

PSO-PID ve FGPI Kontrolörlerin bir Termik Santralda Karşılaştırılması

(Comparison of PSO-PID and FGPI Controllers on a Thermal Power Plant)

İlhan KOCAARSLAN¹, Hasan TIRYAKI²

Electrical & Electronics Engineering Department, İstanbul University, İstanbul, 34100, Turkey¹
Electricity Generation Company Inc., Ankara, 06490, Turkey²
Phone: +90 (312) 2126900; Fax: +90 (312) 2221262, ikarsalan@istanbul.edu.tr, hasan.tiryaki@euas.gov.tr

Özet—Günümüzde, birçok model için klasik kontrol yöntemlerinin yerine modern kontrol yöntemleri pratik veya teorik olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Ankara-Çayırhan Termik Santralının birinci ve ikinci ünitelerini kapsayan bir modelin (300 MW) güç ve entalpi çıkışlarını kontrol etmek için modern kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Karşılaştırma için, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu tabanlı bir oransal-integral-türev (PSO-PID) kontrolör ve kazançları bulanık mantık kuralları ile programlanan bir oransal-integral (FGPI) kontrolör elektrik santrali modeline uygulanmıştır. Simulasyon sonuçları, bu çalışmada geliştirilen her iki kontrolörün bu modele ait güç ve entalpi çıkışlarının oturma zamanı ve aşma değeri üzerinde farklı etkilerinin olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler—Elektrik Enerjisi, Termik Santral, Modelleme, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı PID Kontrolör (PSO-PID), Kazançları Bulanık Mantık Kuralları ile Programlanan PI kontrolör (FGPI)

Abstract— Nowadays, instead of conventional control techniques, modern control techniques have been implemented for a lot of industrial models practically or theoretically. In this study, modern control techniques are used to regulate the power and enthalpy outputs in a model (300MW) contain first and second units of Ankara-Çayırhan Thermic Power Plant was carried out. For comparison, a particle swarm optimization based proportional-integral-derivative (PSO-PID) controller and a fuzzy gain scheduled proportional-integral (FGPI) controller have been applied to the power plant model. The simulation results show that the both of the controllers developed in this study make different effects on the settling time and overshoot of power and enthalpy outputs of this model.

Keywords— Electrical Energy, Thermal Power Plant, Modelling, Particle Swarm Optimization based PID Controller (PSO-PID), Fuzzy Gain Scheduled PI Controller (FGPI).

I. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretimi, son yıllarda artan ihtiyaç ve çevre bilinci ile birlikte daha da önem kazanmıştır. Dünyamızda halen enerji üretiminin oldukça büyük bir kısmı fosil yakıt tabanlı termik elektrik santrallerden sağlanmaktadır. Ancak bu santral tiplerinde elektrik üretiminin yanı sıra kömür

yanması sonucu çevreye zarar verebilecek gazlar da meydana gelmektedir. Bu durumun ana sebeplerinden biri termik elektrik santrallerinde üretim boyunca sisteme ait parametrelerin değişmesidir. Bunun en basit göstergesi senelerce üretim yapan bir termik elektrik santralının kazan ve ısıtıcı boru yüzeylerinin kömür yanması sonucu oluşan kurumla kirlenmesidir. Bunun sonucu olarak santralın veriminin düşmesine paralel olarak üretilen enerjinin de kalitesi düşmekte ve kirlenmeden dolayı çevreye saçılan zehirli gaz miktarı artmaktadır.[1]

Yukarıda bahsedilen sebeplere ek olarak; tüketicilerin doğal beklentileri, elektriğin depo edilememesi ve bu nedenle ihtiyaca bağlı üretim yapılması gerekliliği ve ayrıca elektrik santrallerinin giderek büyüyen ve karmaşıklaşan yapısı gibi nedenlerle elektrik santrallerinin kontrolünün de önemi artmıştır. Bu durum ise; gelişmiş kontrol sistemlerinin bu santrallerde kullanımını zorunlu kılmıştır.[2]

