

SENKRON JENERATÖRLERDE YSA YARDIMIYLA GÜÇ ÜRETİM KALİTESİNİN ARTIRILMASI

Ahmet Onduk

Özet- Sanayileşme sürecinin, elektrik enerji ihtiyacını çok büyük değerlere ulaştırması sonucu, günümüzün milyonlarca watt gücünde yüzlerce jeneratör, transformatör ve baraların birbirine bağlandığı büyük güçte enterkonnekte şebekeler oluşmuştur.

Artan güç miktarına bağlı olarak, geliştirilen büyük güçlü senkron jeneratör ve diğer sistem elemanlarının birlikte çalıştığı bu şebekelerde güç arz ve talebinde oluşan sürekli değişimler senkronizasyon, sabit frekans ve genlikte kesintisiz gerilim sağlama ihtiyacını, bu ise denetim ve koruma problemlerini öne çıkarmıştır.

Elektrik çıkış gücünün yük ve çeşitli etkenlerle sürekli ve farklı genlikte değişimler göstermesi, güç üreteçleri olan senkron jeneratörlerin çıkış gerilim genliği ve frekansında sınımlara neden olur. Bunların, güç sistem kararlayıcıları yardımıyla hız veya çıkış gücüne bağlı gerilim değişimlerini, geri besleme denetimli olarak sönmölemeleri istenir.

Bu çalışmada, klasik yöntemlere bir alternatif olarak geliştirilen güç sistem kararlılığını artırıcı, pahalı donanımlara ve karmaşık denetim yapılarına gerek duymayan Yapay Sinir Ağları tabanında gerçek-zamanlı bir denetleyici modelin uygulanması tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler - Senkron Jeneratörler, Güç Sistem Kararlılığı, Yapay Sinir Ağları, YSA ile denetim.

Abstract - A rapid growing need of electrical energy and an almost doubling of energy consumption on every decade, has made most of the utility companies (generating companies) to generate more electrical energy to meet this demand. Initially, an electrical network was simple and sufficient to meet relatively small demand, but over the years energy consumption has increased very fast. The initial network has gradually evolved and expanded and eventually became a very large interconnected network.

In parallel with this rapid expansion some problems such as synchronisation, supplying uninterrupted voltage with constant amplitude and Frequency, controlling and protection have emerged.

In traditional approach, stability of power system is achieved by power system stabiliser. In this study, Artificial Neural Network (ANN) based stabiliser is proposed. Neural network algorithm was developed and implemented in real time application and computer-aided real time controller design was also investigated.

Key Words - Synchronous Generators, Power System Stability, Artificial Neural Network, Adaptive Control.

1. GİRİŞ

EE sistemlerinden beklenen temel görev, ihtiyaç duyulan her yere sabit frekans ve gerilimde yeterli miktarda enerjiyi sağlamaktır. Bu şekildeki kaliteli enerji, güç sistemlerinin denetimi ile mümkündür. Gelişen teknoloji EE kalite limitlerini daraltmış, şebekeden istenilen standartta enerji sağlanmasının önemini özellikle kağıt, tekstil, demir-çelik gibi endüstriyel tesislerde artırmıştır.

Kritik işlemlerde pahalı üretim kayıplarına neden olan EE kalitesindeki problemler, tüketici ve şebeke tarafında çözümü zor hasarlar ortaya çıkarır. Ana şebekenin yükümlülüğü, tüketicilerin zarar görmeyeceği standartta enerjiyi sunmaktır. Endüstriyel ve ticari tüketimde, şebekeden temin edilen enerji kalitesinin yüksek olması istenir. Günümüzde özellikle lineer olmayan yükler için elektronik kontrollü ekipmanların çoğalması, bunların kaliteli EE' ne olan ihtiyaçlarını belirgin hale getirmiştir.

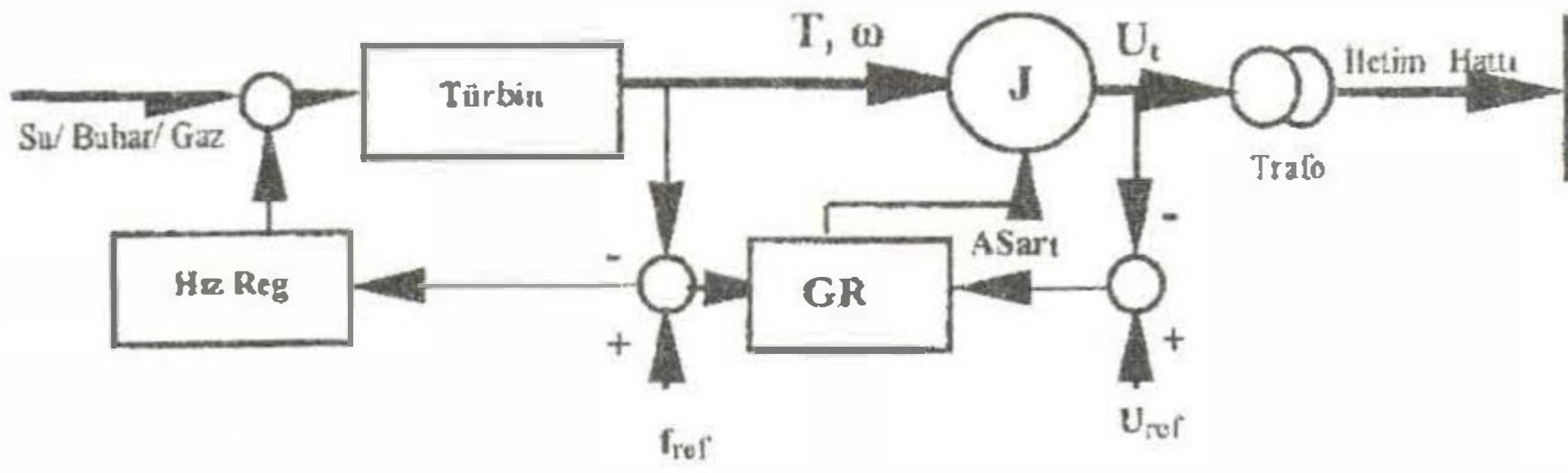
Gerilim değişimleri, büyük yüklerin devreye girmesi-çıkması veya komşu fiderlerdeki kısa devreler vb. sonucu meydana gelir. Bu ise endüstride döner makinelerde moment ve hızda değişimlere ve daha kötüsü koruma ekipmanlarının devreye girerek yüklerin devre dışı kalmasına neden olur. Hassas yük tüketicileri için, problemsiz çalışmayı sağlayacak kaliteli enerji seviyesine ulaşmak hedeftir. Bu amaçla, EE sistemlerinin denetimi

A ONDUK, SAÜ Hendek Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Hendek / SAKARYA.

Z BILGIN, KOÜ Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmit / KOCAELİ.

esas olarak üretim merkezlerinde yapılmalıdır. EE üretim merkezleri olan elektrik santralleri; türbin, hız regülatörü, merkezleri olan elektrik santralleri; türbin, hız regülatörü, senkron jeneratör, gerilim regülatörü, röleler ve açma-kapama elemanları gibi donanım ve koruma-kumanda grubu bileşenlerinden oluşur.

EE sistemleri, elektrik ve mekanik elemanların birlikte çalıştığı elektro-mekanik bir yapıya sahiptir. Şekil 1' de böyle bir güç sistemi modeli görülüyor [1].



Şekil 1. Elektrik güç sistemi modeli

Bir çok SJ'ün birlikte çalıştığı enterkonnekte sistemlerde güç arz ve talebinde oluşan sürekli değişimler sonucu ortaya çıkan senkronizasyon problemleri ve SJ çıkış gücünün sürekli değişim göstermesi, çıkış frekans ve gerilim genliğinde salınımlara neden olur. Bu durum, tüketicilerde çeşitli zararlara neden olduğu için enerji kalitesini düşüren ve giderilmesi mutlak gerekli olan bir denetim problemi olarak görülür.

EE sistemlerinde söz konusu salınımları önlemek ve sistem kararlılığını artırmak amacıyla en uygun denetim modelini gerçekleştirmek üzere, bu bileşenlerin her birine ait en uygun tanımlamanın yapılması gerekir. Tanımlama sistem fiziki davranışının analitik olarak ifade edilmesidir. Her hangi bir sistem denetimi için, klasik yöntemde bu tür bir modellemenin yapılması ön şarttır [2].

Çalışma şartlarının sabit olmayışı ve tahrik sisteminin değişken parametrelere bağlı olarak nonlineer denetimi nedeniyle, yüksek performans uygulamalarında SJ' in istenilen karakteristik çıkış özelliklerini sağlamak üzere, denetim tekniklerinde güçlü metotların geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Hassas tahrik denetimine, sistemin elektro-mekanik yapısındaki lineersizlik, tam modellenemeyen dinamiği ve gerçek-durum çalışmasına ait parametrik belirsizlikler engel olur.

Yapay Sinir Ağları (YSA), uygulandığı karmaşık ve lineer olmayan sistemlerin algoritmik modellemelerine ihtiyaç göstermez. Gerçek-zamanlı analitik modelleme yapıları kullanılmadığı için de pahalı donanımlara ihtiyaç duymaz.

Bu çalışmada, lineer olmayan dinamik sistemlere ait denetim teorilerindeki gelişmelerden yararlanarak, güç sistemlerinin besleme kaynaklarını oluşturan SJ' den

değişken yük durumlarında sabit frekans ve genliğe gerilim elde etme konusu araştırılmıştır. Gerçek-zamanlı denetim için YSA tabanlı adaptif bir denetleyici tasarımı yapılarak, güç üreteçleri olan SJ' in yük değişimlerinde kararlılığının artırılması hedeflenmiştir [3].

Geliştirilen denetleyici modeliyle, SJ çıkış uçlarından ölçülen frekans ve gerilim değerleri, uygun dönüşümler yoluyla bir YSA algoritması tarafından işlenmektedir. YSA tabanında geliştirilen bir algoritma yardımıyla sistem modellemesinde kullanılan iki adet elektrik makinesine ait uyarma alan gerilimi ve giriş gücünün adaptif denetimi çalışılmıştır. Yük değişimlerinde oluşan salınımları sönümlenmek üzere YSA denetleyici, gerçek-zamanlı olarak güç sistemini kararlı hale getirmeye çalışmaktadır. Lineer olmayan dinamik bir sistemin denetimi, yapısı gereği oldukça zor bir çözüm içermesine rağmen, bir tanımlama yöntemiyle başarılabilmiştir.

II. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Elektrik enerji sistemlerinin dinamik davranışlarını anlayabilmek için, güç santral ve sistemlerini tanımlamak gerekir. Türbinler, hız regülatörleri, SJ, uyarma-gerilim regülatörleri gibi, güç sistemlerini oluşturan ana ve yardımcı elemanların her biri sistemin dinamik yapısına etki eder. Bu elemanların kısaca tanımları şöyledir.

Buhar Türbinleri; kömür, doğal gaz, nükleer enerji gibi yakıtlar yardımıyla elde edilen buhar enerjisini, dönme şeklinde hareket enerjisine dönüştüren donanımlar olup, bu enerji SJ rotor tahrikine, dolayısıyla stator sargılarında döner manyetik alan etkisiyle indüksiyon emk'ine dönüştürülür.

Su Türbinleri; suyun durum enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek amacıyla kullanılır. Aksiyon türbini (Pelton çarkı) yüksek düşümlerde, reaksiyon türbini orta ve düşük düşümlerde kullanılmak üzere iki temel yapıya sahiptirler.

Hız Regülatörleri; sistem hızını istenilen değerde tutmaya çalışır. Bu sayede, türbin-jeneratör çifti senkron hızda döner. SJ çıkış gücünün (P_e) değişmesi veya salınımlar göstermesi halinde, sistemin mekanik giriş gücünü (P_m) ayarlayarak $P_m = P_e$ eşitliğini sağlamaya çalışır. Mekanik ve hidrolik olmak üzere buhar ve su türbinleri için iki tip hız regülatörü bulunur.

Senkron Jeneratör; mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren en büyük boyutlu üreteç olup, rotor ve stator olmak üzere iki temel parçadan meydana gelirler. Türbin tarafından tahrik edilen SJ rotoru, döner manyetik alan oluşturarak endüksiyon yoluyla stator sargılarında üç fazlı sinüzoidal emk indükler. Rotorları yuvarlak ve çıkık kutuplu olmak üzere, iki tipte imal edilirler.

SJ'ün dinamik davranışını modellemek için kullanılan bu durum denklemi Denk.1 ve Denk.2' de verilmiştir [4].

$$P_e = 3 \cdot \frac{E_a \cdot U_a}{X_d} \cdot \sin\delta + 3 \cdot \frac{X_d - X_q}{2 \cdot X_d \cdot X_q} \cdot U_a^2 \cdot \sin 2\delta \quad [W] \quad (1)$$

$$E_a = U_a + I_a \cdot R_a + j I_a \cdot X_q + j I_d \cdot (X_d - X_q) \quad [V] \quad (2)$$

Burada;

U_a : bir faz uç gerilimi, X_d : endüi reaktansı x eksen bileşeni

E_a : bir faz endüi gerilimi, X_q : endüi reaktansı y eksen bileşeni

δ : güç açısı, I_a , I_d : endüi akımı ve endüi akımı x eksen bileşeni

Uyarma sistemi ve gerilim regülatörleri; SJ uç geriliminin düşmesi veya yükselmesi durumunda, rotor mıknatıslama gerilimini değiştirerek, uç gerilimini kararlı halde tutmaya çalışır. Böylece, SJ sistemde bulunan diğer jeneratörlerle senkronize olarak çalışmasını sürdürür.

EE' si üretiminde SJ' in temel eleman olması nedeniyle, sistemde paralel çalışan bütün jeneratörlerin senkronizma şartlarını yani, aynı frekansta ve birbirlerine göre kararlı rotor açılarındaki çalışmayı sürdürmeleri istenir. Kararlılık için senkronizmanın sağlanması (rotor açısının 90° nin altında olması) gerekir. Aksi ise, senkronizmadan ayrılma, sistem düzeninin bozulması veya yük geriliminin kabul edilebilir sınırlar dışına çıkması olarak tanımlanır. Bir enerji sisteminde yük baralarının sürekli hal veya geçici olaylar sırasında, gerilim genliğini belirli işletme limitleri içinde tutabilme yeteneğine gerilim kararlılığı denir.

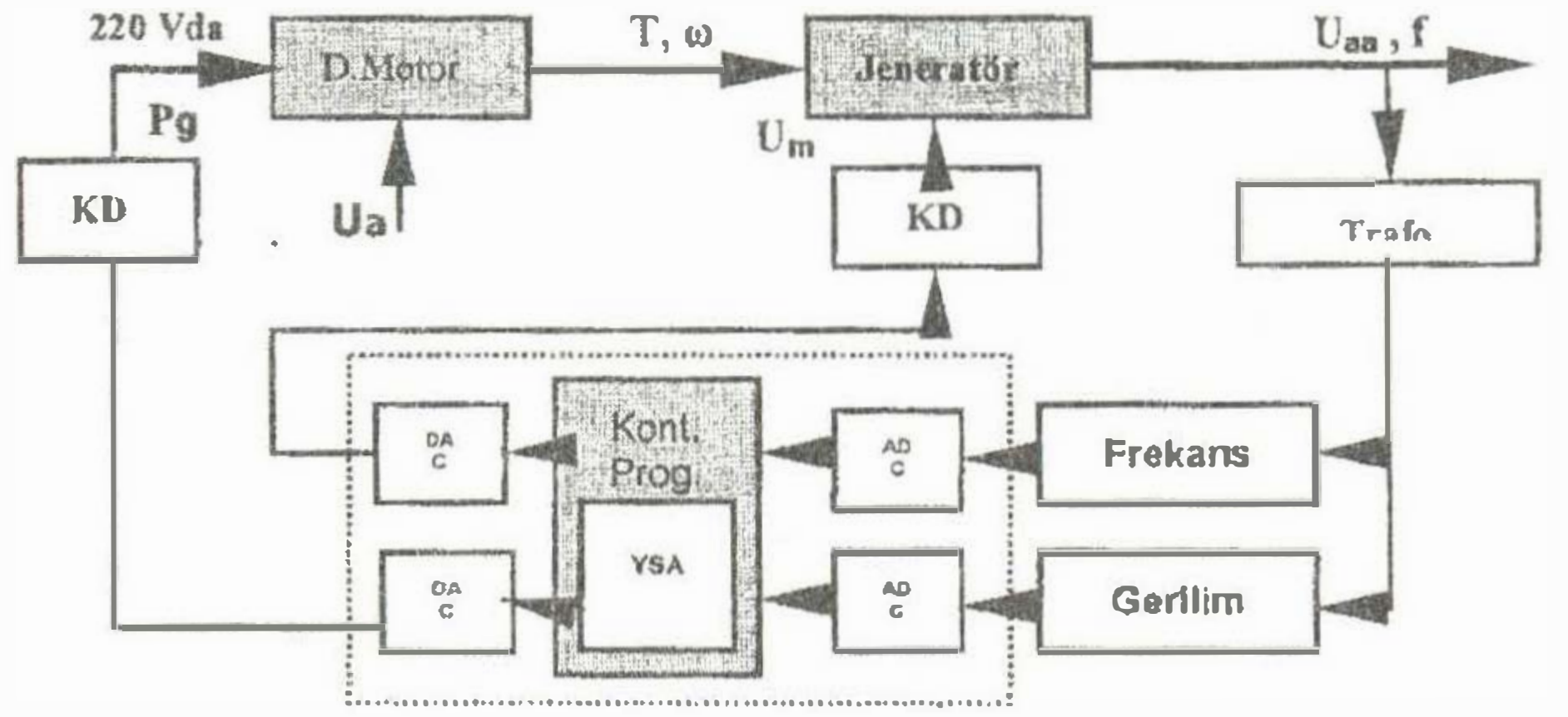
Şebekede maksimum %10' luk yük değişimleri şeklindeki küçük bozucu etkiler sık meydana gelir ve sistemin bu salınımları bastırması istenir. Ayrıca, iletim hattı veya baralarda oluşan kısa devrelerde, büyük bir yük veya jeneratörün devre dışı kalmasıyla oluşan, sistemin büyük bir kısmını etkileyen salınımlar şeklindeki büyük bozucu etkilerde, sistemin kararlılığını koruyabilmesi istenir.

SJ çıkış gücü, sadece tahrik gücü tarafından rotora iletilen mekanik güç yardımıyla değiştirilebilir. Mekanik giriş gücünün bu değişimi, stator döner manyetik alanı ile rotor arasındaki açı farkını artırıp-azaltacak yönde etkir. Sürekli çalışma durumunda, stator döner manyetik alanı ile rotor aynı hızda döner. Herhangi bir nedenle, sistemin denge durumu bozulursa, SJ hızlanır veya yavaşlar. Bu durumda sistem kararlılığı, rotor açısındaki sapmalar ile yeterli düzenleyici momente bağlıdır. SJ senkronizmadan ayrıldığında, koruma elemanları devreye girer.

III. GÜÇ SİSTEM MODELİ

Güç sistemini modellemek üzere, tahrik ünitesi olarak döner hareketi sağlayan ve jeneratör miline bağlı serbest uyarımlı bir da motor, üreteç olarak uçlarından üç fazlı

sinüzoidal gerilimin elde edildiği senkron jeneratör seçilmiştir. Bu modellemeden amaç, sistemi mümkün mertebe bir enerji üretim istasyonuna benzetmektir. Şekil 2' de seçilen güç sistem modeli görülüyor [5].



Şekil 2. Model güç sistemi blok diyagramı.

Şekildeki güç sistemini oluşturan üniteler sırasıyla;

- 1- Serbest uyarımlı da motor (ana tahrik ünitesi, çevirici)
- 2- Senkron jeneratör (3 fazlı, çıkık kutuplu)
- 3- YSA Kontrolör Algoritması
- 4- Kontrol ve Ölçme Devreleri.

Güç sistem modelinde ana tahrik ünitesi için, serbest uyarımlı alan sargılı olarak seçilen da motoru çalıştırmak üzere, endüi sargılarına $0 \sim 220V_{da}$ arası, alan sargılarına ise $130V_{da}$ gerilim uygulanmaktadır.

Tahrik amacıyla kullanılan sistemdeki da motor, zamana göre değişen giriş büyüklüğü (endüi gerilimi) ile denetlenmektedir. Giriş değiştiğinde, çıkış büyüklükleri (hız, moment) de değişir ve motor geçici rejimde çalışmaya geçer. Bu durumda, motorun çıkış büyüklüğü değişimlerini bulmak için klasik yöntemde geçici rejim analizlerinin yapılmasını gerekir.

