

# Halka Yerine Sargı Kullanılan Gölge Kutuplu Asenkron Motorun Simülasyonu ve Kontrolü

Ebubekir ERDEM \* Sefa AKPINAR \*\*

\* Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
23119, ELAZIĞ

\*\* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü  
61080, TRABZON

## ÖZET

Gölge kutuplu asenkron motorlar düşük başlama momenti ve düşük verime sahip olmalarına rağmen küçük güç gerektiren sürme sistemlerinde yaygınca kullanılırlar. Gölge kutuplu asenkron motorların başlama momentini arttırabilme, hız kontrolü ve dönme yönünü tersine çevirebilme işlemleri yapılabilirse, bu motorların uygulama alanları genişleyebilir.

Bu çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) temelli bir algoritma yardımıyla halka yerine sargı kullanan gölge kutuplu asenkron motorun hız tahmini yapıldı. Hız tahmini için, stator akım ve gerilim, halka yerine kullanılan yardımcı sargının akım ve gerilim ve bir de hız sensöründen alınan hız verileri kullanıldı. Ayrıca halka yerine yerleştirilen yardımcı sargısı, küçük gerilim sağlayan bir faz kaydırma devresi ile beslenen gölge kutuplu asenkron motorun dönme yönünü tersine çeviren ve başlama momentini arttıran bir metot sunuldu. Bu metoda göre kontrol edilen gölge kutuplu asenkron motorun dinamik davranışı analiz edilip, simülasyon ve deneysel sonuçları verildi.

**Anahtar Kelimeler:** Gölge kutuplu asenkron motor, Faz kaydırma, Mikrodenetleyici, Yapay sinir ağları, Geriye yayılım algoritması

## The Simulation and Control of a Shaded-Pole Induction Motor Using a Winding Instead of the Ring

### ABSTRACT

Shaded-pole induction motors are widely used in driver system requiring low power, although they have low starting torque and low efficiency. If they are provided with the possibility of increasing the starting torque and efficiency, controlling the speed and reversing the direction of the rotor then their application area will be expanded.

In this study, Artificial Neural Network (ANN) based algorithm was used to estimate the speed of a shaded pole induction motor using a winding instead of the ring. In order to speed estimator, current and voltage of stator winding, current and voltage of auxiliary winding (instead of ring) and speed data that were taken from a speed sensor were used. Moreover, a method of increasing the starting torque, reversing the speed of a shaded pole induction motor replacing the short-circuited winding (ring) on the shaded-pole with a winding fed by a low voltage source through a phase shifting circuit has been presented. In addition, dynamic behavior of shaded-pole induction motor with two inputs has been analyzed and simulation and experimental results have been given.

**Keywords:** Shaded-pole induction motor, Phase shifting, Microcontroller, Artificial neural networks, Back propagation algorithm

### 1. GİRİŞ

Gölge kutuplu asenkron motorlar aspiratörler, slayt projektörleri, fotokopi makineleri ve küçük ev aletlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Bunun başlıca nedenleri bakıma, onarıma, yardımcı aygıtlara ihtiyaç duymamaları ve ucuz olmalarıdır. Bu üstünlüklerine karşın kalkış momentleri, verimleri (%5-%35) küçük ve kısa devre halkası tek olanların devir yönünü değiştirme imkanının olmaması gibi arzu edilmeyen özellikleri de bulunmaktadır.

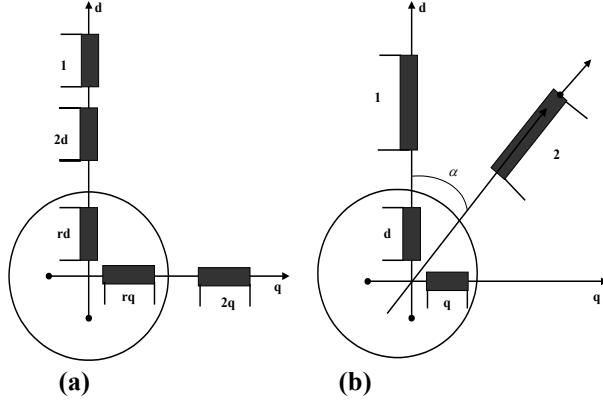
Eğer devir yönü ve hız ayarı değiştirilebilirse şüphesiz bu motorların kullanım alanları da artacaktır. Devir yönünü ve hızını değiştirebilmek için daha önce yapılmış bir çalışmada (1) kısa devre halka yerine bir sargı kullanılmıştır. Bu sargı vasıtasıyla motorun dış ortama bir kapısı daha açılmış olur. Bu kapıdan uygula-

nan gerilimin uyarma sargısına göre fazını kaydırarak hız ayarı ve devir yönü değişikliği sağlanabilir.

