

# BİR TERMİK ELEKTRİK SANTRALİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI KONTROLÖRÜN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Murat LÜY<sup>1</sup>, İlhan KOCAARSLAN<sup>2</sup>, Ertuğrul ÇAM<sup>3</sup>

Electrical & Electronics Engineering Department, Kirikkale University, Kirikkale, 71451 Turkey<sup>1,3</sup>  
Electrical & Electronics Engineering Department, İstanbul University, İstanbul, 34100 Turkey<sup>2</sup>  
Phone: +90 (318) 3574242; Fax: +90 (318) 3572459, mluy@kku.edu.tr, ilhan@kku.edu.tr, cam@kku.edu.tr

**Özet**—Günümüzde geleneksel kontrol yöntemleri yerine modern kontrol yöntemleri bir çok güç sisteminin kontrolünde teorik yada pratik olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Yapay Sinir Ağları (YSA) kontrol tekniği 765 MW'lık bir termik santralin güç ve entalpi çıkışlarını düzenlemek üzere dizayn edilip sisteme uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre YSA kontrolör güç ve entalpi çıkışlarının oturma zamanları ve aşma değerlerinde iyi sonuçlar göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler**—Elektrik Enerjisi, Termik Elektrik Santrali, Modelleme, Yapay Sinir Ağları.

**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, an Artificial Neural Networks (ANN) control technique to regulate the power and enthalpy outputs in a boiler of a 765 MW coal-fired thermal power plant was carried out. The simulation results show that the ANN controller developed in this study performs good results on the settling time and overshoot of power and enthalpy outputs.

**Keywords**- Electrical Energy, Thermal Power Plant, Modelling, Artificial Neural Networks.

## I. GİRİŞ

Enerji, genel olarak iş yapabilme yeteneği veya potansiyeli olarak tanımlanmakla beraber, değişikliklere yol açan etken olarak da tanımlanabilir. Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelerle birlikte; yaşam standartları ve tarzlarında büyük bir değişim gözlenmekte, mal ve hizmet üretim ve tüketim kalıpları, fiyatları, talep yapıları, pazar koşulları, çalışma şartları, verimlilik vb. konularında önemli değişiklikler meydana gelmekte, global ürün ve pazarlar, küresel dev organizasyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu gelişme ve değişimin sürati ve yönü büyük ölçüde enerji arzı konusundaki gelişmelere bağlı bulunmakta, enerji konusu bilim ve teknoloji alanındaki çalışmaların odak

noktalarından birini oluşturmaktadır(1).

Elektrik enerjisini kullananların beklentisi, bu enerjiyi istedikleri miktarda kullanabilmektir. Diğer taraftan bilindiği gibi elektrik enerjisi büyük miktarlarda depo edilememektedir. Bunun anlamı; üretimin sürekli ihtiyaç miktarında yapılması mecburiyettir. Tüm bunların yanında termik santrallerde kimyasal enerji önce termik enerjiye sonra mekanik enerjiye ve sonunda elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Üretimdeki bu süreklilik ve kalite elektrik güç santrallerinin önemini ortaya koymaktadır. Bunun yanında bu tesisler çok girişli çok çıkışlı olduğundan, kontrol teknikleri açısından oldukça zor ve kompleks bir süreç sergilenir. Bu sürecin dinamiği; yakıtın kalitesine, iklime, testesteki yıpranmaya, çalışma noktasına bağlı olarak değişmektedir.

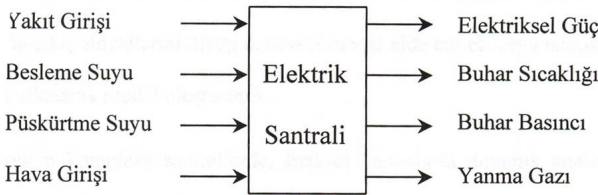
Günümüzdeki arz ve talepteki değişiklikler, kimyasal enerjinin en iyi şekilde değerlendirilmesi, üretimin ekonomik olma isteği, artan çevre sorumluluğu vb. nedenler, modern kontrol yöntemlerinin güç sistemlerinde de kullanımını zorunlu hale getirmektedir.