Güç sisteminde üreteç olarak, 1.5 kVA, üç faz $220 V_{aa}$ uç gerilimli senkron jeneratör kullanılmıştır. Ana çevirici motor tarafından çevrilen rotoru ve dışarıdan bir da kaynağından sağlanan mıknatıslama gerilimi sayesinde, SJ'ün stator sargılarından 3 fazlı gerilim elde edilir. SJ'ün ürettiği uç gerilim değeri, güç-akım parametrelerine bağlı olarak değişir. Şebekeyi senkron olarak beslemede, gerek şart olan frekans eşitliği, enerji üretim sistemlerinin en önemli denetim işlemini oluşturur.

SJ stator sargılarında, rotor konumuna bağlı değişken manyetik kuplaj oluşması, SJ analitik modelini zamanla değişen katsayılı lineer olmayan diferansiyel denklemlere dönüştürür. Seçilen klasik modellerde, sargı reaktansları

özellikle dinamik analizler için gereklidir. SJ' ün yüksek dereceli denklem ve durum modellerinin seçilmesiyle akı ve akımların değişken olarak ilave edilmesi sonucu, durum değişkenlerinin sayısı daha da artar [6].

Sistemde denetim amacıyla YSA' nın kullanılıyor olması, yukarıda açıklanan etütleri zorunlu kılan analitik yaklaşımlardan tamamıyla uzak kalmayı sağlar.

YSA denetleyici sistemin kalbi konumunda olup, SJ' ün giriş-çıkış parametrelerine bağlı olarak gerekli kararları alır. Şekil 2' de görüldüğü üzere, SJ çıkışı ölçme devreleri ve analog-dijital dönüştürücü (ADC) üzerinden denetleyici YSA algoritmasına uygulanır, jeneratör parametreleri ise dijital-analog dönüştürücü (DAC) ve kontrol devreleri üzerinden denetlenir. YSA algoritmik bir programı olup, görevi SJ çıkışını 50 Hz ve 220 V_{aa} gerilim değerinde kararlı halde tutmaktır.

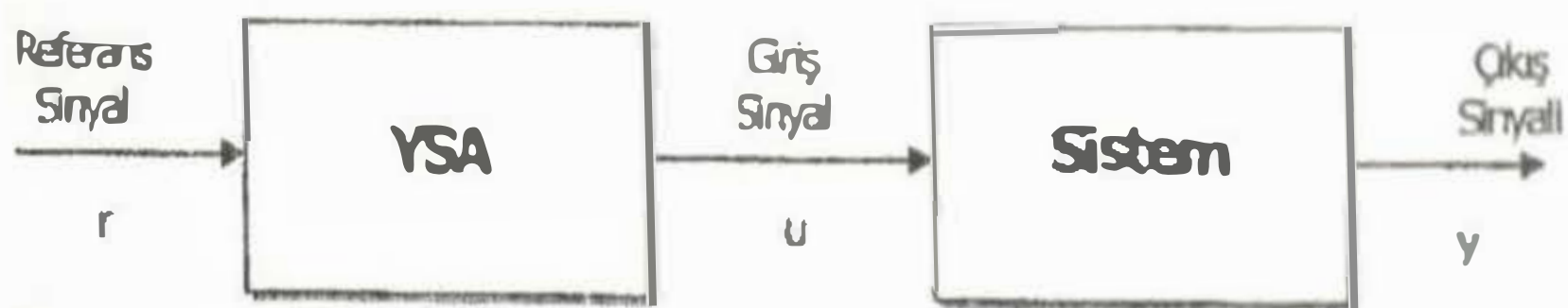
SJ çıkış gerilim ve frekans değerlerinin denetiminde, SJ mıknatıslama ve da motor endüi sargıları kullanılmıştır.

YSA denetleyici, herhangi bir yük değişimi halinde hem çıkış frekansı hem de uç gerilimi değişimlerinden etkileneneğinden, SJ' ün mıknatıslama gerilimini ve da motorun giriş gücünü değiştirerek, SJ çıkışını mümkün olduğunca istenilen çıkış değerlerinde tutmaya çalışır.

IV. GÜÇ SİSTEMİ YSA DENETİM YAPISI

Bu çalışmada kontrol amaçlı uygulamalara elverişliliği nedeniyle sigmoid fonksiyon eşik/transfer fonksiyonu olarak seçilmiş ve seri YSA denetim yapısı kullanılmıştır.

Seri denetim yapısında YSA' ya sistemin ters modeli öğretilerek, denetleyici sinyal bu model üzerinden üretilir. Bu tür bir YSA denetleyici, klasik ters denetleyici gibi çalışır. Yani, denetim işareti sistemin ters fonksiyonundan türetilir. Şekil 3' de bu yapı verilmiştir.



Şekil 3. Genel seri denetim yapısı.

Bu yapıda sistemin u girişine göre çıkışı şu şekilde olur;

$$y = f_s(u) \quad (3)$$

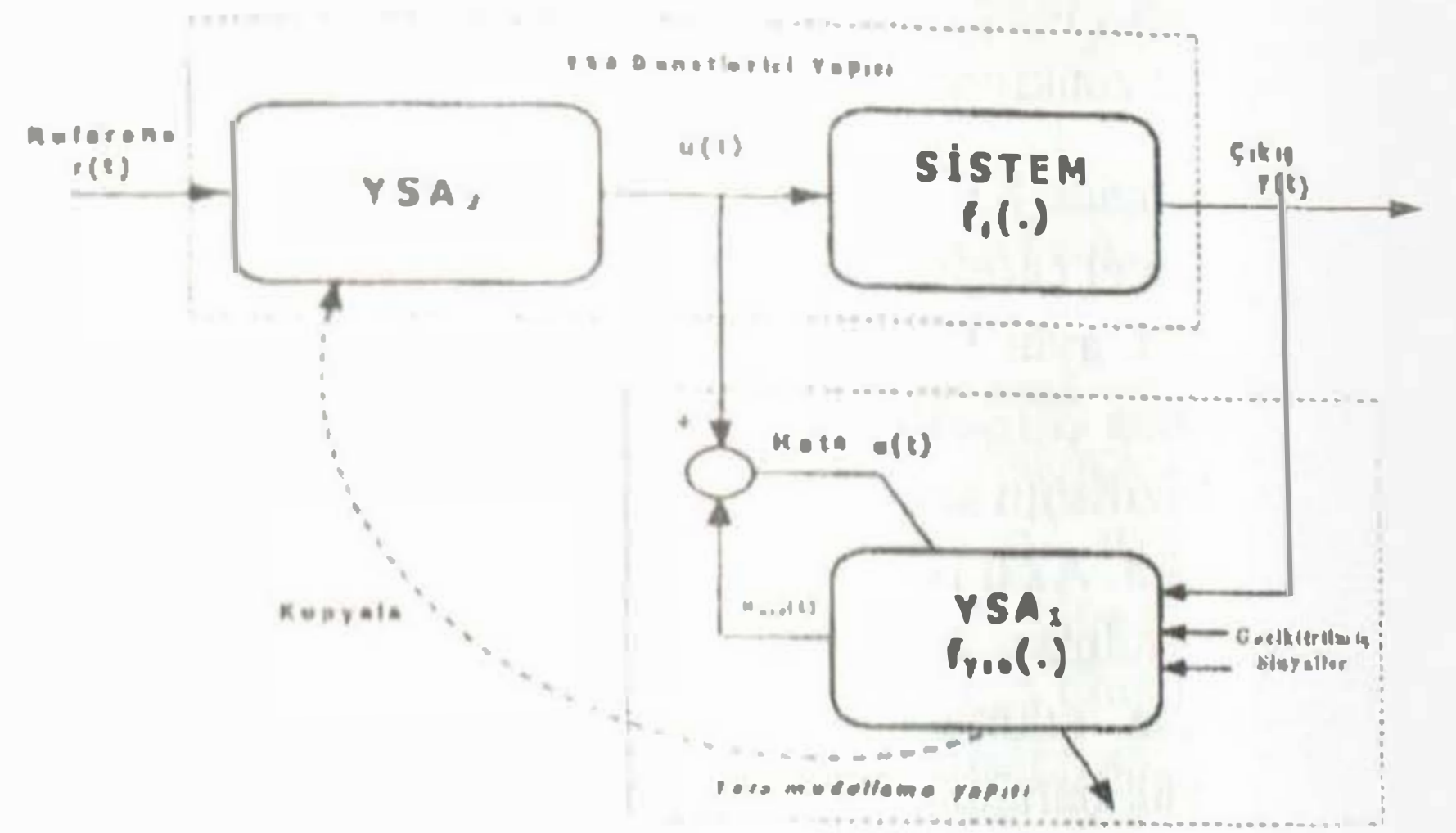
Burada $f_s(u)$ sistemi tanımlayan model olup, u ise sistemin ters modelinden;

$$u = f_s^{-1}(y) \quad (4)$$

bulunur. Burada $f_s^{-1}(y)$ sistemin ters modelidir. Denetim sinyali u, YSA tarafından üretileceğinden YSA, $f_s^{-1}(y)$ fonksiyonunu öğrenmiş olmalıdır [7]. Yani;

