

YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK CONCORDE UÇAKLARININ KONTROLÜ

Şahin YILDIRIM, Selçuk ERKAYA, İbrahim UZMAY

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039 KAYSERİ

Özet: Son yıllarda Concorde tipi yolcu uçaklarında kazalar hızla artmaktadır. Bu kazalar sonucu binlerce can ve mal kaybı meydana gelmektedir. Oluşan bu kazaların büyük bir oranı kontrol kaybı neticesinde olmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA) kontrol algoritmalarında kullanılmak üzere doğrusal olmayan dinamik sistemlerin kapalı-kutu olarak tanımlanmasında uygun bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, YSA denetimcisi kullanılarak sonik hıza sahip Concorde tipi uçağın burun eğim açısı değişimi kontrol edilmiştir. Burada dizayn edilip kullanılan YSA; ileri beslemeli olup, öğretmek için Geri Yayılma Algoritması (GYA) kullanılmıştır. YSA esaslı kontrol sistemi, modele dayalı sistem olup, model üçüncü dereceden polinomdur. İlaveten, mukayese etmek açısından PID kontrol sistemi kullanılmıştır. YSA denetim sistemi; istenilen burun eğimine yakın ve PID denetim sistemine göre çok iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif Kontrol, Yapay Sinir Ağları, Geri Yayılma Algoritması

CONTROL OF CONCORDE PLANES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abstract: In recent years, aircraft accidents have increased especially on Concorde aircrafts. Due to out of control of the aircrafts, many people have lost their lives. Neural network controllers can be accepted as an alternative to control this kind of planes. In this study, neural network control system was employed to control nose's angle of supersonic type Concorde aircrafts. The designed neural controller is feedforward multilayered perceptron structure. Backpropagation (BP) algorithm was utilized to update the weights of the neural controller. For comparison, standard PID control system was also used with constant gain parameters. Consequently, between two approaches, Neural networks have superior performance to control such aircrafts.

Keywords: Adaptive Control, Artificial Neural Networks, Backpropagation Algorithm

1. Giriş

YSA sinyal işleme ve kontrol konularında yeni ufuklar açmıştır. YSA'ların yapıları ve paralel işleme yetenekleri, onların; karmaşık, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin incelenmesinde çok faydalı araçlar olmasını sağlamıştır. Adaptif kontrol, akıllı kontrol veya sistem parametrelerinin herhangi bir amaçla bilinmesi gerektiği durumlarda tanımlama yöntemi gerekir.

Model Esaslı Adaptif Kontrol (MEAK) havacılık sektöründe uçuş kontrolüne yönelik olarak pek çok uygulama bulmuştur. Bunlardan Mashe Idan ve araştırma grubu tahrik sistemi hatasının varolduğu emniyetli bir uçuş için aerodinamik-tahrik sistemi karışımından oluşan ve müsaade edilen akıllı hata yanılma paylı uçuş kontrol sistemi üzerinde çalışmışlardır[1]. Müsaade edilen hata payı, online öğrenmeli YSA ve kumanda sistemi düzeneğine dayalı nonlineer adaptif kontrol tekniğiyle sağlanmıştır. Adaptif kontrollü blok; hata, hız limiti ve kumanda doyumunun mevcut bulunduğu adaptasyon için en son teknolojiyle donatılmış olup, aerodinamik-tahrik sisteminin entegre edildiği, önerilen uçuş kontrol sistemi nonlineer uçuş simülasyon ortamında değerlendirilmiştir.

Yapılan uygulamada uçuş kontrol sisteminin bileşenleri ise aerodinamik-tahrik sistemi bileşimine istenilen

değişikliklerin uygulandığı (MEAK) düzeneği olarak oluşturulmuştur. Bu düzeneğin ana avantajı ise esaslı bir uçak modeline bağımlılığı minimuma indirgemesidir. Burada adaptif YSA, kumanda hatası etkilerini içerebilecek model hatalarının geniş bir bölümünü telafide kullanılmıştır. Telafi edici dizaynın doğruluğu ve güvenilirliği ise lineer kontrol teorisine dayandırılmıştır. YSA adaptasyon kuralı , sınırlı ağ ağırlığı ve hata sinyalinin sağlayan nonlineer kararlılık analizinden oluşmaktadır.

Sonuçta; uçuş güvenliği sürekli olarak yeterli veya en azından kararlı bir şekilde devam eden ikinci bir kumanda sisteminin kullanıldığı destek kontrol hattıyla korunmuştur. Ortaya çıkan kumanda hataları ikinci kontrol hattının elemanlarına bağlı adaptif YSA tarafından dengelenmiş ve model hatası olarak ele alınmıştır.

2. Concorde Tipi Uçağın Dinamiği

Günümüz Concorde'larının farkı, Pasifik okyanusunu tek bir seferde geçebilmesi ve bu özelliğinin onu ekonomik yapmasıdır. Bu yeni uçaklar, ileri bilgisayar teknolojisi ve ısı direnci iyi olan hafif ağırlıktaki malzemelerin kullanımını gerektirmektedir. Bununla birlikte çok hızlı olmasından dolayı kinematik ve dinamik parametreleri en optimum şekilde tespit edilmelidir.

Concorde'lar 300 yolcusuyla sesin üç katı hızda uçabilmekte ve 7500 mil mesafeyi tek bir uçuşta katedebilmektedirler. Bundan dolayı uçuş kontrol sistemi, rahat bir uçuş ve kaliteli bir kullanım şartını gerektirmektedir. Uçağın otomatik uçuş kontrol sistemi SST Vehicles firması tarafından dizayn edilmiştir. Otomatik kontrol sisteminin ana köklerinin istenilen karakteristikleri Tablo 1'de verilmiş olup bunlardan kazanç faktörü K_1 ; uçağın katedeceği mesafeye göre orta ağırlıklı sefer koşullarında 0.02 ve düşük ağırlıklı sefer koşullarında ise 0.2 olmaktadır.

