

İKİ BÖLGELİ ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE OPTİMUM YÜK FREKANS KONTROLÜ

Ahmet Karyeyen¹ Nurettin Çetinkaya² Selahattin Guntay³

^{1,3}İlgin Meslek Yüksek Okulu, Selçuk Üniversitesi, Konya

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya

¹e-posta: akaryeyen@selcuk.edu.tr

²e-posta: nctinkaya@selcuk.edu.tr

³e-posta: sguntay@selcuk.edu.tr

Özetçe

Bu bildiriye; güç sistemlerindeki yük frekans kontrolünü yapabilmek için bir kontrolör önerilmiştir. Önerilen kontrolörde, klasik PI kontrolörlerinden farklı olarak K_p ve K_i kazanç değerleri bulanık mantık kuralları ile elde edilmektedir. Amaçlanan Bulanık Mantık Kontrolörü, iki bölgeli bir enterkonnekte güç sistemi modeli üzerinde uygulanmış ve Matlab-Simulink programında simulasyonu yapılmıştır. Aynı güç sistemi için daha önceden yapılan çalışmalarla, bu çalışma arasında karşılaştırma yapılmıştır.

1. Giriş

Bir enterkonnekte elektrik güç sisteminde büyüklü küçüklü bütün enerji üretim merkezleri sisteme ve dolayısıyla birbirlerine senkronize bir şekilde bağlıdır. Bu sebepten dolayı her biri aynı frekansa sahiptir [1].

Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekans sabit kalmalıdır. Sabit frekansta çalışabilme ise güç dengesi durumunda söz konusu olur [2]. Sistemde üretilen aktif gücün toplamı; sistem aktif yükleri, sistemdeki kayıplar ve sistemden bağlantı hatlarıyla başka bir sisteme akan güç toplamına eşit olmalıdır.

Enterkonnekte güç sistemine bağlı generatörlerin çıkış güçlerinin tamamının, sistem yüküne tamamen eşit olması istenilen bir durum olmasına rağmen pratikte bu durumun herhangi bir anda olması çok zayıf bir ihtimaldir. Çünkü talep edilen güç sürekli değişme halindedir ve aniden artması ya da azalması söz konusudur. Eğer üretilen güç miktarı talep edilen güçten yüksek olursa sistemdeki generatör hızları artış eğiliminde olacaktır. Bu da frekansın artmasına sebep olacaktır. Tam tersi düşünülecek olursa; yani üretilen güç miktarı talep edilen güçten düşük olursa frekansın azalmasına sebep olacaktır. Bahsedildiği gibi frekans sabit kalması istenilen bir nicelik olmasına rağmen uygulamalarda sabit değildir ve değişebilir [3].

İki ya da daha fazla birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen alana sahip bir enterkonnekte sistemde frekans kontrolüne ek olarak her bir alandaki üretim de kontrol edilmelidir. Çünkü bağlantı hatları üzerinden akan yükün belirlenmiş güç değişimlerini muhafaza etmek amacıyla kontrolü söz konusudur. Güç sisteminde çalışma durumundaki bir değişiklik, frekansı ve önceden ayarlanan ara bağlantı hatları üzerindeki yük akışını değiştirir. Bunları yeniden nominal değerlerine geri getirme işlemine yük frekans kontrolü denir [1].

Güç sistemleri enterkonnekte şekilde komşu sistemlere bağlandıklarında herhangi birinde oluşacak bir yük frekans kontrol problemi ortak bir sorun haline gelir. Benzer şekilde enterkonnekte güç sistemlerini birbirine bağlayan bağlantı hatları üzerinden akan aktif gücü kontrol etme de ortak bir sorundur [2].