Bu çalışmada, gölge kutuplu asenkron motorda açılan bu ikinci kapının geriliminin fazını mikro denetleyici veya bir analog devre yardımıyla kaydırarak başlama momentinin arttırılması metodu, dönme yönünün tersine çevirme ve motorun hız kontrolü sunulmuştur ve iki girişli gölge kutuplu motorun dinamik davranışının analizi bir metotla ortaya konmuştur. YSA, makinenin parametrelerine ve matematiksel modeline ihtiyaç duymaksızın doğrudan deneysel verilerden makinenin yaklaşık matematiksel modelini bazı öğrenme algoritmalar yardımıyla belirlemeye müsaade eden bir yapay zeka metodudur. Bu çalışmada ayrıca 9 girişli, 15 gizli katmanlı ve bir çıkışlı olan, geriye yayılım öğrenme algoritmasını kullanan çok katmanlı YSA temelli bir metotla gölge kutuplu asenkron motorun hız tahmini yapıldı.

## 2. GÖLGE-KUTUPLU ASENKRON MOTORUN MATEMATİKSEL MODELİ

Genelleştirilmiş elektrik makineleri kuramı kullanılarak Şekil.1 a.'da gösterilen gölge kutuplu motorun (1), durum denklemlerini elde etmek için  $\omega_e$  elektriksel açısal hız olarak alınırsa empedans matrisi  $Z(p)$  şu şekilde ifade edilebilir.



Şekil 1. Gölge kutuplu motorun d-q eksen sisteminde gösterimi

$$Z(p) = \begin{bmatrix} R_1 + L_1 p & M_{12d} p & 0 & M_{1r} p & 0 \\ M_{12d} p & R_2 + L_{2d} p & 0 & M_{2rd} p & 0 \\ 0 & 0 & R_2 + L_{2q} p & 0 & M_{2rq} p \\ M_{1r} p & M_{2rd} p & M_{2rq} \omega_e & R_r + L_r p & L_r \omega_e \\ -M_{1r} \omega_e & -M_{2rd} \omega_e & M_{2rq} p & -L_r \omega_e & R_r + L_r p \end{bmatrix}$$

Burada  $p = d/dt$  olarak alınmıştır. Şekil 1.a.'daki  $I_{2d}$  ve  $I_{2q}$  akımları, Şekil.1 b.'de gösterilen konum açısı  $\alpha$  ve  $I_2$  akımları cinsinden şöyle yazılabilir.

$$I_{2d} = I_2 \cos \alpha \quad , \quad I_{2q} = I_2 \sin \alpha$$

Böylece şekil 1.a. ve şekil 1.b.'deki akımlar arasındaki ilişki,

$$[I] = [C] \cdot [I'] \quad (1)$$

şeklinde kurulabilir.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_{2d} \\ I_{2q} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

Buradan transformasyon matrisi  $[C]$  ve onun transpozesi  $[C]_t$  ile şekil 1.b için  $[Z'(p)]$  empedans matrisi,

$$[Z'(p)] = [C]_t \cdot [Z(p)] \cdot [C] \quad (2)$$

dır. Böylece,

$$[V'] = [Z'(p)] \cdot [I'] \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + L_1 p & M_{12d} \cos \alpha p & M_{1r} p & 0 \\ M_{12d} \cos \alpha p & R_2 + (L_{2d} \cos^2 \alpha + L_{2q} \sin^2 \alpha) p & M_{2rd} \cos \alpha p & M_{2rq} \sin \alpha p \\ M_{1r} p & M_{2rd} \cos \alpha p + M_{2rq} \omega_e \sin \alpha & R_r + L_r p & L_r \omega_e \\ -M_{1r} \omega_e & -M_{2rd} \omega_e \cos \alpha + M_{2rq} \sin \alpha p & -L_r \omega_e & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

ile Şekil.1 b.'ye geçmiş olunur.