Tablo 1.Uçağın dinamik parametrelerinin sayısal değerleri.

Parametre	Değer
w_n	2.5
ξ	0.30
τ	0.1
K_1	0.02-0.2

w_n : Sistemin doğal frekansı
 ξ : Sönüm oranı
 τ : Sabit karakteristik değer
 K_1 : Kazanç faktörü

Bu çalışmada kullanılan Supersonik Concorde tipi uçağın Laplace dönüşümü sonucu elde edilen s domainde dinamik modeli olarak aşağıda verilen denklem kullanılmıştır.

$$G(s) = \frac{K_1(zs + 1)}{s^2 + 2\xi w_n s + w_n^2} \quad (1)$$

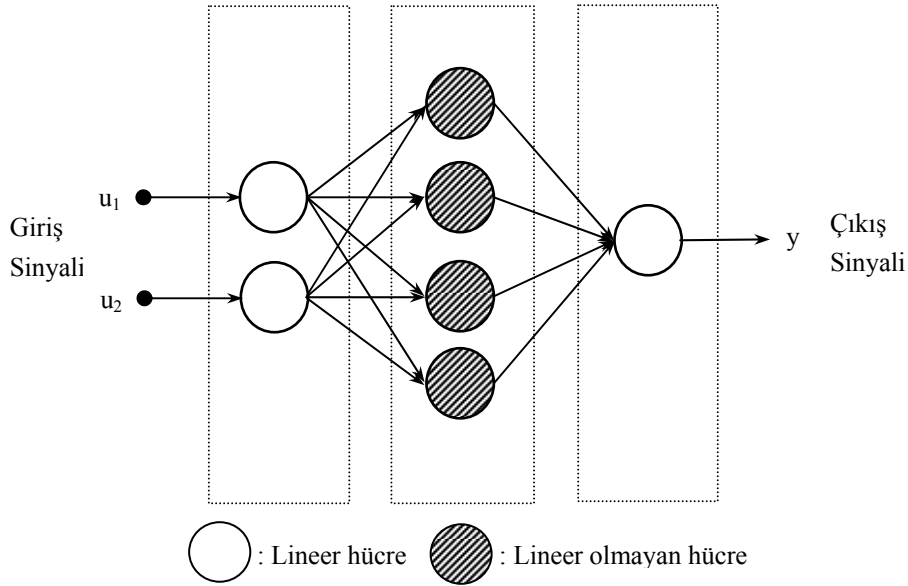
Burada K_1 ; kazanç faktörü, τ ; uçağın karakteristik sabit terimi, w_n ; doğal frekans ve ξ ; sönüm oranıdır.

3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninin fonksiyonlarını modelleyerek onun bazı özelliklerini taklit etmek için bir araya getirilmiş basit işlem elemanlarının yoğun bir paralel dizisidir. YSA elemanlarının paralel çalışma özelliği, YSA'na insan beyninin öğrenme ve hatırlama gibi özelliklerini katmaktadır.

3.1 İleri Beslemeli YSA

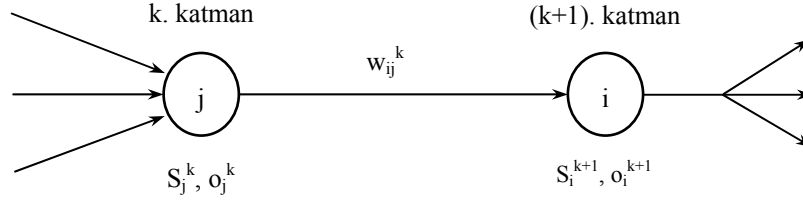
Burada en önemli özelliğe sahip olan sadece akış sinyali ileri yönde olan ileri beslemeli YSA kullanılmıştır. İleri sürümlü sinir ağı yapılarının en tipik şekli katmanların ardışıl biçimde bir araya getirilmesi ile kurulabilir. Örnek olarak Şekil 1'de üç katmanlı bir sinir ağı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. İleri beslemeli YSA'nın şematik görünümü.

Şekilde de gösterildiği üzere girdilerin uygulandığı katmana giriş katmanı, çıkışların alındığı katmana çıkış katmanı denir ve bu katmanlara fiziksel dünyadan erişilebilir. Giriş ve çıkış katmanlarının arasında gizli katmanlar bulunur ki bu katmanlardaki nöronlar, nonlineer davranışları dolayısıyla, sinir ağının toplam davranışındaki nonlineerliğin kaynağını teşkil ederler. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayıları, ele alınan problemin gereklerine göre belirlenir, ancak gizli katmandaki (veya katmanlardaki) hücre sayılarının optimallik anlamında doğru sayısını veren herhangi bir analitik yöntem şu ana kadar geliştirilememiştir. Dolayısıyla gizli katman sayısındaki ve bu katmanların nöron sayılarındaki belirsizlikleri aşabilmenin tek yolu deneme yanılma yöntemidir [2].

Şekil 2'de gösterilen ağ yapısı, geri besleme bağlantıları olamaması dolayısıyla, sinyal akış yönünden ileri beslemeli ağ yapısındadır. Bu yapıda giriş katmanından giriş vektörünün gizli katmana akışı söz konusudur ve giriş katmanı nonlineer bir karakteristiğe sahip değildir. Dolayısıyla, giriş katmanındaki her bir nöronun çıkışında, bağlı olduğu giriş değeri görünür.



Şekil 2. YSA'nın genel akış şemasının görünümü.

