrolörün cevabına göre yaklaşık %63, maksimum aşma değerleri incelendiğinde ise PI kontrolöre göre yaklaşık %26 daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 7 ve Tablo 4 incelendiğinde, Bölge-4 için PID kontrolörle yapılan kontrolde sistemin oturma zamanı PI kontrolörün cevabına göre yaklaşık %67, maksimum aşma değerleri incelendiğinde ise PI kontrolöre göre yaklaşık %37 daha iyi sonuç vermiştir.

Bu çalışmada, dört bölge bir güç sisteminde yük frekans kontrolü için yeni bir PID kontrolör tasarlanmış olup öncelikle MATLAB R2007b programında dört bölge güç sistemi modellenmiş ve gerek PI gerekse PID kontrolörün sisteminde 0.01 pu'luk yük değişimi olması durumundaki cevabı incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, dört bölge güç sisteminde gerçekleştirilen LFC'nin tek bölge ve iki bölge güç sisteminin kontrolüne göre çok daha zor olduğu

ayrıca dört bölgele bir güç sistemi için PID kontrolörle yapılan yük frekans kontrolünün, gerek oturma zamanı gerekse maksimum bozulma değeri açısından PID kontrolörün PI kontrolöre göre çok daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

## 5. Kaynaklar

- [1] UCTE Operation Handbook-A1:Load-Frequency Control and Performance, UCTE, 2004.
- [2] Kundur, P., Power System Stability Control, EPRI Power Eng. Series, 1994.
- [3] Oysal, Y., Yılmaz, A.S., Köklükaya, E., "Dynamic Fuzzy Networks Based Load Frequency Controller Design in Electrical Power Systems", G.U. Journal of Science, 17(3), pp. 101-114, 2004.
- [4] Yılmaz, A.S., Yanıkoğlu, E., Turan, M., "Enerji Sistemlerinde PID Denetleyiciler ile Yük Frekans Kontrolü", SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, pp. 105-109, 1997.
- [5] Yalçın, E., Çam, E., Vardar, T., Lüy, M., "PID Kontrolör ile İki Bölgele Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi", Int.J.Eng.Research&Development, Vol.2, No.1, pp. 67-71, 2010.
- [6] Liu, J., "A novel PID Tuning Method for Load Frequency Control of Power Systems", Anti-counterfeiting, Security, and Identification in Communication, 3rd International Conference, pp. 437-442, 2009.
- [7] Çam, E., Kocaarslan, İ., "Tek Bölgele Güç Sistemlerinde Bulanık Mantık ile Yük Frekans Kontrolü", Sayı 3-4, pp. 73-77, 2002.
- [8] Çam, E. ve Kocaarslan, İ., "Load Frequency Control in Two Area Power Systems Using Fuzzy Logic Controller", Energy Conversion and Management, 46(2), 233-243, 2005.
- [9] Kocaarslan, İ. ve Çam, E., "Fuzzy Logic Controller in Interconnected Electrical Power Systems for Load Frequency Control", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 27(8), 542-549, 2005.
- [10] Beaufays, F., Abdel-Magid, Y., Widrow, B., "Application of Neural Networks to Load Frequency Control in Power Systems", Neural Networks, 1994.
- [11] Chatuverdi, D.K., Satsangi, P.S., Kalra, P.K., "Load Frequency Control: A Generalised Neural Network Approach", Electrical Power and Energy Systems, Vol.21, pp. 405-415, 1999.
- [12] Milani, A.E., Mozafari, B., Genetic Algorithms Based Optimal Load Frequency Control in Two-Area in Interconnected Power Systems, Proceedings of the Second Global Conference on Power Control and Optimization, Vol.1159, s. 43-48, 2009.
- [13] Çam, E., Kocaarslan, İ. ve Lüy, M., "A Fuzzy PI Controller Application for an Electrical Power System", 2nd International Conference on Technical&Physical Problems in Power Engineering, pp. 145-149, 2004.
- [14] Yılmaz, S., Oysal, Y. ve Köklükaya E., "Bir Dinamik Bulanık Ağ ile Yük Frekans Kontrolü Uygulaması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2003.
- [15] Ziegler, J.G., Nichols, N.B., "Optimum settings for automatic controllers", Trans.ASME, vol. 64, pp.759-768, 1942.

- [16] O'Dwyer, A., Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, Imperial College Press, 2009.