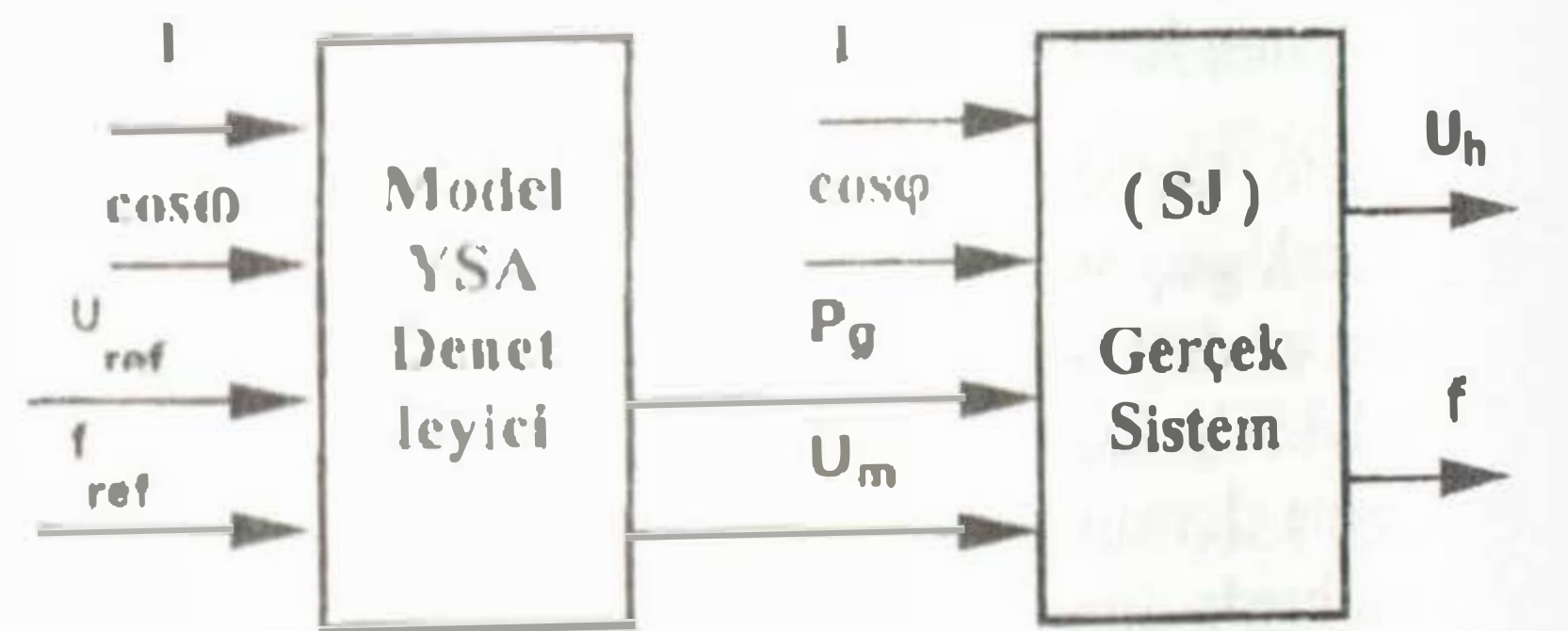
$$u = f_s^{-1}(y) = f_{YSA}(r) \quad (5)$$

olmalıdır. Bu durumda gerçek sistem denetlenebilir. Çalışmada seri denetim yapısı, off-line öğrenme modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, bu yapı Şekil 4' te verilmiştir. Burada YSA₂ denetleyici olarak kullanılmıştır. Sistem denetimi için sistemin ters modelini önceden öğrenmiş olması gereklidir. Bu amaçla şekildeki YSA₁' e önce sistemin ters dinamiği off-line olarak öğretilmiş, sonra bu sistemin önüne YSA₂ denetleyici olarak bağlanarak denetim işlevini yerine getirmesi sağlanmıştır.



Şekil 4 Off-line seri öğrenme ve denetim yapısı.

SJ' in, değişken yük durumları için çıkış parametreleri olan uç gerilim genliği ve frekansını istenilen sınır değerleri arasında tutulabilmek amacıyla, geliştirilen YSA denetleyici modeli Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil 5 Model YSA denetleyici - gerçek sistem blok şeması

Güç sisteminin modellenmesinde kullanılan her iki elektrik makinesinin nonlineer dinamik yapısı nedeniyle, sistemin bütününe ait analitik modelleme oldukça güç olmasına rağmen, YSA denetleyicinin eğitime işlemi sonunda, ağır lineer olmayan sistemi yapısını tamamen denetim altına alabildiği gözlenmiştir. Böylece, oldukça karmaşık olan analitik modellemeden uzak kalınmıştır.

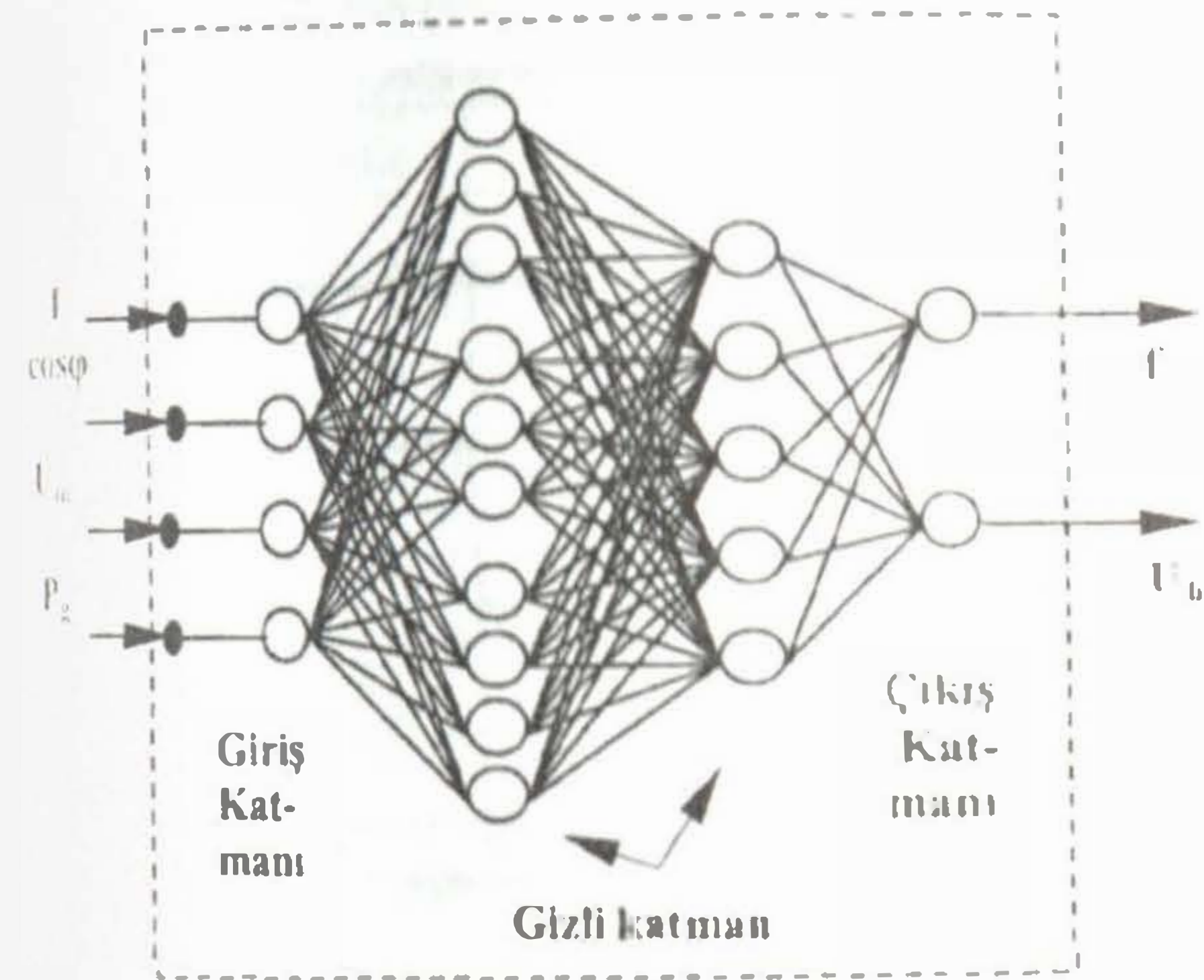
İlk olarak SJ ve denetleyici YSA modelleri oluşturulmuş, bunun için elde edilen simülasyon verileriyle eğitilmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen eğitime sonuçları, SJ ve denetleyici YSA modellerinde sırasıyla test edilmiştir.

PC'de modelleme Matlab_6.0/Simulink paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Uzun bir süreç olan YSA eğitiminde kullanılan parametre büyüklükleri, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Seçilen ağ parametreleri

Parametre	Değer
Hata toleransı	10^{-8}
Giriş katman sayısı	4
Gizli katman sayısı	10
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid
Back propagation modeli	Levenberg Marquadt

SJ ve denetleyici için aynı YSA yapısı kullanılmıştır. SJ' e ait ağ giriş parametreleri I , $\cos\phi$, P_0 , U_m ve çıkışta U_n , f , denetleyici için giriş parametreleri I , $\cos\phi$, U_{ref} , I_{ref} ve çıkışta P_0 , U_m olarak tanımlanmıştır. Şekil 6'da kullanılan ağ yapısı verilmiştir [8].



Şekil 6. SJ' e ait iki gizli katmanlı model YSA yapısı.

SJ' e ait simülasyon değerlerini bulmak için kullanılan matematiksel model denklemi;

$$U = E - I_e \cdot Z_s \quad [V] \quad (6)$$

$$U = E - I_e(\cos\phi + j \sin\phi) \cdot (R_e + j X_s) \quad [V] \quad (7)$$

burada; U : faz gerilimi, E : bir faz iç gerilimi, I_e : endüri akımı, Z_s : bir faz senkron empedans değeridir.

Denklem 6' dan 220V referans uç gerilim değerini elde etmek için, yük cins ve büyüklüğüne bağlı olarak gerekli olan SJ mıknatıslama gerilim bağıntısı;

$$E = k_f \cdot \omega \cdot U_m \quad [V] \quad (8)$$

$$U_m = [220 + I_e(\cos\phi + j \sin\phi) \cdot (R_e + j X_s)] / (k_f \cdot \omega) \quad [V] \quad (9)$$

şeklindedir. Burada; k_f : $E - U_m$ arası bağlantı katsayısı (0.075), ω : açısal hız değeridir (ref: 157.08).

SJ giriş gücü, çıkış gücüne toplam kayıpların eklenmesiyle bulunabilir. Bağıntısı ise;

$$P_g = P_a + P_{Cu} + P_{sr} + P_{Fe} \quad [W] \quad (10)$$

$$P_g = P_a + 3 \cdot R_e \cdot I_e^2 + P_{sr} + P_{Fe} \quad [W] \quad (11)$$

$$P_a = 3 \cdot U \cdot I_e \cdot \cos\phi \quad [W] \quad (12)$$

şeklindedir. Burada; P_a : alınan güç ve P_{Cu} : yük bakır, P_{sr} : sürtünme-rüzgar, P_{Fe} : demir kayıplarıdır

Denklem 18' e göre simülasyon verilerinin ve deneysel sonuçların alındığı SJ temel büyüklükleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2 SJ parametreleri.