Makinenin dinamik davranışını tahmin etmek için (3) eşitliğine ek bir eşitlik gerekmektedir. Bu yüzden hareketin mekanik denklemi de hesaba katılmalıdır. Moment ifadesinde gerekli olan  $[G]$  katsayı matrisini elde etmek için,

$$[Z'(p)] = [R] + p[L] + \omega_e \cdot [G] \quad (4)$$

şeklinde ayrıştırırsak  $[G]$ 'yi bulabiliriz. Burada moment,  $T_e = [I']_t \cdot [G] \cdot [I']$  (5)

şeklinde ifade edilir. Ayrıca hareket denkleminde

$$P \omega_e = P_0 / J \cdot (T_e - T_L) \quad (6)$$

ifadesi elde edilir.

Burada  $T_e$ ,  $T_L$ ,  $J$  ve  $2P_0$  sırasıyla geliştirilen moment, yük momenti, atalet momenti ve kutup sayısını gösterir. Gölge kutuplu makinenin dinamik davranışını analiz etmek için (3), (6), diferansiyel denklemleri sabit değişkenleri  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_d$ ,  $I_q$  ve elektriksel açısal hız  $p \omega_e = d \omega_e / dt$  ilk şartlar altında dört adımlı Runge-Kutta yöntemiyle çözüldü ve MATLAB programı yardımıyla simülasyonu yapıldı. Ayrıca laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapıldı.

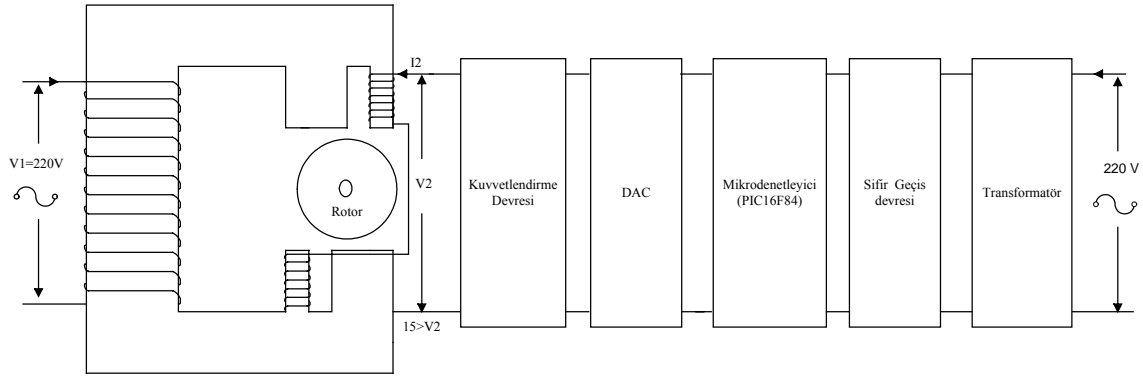
## 3. GÖLGE SARGIYA UYGULANAN GERİLİMİN FAZINI KAYDIRMA