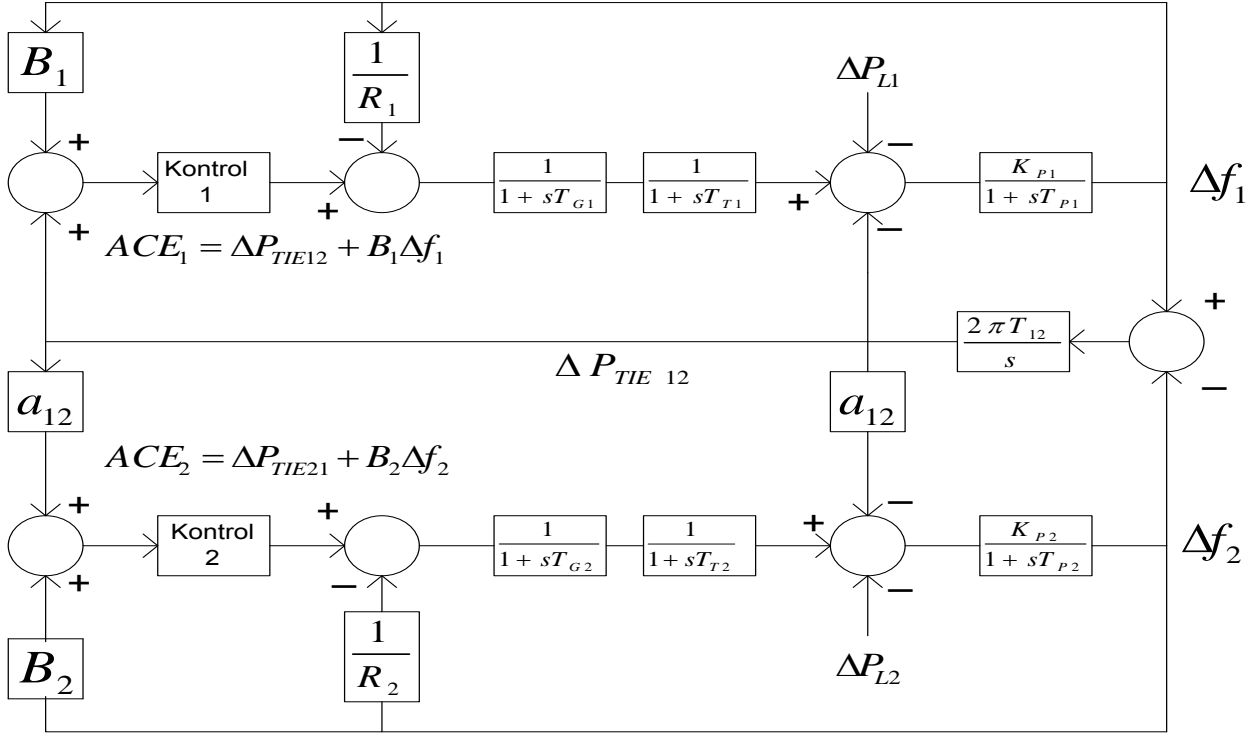
Yük frekans kontrolünün birinci görevi, frekansı belirli bir nominal değere ayarlamak ve generatörlerin aktif gücünü değiştirerek istenen değerlerde, kontrol alanları arasında güç alışverişini sağlamaktır. İkinci görevi ise, çalışma maliyetlerini minimum yapmak için üretimdeki gerekli değişimi birimler arasında paylaşmaktır [4].

Yük frekans probleminin öneminden ve bu problemin olabildiğince çabuk çözülebilmesinin gerekliliğinden dolayı bu konuda birçok çalışmalar yapılmıştır. Chang C.S. ve Fu W., 1997 yılında yaptıkları çalışmada bir PI kontrolöründeki K_p ve K_i kazançlarının bulanık mantık yardımıyla bulunduğu bir kontrol sistemi tasarlamışlardır [5]. Benzer şekilde, Kocaarslan İ. ve Çam E., 2004 yılında yaptıkları çalışmada bulanık mantıkla integral ve oransal kazanç katsayıları üreterek yük frekans kontrolü probleminde çözüm getirmişlerdir [6]. 2000 yılında Akalın Kurt G., yapmış olduğu doktora çalışmasında K_p ve K_i kazançlarının elde edilmesinde bulanık mantık kontrolünü kullanmıştır ve Chang C.S. ve Fu W.' nun çalışmasıyla kıyas yapmıştır [7]. El-Sherbiny ve arkadaşları 2001 yılındaki çalışmasında, biri hidroelektrik, biri termik olmak üzere iki bölgeli bir güç sistemi modeli üzerinde çalışmış ve önerdiği bulanık mantık kontrolör ile klasik PI kontrolör arasında performans karşılaştırması yapmıştır [8]. Yeşil E. ve arkadaşları ise 2003 yılındaki çalışmasında yük frekans probleminin çözümü için PID tipi bulanık mantık kontrolör tasarlamış ve bu kontrolörü iki bölgeli bir güç sistemi modeline uygulamıştır [9].

Bu çalışmada da yük frekans kontrolü problemini çözebilmek için bulanık mantık kontrolörü önerilmiştir. Önerilen kontrolörde her bir bölgedeki K_p ve K_i kazançları, kendi bölgesindeki ACE sinyaline göre, bulanık mantık yardımıyla elde edilmiştir. Önerilen kontrolör kullanıldığında, aynı güç sistemi ve parametreleri ile yapılmış diğer çalışmalara göre daha iyi sistem cevapları elde edilmiştir.