Çıkış Kutuplu SJ Parametresi	Değeri
Etkin direnç R_e	0,25 Ω
Senkron reaktans X_s	4.5 Ω
Sabit kayıplar $(P_{Fe} + P_{sr})$	200 W

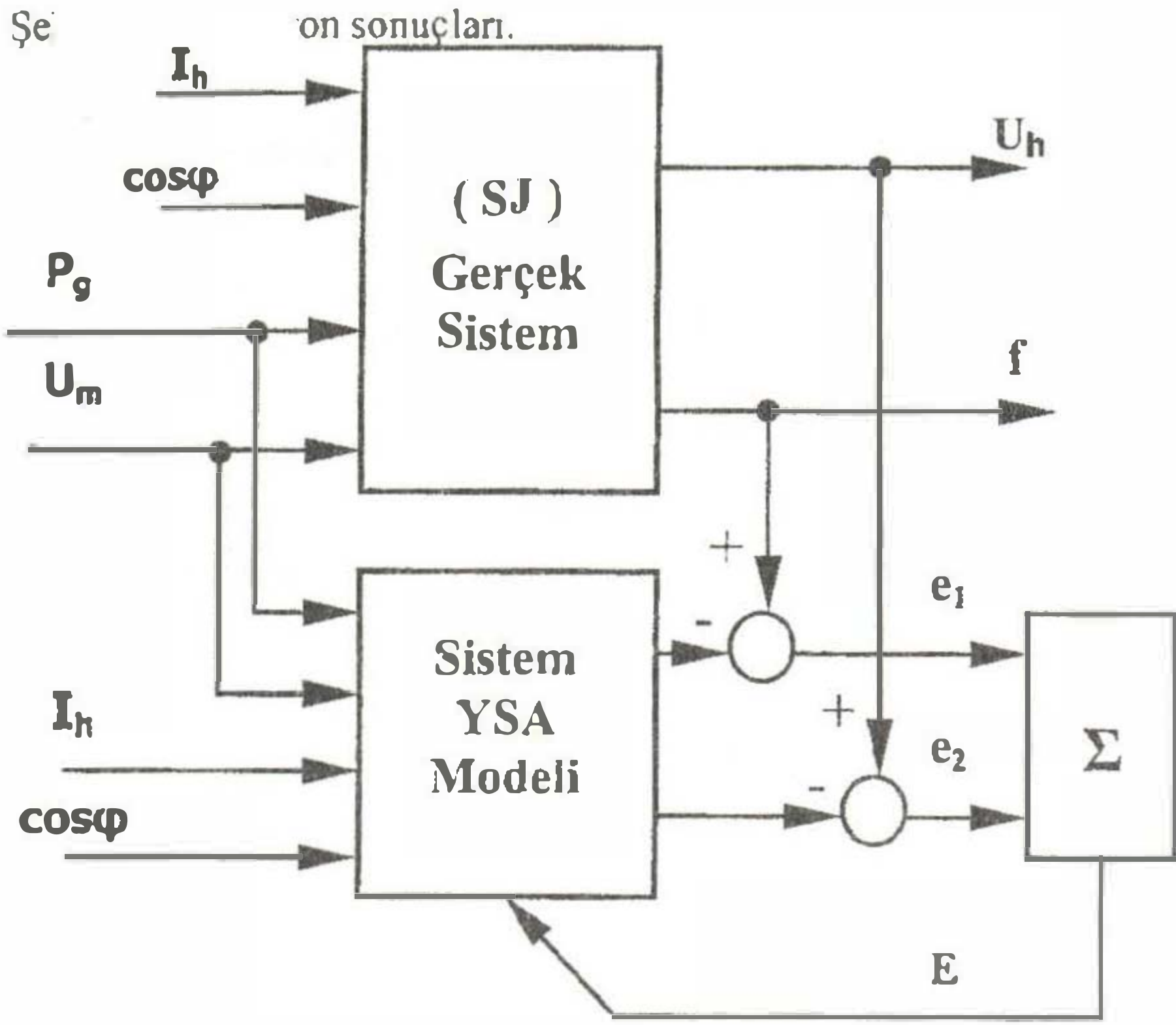
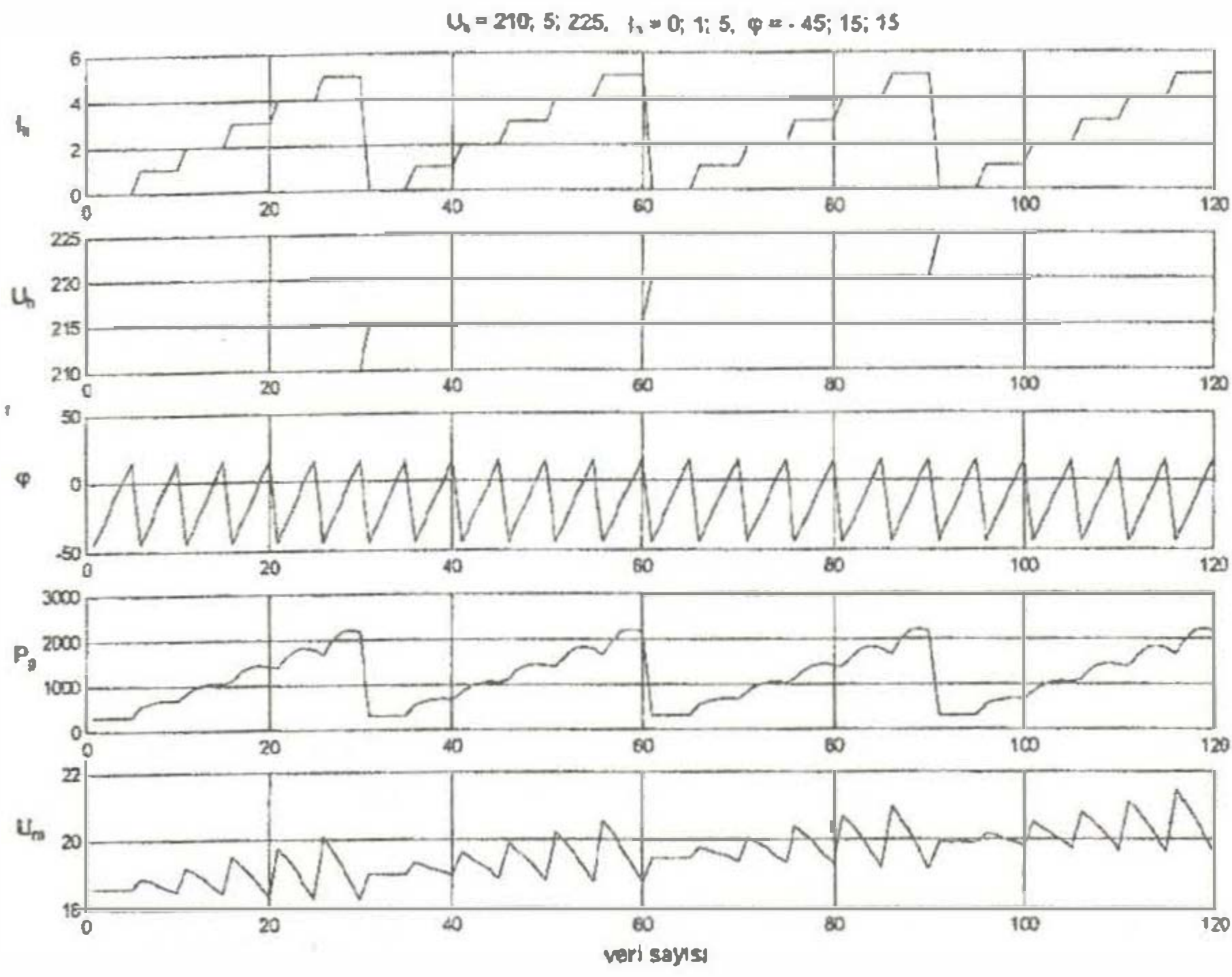
SJ ve denetleyici YSA modellerinin eğitiminde kullanılmak üzere gerekli olan simülasyon verilerini oluşturan U , I , $\cos\phi$, P_g ve U_m değerleri Matlab 6.0' da;

for $U = 210; 5; 225;$

for $I = 0; 1; 5;$

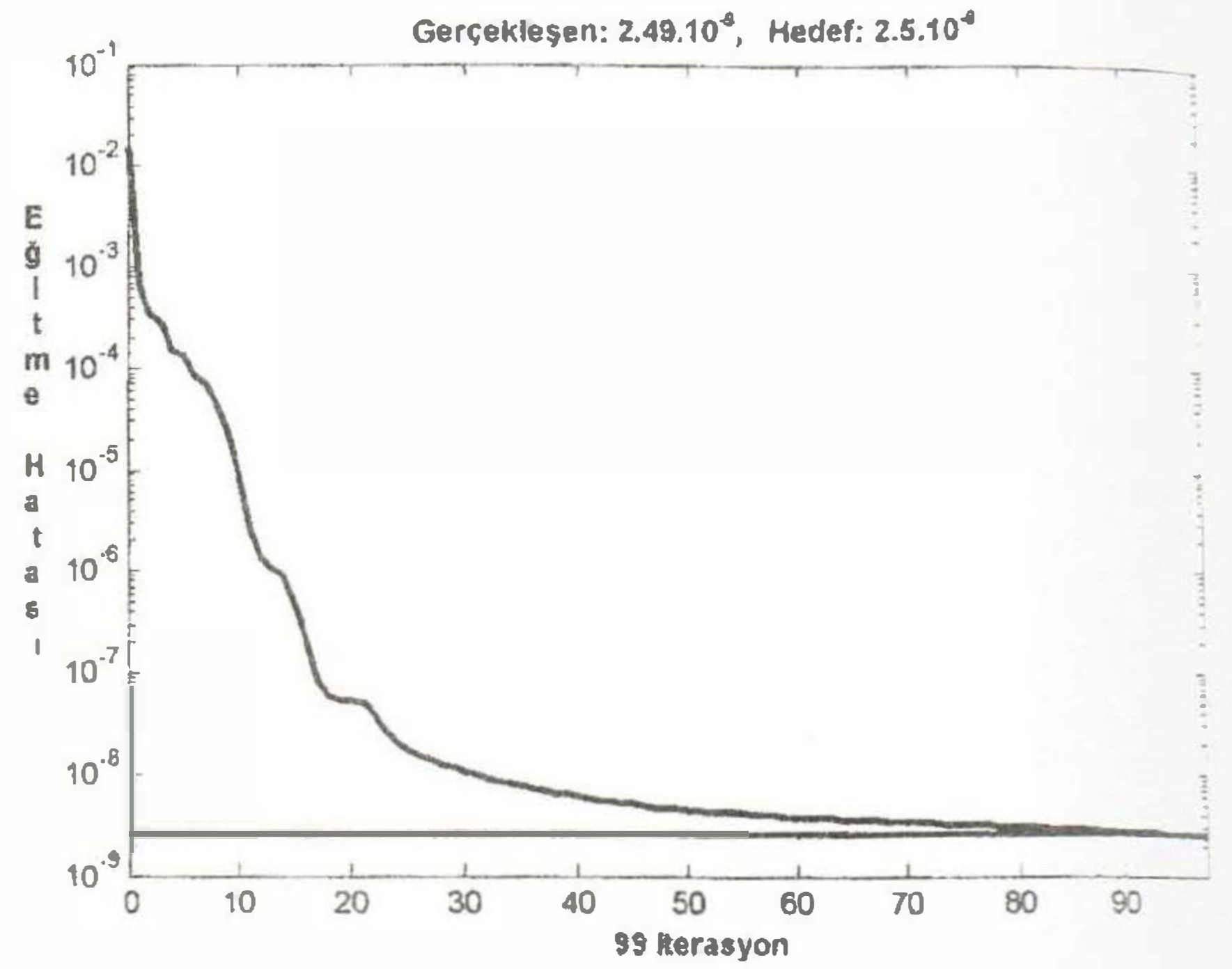
for $\phi = -45; 15; 25;$

algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Simülasyon yoluyla elde edilen SJ yük akımı ve uç gerilimindeki değişime karşılık gelen giriş gücü ve mıknatıslama gerilim değerlerinden oluşan bu gruba ait veri kümesi Şekil 7' de verilmiştir. SJ modelin eğitiminde kullanılan bu grupta, 120 farklı değer kümesi oluşturulmuştur.