1 ağ üzerindeki katmanlar k indisi ile sıralansın, ve L adet gizli katman olduğu varsayalım. Yani Şekil 1'deki ağ için $L=1$ olacak, $k=0$ giriş katmanına, $k=1$ gizli katmana ve $k=L+1$ çıkış katmanına tekamül edecektir. Eğer $k+1$ 'inci katmanın j 'inci nöronuna bağlayan bağlantının ağırlıklı değeri w_{ij}^k sembolü ile gösterilirse (Bkz. Şekil 2) ve k 'ncü katmanın i 'inci nöronunun çıkışı o_i^k ile gösterilirse, $k+1$ 'inci katmandaki i 'inci nöronun net toplamı S_i^{k+1} ve çıkış değeri o_i^{k+1} (2) ve (3) denklemlerinden elde edilir. (2) denkleminde görülen n_k değişkeni, k 'ncü katmandaki nöron sayısını simgelemektedir.

$$S_i^{k+1} = \sum_{j=1}^{n_k} w_{ij}^k \cdot o_j^k \quad (2)$$

$$o_i^{k+1} = \psi(S_i^{k+1}) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemlerde eşik değeri ve aktivasyon fonksiyonlarının (ψ) türü belirtilmemiş olmasına rağmen pratikte eşik değeri, +1 veya -1 sabit değerini alan bir girişin, eşik değerine eşit bir değerle çarpılarak nörona uygulanması ile gerçekleşir ve toplama diğer bileşenler gibi katılır[2].

3.2 Öğrenme Algoritması

YSA'da ağ eğitimi, hatanın geriye yayılımı kullanılarak yapılır. Bu amaçla eğitim işareti E çıkıştaki hataların karelerinin toplamı, d_j arzu edilen çıkış ve y sistem çıkışı olmak üzere k . örnekteki çıkış hatası ve eğitim işareti;

$$e_j(k) = d_j(k) - y_j(k) \quad j=1,2,\dots,m \quad (4)$$

$$E(k) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m e_j^2(k) \quad k=1,2,\dots,N \quad (5)$$

olarak hesaplanır.

Ağın giriş katmanını gizli katmana bağlayan ağırlıklar w_{ij}^1 , gizli katmanı çıkış katmanına bağlayan ağırlıklar w_{ji}^2 , giriş vektörü $x=n \times 1$, gizli katman çıkış vektörü $v=p \times 1$, yanlılık girdileri θ_1 ve θ_2 , gizli katmanda kullanılan hareketlendirme fonksiyonu $\Phi(\cdot)$ olmak üzere üç katmanlı doğrusal giriş ve çıkışa sahip çok katmanlı YSA'da katmanlar arasındaki ağırlıkların yenilenmesi aşağıdaki formda bulunabilir.

Eğitim işaretinin, ağırlıklara göre minimize edilebilmesi için eğitimin belirlenebilmesi gereklidir. Bu nedenle her bir k . örnekte denetim ağının gizli katmanındaki ağırlıklarının uyarlanması,

$$w_{ji}^2(k) = w_{ji}^2(k-1) + \Delta w_{ji}^2(k) \quad (6)$$

$$\Delta w_{ji}^2(k) = -\alpha \frac{\partial E_j(k)}{\partial w_{ji}^2(k)} + \beta \cdot \Delta w_{ji}^2(k-1) \quad (7)$$

denklemleri, giriş katman ağırlıklarının uyarlanması da;

$$w_{il}^1(k) = w_{il}^1(k-1) + \Delta w_{il}^1(k) \quad (8)$$

$$\Delta w_{il}^1(k) = -\alpha \frac{\partial E_j(k)}{\partial w_{il}^1(k)} + \beta \cdot \Delta w_{il}^1(k-1) \quad (9)$$

$i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,m; l=1,2,\dots,n$ denklemleri kullanılır. Burada, α öğrenme oranı, β ise momentum katsayısıdır.

Doğrudan denetim yönteminde, ağ çıkışı sistem girişine verildiğinden ve öğrenme algoritması olarak da, hatanın kısmi türevleri bulunarak geri yansıtılmasını hedefleyen geriye yayılım algoritması kullanıldığından hatanın sistem üzerinden geri yansıtılması gerekmektedir. Bu nedenle, sistem çıkışının girişine göre türevinin veya türev işaretinin bilinmesi gerekmektedir

Hatanın sistem üzerinden yansıtılarak elde edilen $e_c(k)$ hatası,

$$e_c(k) = e_j(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \quad (10)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Denklem 10'daki kısmi türev ifadesi, sayısal türev yöntemleriyle küçük bir hata yaklaşıklığı ile;

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} = \frac{\partial y(k) - \partial y(k-1)}{\partial u(k) - \partial u(k-1)} \quad (11)$$

bağıntısından bulunur.

O halde, geriye yayılım algoritmasında, denklem 7 ve 9 'daki;

$$\frac{\partial E_j(k)}{\partial w_{ij}^2(k)} \text{ ve } \frac{\partial E_j(k)}{\partial w_{il}^1(k)} \text{ ifadeleri;}$$

$$\frac{\partial E(k)}{\partial w_{ij}^2(k)} = -e_c(k) v_i(k) \quad (12)$$

$$\frac{\partial E(k)}{\partial w_{il}^1(k)} = -e_c(k) \cdot \phi_i(n) \cdot w_{ij}^2(k) \cdot x_l(k) \quad (13)$$

olarak elde edilir. Böylece denetim ağının gizli ve çıkış katman ağırlıkları, tekrarlayan algoritma ile yenilenerek sistem çıkışını arzu edilen çıkış işaretine yaklaştırır [3].