2. Kullanılan iki bölgeli güç sistemi modeli

İki ya da daha fazla kontrol bölgesine sahip güç sistemlerinde, otomatik yük frekans kontrolü; generatör ünitelerinden istenilen aktif güç çıkışlarının sağlanması yolu ile frekans kontrolüne yardımcı olduğu gibi, bölgeler arasındaki güç



Şekil 1: İki bölge bir güç sisteminde yük frekans kontrolü modeli

alışverişinin arzu edilen değerler arasında tutulmasını da sağlar [7]. Günümüzde bu sistemlerde yük frekans kontrolü terimi yerine “Otomatik Üretim Kontrolü” (Automatic Generation Control - AGC) terimi de kullanılmaktadır.

Yük frekans kontrolü kavramından anlaşıldığı üzere, sürekli değişen sistem yüküne üretilen gücün adapte edilmesi gerekmektedir. Bu işleme *hız regülasyonu* adı verilir. Enterkonnekte güç sistemlerinde regülasyon işlemi birincil kontrol çevrimi ve ikincil kontrol çevrimi olmak üzere ikiye ayrılır.

Birincil kontrol çevrimi ile; herhangi bir nedenle güç dengesinin bozulması sırasında frekans sapmalarını kabul edilebilir sınırlar içinde tutulmasını sağlayarak frekansın kararlılığı sağlanır. Her bir güç sistemindeki üretim merkezlerinde birincil kontrol çevrimini sağlayan hız regülatör sistemleri mevcuttur. Birincil kontrol çevrimi sonrasında sistemin üretim tüketim dengesi sağlanmış olur. Fakat bu dengeleme neticesinde sistem frekansı nominal değerinden sapmıştır [10].

Birincil kontrol çevriminde belli sınırlar içerisinde kontrol altına alınan sorunlar, ikincil kontrol çevrimi ile istenilen optimum seviyeye getirilir. Frekansın istenilen nominal değerine restorasyonu sağlanır. Ayrıca; generatörlerin aktif güç çıkışları değiştirilerek kontrol bölgeleri arasındaki istenilen güç alışverişi sağlanır. Genel olarak birincil kontrol çevrimi probleme acil ve geçici bir müdahale iken, ikincil kontrol çevrimi tam anlamıyla bir müdahaledir denilebilir.

Bir enterkonnekte sistemdeki otomatik yük frekans kontrolünü incelemek için iki kontrol bölgesi bir güç sistemi modeli Şekil 1’ de sunulmuştur.

Tablo 1: Kısaltmalar

R	: Hız regülasyonu (Hz/MW)
ΔP_L	: Yük artışı (MW)
D	: Yük Sönüm Sabiti (MW/Hz)
T_T	: Buhar türbini için türbin zaman sabiti (sn)
T_g	: Buhar türbini için hız regülatörü zaman sabiti (sn)
T_{12}	: Hattın senkronize edici moment katsayısı
Δf_i	: i. Bölgedeki frekans değişimi (Hz)
K_{pi}	: i.bölgedeki generatörün transfer fonksiyonu kazancı (Hz/MW)
T_{pi}	: i.bölgedeki generatörün zaman sabiti (sn)
ACE	: Alan Kontrol Hatası
K_f	: İntegral sabiti
K_p	: Oransal sabit
a_{12}	: İki bölge arasındaki transfer fonksiyonu
B_1 ve B_2	: 1. ve 2.bölgenin frekans yönelim faktörü
$U_i(t)$: Kontrol vektörü
$K_{p,i}$: i.bölge için oransal kazanç
$K_{i,i}$: i.bölge için integral kazancı
ΔP_{TIEi}	: i.bölge için bağlantı hattı yük akış değişimi (MW)
ΔACE	: Alan kontrol hatasının türevi (Hata Değişimi)

Üretimde meydana gelen değişimler, alan kontrol hatasını (ACE) ifade eder. Alan kontrol hatası (ACE), frekans ve bağlantı hattı güç değişimi ile belirlenmiş bir kontrol işaretidir. Birinci bölge için ACE:

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f \quad (1)$$

$$B_1 = \beta_1 = \frac{1}{R_1} + D_1 \quad (2)$$

olarak belirtilmiştir. Burada B_1 , birinci bölgenin frekans yönelim faktörüdür. İkinci bölge için ACE:

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2 \cdot \Delta f \quad (3)$$

$$B_2 = \beta_2 = \frac{1}{R_2} + D_2 \quad (4)$$

olarak belirtilmiştir. Burada ise B_2 , ikinci bölgenin frekans yönelim faktörüdür [11].