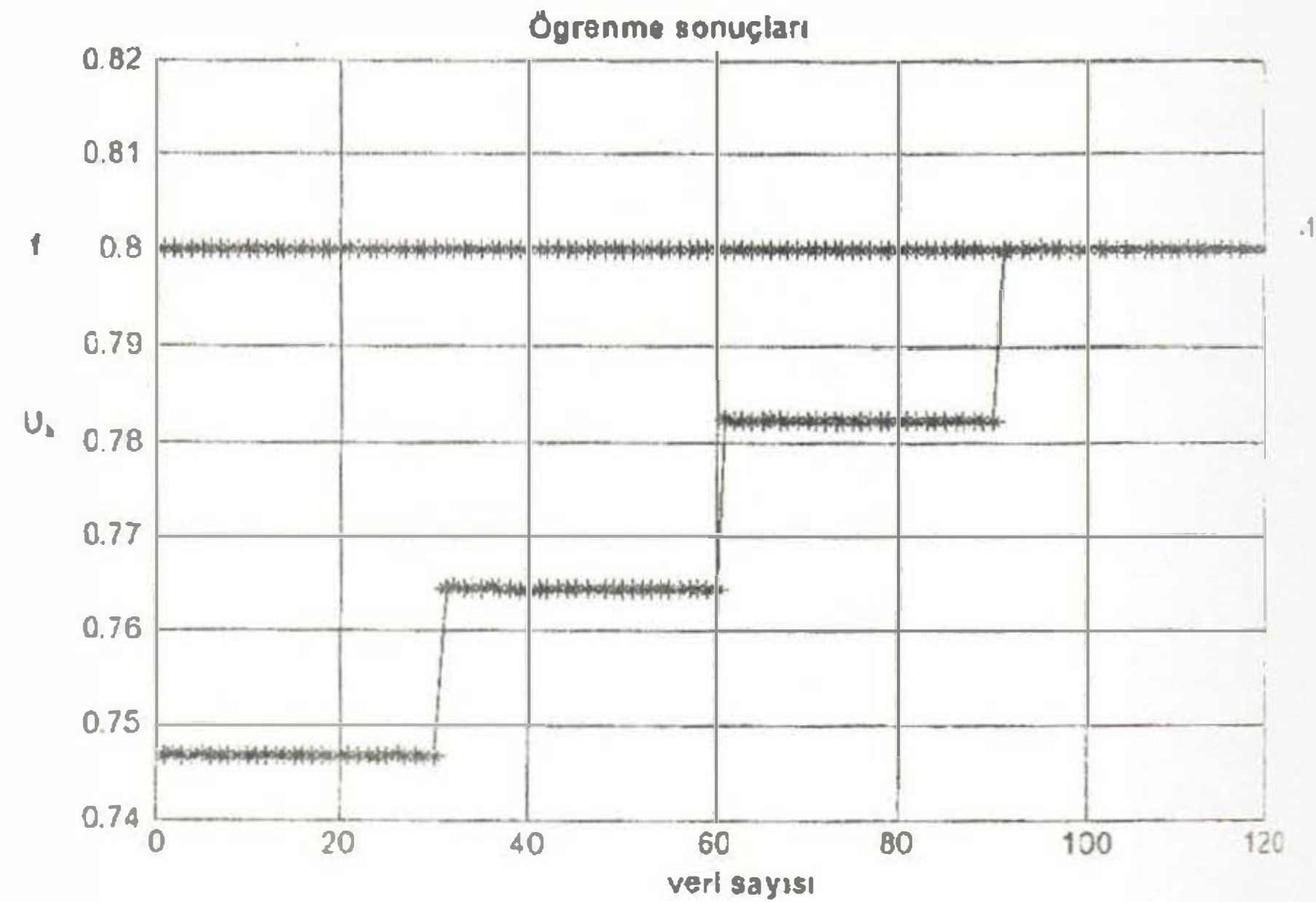
Şekil 8. Gerçek sistem YSA eğitme modeli.

Şekil 8' de verilen off-line ağ eğitme modeli kullanılarak gerçekleştirilen SJ eğitme işleminde hata toleransı $2,5 \cdot 10^{-9}$ olarak seçilmiş ve 120 veri kümesi için 99 iterasyonda ağın SJ modelini tam öğrendiği görülmüştür. Buna ait değişim grafiği Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9. YSA modelin SJ' ü öğrenme-iterasyon değişim grafiği.

120 değerli bu veri kümesi için, SJ çıkış parametrelerini oluşturan U_h ve f değerlerinin YSA modelinde veri sayısı - öğrenme değişim grafiği Şekil 10' da verilmiştir.

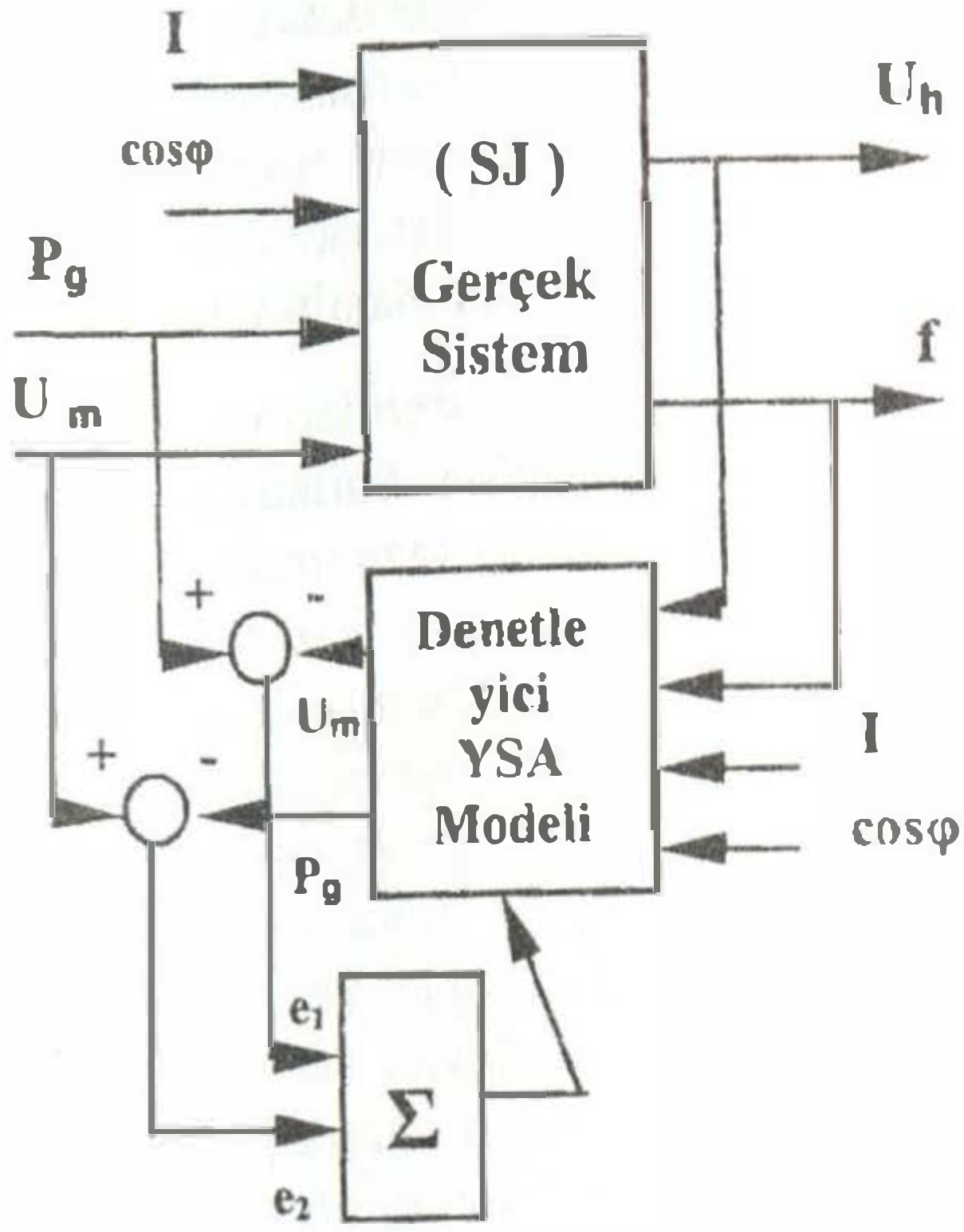


Şekil 10. SJ YSA modelin çıkış parametrelerini öğrenme sonucu.

İkinci aşamada, SJ' e ait kontrol girdileri olan p_g ve U_m değerlerini gerçek-zamanlı olarak ayarlayan YSA denetleyici modeli tanımlanmıştır. Amaç, değişken yüklerde SJ çıkış parametrelerini oluşturan f ve U_h büyüklüklerini referans değerlerde tutmaktır. Simülasyon verileriyle eğitilen denetleyicinin çıkış değerlerini ise, SJ in giriş büyüklükleri olan P_g ve U_m oluşturur.