Santrallerde ısı çevrimi sürekli olarak kontrol altında bulundurulmalıdır. Tüm ölçü ve kontrol sistemleri ile ölçü aletlerinin doğru çalışması, doğru değer göstermeleri, otomasyon sistemlerinin sağlıklı çalışması santral verimi için hayati önem taşıdığı gibi santralın emniyetini de güvenli kılar. Çevrimdeki buhar ve su kayıpları en kısa sürede giderilmeli, kazan ve buhar türbini nominal yüklerde çalıştırılarak sıcaklık, basınç, debi, seviye ve diğer ölçümler ile yüzde oranları mümkün olduğu kadar ünitenin verim testlerinin yapıldığı işletme şartlarına çok yakın tutulmalıdır. Tüm bunların yapılabilmesi için santral işletme sahasında ve kontrol-kumanda panolarındaki ekipmanların iyileştirilmesinin yanı sıra santralın kontrolünü sağlayan kontrol sistemlerinde de modern kontrol yöntemlerinin tercih edilmesi gereklidir. Bilindiği gibi termik santrallerde verimi etkileyen en önemli unsurlardan birisi de bakım ve revizyonlar konusudur. Bir santralda modern kontrol yöntemlerinden herhangi biri uygulandığı takdirde, santral nominal işletme şartlarında tutulacağı ve sistemi oluşturan ekipmanlar zorlanmadan çalıştırılacağı için bakım ve revizyon maliyetleri ve süreleri azalacak ve dolayısıyla kontrol sistemlerindeki iyileştirmelerin verim üzerindeki etkileri de net olarak izlenebilecektir.[3]

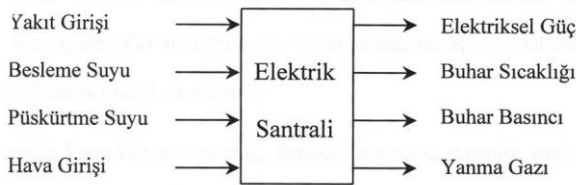
Santral dinamiği, kazanın kirlenmesi, ani yük ihtiyaç değişimleri, yakıt kalitesindeki düşüşler gibi bir çok nedenden

dolayı her an değişime uğrayabilir. PI ve PID gibi klasik kontrol yöntemleri bu değişimlere hızlı bir şekilde karşılık verememektedir. Bu soruna çözüm olarak, modern kontrolörler geliştirilmiştir. Bu kontrolörler, belli başlı bazı tablolara veya algoritmalara göre tasarlanmaktadır[4]. Bu çalışmada anlatılan yöntem, örnek bir çalışma yapabilmek amacıyla bir doktora tezindeki verilerden yola çıkılarak elde edilen modele uygulanacaktır. Söz konusu tez çalışmasında Ankara-Çayırhan Termik Santralının birinci ve ikinci ünitelerini kapsayan bir modeli çıkartılmış ve bu model üzerinde klasik ve modern kontrol yöntemleri karşılaştırılmıştır. Modelin girişleri yakıt ve besleme suyu, çıkışları ise elektriksel güç ve entalpi olarak seçilmiştir. Bu çalışmada yapılan simülasyonları bir adım daha ileri götürmek amacıyla tezde kullanılan FLC kontrolörlerin yerine daha üst seviyede yer alan; Parçacık Sürüsü Optimizasyonu tabanlı bir oransal-integral-türev(PSO-PID) kontrolör ve kazançları(parametreleri) bulanık mantık kuralları ile programlanan bir oransal-integral(FGPI) kontrolör kullanılmış ve her iki kontrolörün etkileri karşılaştırılmıştır.

II. TERMİK ELEKTRİK SANTRALI

Güç santrallarının dinamik davranışı ağırlıklı olarak; giriş ve çıkış bozulmalarına, set noktalarındaki değişimlere bağlıdır. Bu durum özellikle büyük kömür yakıtlı güç santrallerinde görülmektedir. Santralden, çok büyük oranlı ve ani yük değişimlerinde, devreye girip çıkmalarda, hızlı işletme şartlarına ayak uydurması istenir. Kontrol mühendisliği açısından, zamanla değişen ve lineer olmayan çok değişkenli prosesi temsil eden bir santralin veya çok giriş/çıkışlı (MIMO, Multi Input Multi Output) bir sistemin kontrolü oldukça zordur.

Bir termik elektrik santralında ana giriş değişkenleri; yakıt, besleme suyu, püskürtme suyu ve havadır. Ana çıkış değişkenleri ise; elektriksel güç, buhar entalpisi (evaporatör çıkışındaki buharın sıcaklık ve basınç fonksiyonu) ve yanma gazıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Çok değişkenli dinamik bir güç santral sistemi

Bu çalışmada referans alınan Ankara-Çayırhan Termik Santrali, Türkiye Kömür İşletmeleri'nin Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi altında bulunan ve rezervi 380.000.000 ton olarak hesaplanan ve yıllık 4,3 milyon ton kömür üretim kapasitesine sahip sahada, alt ısıl değeri 2800 kcal/kg olan linyitlerin değerlendirilmesi amacı ile 150 MW'lık iki ünite halinde kurulmuştur.[5] 1978 yılında inşaatı tamamlanan Çayırhan Termik Santrali, zaman içerisinde çeşitli genişletmeler ve ek binalar ile bugünkü halini almıştır. Bugün