### 3.1. Mikrodenetleyici ile Faz Kaydırma

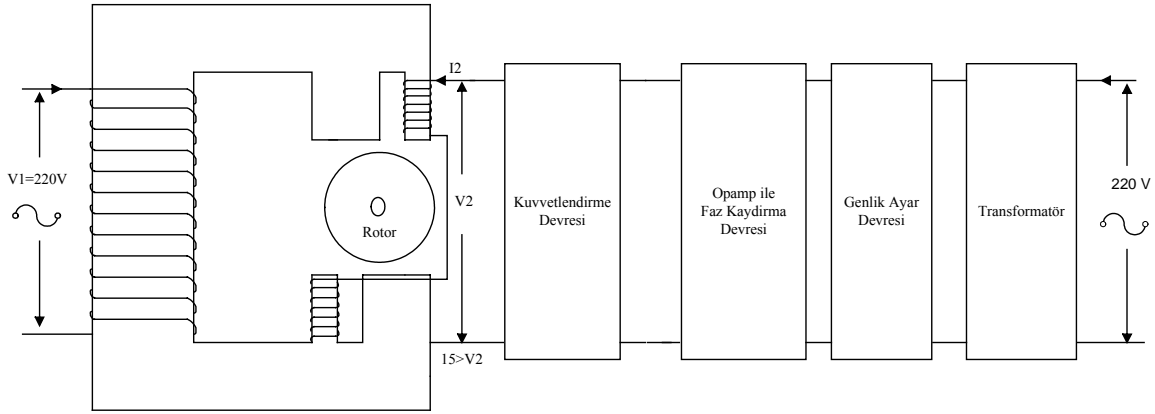
Gölge kutuplu asenkron motorun başlama momentinin artırılması, dönme yönünü tersine çevirmek için kısa devre halka yerine, halkanın aynı kesitsel alanına sahip bir sargı yerleştirilir. Bu motorun yerleştirilen gölge sargısına, ana sargıya uygulanan referans gerilime göre  $\pm 90^\circ$ 'lik faz farklı bir gerilim uygulamak için blok diyagramı Şekil.2'de verilen Şekil E.1'deki devre tasarlanmıştır. Faz farkı elde etmek için Microchip firmasının PIC16F84 serili mikro denetleyici kullanılmıştır.

Şekil 2.'de blok diyagramı verilen devrede; ana sargıya uygulanan gerilim transformatör yardımıyla düşürülerek sıfır geçiş anını algılayacak bir devre yardımıyla PIC16F84 microdenetleyici-sinin RA2 portuna uygulanmıştır. RA3 portuna bağlı olan buton yardımıyla mikro denetleyici  $-90^\circ$  faz farklı sinüs ürettiği için  $+90^\circ$  faz farklı bir sinüs üretmek için kullanılmıştır. Mikro denetleyicinin 8 bitlik B portu çıkış, 5 bitlik A portu giriş seçilmiştir.

Devreye enerji verildiğinde mikro denetleyici sıfır geçişini algıladıktan sonra  $-90^\circ$  (geri faz) bir faz



Şekil.2 Mikro denetleyici ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı



Şekil.3 Analog bir devre ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı

farkı elde etmek için 5ms'lik bir gecikme sağlanır. Bu gecikme sonunda sinüs çevrim tablosundaki ilk veri B portuna gönderilir ve  $50 \mu$ 's'lik bir gecikmeyle tablodaki diğer veriler sırasıyla B portuna gönderilir. Her periyot (20ms)'de bir bu işlem tekrarlanır. RA3 butonuna basıldığında mikro denetleyici tekrar sıfır geçişini algılayarak,  $+90^0$  (ileri faz)'lık bir faz farkı elde etmek için 15 ms'lik bir gecikme oluşturulur. Bu gecikme sonunda tekrar sinüs çevrim tablosundaki verileri  $50 \mu$  s'lik gecikmelerle B portuna gönderir. B portundan alınan verileri analog değere çevirmek için bir DAC (Sayısal Analog Dönüştürücü) kullanılmıştır. Alınan bu gerilim bir kuvvetlendirme devresi yardımıyla motorun gölge sargısına uygulanmıştır.

### 3.2. Analog Bir Devre İle Faz Kaydırma

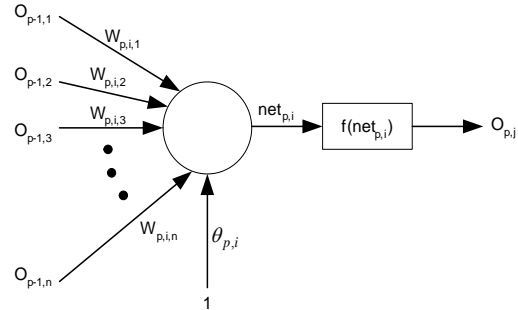
Gölge kutuplu asenkron motorun ana sargısına uygulanan gerilim referans alınarak, gölge sargının fazını Analog bir devre yardımıyla kaydırabiliriz. Analog devre ile yaklaşık olarak  $\pm 180^0$  arasında faz kaydırmayı gerçekleştiren devrenin Şekil 3.'de blok diyagramı, devrenin açık şeması ise Şekil E.2'de verilmiştir.