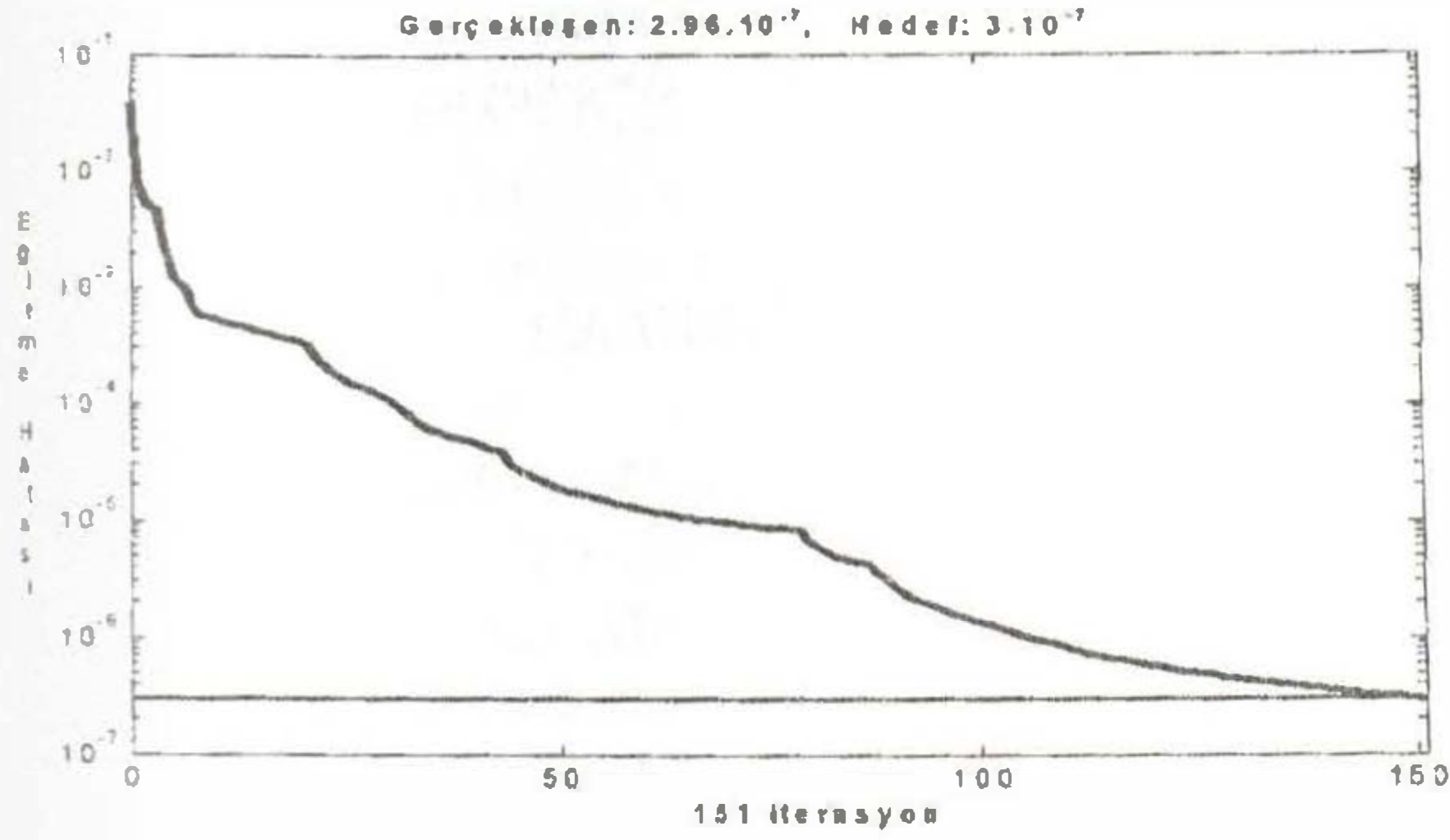
Denetleyici yük değişimine bağlı olarak, da motor endü gerilimi (U_e) ve SJ mıknatıslama gerilimi (U_m) değerlerini gerçek-zamanlı olarak ayarlayacak şekilde eğitilmiş ve öğrenme durumu test edilmiştir. Şekil 6' daki iki gizli katmanlı ağ yapısı denetleyicide de kullanılmıştır. Şekil 11' de verilen off-line eğitme yapısı kullanılarak

gerçekleştirilen YSA denetleyici eğitiminde, hata toleransı $3 \cdot 10^{-7}$ seçilmiş ve YSA modelin, 151 iterasyonda denetim yapısını öğrendiği görülmüştür.



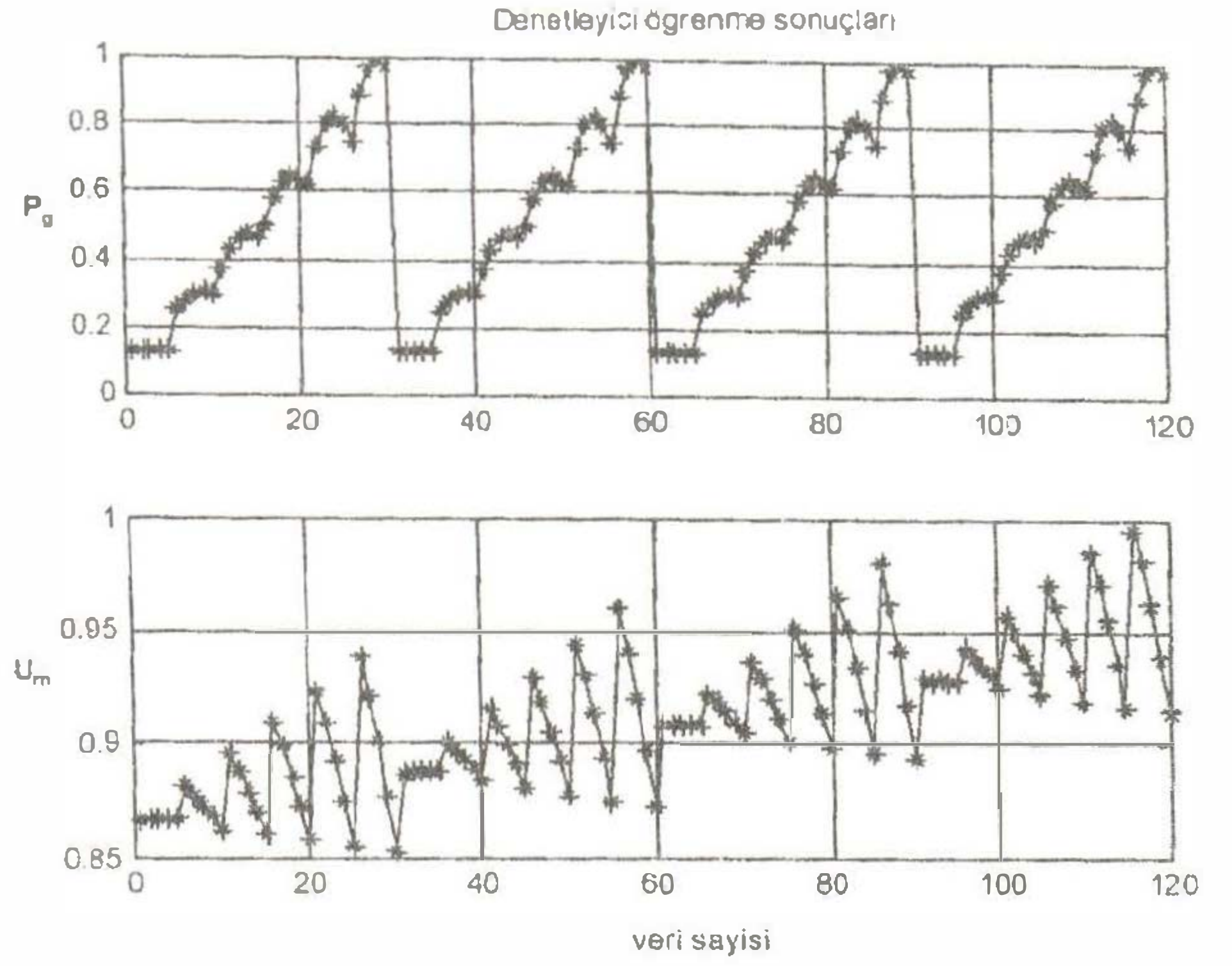
Şekil 11. Denetleyici YSA eğitime modeli.

Denetleyiciye ait öğrenme-iterasyon değişim grafiği Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 12. Denetleyici YSA modeli öğrenme-iterasyon değişim grafiği.

Eğitime işlemi sonucu, YSA denetleyici modelin çıkış parametrelerini oluşturan P_g ve U_m değerlerini öğrenme sonuçları Şekil 13' te verilmiştir.