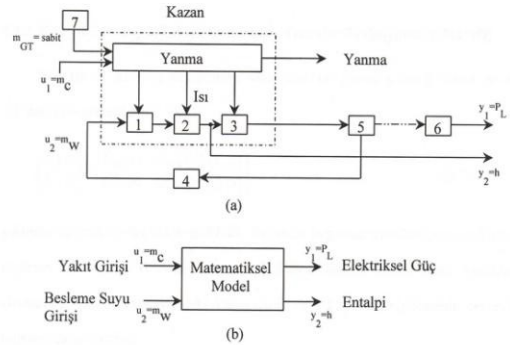
santral 4 üniteden oluşmaktadır. 1 ve 2'nci üniteler 150 MW, 3 ve 4'ncü üniteler ise 160 MW kurulu güce sahiptir. Toplam 620 MW elektrik enerjisi üreten Türkiye'nin önemli elektrik santrallarından birisi olmuştur.

Güç santrali; kazan, gaz türbini, buhar türbini ve jeneratörden oluşur. Kazan sıkı bir şekilde birbiriyle bağıntılı çok değişkenli bir sistemle modellenebilir. Bu, kazanı kontrol mühendisliği açısından oldukça ilginç kılar. Kazanda, kimyasal enerji termal enerjiye (buhar) dönüştürülür. Bir kazanın dinamik davranışı ağırlıklı olarak aşağıdaki gibi birçok farklı işletme koşuluna bağlıdır;

- Yakıtın kalorifik değeri ve kalitesinin değişmesi, entalpinin ve canlı buhar basıncının değişmesine sebep olur, dolayısıyla jeneratördeki güç de değişir,
- Yakıt besleyicilerinin verimi zamanla azalır,
- Isıtma yüzeyleri, brülörler ve besleyicilerdeki kuruma, sistem dinamiğinde değişimlere neden olur,
- Set değerlerindeki ve yükteki değişimler, çalışma noktasında bozulmalara neden olur,

İklimsel değişikliklerden dolayı, kombine güç istasyon bloğunda yer alan gaz türbininin çıkış sıcaklığındaki değişimler kazan dinamiğini oldukça etkileyebilir.

Verimli bir kontrol dizaynı için, sistemin dinamik ve statik özellikleri çok iyi bilinmelidir. Diğer bir taraftan, bu şekilde bir çok giriş ve çıkışlı bir kompleks sistemi ele almak oldukça güç ve karmaşıktır. Bu yüzden, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi model dizaynında en önemli giriş ve çıkış değişkenleri kullanılır. İstenen proses davranışını tanımlamak üzere incelenen güç santrali için iki girişli ve iki çıkışlı değişkenler yeterlidir.[6]



1: Ön ısıtıcı, 2: Evaporatör, 3: Kızdırıcı, 4: Yoğunlaştırıcı, 5: Türbin, 6: Jeneratör, 7: Gaz türbini, m_c: Kömür Beslemesi, m_w: Besleme suyu akışı, m_OT: Gaz türbini'nden gelen egsoz gazı

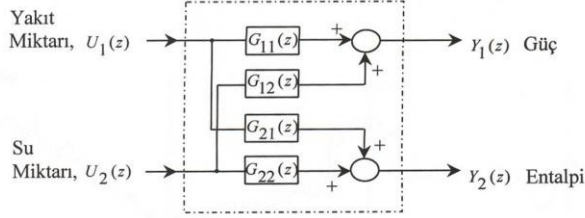
Şekil 2. Şematik diyagram, (a) Güç santrali ve (b) Matematiksel modeli

Şekil 2'de görüldüğü gibi, yakıt beslemesi ve besleme suyu akışı giriş değişkenleri olarak seçilmiştir. Çıkış değişkenleri ise elektriksel güç ve entalpidir.