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, kömür ve kazan suyu girişlerini kontrol eden YSA kontrolör geliştirilmiştir(2). Bu kontrolör, çıkış parametreleri olan Güç ve Entalpi de oluşan hatalara göre kontrol sinyalleri üreterek sistemi kontrol etmektedir. Bu çalışmada YSA ile yapılan kontrolörün termik elektrik santralının kazan ve ısıtıcı boru yüzeylerinin durumundaki değişmelerin (yani santralin kirli veya temiz olması) durumunda da YSA kontrolörün etkisi incelenmiştir.

## II. TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ

Güç santrallerinin dinamik davranışı ağırlıklı olarak; giriş ve çıkış bozulmalarına, set noktalarındaki değişimlere bağlıdır. Bu durum özellikle büyük kömür yakıtlı güç santrallerinde görülür. Santralden, çok büyük 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 santralinde 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 elektriksel güç santrali(3), 195 bar ve 535 0C canlı buhara sahip bir kömür yakıtlı zorlamalı kazandan beslenen, 652.5 MW elektriksel güç sağlayan bir jeneratör/buhar türbin ünitesi ve diğer 112.5 MW elektriksel güç sağlayan jeneratör/gaz türbini ünitelerinden oluşan bir 765 MW'lık kombine bloktur. Kömür tozu 4 katta sıralanmış 32 brülör tarafından beslenmektedir. Yanma için gerekli hava vantilatörlerden sağlanmakta, türbin çıkışındaki gazlar buhar kazanının verimini artırmak için ısı ve oksijen taşıyıcı olarak kullanılmaktadır.

Güç santrali; kazan, gaz türbini, buhar türbini ve jeneratörden oluşur. Kazan sıkı bir şekilde birbirine bağımlı 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;

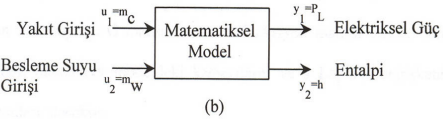
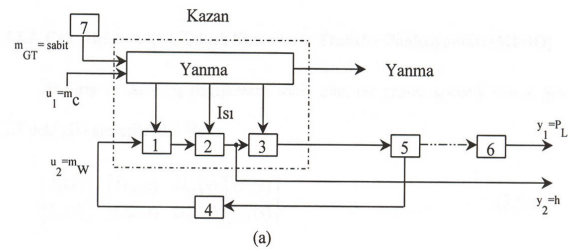
Yakıtın kalorifik değeri ve kalitesinin değişmesi, entalpinin ve canlı buhar basıncının değişmesine sebep olur, dolayısıyla jeneratördeki güç de değişir,

- 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'de görüldüğü gibi model dizaynında en önemli giriş ve



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

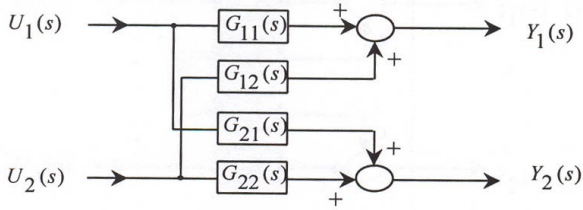
Şekil 2. Şematik diyagram, (a) Güç santrali ve (b) Matematiksel modeli çıkış değişkenleri kullanılır. İstenen proses davranışını tanımlamak üzere incelenen güç santrali için iki girişli ve iki çıkışlı değişkenler yeterlidir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, yakıt beslemesi ve besleme suyu akışı giriş değişkenleri olarak seçilmiştir. Çıkış değişkenleri ise elektriksel güç ve entalpidir(4).