Şekil E.2'de verilen devrede; ana sargıya uygulanan gerilim, transformator yardımıyla düşürülüp,  $R_1, R_2, R_3$  gerilim bölücü dirençler üzerinden  $P_1$  potansiyometresi yardımıyla fazı kaydırılacak gerilimin genliği

ayarlanır. Bu gerilim  $P_2$  potansiyometresi ile yaklaşık olarak  $0^0$  ile  $-180^0$  arasında faz kaydırmayı,  $P_3$  potansiyometresi ile de yaklaşık olarak  $0^0$  ile  $+180^0$  arasında faz kaydırmayı gerçekleştirebiliriz. Fazı kaydırılan gerilimi kuvvetlendirme devresi üzerinden gölge sargıya uygularız.

### 4. YSA KAVRAMLARI

Önerilen bir çok YSA modelleri vardır. Ancak ileri beslemeli yapay sinir ağları (İBYSA) çok kullanılan bir mimarıdır. Standart bir nöronun yapısı Şekil.4 de gösterilmiştir.

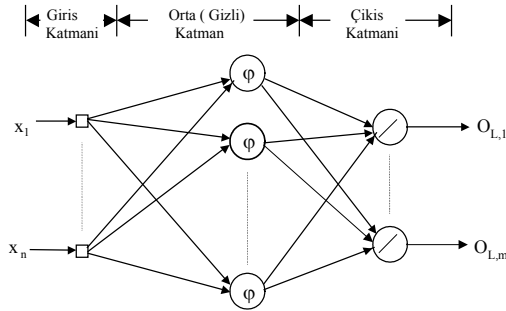


Şekil 4. Temel bir nöronun yapısı

Bir eşik fonksiyon  $f(\text{net}_{p,i})$  ya sigmoid yada lineer olabilir. P'ninci katmanın i'ninci nöronu için denklem yapısı şu şekildedir.

$$\text{net}_{p,i} = \sum_{k=1}^n w_{p,i,k} o_{p-1,k} + \theta_{p,i} \quad (7)$$

Burada  $O_{p,i} = f(\text{net}_{p,i})$ ,  $O_{p,i}$  çıkıştır.  $O_{p-1,i}$ , (p-1)'inci katmandaki k'nıncı çıkıştır.  $w_{p,i,k}$ , (p-1)'inci katmanın k çıkışından p'ninci katmanın i'ninci çıkışına olan ağırlığıdır.  $\theta_{p,i}$ , bias dir. Bu nöronlar Şekil.5 de görüldüğü gibi katmanları oluşturur. Ölçeklendirilmiş veri, giriş katmanının nöronundan ağa girer ve bir sonraki katmanlara doğru çıkış çoğalır. Her bir bağlantı ağırlıkla ilişkilidir. Ağırlık, işaretin gerilimini modife etmek için hareketlenir. YSA yı eğitmek için değişik öğrenme algoritmaları vardır. Geriye yayılım sınıflandırma en popüler öğrenme tekniğidir. Burada gradiyent descent metodu kullanılır. Bu metodun avantajı, basit ve anlaşılması kolay olmasıdır. Dezavantajı ise, yakınsama hızı yavaştır. Ayrıca geriye yayılım sınıflandırma yeterince sağlam değildir ama anlaşılması kolaydır.



Şekil 5. İleri beslemeli YSA (İBYSA)'nın mimarisi

Geriye yayılım algoritmasının öğrenme fazında, ağırlıklar standart geriye doğru hata yayılım algoritması kullanılarak yenilenir ayrıca geliştirilmiş delta kuralı olarak da bilinir. Bu sistem ilk olarak kendi çıkış vektörünü üretmek için giriş vektörünü kullanır ve sonra bunu arzu edilen çıkışla veya hedef vektörle karşılaştırır. Eğer fark yoksa öğrenme olmaz. Diğer bir deyişle ağırlıklar farkı azaltmak için değişir. Şimdi problem toplam ortalama karesel hata (E)'yi minimize etmektir.

$$E = 1/2 * \sum_{k=1}^n (T_{L,k} - O_{L,k})^2 \quad (8)$$

Burada  $T_{L,k}$ , çıkış katmanında k'nıncı hedef çıkıştır.  $O_{L,k}$ , çıkış katmanında k'nıncı gerçek çıkıştır. Bu hata her bir ağırlığa göre E'nin kısmi türevini alarak minimize edilebilir. Geliştirilmiş delta kuralı, toplam küçük hata, tanımlanan küçük bir değerden daha küçük olana kadar sinir ağlarının ağırlıklarını yenilemek için kullanılır.