3. Güç sistemlerinde bulanık mantık uygulamaları

Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli makalesinde [12] yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965' te ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh' in 1965' deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan sonraki makaleleri etkili olmuştur [13].

Bulanık mantığın Mamdani ve arkadaşları tarafından denetim sistemlerine ilk uygulanmasından sonra, bu alanda oldukça önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Öyle ki denetim sistemleri bulanık mantığın en fazla uygulandığı alan olarak günümüze kadar gelmiştir. Klasik denetim sistemlerindeki aksine, sadece istenilen çıkışı verecek şekilde girişe uygulanan işaret ayarlandığından, bulanık denetimin işlemesi tıpkı usta bir insanın o sistemi denetlemesine benzer. Yani bulanık mantık ve bulanık küme işlemleri kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilmektedir [13].

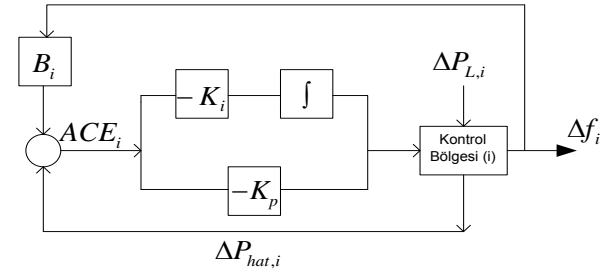
Bulanık mantık uygulamaları gibi akıllı sistemler günümüzde yaygınlaşmıştır. Çünkü akıllı sistemler sayesinde değişebilecek sistem şartlarına kolay ve hızlı adaptasyon sağlanabilmektedir. Çünkü sabit kazançlı bir PI kontrolör ile gerçekleştirilen yük frekans kontrolü değişebilecek sistem koşullarını karşılayamayabilir. Diğer taraftan sabit olan kazançlar yeni sistem koşullarına göre yeniden ayarlanmalıdır. Bu da kolay olmayan bir durumdur. Bu yüzden sabit kazançlı sistemlerin yerini akıllı sistemler almalıdır.

4. Önerilen kontrol modeli

Yük frekans kontrolünün amacı frekans ve bağlantı hattı güç alışverişini istenilen değere ulaştırmak üzere bir u kontrol sinyali üretmektir [4]. Yük frekans kontrolünde kullanılan klasik PI kontrolörün blok diyagramı Şekil 2' de görülmektedir. Kontrol vektörü ise şu şekildedir:

$$U_i(t) = -K_{pi} ACE_i(t) - K_{ii} \int ACE_i(t) dt \quad (5)$$

$$U_i(t) = -K_{pi}(\Delta P_{hat,i} + B_i \Delta f_i) - K_{ii} \int (\Delta P_{hat,i} + B_i \Delta f_i) dt \quad (6)$$



Şekil 2: i.Bölge için PI kontrolör

Yük frekans kontrolünde kullanılan PI kontrolörün K_p ve K_i kazançlarının değişmesi sistem cevabını farklı şekillerde etkileyebilmektedir.

Şekil 1' de verilen iki bölgeyi güç sisteminde klasik PI kontrolör kullanıldığında elde edilen sistem cevaplarında, maksimum hatanın yüksek oluşu ve oturma zamanının uzun oluşu gözlemlenmiştir [4].

Birçok araştırmacıya göre de bulanık mantık uygulamasının kullanıldığı kontrolör sistemlerinde, aynı sistem parametreleri (Tablo 2) kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çünkü bulanık mantık, insan düşüncesi ve insan dili açısından klasik mantığa göre daha fazla benzerlik gösterir [7]. Böylece değişebilecek sistem şartlarına adaptasyon daha kolay olacaktır.

Tablo 2: Kullanılan sistem parametreleri

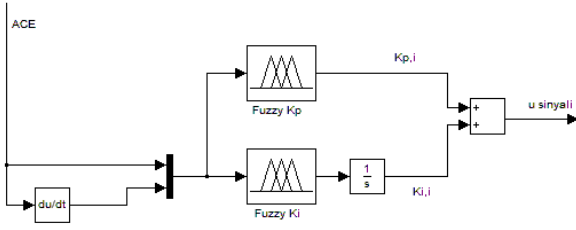
$T_{g1} = T_{g2} = 0,08$ sn	$T_{I2} = 0,086$
$T_{I1} = T_{I2} = 0,3$ sn	$\beta_1 = \beta_2 = 0,425$ MW / Hz
$R_1 = R_2 = 2,4$ Hz / MW	$ B_1 = B_2 = 0,425$
$K_{p1} = K_{p2} = 120$ Hz / MW	$D_1 = D_2 = 8,33 \cdot 10^{-3}$ MW / Hz
$T_{p1} = T_{p2} = 20$ sn	$\Delta P_{L1} = 0,01$ pu
$a_{I2} = -1$	

Bu çalışmada amaçlanan kontrolörün tasarımı üç aşamaya bölünebilir. Bunlar; giriş değişkenleri (ACE , ΔACE), bulanık mantık kurallarının belirlenmesi ve durulaştırmasıdır.