İki giriş ve iki çıkış değişkenine sahip olan bir proses şematik olarak Şekil 3'deki gibi gösterilebilir. Veya,

$$\begin{bmatrix} Y_1(z) \\ Y_2(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(z) & G_{12}(z) \\ G_{21}(z) & G_{22}(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(z) \\ U_2(z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

şeklinde matrisel olarak ifade edilebilir. Buradaki bağımsız transfer fonksiyonlarını toplayan 2x2 boyutlu G matrisi, transfer fonksiyon matrisi olarak bilinir. Bu çalışmada kullanılan santral modeli z domeninde incelenmiş olup gerekli blok diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir;



Şekil 3. Kullanılan santral modelinin blok diyagramı

III. KONTROL YÖNTEMLERİ

Tüm kontrol sistemlerinin amacı, verilen zaman aralıklarında sistemin belirli durum ve değişkenlerini takip ederek sistemi istenilen duruma getirmek için tanımlanmış kontrol kriterlerini gerçekleştirmektir. Bir sistem, belirli bir görevin yerine getirilmesi için bir araya gelmiş çalışma ünitelerinden oluşmaktadır. Kontrol sisteminde girişler ve çıkışlar bulunur. Girişler kontrolörde işlenerek kontrol edilen sisteme gerekli çıkış sağlanmaktadır. Bu çıkış, sistemi kumanda etmek için kullanılan bir kontrol sinyalidir.[7]

A. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı Oransal-İntegral-Türev (PSO-PID) Kontrolör

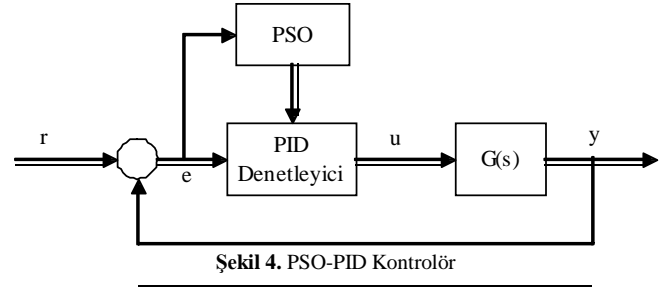
Bilindiği gibi, genel olarak bir PID kontrolöre ait transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir;

$$m(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t).dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

$\frac{K_p}{T_i} = K_i$ ve $K_p.T_D = K_D$ alınırsa ifade şu şekli alır;

$$m(t) = K_p.e(t) + K_i \int_0^t e(t).dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemini kullanmak amacıyla Matlab 7.1 programında [8] bir yazılım geliştirilmiş ve modeli alınan termik elektrik santralının güç ve entalpi çıkışları için ayrı ayrı optimizasyon yapılmıştır. Sistem girişine birim adım uygulanmış ve Simulink modeli üzerinden e hata değerleri, her iterasyonda "hata.mat" dosyasına kaydedilerek optimizasyon yazılımına girdi yapılmıştır. Genel olarak Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı Oransal-İntegral-Türev (PSO-PID) Kontrolörün çalışma prensibi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;



Şekil 4. PSO-PID Kontrolör

Yazılımın geliştirilmesinde; konum aralıkları olarak güç çıkışında; K_p için [0, 2.1], K_i için [0, 0.2], K_d için [0, 5] ve entalpi çıkışında; K_p için [0, 3], K_i için [0, 0.1], K_d için [0, 4] alınmış, hız aralıkları Eşitlik 4 ve 5'deki gibi belirlenmiştir.[9] Konum ve hız aralıklarının uygun seçilmesinin, yakınsama süresini büyük ölçüde kısalttığı görülmüştür. Lokal ve global arama performanslarının dengelenmesi için Clerc'in Eşitlik 6 ve 7'de belirtilen K katsayısı kullanılmıştır. Buna göre c_1 ve c_2 katsayıları 2.00 alınmıştır. Simülasyon için parçacık sayısı 20, iterasyon sayısı ise 50 olarak belirlenmiştir. Hedef fonksiyon olarak ise "hatanın kareleri toplamı" fonksiyonu kullanılmıştır. [10]

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) (\%10 \sim \%20) \quad (4)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (5)$$

$$K = \frac{2}{\left| 2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi} \right|}, \quad \varphi = c_1 + c_2 > 4 \quad (6)$$

$$v_{id}^{t+1} = K \left[v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (g_i^t - x_{id}^t) \right] \quad (7)$$

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak olan PID kontrolörlerin parametreleri optimize edilmiş olarak belirlenmiştir;

$$K_p = 1.9953, K_i = 0.0462, K_D = 3.0342 \quad (8)$$

(Güç çıkışı için)

$$K_p = 2.8504, K_i = 0.0231, K_D = 2.4274 \quad (9)$$

(Entalpi çıkışı için)