## 5. YSA TEMELLİ HIZ TAHMİN EDİCİ İÇİN ÖNERİLEN METOD

9 girişli, orta katmanında 15 nöron bulunan ve 1 çıkışa sahip bir çok katmanlı YSA modeli, gölge

kutuplu motorun hızını tahmin etmek için kullanıldı. Önerilen YSA temelli hız tahmin edicisinin mimarisi Şekil.6 da verildi. Ölçülen stator akımı ve gerilimi, yardımcı sargının akım ve gerilimi ve rotor hızının önceki değeri YSA temelli hız tahmin edicinin girişleri olarak seçildi.  $V1(k)$ ,  $V1(k-1)$ ,  $V2(k)$ ,  $V2(k-1)$ ,  $I1(k)$ ,  $I1(k-1)$ ,  $I2(k)$ ,  $I2(k-1)$ ,  $n(k-1)$ . Bir hız sensöründen alınan rotor hızı ise çıkış olarak seçildi. Eğitim için geriye yayılım algoritması kullanıldı.

Eğitim esnasında, her bir giriş ve çıkış için 5000 veri kullanıldı. Önerilen YSA temelli metodun ortalama karesel hatası 0.003 olarak seçildi. 250000 yaklaşımdan sonra bu çıkışlar elde edildi. Ayrıca, momentum katsayısı 0.98 ve öğrenme oranı 0.05 olarak seçildi.

Yüksek değerlikli verileri normalize etmek için bir algoritma kullanıldı. Standart sapma yaklaşık olarak birim aralığında iken, bu normalizasyon algoritmasını kullanmak, giriş vektörünün tüm elemanlarının çıkış vektörünün ortalaması yaklaşık olarak sıfır olacak bir şekilde çıkış vektörüne dönüştürülmesini sağlar.

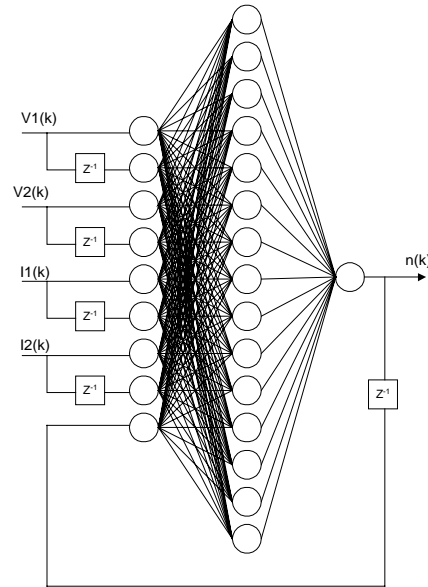
$x_i$  vektörünün tüm elemanlarının ortalaması ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

Böylece standart sapma,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}} \quad (10)$$

olarak hesaplanır. Giriş vektörü x aşağıdaki algoritma yardımıyla normalize edilmiş çıkış vektörü  $x'$  ye dönüştürülür.



Şekil 6. YSA temelli hız tahmin edicisinin mimarisi

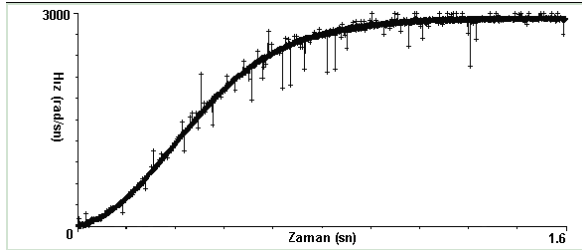
$$x'_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad i \in N(\sigma_x \approx 1, \mu_x \approx 0) \quad (11)$$

Giriş ve orta katmanın aktivasyon fonksiyonu tansigmoid iken çıkış katmanın aktivasyon fonksiyonu lineerdir. Gizli katman sayısı deneme yoluyla seçildi.