ACE , otomatik üretim kontrolünün gerçekleştirilmesinde esastır. ACE ve türev ACE (ΔACE) istenilen kontrolün sağlanmasında belirleyici iki faktördür. Bulanık mantık kontrolörün giriş değişkenleri yukarıda da belirtildiği gibi ACE ve ACE' nin türevi (Hata Değişimi), çıkışı ise aynı zamanda sistemin giriş sinyalleri olan $K_{p,i}$ ve $K_{i,i}$ sinyalleridir.

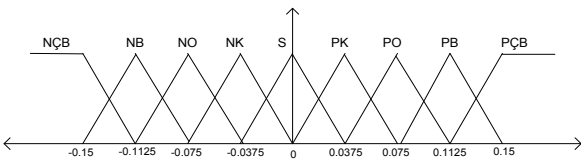
Bu çalışmada önerilen kontrolör yapısına ait blok diyagram Şekil 3' te verilmiştir ve bu çalışma için ACE ve ΔACE , genliğine ve işaretine bağlı olarak dokuz kontrol bölgesine bölünmüştür. Bunlar; negatif çok büyük (NÇB), negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), sıfır (S),

pozitif küçük (PK), pozitif orta (PO), pozitif büyük (PB) ve pozitif çok büyüktür (PÇB).

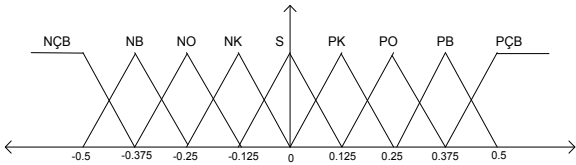


Şekil 3: Önerilen Bulanık Mantık Kontrolör yapısı modeli [4]

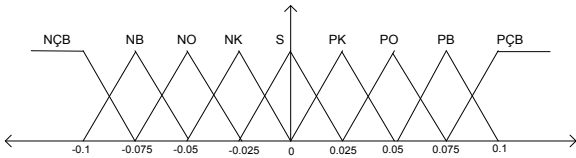
Tasarlanan bulanık mantık kontrolöründe giriş değişkenleri ACE ve ΔACE için üyelik fonksiyonları Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’ de verilmiştir [4].



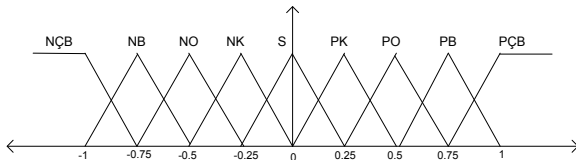
Şekil 4: Giriş değişkeni ACE için üyelik fonksiyonları ($K_{p,i}$)



Şekil 5: Giriş değişkeni ΔACE için üyelik fonksiyonları ($K_{p,i}$)



Şekil 6: Giriş değişkeni ACE için üyelik fonksiyonları ($K_{i,i}$)



Şekil 7: Giriş değişkeni ΔACE için üyelik fonksiyonları ($K_{i,i}$)

Giriş değişkenleri için verilen üyelik fonksiyonları Şekil 8’ de verilen bulanık mantık kuralları ile çalışmaktadır. Belirtilen bulanık mantık kural tablosu oluşturulurken; başlangıçta maksimum bozulmayı küçültmek amacıyla $K_{p,i}$ ve $K_{i,i}$ kazançlarının büyük seçilmesi ve daha sonra oturma zamanını

küçültmek için bu kazanç değerlerinin aşamalı olarak küçültülmesi yaklaşımından yararlanılmıştır [4].