4. Kontrol Sistemleri

4.1 PID Kontrol Sistemi

P, I ve D etkilerin bir araya gelmesiyle oluşur. Her bir etkinin davranış özelliklerine sahiptir. Genel ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$m(t) = Ke(t) + \frac{K}{T_i} \int_0^t e(t)dt + KT_d \frac{de(t)}{dt} \quad (14)$$

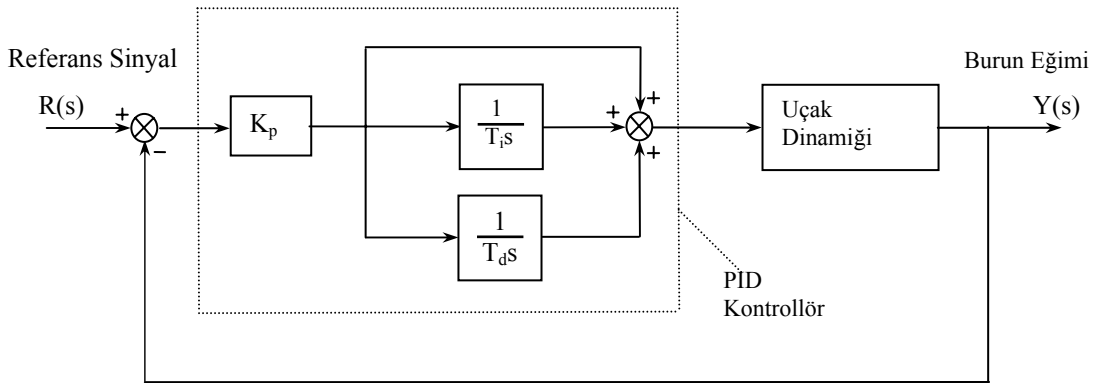
veya

$$M(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s) \quad (15)$$

Transfer fonksiyonu şeklinde ise;

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (16)$$

Burada; K orantı kazancı, T_i integral zaman ve T_d diferansiyel zamandır. K kazancının ayarlanması kontrol organının integral ve diferansiyel kısımları üzerinde de etkili olur. PID kontrol organının blok diyagramı uçak denetim sistemi için Şekil 3'de verilmiştir.

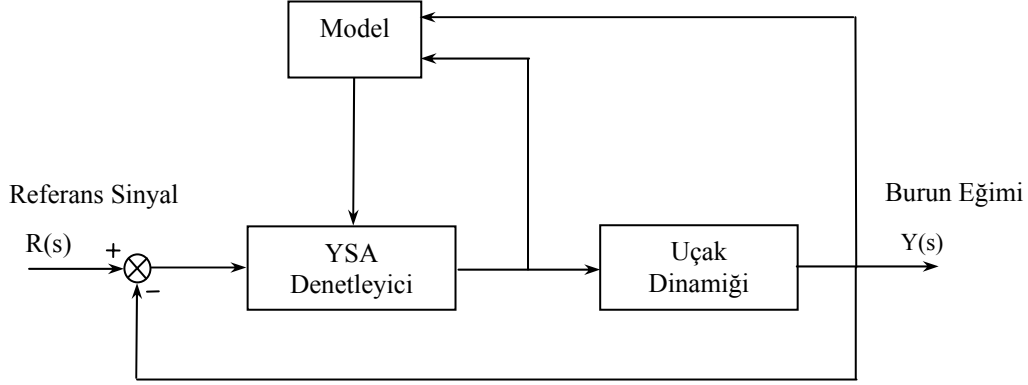


Şekil 3. Uçak denetim sistemi için tasarlanmış PID kontrol organının blok diyagramı.

PID denetim; üç temel denetim etkisinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir denetim etkisi olarak uçak kontrol sisteminde en uygun oran kazancı (K_p), integral zamanı (T_i) ve türev zamanı (T_d) tespit edilerek kullanılmıştır. İntegral etki, sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev etkide yalnızca PI denetim etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID kontrol organı, hızlı ve daimi rejim hatası sıfır olan bir kontrol sağlar. K, T_i ve T_d katsayılarının uygun ayarlanması ile iyi bir kontrol sağlamak mümkün olabilir. [4].

4.2 Model Esaslı Adaptif Kontrol (MEAK) Sistemi

MEAK sisteminde gerçek denetim sistemi ile karşılaştırmaya esas olarak bir matematiksel model kullanılır. Sistemde, matematik model sistemle aynı girişi alarak gerçek ve model sistem çıkışı arasındaki farka bağlı bir hata oluşturulur. Daha sonra bu hata, denetleyici ayarlarının değiştirilmesine esas teşkil etmek üzere kullanılır. Aşık olarak, denetimin niteliği modelin gerçek sistemi ne kadar yakından temsil ettiğine bağlıdır. MEAK sisteminin uçak kontrol sistemi için genel görünümü Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Model esaslı ysa adaptif kontrol sistemi.