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

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

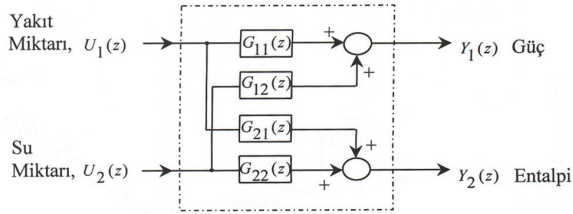
şeklinde matrisel olarak ifade edilebilir. Buradaki bağımsız transfer fonksiyonlarını toplayan 2x2 boyutlu G matrisi, transfer fonksiyon matrisi olarak bilinir. Matrisin elemanları, matematik modeldeki



Şekil 3. İki giriş ve çıkış değişkenli prosesin blok diyagramı

katsayıların ve  $s$  Laplace değişkeninin cebirsel fonksiyonları olacaktır.

Transfer fonksiyonları sadece  $s$  domeninde değil, kesikli zaman sinyalleri kullanıyorsa  $z$  domeninde de oluşturulabilir. Laplace dönüşümleri ile elde edilmiş olan transfer fonksiyonları analog,  $z$  domenindeki transfer fonksiyonları ise sayısal transfer fonksiyonları olarak adlandırılırlar. Bu çalışmada kullanılan santral modeli  $z$  domeninde incelenmiş olup gerekli blok diyagramı Şekil 4'de gösterilmiştir;



Şekil 4. Kullanılan santral modelinin blok diyagramı

İki giriş ve iki çıkışa sahip söz konusu santral modeli üç farklı işletme için incelenebilmektedir(5):

Model1: Kazan ısıtıcı boru yüzeyleri temiz ve santral %70 kapasitede

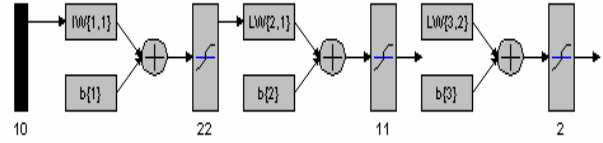
Model2: Kazan ısıtıcı boru yüzeyleri kirli ve santral %70 kapasitededir.

Model3: Kazan ısıtıcı boru yüzeyleri temiz ve santral %95 kapasitede

### III. YAPAY SİNİR AĞLARININ (YSA) KONTROLÖR OLARAK KULLANIMI

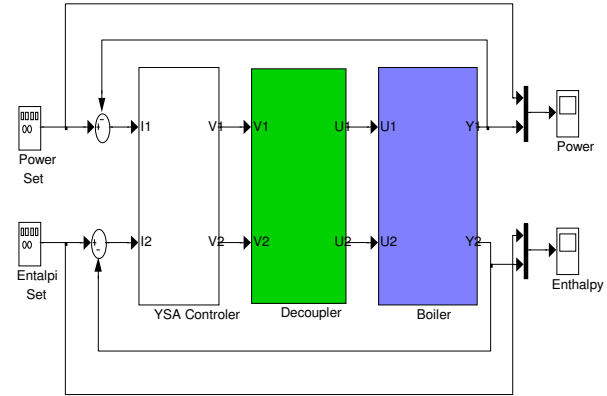
Yapay sinir ağları ile yapılmış kontrolör Şekil 5'te gösterilmektedir. Kontrolör tipi ileri beslemeli ağ yapısındadır. Giriş katmanında 10 adet nöron bulunmaktadır. Bu nöronlar su ve kömür referans girişleri ve onların geçmişleri, güç ve entalpi çıkışları ve onların geçmişteki değerleri ve kontrolör çıkışlarının geçmişlerinden oluşmaktadır. İki adet gizli katman bulunmaktadır. İlk gizli katmandaki nöron sayısı 22 ve

ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 11 dir. Kontrolör çıkışı ise sistemi kontrol etmek için iki adet çıkış nöronu vardır.