		ΔACE								
		NÇB	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB	PÇB
ACE	NÇB	PÇB	PÇB	PÇB	PB	PB	PO	PO	PK	S
	NB	PÇB	PB	PB	PB	PO	PO	PK	S	NK
	NO	PÇB	PB	PO	PO	PK	PK	S	NK	NO
	NK	PB	PB	PO	PK	PK	S	NK	NK	NO
	S	PB	PO	PK	PK	S	NK	NK	NO	NB
	PK	PO	PO	PK	S	NK	NK	NO	NB	NB
	PO	PO	PK	S	NK	NK	NO	NO	NB	NÇB
	PB	PK	S	NK	NO	NO	NB	NB	NB	NÇB
	PÇB	S	NK	NO	NO	NB	NB	NÇB	NÇB	NÇB

Şekil 8: i . Bölge için $K_{p,i}$ ve $K_{i,i}$ sinyallerine ait Bulanık Mantık Kuralları tablosu

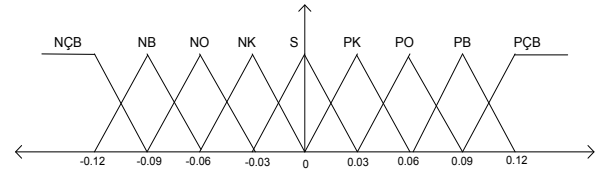
Amaçlanan bulanık mantık kontrolöründe; sisteme uygulanacak çıkış sinyalleri (Kontrolör Kazançları); ACE ve ΔACE giriş değişkenlerine ve bulanık mantık kural tablosuna göre elde edilmektedir. Girişler üzerinden muhakeme ve bir sonuca ulaşma IF – THEN (EĞER – O HALDE) türünden kuralları kullanımı ile gerçekleştirilir. Yani örneklendirilecek olursa;

EĞER; ACE = NÇB ve ΔACE = NK ise; O HALDE K = PB

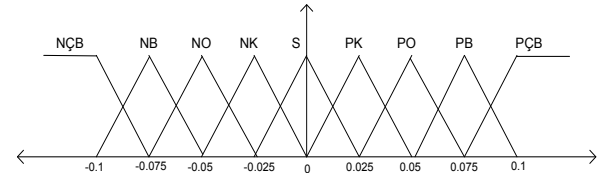
olacaktır. Bu çalışmada tasarlanan bulanık mantık kontrolöründe temel bulanık mantık kurallarından, kesişen kümeler kuralı kullanılmıştır.

a and b $\min(a, b)$ (a’ nin üyelik ağırlığı; b’ nin üyelik ağırlığı)

Buradaki \min ifadesi her kural için gerçekleşme derecesini hesaplamakta ve ona göre çıkışı belirlemektedir. Durulama aşamasında kullanılan $K_{p,i}$ ve $K_{i,i}$ çıkış sinyalleri için üyelik fonksiyonları Şekil 9 ve Şekil 10’ da verilmiştir [4].



Şekil 9: $K_{p,i}$ çıkış sinyali için üyelik fonksiyonları

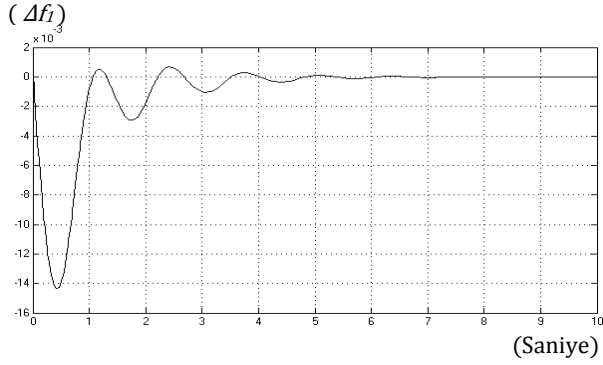


Şekil 10: $K_{i,i}$ çıkış sinyali için üyelik fonksiyonları

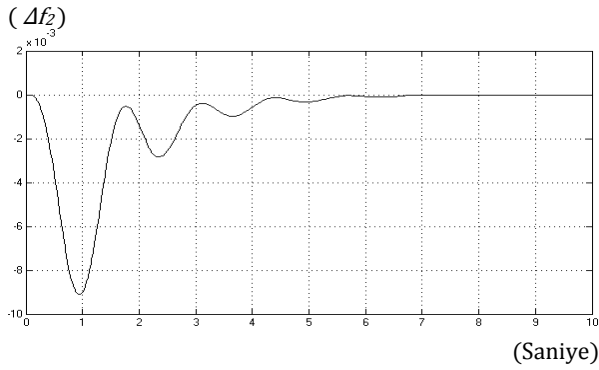
5. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirme

Tasarlanan bulanık mantık kontrolörü Şekil 1’ deki iki bölgeyi güç sistemi modelinde kontrolör olarak kullanılmıştır. Güç sisteminin parametreleri Tablo 2’ deki gibidir. Sistemin birinci