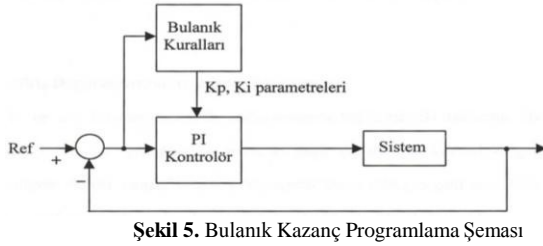
B. Kazancın Bulanık Mantık Kuralları ile Programlandığı PI Kontrolör (FGPI)

Sistemin bulanık mantık PI (FGPI) kontrolörlerle kontrolünü sağlamak üzere her bir modelde güç ve entalpi çıkışları için ayrı ayrı iki bulanık mantık kontrolör kullanılmıştır.

Kullanılan FGPI kontrolörlerin her birinin giriş ve çıkış değişkenleri, 7 üyelik fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarının isimleri sırasıyla; NB (Negatif Büyük), NO (Negatif Orta), NK (Negatif Küçük), S (Sıfır), PK (Pozitif Küçük), PO (Pozitif Orta), PB (Pozitif Büyük) şeklindedir. Bu üyelik fonksiyonlarından NB ve PB kontrol aralığının uç değerleri olduğundan trapmf (trapezoid membership function-yamuk üyelik fonksiyonu) olarak, diğerleri ise kontrol aralığının daha hassas olması

amacıyla trimf (triangle membership function-üçgen üyelik fonksiyonu) olarak seçilmiştir.[11] Tüm üyelik fonksiyonlarının aralıkları sistemin kontrolü için kritik noktalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

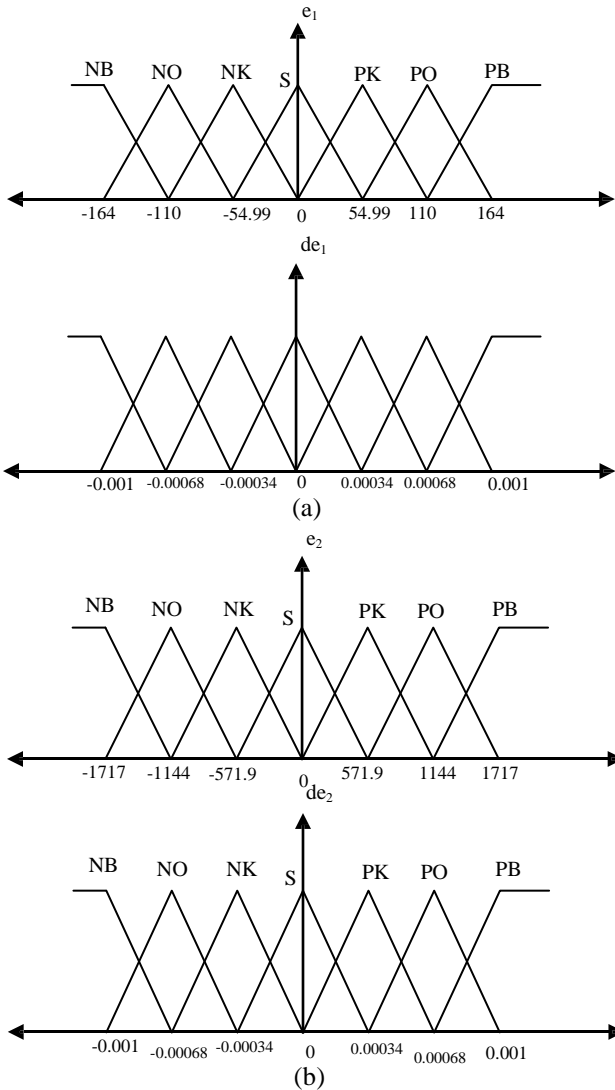
PI kontrolörün kazancının programlanması için gerekli bulanık mantık kuralları, sistemin adım cevabına dayanılarak elde edilir. Şekil 5'de bulanık kazanç programlayıcılı bir PI kontrol sistemi görülmektedir;[12]



Şekil 5. Bulanık Kazanç Programlama Şeması

Giriş Değişkenlerinin Aralıklarının Belirlenmesi

Kullanılan giriş değişkenlerinin aralıkları Şekil 6'da gösterilmiştir;



Şekil 6. Kullanılan giriş değişkenlerinin aralıkları
(a) Güç çıkışı, (b) Entalpi çıkışı

Burada e_1 , sistemin güç kısmına ilişkin hata değerini temsil etmektedir. de_1 , bu hatanın türevidir. Benzer şekilde e_2 , sistemin entalpi kısmına ilişkin hata değerini temsil etmektedir. de_2 , bu hatanın türevidir.