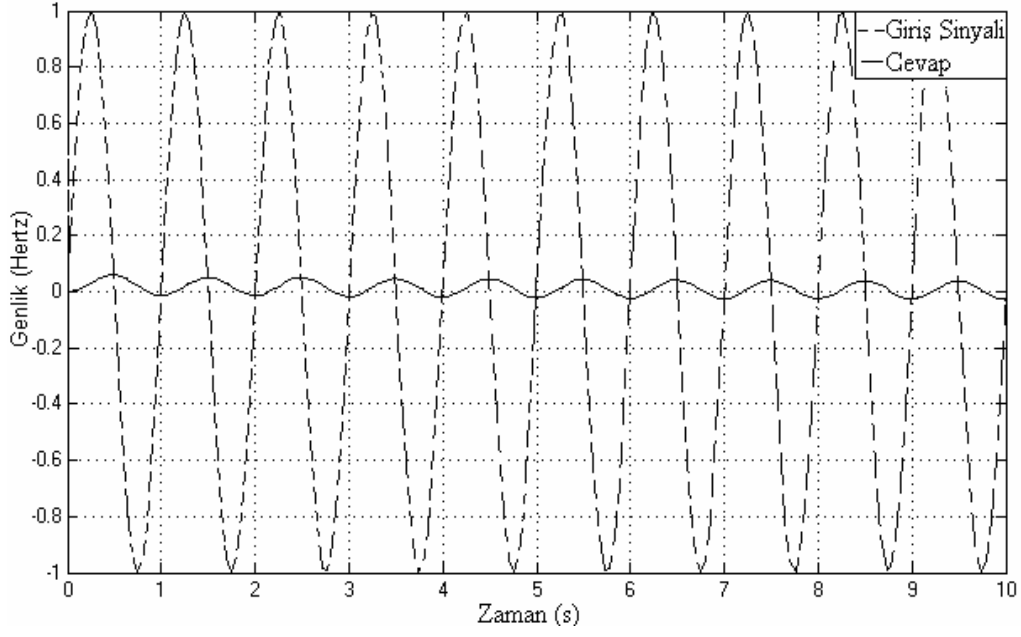
Şekil 4’den de görüldüğü gibi sistemde halen geri besleme döngüsü mevcuttur. Bu, uyarlamalı denetimde ortaya çıkabilecek bir arızadan dolayı sistemin çalışmasının kesintiye uğramasını önlemek içindir. Gerçek sistem üzerine etki eden dış bozucular gerçek/model hata sinyalini değiştirecek ve uyarlamalı döngü yolu ile denetleyici ayarlarının yeniden ayarı için esas teşkil edecektir. Denetleyici ayarlarının ayarı, yapılan ayarlamaların seviyesi ve yapısının saptanması için iyi tanımlanmış bir strateji olması gerektiğini ifade eder. [4,7]

5. Simülasyon Sonuçları

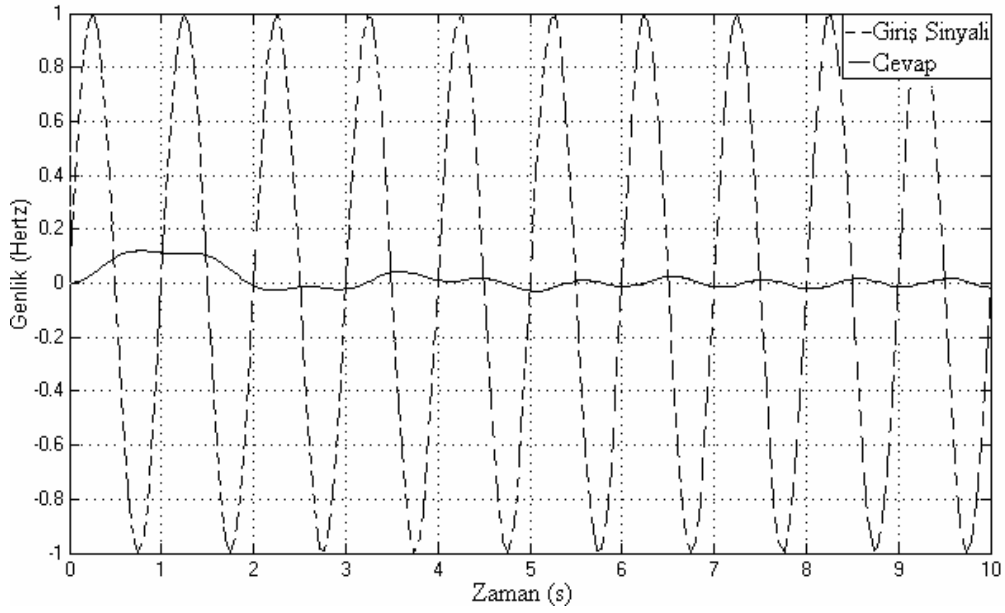
Bu çalışmada MATLAB, SİMULİNK YSA kütüphanesindeki çeşitli eğitsel algoritmalar kullanılmış ve yazılım MATLAB üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğitsel algoritma olarak Geriye Yayılma (GY) algoritması kullanılmıştır. Kontrol verileri ile ağ eğitimi PIII 500 MHz işlemci üzerinde 10 dakika sürmüş ve yakınsama algoritmaya girilen, yakınsama hatası sağlandığında eğitim tamamlanmıştır.

5.1 PID Denetim Sonuçları

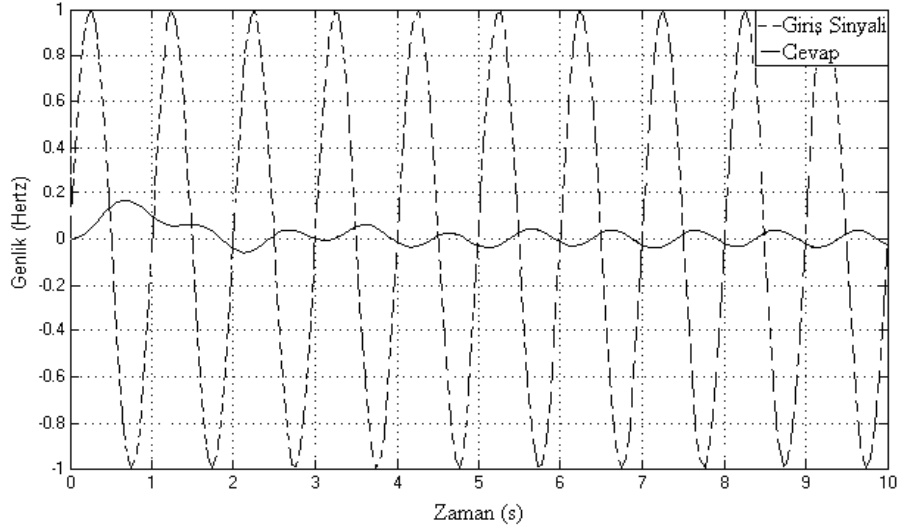
Uçak sisteminin eğim oranı kontrolü PID denetimci ile gerçekleştirilmiştir. Orantı kazancı (K_p), İntegral zamanı (T_i) ve Türev zamanı (T_d) parametre değerleri deneysel olarak belli aralıkta belirlenip en optimum değerleri tespit edilmiştir. Şekil 5(a), 5(b) ve 5(c)’de görüldüğü gibi farklı kontrol parametreleri için sistem cevapları bulunmuştur.