Şekil 5. Yapay Sinir Ağları ile Yapılmış Kontrolör

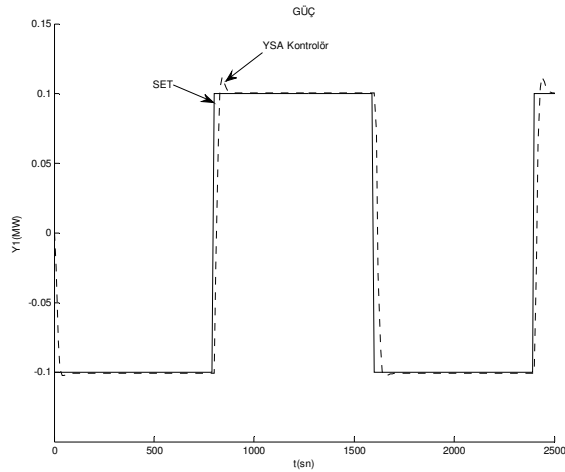
Kontrolör eğitimi için, Levenberg-Marquardt backpropagation eğitim fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitim işlemi off-line olarak yapılmıştır. Sisteme uygulanan sinyal girişlerine karşılık sistemin vermiş olduğu tepkiler kaydedilmiş ve bu değerler kullanılarak eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Performans fonksiyonu olarak ortalama karesel hata fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Doğrudan kontrol yöntemi kullanılarak kontrolü yapılmış, santral blok diyagramı Şekil 6'da görülmektedir. Girişler Kömür ve su girişleri, çıkışlar ise Güç ve entalpi'dir.



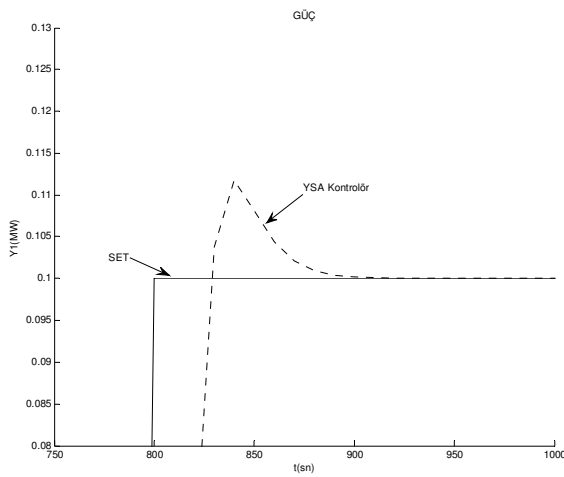
Şekil 6. Gelişmiş kontrol sistemlerinden YSA ile Güç santrali kontrol şeması

Burada tek bir kontrolör kullanılmıştır. Geliştirilen YSA kontrolör ile girişten verilen set değerleri ve hafızada tutulan set değerlerinin geçmişleri aynı zamanda çıkış ile onların hafızada tutulan geçmiş değerlerinden faydalanarak elektriksel güç ve entalpinin kontrolü sağlanmıştır.

Yapılan simülasyonlarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

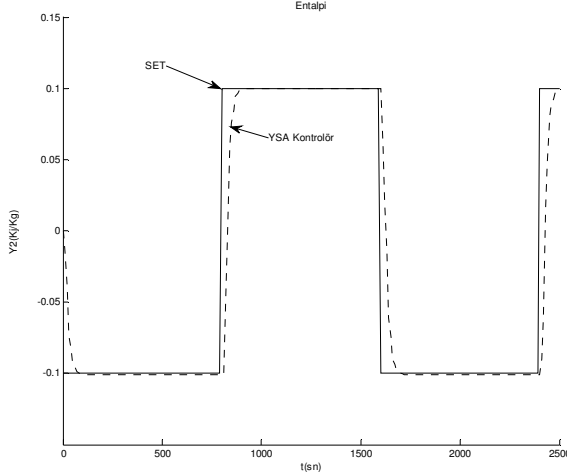


(a)

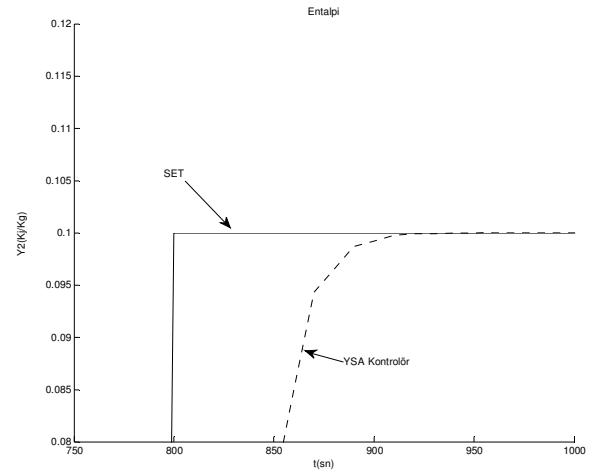


(b)