Bulanık Kuralların Çıkarımı

K_p ve K_i kazançlarının belirlenmesi için oluşturulan kurallar, Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmiştir;

TABLO I
GÜÇ VE ENTALPI ÇIKIŞLARI İÇİN K_p PARAMETRELERİNİN KURALLARI

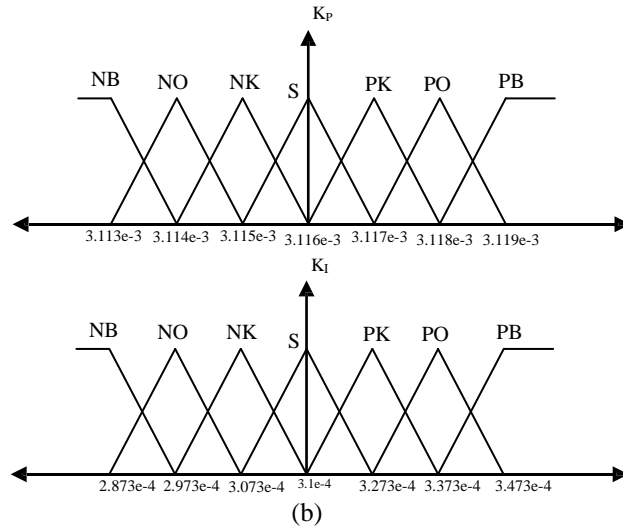
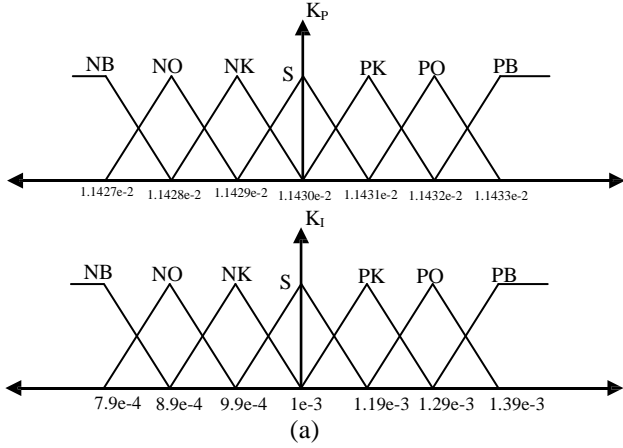
de e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM
NM	NM	NM	NM	NM	NM	NS	NS
NS	NS	NS	NS	NS	NS	Z	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	PS	PS
PS	PS	PS	PS	PS	PS	PM	PM
PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

TABLO II
GÜÇ VE ENTALPI ÇIKIŞLARI İÇİN K_i PARAMETRELERİNİN KURALLARI

de e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PB	PM	PM
NM	PM	PM	PM	PM	PM	PS	PS
NS	PS	PS	PS	PS	PS	Z	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	NS	NS
PS	NS	NS	NS	NS	NS	NM	NM
PM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB

Bulanık Çıkış Değerlerinin Durulaştırılması

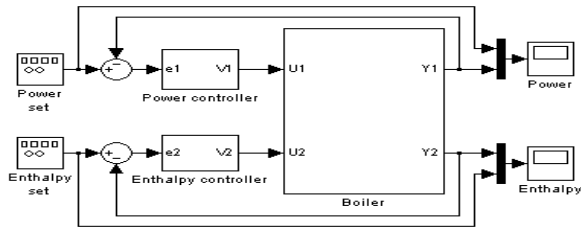
Kullanılan çıkış değişkenlerinin aralıkları Şekil 7'de gösterilmiştir;



Şekil 7. Kullanılan çıkış değişkenlerinin aralıkları
(a) Güç çıkışı, (b) Entalpi çıkışı