Şekil 5-a. Farklı PID kazanç parametreleri sonucu sistemin giriş sinyaline karşı verdiği cevabın değişimi ($K_p=1$, $T_i=5$, $T_d=1$).



Şekil 5-b. Farklı PID kazanç parametreleri sonucu sistemin giriş sinyaline karşı verdiği cevabın değişimi ($K_p=1$, $T_i=25$, $T_d=1$).

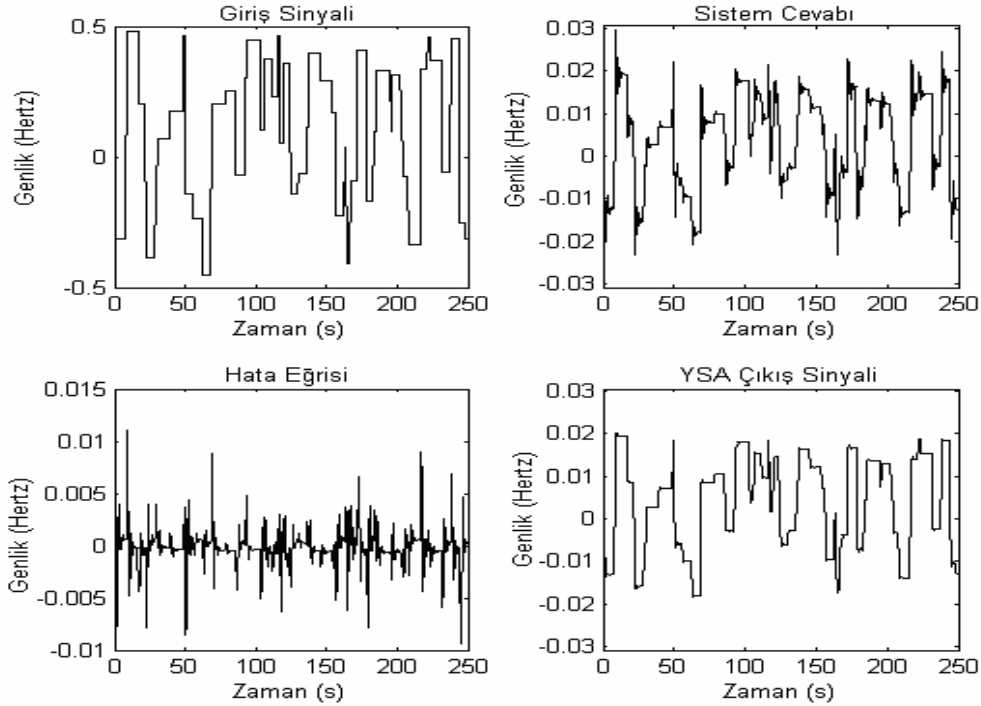


Şekil 5-c. Farklı PID kazanç parametreleri sonucu sistemin giriş sinyaline karşı verdiği cevabın değişimi ($K_p=5$, $T_i=25$, $T_d=1$).

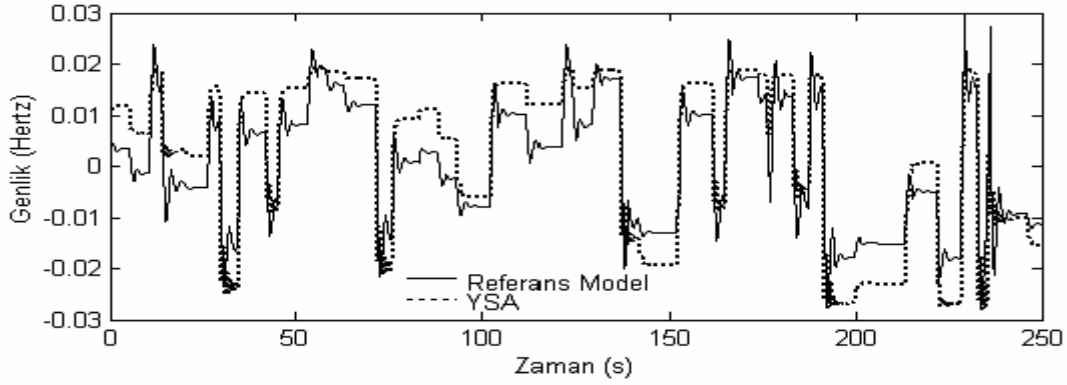
Şekillerden de görüldüğü gibi referans eğim açısı oranına yakın olmayan değer olarak elde edilmektedir.