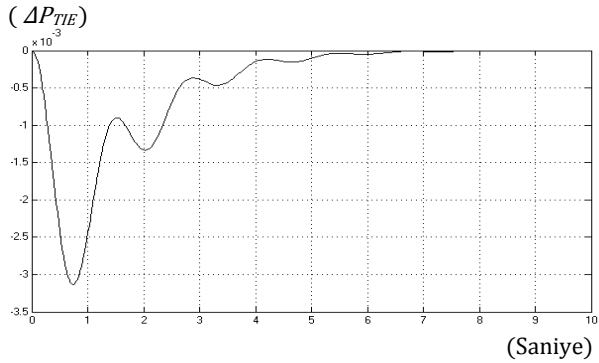
bölgede oluşan 0.01 pu' lik adım yük değişimine verdiği cevap; Şekil 11' de Δf_1 , Şekil 12' de Δf_2 , Şekil 13' te ise ΔP_{TIE} olmak üzere gösterilmiştir.



Şekil 11: Bulanık Mantık Kontrolör kullanıldığında sistem cevabı (Δf_1)



Şekil 12: Bulanık Mantık Kontrolör kullanıldığında sistem cevabı (Δf_2)



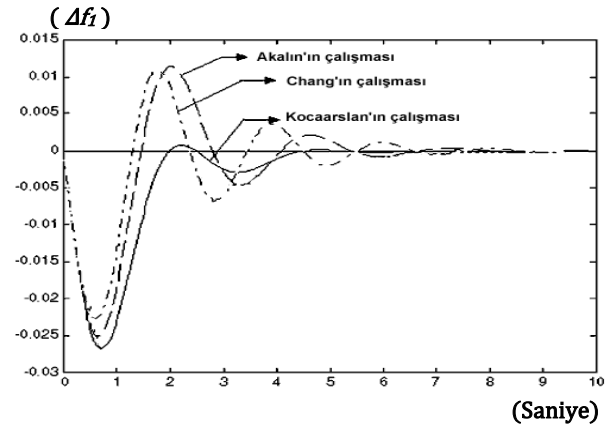
Şekil 13: Bulanık Mantık Kontrolör kullanıldığında sistem cevabı (ΔP_{TIE})

İnceleme yapılan iki bölgeyi güç sistemi modeli ve bu modele ait sistem parametreleri kullanılarak daha önceki yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmış ve bulanık mantık kullanılarak değişik kontrolör yapıları tasarlanmıştır. Tasarlanan her bir kontrolör yapısında bulanık mantık üyelik fonksiyonları için farklı kontrol aralıkları kullanılmıştır.

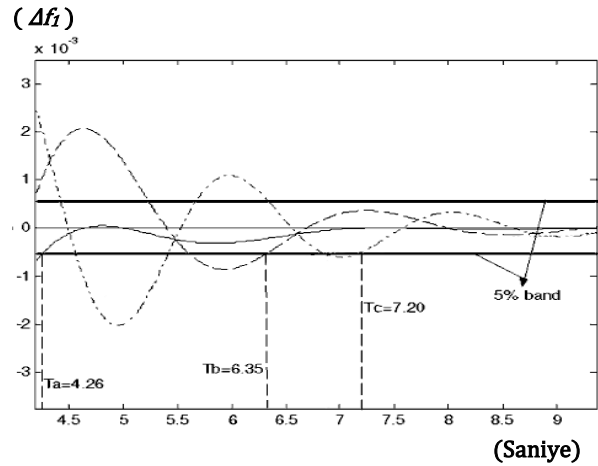
1997 yılında Chang C.S. ve Fu W. yaptığı çalışmada PI kontrolöre ait K_i ve K_p kazançlarının bulanık mantık ile bulunması üzerine tasarım yapmıştır [5]. Benzer olarak Kurt G.A., 2000 yılındaki doktora tezi çalışmasında yine K_i ve K_p kazançlarını bulanık mantık ile elde etmiş ve kontrol bölgelerine uygulamıştır [7].

2004 yılında Kocaarslan İ. ve Çam E. tarafından yapılan çalışmada [6] tasarlanan FGPI (Fuzzy Gain Scheduling of PI) kontrolörler ile bulanık mantık kontrolörleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca 2000 ve 1997 yıllarında yapılan çalışmalarla da kıyas yapılmıştır.

Bu çalışmada önerilen kontrolör ile elde edilen sonuçlar yukarıda bahsedilen çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Birinci bölgede oluşan 0.01 pu' lik adım yük değişimi sonucunda oluşan Δf_1 frekans cevabı bahsedilen çalışmalar için Şekil 14' te verilmiştir. Şekil 15' te ise, her bir çalışma için, uygulanan adım yük değişiminin %5 bandına oturma zamanı gösterilmiştir.