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

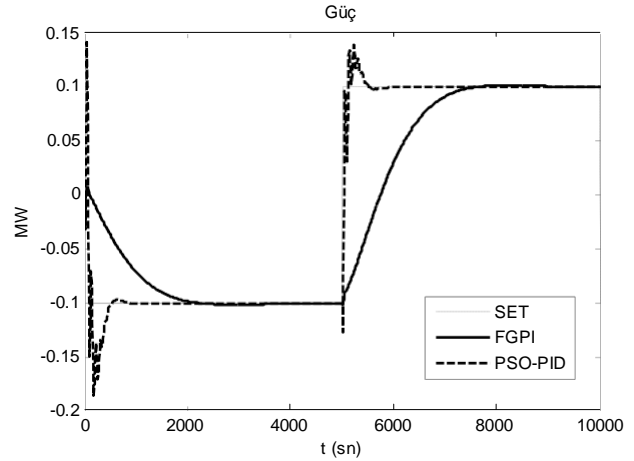
Tasarımı yapılan kontrolörlerin sisteme uygulanabilmesi için Şekil 8'de görülen blok diyagram kullanılmıştır. Simulasyon aşamasında buradaki kontrolörlerin yerine sırasıyla PI kontrolörler, PID kontrolörler ve bulanık mantık-PI kontrolörler (FGPI) kullanılmıştır. Tüm simulasyonlar, MATLAB 7.1-Simulink yazılımı ile yapılmıştır.



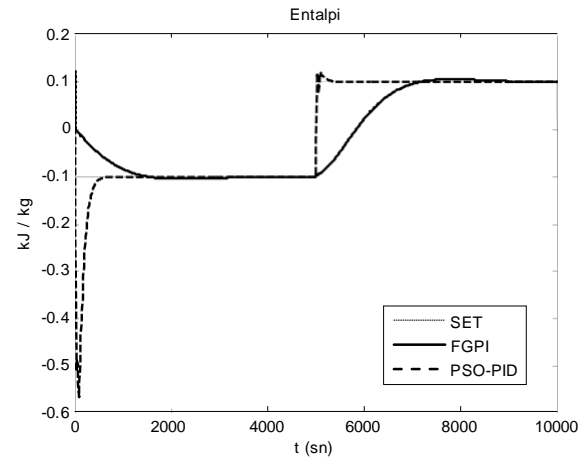
Şekil 8. Modeli alınan sistemin kontrol blok diyagramı

Simulasyon aşamasında, her iki çıkış için de istenen değer olarak; genliği 0.1 MW, periyodu 10000 sn olan kare dalga kullanılmıştır. Simulasyon sonuçları her iki kontrolör

için elde edilen çıkışlar üst üste bindirilerek Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir.;

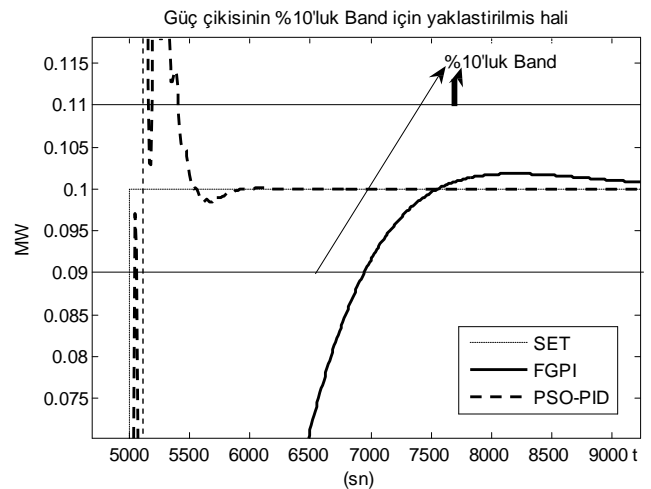


Şekil 9. Güç çıkışı

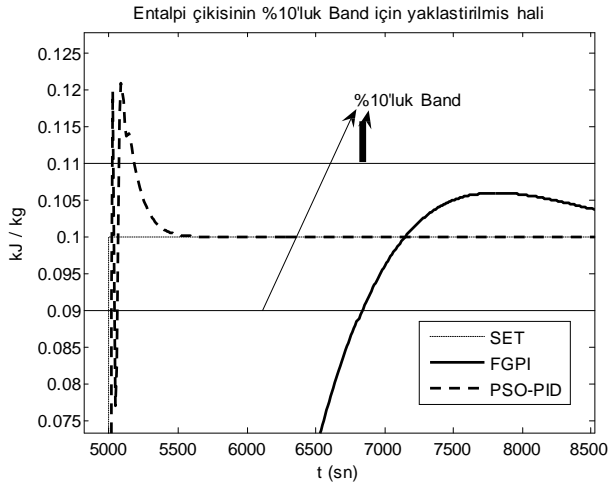


Şekil 10. Entalpi çıkışı

Daha nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla da Şekil 11 ve Şekil 12'de sırasıyla güç çıkışının %10'luk band için yakınlaştırılmış hali ve entalpi çıkışının %10'luk band için yakınlaştırılmış hali gösterilmiştir;