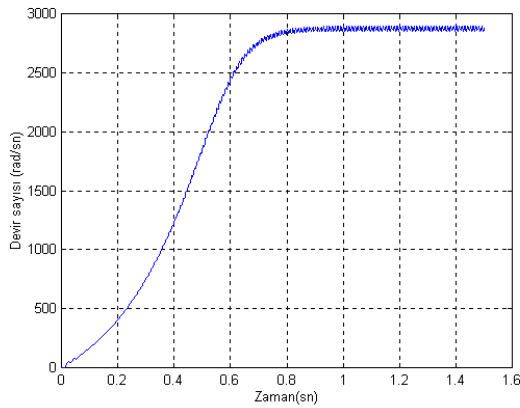
## 6. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR

Gölge kutuplu asenkron motorların başlama momentini arttırabilme, hız kontrolü ve dönme yönünü tersine çevirebilmek için, tek ( $V_2=0$ ) ve çift ( $V_2 \neq 0$ ) girişli gölge kutuplu motorların dinamik performansı deneysel ve simülasyon olarak incelendi. (Şekil. 7- 17) Simülasyon sonuçları için Matlab 5.3 paket programı kullanıldı. Deneysel sonuçlar, takogeneratörden alınan veriler DMS2 (Data Management System) seti yardımıyla bilgisayar ortamına atılarak elde edildi.

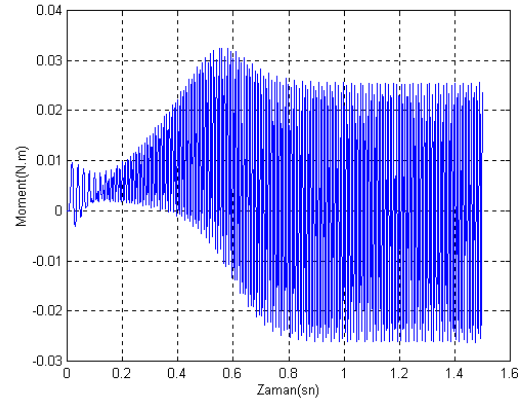
Ayrıca, YSA temelli geriye yayılım algoritması yardımıyla halka yerine sargı kullanan gölge kutuplu asenkron motorun hız tahmini için, eğitim verileri olarak, stator akım ve gerilimi, halka yerine kullanılan yardımcı sargının akım ve gerilimi ve birde hız sensöründen alınan hız verileri Şekil. 18 de verilmiştir. Eğitimden sonra, test verileri kullanılarak hız tahmin edicinin doğruluğunu göstermek için, hız tahmin edicinin çıkışı, gerçek çıkış ve ikisi arasındaki fark (hata) Şekil. 19-20'de gösterildi ve önerilen metot yardımıyla iyi sonuçlar elde edildiği görüldü.



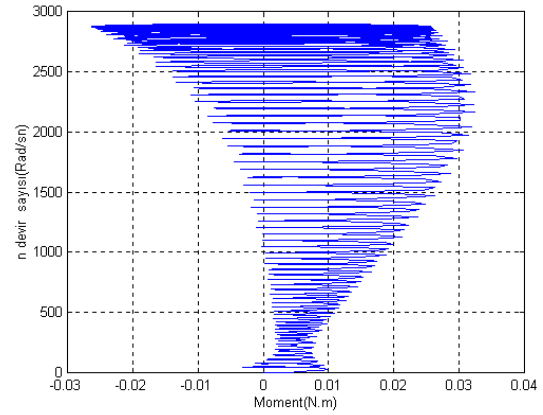
Şekil 7. Gölge kutubu halkalı makinenin deneysel Hız-Zaman karakteristiği ( $V_2=0, T_L=0$ )



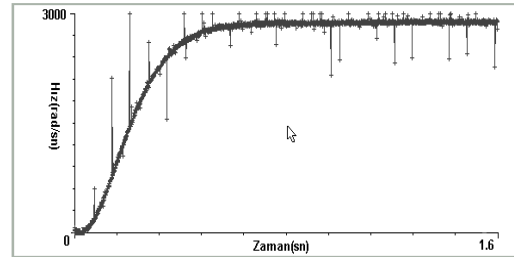
Şekil 8. Gölge kutubu halkalı makinenin Hız-Zaman karakteristiği ( $V_2=0, T_L=0$ )