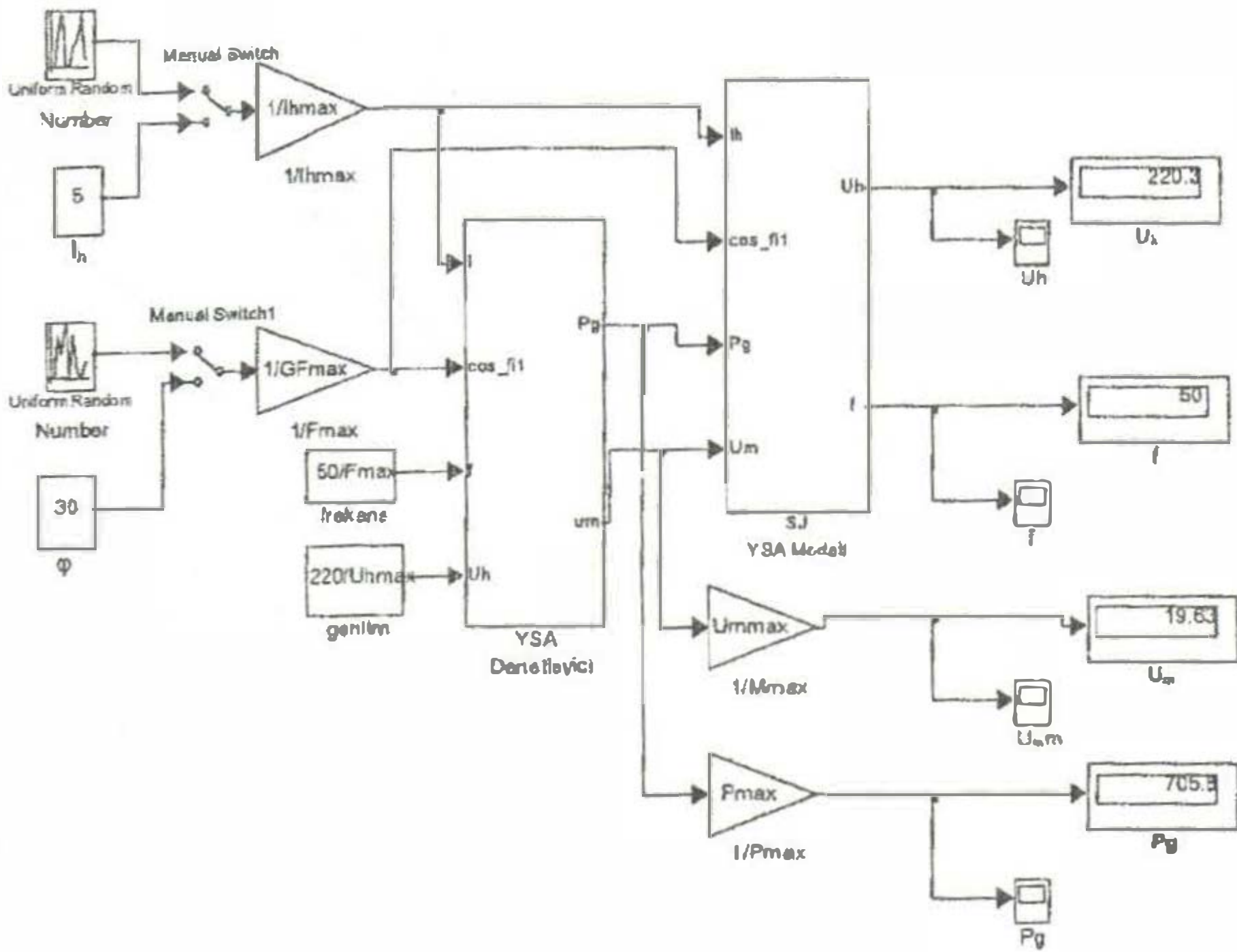


Şekil 13. YSA denetleyicinin çıkış parametrelerini öğrenme sonuçları.

Gerek SJ gerekse denetleyici simülasyon verilerinin eğitiminde yüksek öğrenme değerlerinin (yaklaşık hata: 10^{-8}) elde edilmesi, kullanılan veri sayının yanı sıra, seçilen model yapılarının uygunluğunu da göstermektedir.

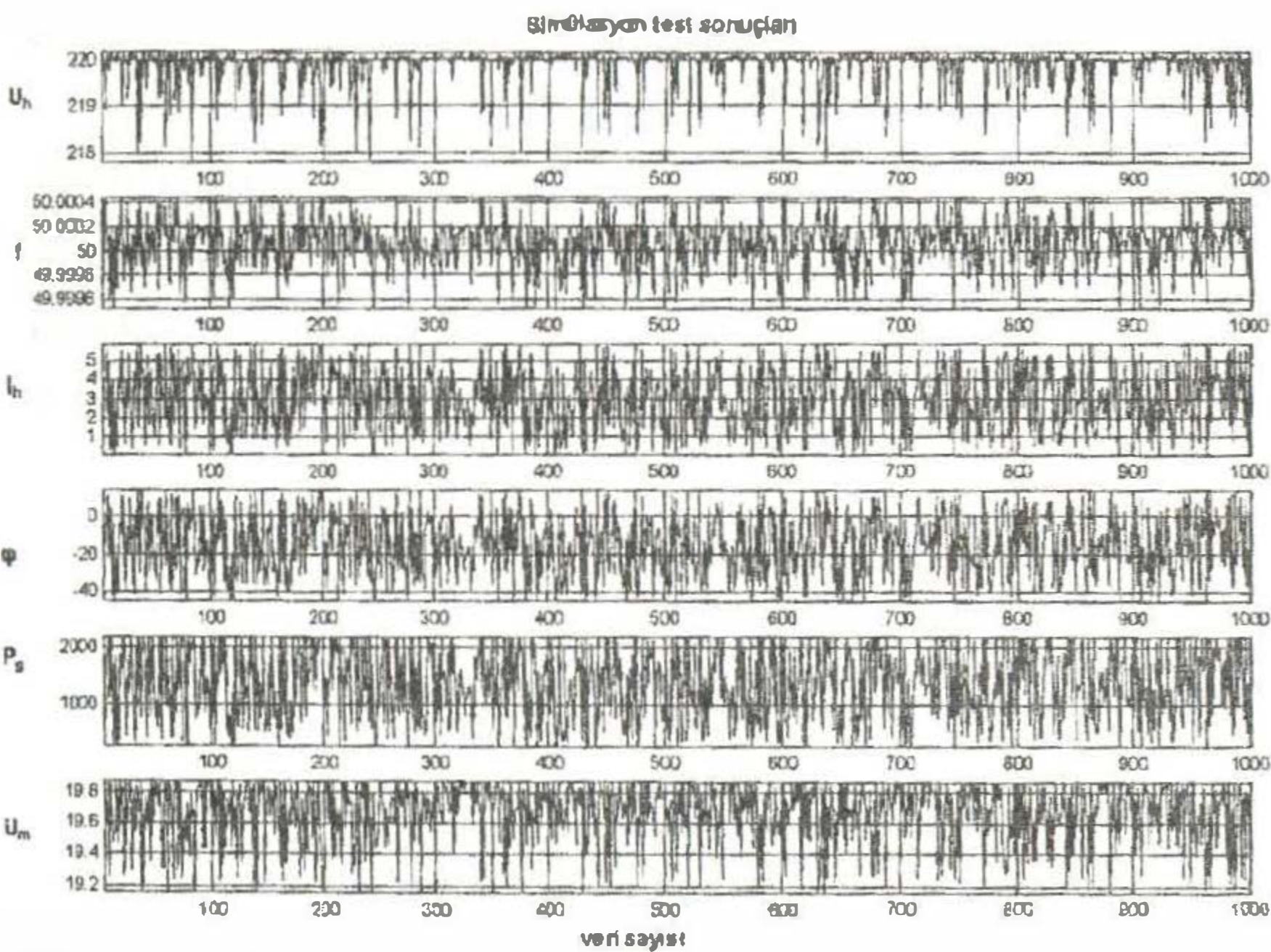
SJ ve denetleyici YSA modelleri, Matlab/Simulink programıyla Şekil 14' te verilen test yapısı kullanılarak denenmiştir.

Elde edilen 120 farklı simülasyon verisiyle eğitilen SJ ve denetleyici YSA modelleri, yük açısı ve akım değerlerinin rast gele olarak uygulandığı test işlemi sonucu, model sistemden alınan sonuçlarda oldukça yüksek doğruluk oranlarına ulaşılmıştır.



Şekil 14. SJ ve denetleyici YSA modelleri test düzeneği.

YSA modelleri oluşturulan SJ ve denetleyici, eğitime işlemi sonunda Matlab/Simulink programında rast gele olarak oluşturulan 1000 farklı veri kombinezonuyla test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar oldukça tatminkar olup, uç gerilim genliğinde % 1' in altında gerçekleşen salınma karşılık, frekans değeri yaklaşık 50Hz' de sabit tutulmuştur. Test sonuçları Şekil 15' te verilmiştir.



Şekil 15. SJ ve denetleyici YSA modellerinin öğrenme test sonuçları.

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ileri beslemeli YSA modeli açıklanmış ve SJ çıkış büyüklüklerini referans değerlerinde tutmak amacıyla güç sistem kararlayıcısı olarak kullanımı tanımlanmıştır. Çalışmada sunulan önermeler, sistem modelinin kapasitesiyle gerçekçi olarak bağlantılı olup, yapısı gereği oldukça zor bir problem olan dinamik ve lineer olmayan sistem denetimi, YSA eğitime işlemiyle gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen farklı eğitime ve test işlemlerinde, YSA öğrenme setindeki veri sayısı ve yapısının, öğrenme performansını etkilediği görülmüştür. Eğitime verilerinin sayısı ve uygunluğu öğrenme oranını artırmakta, buna karşılık eğitime-öğrenme performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Eğitime-öğrenme işlemi sonucu, sistem tanımlamada % 99.9' un, test işleminde ise % 99' un üzerinde bir doğruluk oranına ulaşılmıştır.

Farklı lineer olmayan güç sistemlerinin denetiminde de, bu tür modellerin kolaylıkla kullanılarak ve dinamik sistem denetiminde önemli kazanımlar sağlanabileceği görülmüştür. YSA, güç sistem kararlılığı denetiminde etkin olarak kullanılmış ve karmaşık eş-zamanlı modelleme ve pahalı donanımlara gerek kalmaksızın, lineer olmayan bu tür sistemler için denetleyici tasarımına basit bir alternatif olarak sunulmuştur. Sonraki çalışmalarda, yeni güç sistem modelleri geliştirme ve incelenen denetim metodunu farklı YSA denetleyici algoritmaları ve YSA dışı diğer denetim metodlarıyla karşılaştırmalı olarak test etmek olabilir. Ayrıca, SJ uç gerilimi ve frekansı ile tahrik sistemindeki türbin girişi su, gaz vb. değişkenlere ait kapak veya vanalarının konumu arasındaki ilişki de farklı bir çalışma konusu olabilir. Bunun yanı sıra, şebeke güç katsayısının iyileştirilmesine de çalışılabilir. Güç jeneratörlerinin YSA ı yardımıyla denetimi işleminde, çıkışta istenebilecek ek fonksiyonlar tanımlanarak daha farklı denetleyici yapıları elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] YILMAZ, A.S., "Güç Sistem Kararlayıcıları ve Uygulamaları", Y.Lisans T., SAÜ F.B.E., Ocak. 1997
- [2] ANDERSON, P.M., & FOUAD, I.A., "Power System Control and Stability", IEEE Press, Piscataway, 1984
- [3] CHEN, F. & KHALIL, H., "Adaptive Control of Nonlinear Systems Using Neural Networks", Proc. 29th Conf. On Decision and Control, pp.1707-1712, Dec. 1990
- [4] GURU, Bhag S., HIZIROĞLU, Hüseyin R., "Electric Machinery and Transformers" 3rd edition, Oxford University, pp.352-464, 2001
- [5] BARAK, D., "Use of Fuzzy Logic in Electrical Power Generation", University of Mexico, September, 1993
- [6] TUNÇ, A., "Çıkık Kutuplu Senkron Jeneratörün Adaptif Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Şubat 1988
- [7] BİLGİN, Z., "Sürekli Miknatıslı Senkron Motorun Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Konum Denetimi", Doktora Tezi, KOÜ, FBE, 2000
- [8] ONDUK, A., ÖZ, C., UYAROĞLU, Y., "The Fault Detection Of Asynchronous Motors Using Artificial Neural Networks", ICEM'98