Şekil 11. Güç çıkışının yakınlaştırılmış hali



Şekil 12. Entalpi çıkışının yaklaştırılmış hali

Sonuçların tümünü bir arada görebilmek amacıyla elde edilen değerler Tablo 3’de gösterilmiştir;

TABL0 III
SİMULASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

	Güç çıkışı		Entalpi çıkışı	
	PSO-PID	FGPI	PSO-PID	FGPI
Oturma zamanı (sn)	190	1880	85	1835
Aşma değeri (%)	38	1.7	21	6

Sonuçlar ve tabloda görülen değerler; kısa sürede oturma zamanının istenildiği durumlarda PSO-PID kontrolörün, düşük seviyeli aşma değeri ve yumuşak adaptasyon istenildiği durumlarda da FGPI kontrolörün kullanılabilirliğini göstermektedir.

Ankara-Çayırhan Termik Santrali’nin modeli üzerinde yapılan bu çalışmanın ülkemizde diğer termik elektrik santrallerinde yapılması ve bu teorik çalışmaların pratiğe dönüştürülmesi durumunda termik santrallerimizin ve bunlara ait ekipmanların mümkün olan en az seviyede aşınma gösterip mümkün olan en yüksek performans ile uzun yıllar çalışabileceği düşünülmektedir. Bu ve bunun gibi çalışmalar ülkemize büyük kazançlar sağlayabilir ve bu sebeple bu paralellikteki teorik ve/veya pratik çalışmaların arttırılmasında fayda vardır.

Yine bu tür sistemlerin kontrolü için FGPI kontrolün bir üst seviyesi olan FGPI kontrolörler veya ANFIS (adaptif neuro-fuzzy inference systems) kontrolörler ileride çalışılmak üzere düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

[1] Kocaarslan İ., Çam E., Tiryaki H., Akbıyık B., “Bir Termik Elektrik Santralinde Kontrol Yönteminin Üretime Olan Etkilerinin Karşılaştırılması”, Uluslararası 9. Yanma Sempozyumu, Kırıkkale Üniversitesi, 16-17 Kasım 2006, 402-414.

[2] Kocaarslan İ., Çam E., Eke İ., Tiryaki H., “Bir Hidroelektrik Santralde Bulanık Mantık Kontrolör Uygulaması”, TOK’05 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, İstanbul, 2-3 Haziran 2005, 563-568.

[3] Tiryaki H., Bulut M., Kocaarslan İ., Taplamacıoğlu M. C., “Termik Santrallerin Kontrol Sistemlerinde Teknolojik Gelişmeler ve Verimlilik”, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO’08), Bursa, 46-50, 26-30 Kasım 2008.

[4] Kocaarslan İ., Çam E., Tiryaki H., “A Fuzzy Logic Controller Application For A Thermal Power Plants”, Energy Conversion and Management, 47(4), 442-458, 2006.

[5] Yeğin E. M., “Bir Termik Santralin Modelinin Oluşturulması ve Bu Model Üzerinde Klasik PID ve Fuzzy Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Kocaeli Üniversitesi F. B. E. Doktora Tezi, Kocaeli, 1999.

[6] Kocaarslan İ., “Einsatz Adaptiver Regelkonzepte in Einem Dampfkraftwerk”, Doktora Tezi, Bochum, Almanya, 1991.

[7] Kocaarslan İ., Çam E., Tiryaki H., “An Investigation of Cleanness in Boilers of Thermal Power Plants with Fuzzy Logic Controller”, 2nd International Conference on TPE, Tabriz-Iran, 6-8 September 2004, 668-672.

[8] Matlab 7.1, Reference Manual, 2007.

[9] Xu-zhou, L., Fei, Y., You-bo, W., “PSO Algorithm Based Online Self Tuning Of PID Controller”, International Conference On Computational Intelligence and Security, 2007.

[10] Gözde H., Taplamacıoğlu M. C., Kocaarslan İ., Çam E., “Particle Swarm Optimization Based Load Frequency Control In A Single Area Power System”, University of Pitesti-Electronics and Computers Science, Scientific Bulletin, No:8, Vol:2, pp 106-110, 2008.

[11] Tiryaki H., “Bulanık Mantık Kontrolörler ile PID Kontrolörün Bir Elektriksel Termik Santralde Karşılaştırılması”, Kırıkkale Üniversitesi F. B. E. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, Ocak 2005.

[12] Demirören A., Yeşil E., “Automatic Generation Control with Fuzzy Logic Controllers in the Power System Including SMES Units”, Electrical Power and Energy Systems, 26, 291, 2004.