5.2 YSA Denetim Sonuçları

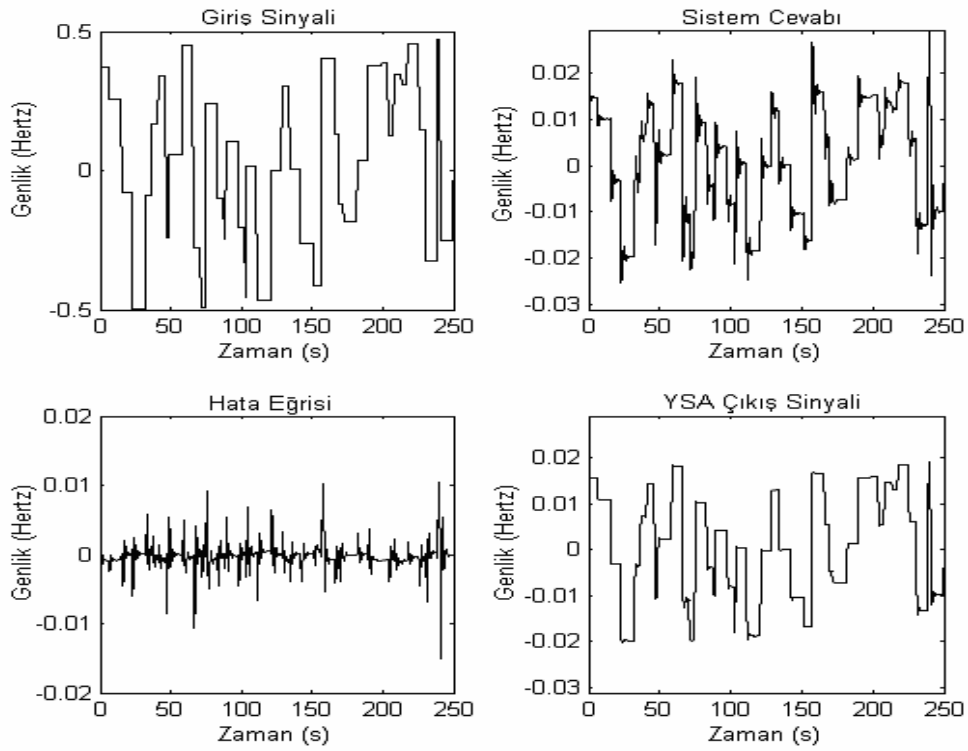
Concorde tipi uçağın eğim açısı değişim denetimi yukarıda anlatılanlarla gerçekleştirilen Matlab 6 simulink dilinde yazılan program ile yapılan bu çalışmada, YSA ile matematiksel modeli bilinmeyen sistemlerin denetimi de yapılabilmektedir. Kullanılan denetim sistemi sonuçları Şekil 6(a), 6(b), 6(c), 6(d), 6(e) ve 6(f)'de farklı hücre ve gizli katman kullanılması durumunda verilmiştir.



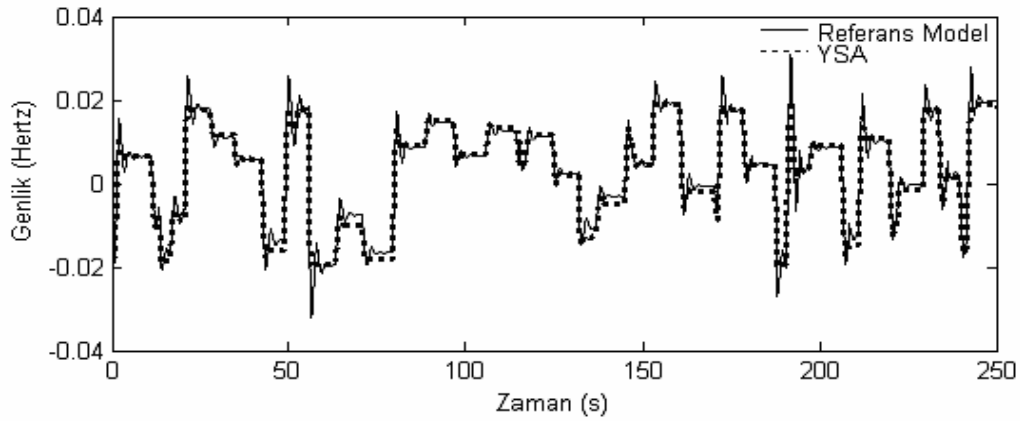
Şekil 6-a. MEAK kullanılarak YSA'lı denetimci sistemin karakteristik davranış sonuçları ($n_H=2$, n_H : Gizli katman hücre sayısı).



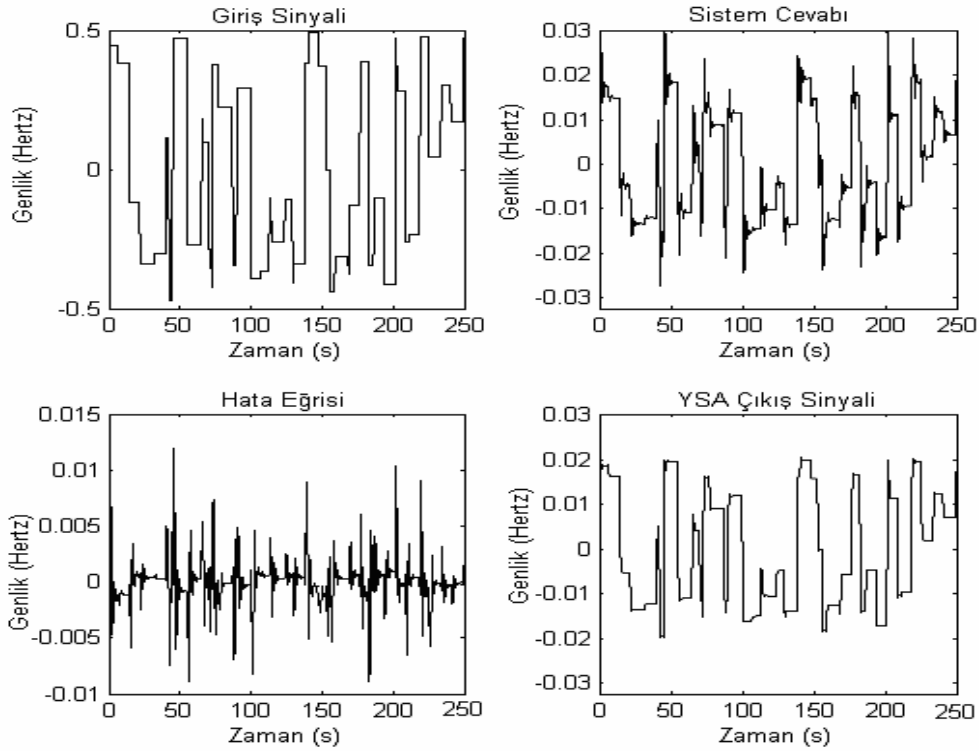
Şekil 6-b. MEAK kullanılarak YSA denetimci sistemin referans model çıkış sinyali ile değişimi ($n_H=2$).