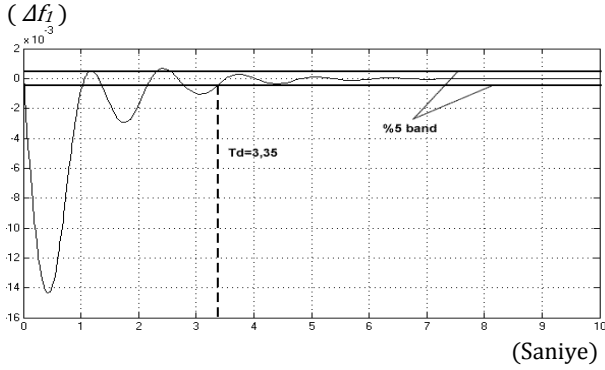
Şekil 14: Daha önceden yapılmış olan çalışmaların sonuçları (Δf_1)



Şekil 15: Daha önceden yapılmış olan çalışmaların yük değişiminin %5' ini temsil eden band aralığına oturma zamanları

Şekil 15’ te görülen Ta süresi Kocaarslan ve arkadaşının çalışması için oturma zamanını, Tb süresi Akalın’ ın çalışması için oturma zamanını, Tc süresi Chang ve arkadaşının çalışması için oturma zamanını belirtmektedir.

Bu çalışmada önerilen kontrolöre ait Şekil 11’ de verilen Δf_i frekans cevabı için %5 bandına oturma zamanı Şekil 16’ da gösterilmiştir. Bu şekildeki Td süresi önerilen kontrolörün oturma zamanını belirtmektedir.



Şekil 16: Önerilen Kontrolör için yük değişiminin %5’ ini temsil eden band aralığına oturma zamanı

Tablo 3: Sonuçlar ile ilgili verilerin karşılaştırılması

	Oturma Zamanı (%5 band)	Maksimum Bozulma
Kocaarslan’ ın Çalışması (Ta)	4.26 sn	-0.027
Akalın’ ın Çalışması (Tb)	6.35 sn	-0.025
Chang’ ın Çalışması (Tc)	7.20 sn	-0.022
Önerilen Çalışma (Td)	3.35 sn	-0.0145

6. Sonuç

Sonuç olarak; iki bölge bir güç sistemi modeli için, birinci bölgede oluşan 0.01 pu’lık adım yük değişimindeki %5 bandına oturma zamanına ve maksimum bozulmaya ait veriler Tablo 3’ te verilmiştir. Tablo 3’te de görüldüğü gibi sistem, önerilen kontrolörle, diğer çalışmalara göre daha çabuk istenilen duruma gelmiştir. Ayrıca maksimum bozulma değeri de diğer çalışmalara göre daha küçüktür.

7. Kaynaklar

- [1] ÖZDEMİRCİ E., 2002, Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [2] ZOBİ C., 1996, Yük-Frekans Kontrolünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] WEEDY B.M., CORY B.J., 1998, Electric Power Systems, Fourth Edition.
- [4] KARYEYEN A., 2009, Çok Bölge Elektrik Güç Sistemlerinde Optimum Yük Frekans Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [5] CHANG C.S., FU W., Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers. Electr Power Syst Res 1997;42:145-52.
- [6] ÇAM E., KOCAARSLAN İ., Load Frequency Control in Two Area Power Systems Using Fuzzy Logic Controller, Energy Conversion and Management 46, 2005, 233-243.
- [7] AKALIN KURT G., 2000, Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [8] EL-SHERBİNY M.K., EL-SAADY G., YOUSEF ALİ M., Efficient Fuzzy Logic Load Frequency Controller, Energy Conversion and Management 43, 2002, 1853-1863.
- [9] YEŞİL E., GÜZELKAYA M., EKSİN İ., Self Tuning Fuzzy PID Type Load Frequency Controller, Energy Conversion and Management 45, 2004, 377-390.
- [10] WOOD A. J., WOLLENBERG B. F., 1996, Power Generation Operation and Control, Second Edition.
- [11] OYSAL Y., YILMAZ A.SERDAR, KÖKLÜKAYA E., Dynamic Fuzzy Networks Based Load Frequency Controller Design in Electrical Power Systems, G.U. Journal of Science 17(3):101-114,2004.
- [12] ZADEH L. A., Fuzzy Sets, Information and control, vol.8, no.3, pp.338-353, June 1965.
- [13] ALTAŞ İ. H., 1999, Bulanık Mantık:Bulanıklık Kavramı, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Sayı 62, Sayfa: 80-85.