Şekil 7. Birinci modelin güç çıkışına ait simülasyon sonuçları  
(a) Normal görünüm (b) yakınlaştırılmış hali



(a)



(b)

Şekil 8. Birinci modelin entalpi çıkışına ait simülasyon sonuçları (a) Normal görünüm (b) yakınlaştırılmış hali

#### IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yeni bir yapay sinir ağları kontrolör güç sistemine uygulanmış ve güç sisteminin iki önemli çıkışı olan güç ve entalpi'nin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, yapay sinir ağları simülasyonda santrale ait modele istenen değer olarak; genliği 0.1 MW, periyodu 1600 sn olan kare dalga verilmiştir. Ayrıca Matlab 7a sürümü kullanılarak YSA kontrolör ile güç sisteminin modeli simülasyon ortamında kurulmuştur. Simülasyon sonuçları olan Şekil 7 (a-b) ve 8 (a-b)'den görüldüğü üzere önerilen ve dizayn edilen yapay sinir ağları kontrolörü sisteme verilen bozucu girdiye hemen tepki vermekte ve sistemin çıkışlarını istenilen değere kısa sürede getirmektedir. Ayrıca çıkışların yakınlaştırılmış hallerinden görüleceği üzere aşma değerleri de küçük çıkmaktadır. Bütün bu değerler sisteme kontrolörün iyi ve efektif cevap verdiğini göstermektedir. Bu ise elde edilen güç ve entalpiyi kullanacak tüketici açısından ve ayrıca güç sistemindeki cihazların uzun süreli kullanımları açısından çok önemlidir. Çünkü tüketici kararlı, sabit ve güvenilir enerji isterken, üretici ise cihazlarına zarar vermeyecek aşma değerlerine sahip çıkışlar istemektedir. Ayrıca çıkışların iyi kontrol edilmesinin girişlerin de kontrollü kullanımını getirmesinden dolayı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerini de düşürücü bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. İleride sistemin ne kadar verimli çalıştığının gösterilmesi amacıyla model anlatılırken verilmiş olan modeller üzerinde dizayn edile YSA kontrolörün uygulaması yapılabilir. Ayrıca kontrolörün geleneksel kontrolörler ile modern diğer kontrolörlerle de karşılaştırılması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Halis Bilen, Kombine Çevrimli Santral Tasarımı, Gazi Üniv. F. B. E. Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2000.
2. Kocaarslan, E. Çam, H. Tiryaki, An Investigation of Cleanness in Boilers of Thermal Power Plants with Fuzzy Logic Controller, Technical and Physical Problems in Power Engineering (TPE-2004), Iran, 6-8 September 2004.
3. H. Unbehauen, I. Kocaarslan, .Experimental Modelling and Adaptive Power Control of 750 MW Once-Through Boiler, 11th World Congress, Tallinn, 13-17 Aug. 1991.
4. İlhan Kocaarslan, Einsatz Adaptiver Regelkonzepte in Einem Dampfkraftwerk, Doktora Tezi, Bochum, Almanya, 1991.
5. Hasan Tiryaki, Bulanık Mantık Kontrolörler ile PID Kontrolörün Bir Elektriksel Termik Santralde Karşılaştırılması, Kırıkkale Üniversitesi F. B. E. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, Ocak 2005.
6. İbrahim Yüksel, Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Bursa, 1997.
7. Gül Akalın Kurt, Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü, Kocaeli Üniversitesi F. B. E. Doktora Tezi, Kocaeli, Şubat 2000.
8. E. Mustafa Yeğin, 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.
9. Matlab 6.5, Reference Manual, 2002