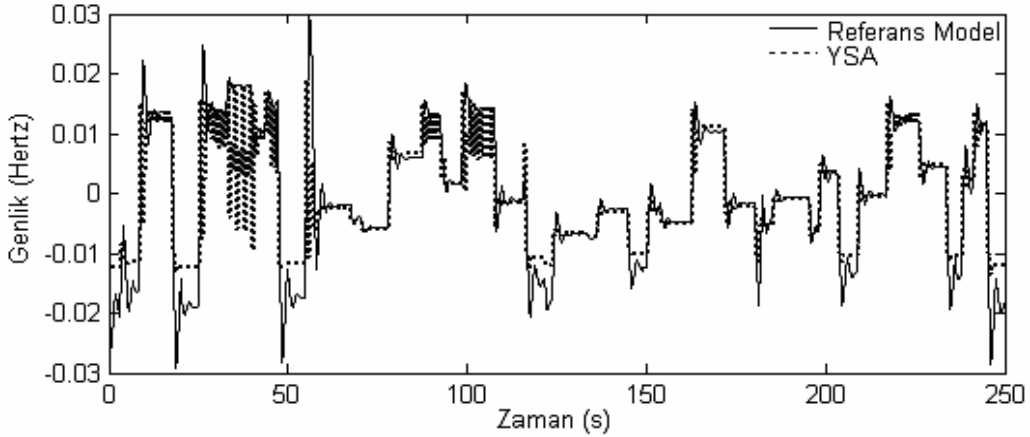
Şekil 6-c. MEAK kullanılarak YSA'lı denetimci sistemin karakteristik davranış sonuçları ($n_H=3$).



Şekil 6-d. MEAK kullanılarak YSA denetimci sistemin referans model çıkış sinyali ile değişimi ($n_H=3$).



Şekil 6-e. MEAK kullanılarak YSA'lı denetimci sistemin karakteristik davranış sonuçları ($n_H=4$).



Şekil 6-f. MEAK kullanılarak YSA denetimci sistemin referans model çıkış sinyali ile değişimi ($n_H=4$).

Sonuç göstermiştir ki; daha az gizli katman kullanılması durumunda öğrenme hızlı ve sonuç kabul edilebilir. Burada sisteme ait referans model transfer fonksiyonu olarak uygulamada sıkça karşılaşılan üçüncü dereceden bir sistem seçilmiştir. Bu referans modelin Laplace domaini aşağıdaki gibi verilebilir;

$$G(s) = \frac{0.2s + 2}{s^3 + 71.5s^2 + 113.05s + 455.5} \quad (17)$$

Şekil 6(d)'de de görüldüğü gibi optimum gizli katman hücre sayısı (n_H) 3 olduğu takdirde, referans model cevabına yakın bir sonuç elde edilmektedir.

6. Sonuçlar

Bu makalede Supersonik hıza sahip Concorde tipi yolcu uçaklarının burun açı değişimi kontrolü YSA denetimcisi kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca YSA'nın en iyi kontrolörlüğünü göstermek için standart PID kontrol sistemi kullanılmıştır. Sonuçlarda göstermiştir ki; YSA kontrol sistemi iyi kontrol özelliğine, gürbüz ve adaptif bir yapıya sahip olmasından dolayı en optimum ve en uygun sonuçları vermiştir. Bu tür çalışmaların deneysel uygulamaları, günümüz uçak sektöründe en iyi kontrol edilebilirliği sağlayabilir.

Kaynaklar

1. Idan, M., Matthew, J., Calise, A.J., Kaneshige, J., Intelligent Aerodynamic/Propulsion Flight Control For Flight Safety: A Nonlinear Adaptive Approach, American Control Conference, Arlington, VA, 2001.
2. Efe, M.Ö., Kaynak, O., Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boęaziçi Üniversitesi Basımevi, İstanbul, 2000.
3. Dandıl, B., Poyraz, M., Demir, Y., Sistemlerin Yapay Sinir Ağı İle Uyarlamalı Denetimi, Otomatik Kontrol Bilimsel Toplantısı TOK'98, 167-172,1998.
4. Yüksel, İ., Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Uludaę Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1995.
5. Yıldırım, ř., Neural Network for Control of Biped, Electronic Letters, **35**, 23, 2064-2065, 1999.
6. Yıldırım, ř., Neural Network Controller for Cooperating Robots, Electronic Letters, **37**, 22, 1351-1352, 2001.
7. Yıldırım, ř., Erkaya, S., Uzman, İ., Design of Neural Controller System for Concorde Aircraft, Journal of Automatic Control and Computer Science, **38**, 3, 53-63, 2004.