Şekil 9. Gölge kutubu halkalı makinenin Moment-Zaman karakteristiği ( $V_2=0, T_L=0$ )

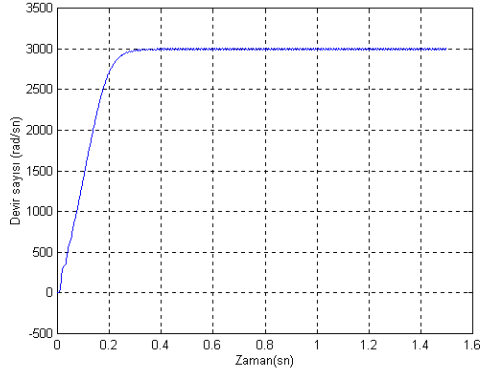


Şekil 10. Gölge kutubu halkalı makinenin Hız-Moment karakteristiği ( $V_2=0, T_L=0$ )



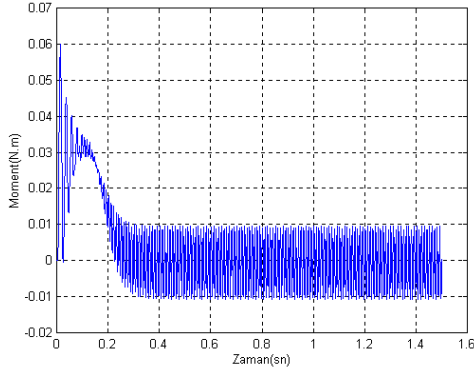
Şekil 11. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinenin deneysel Hız-Zaman karakteristiği

$$(V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



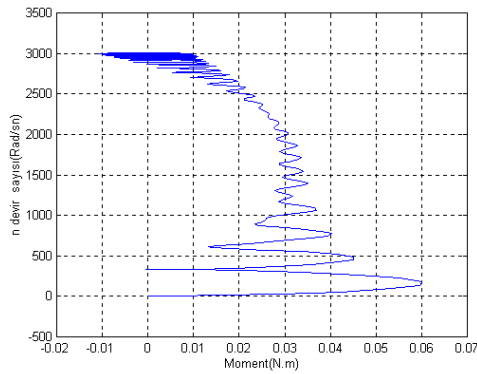
Şekil 12. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinenin Hız-Zaman karakteristiği

$$(V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



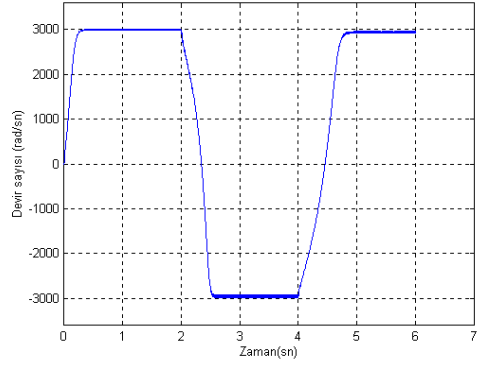
Şekil 13. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinenin Moment-Zaman karakteristiği

$$(V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 14. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinenin Hız- Moment karakteristiği

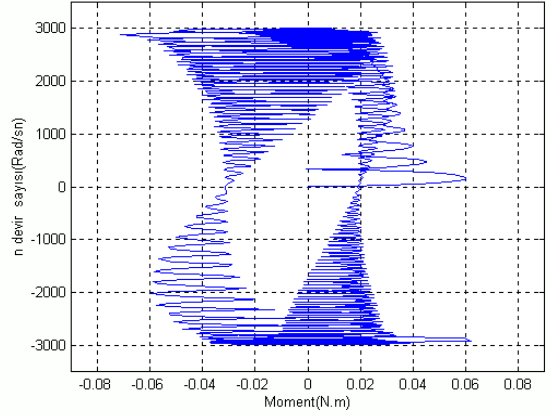
$$(V_2=8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 15. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinenin Hız-Zaman karakteristiği

$$(t=0-2sn \text{ ve } 4-6sn' \text{ de } V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}),$$

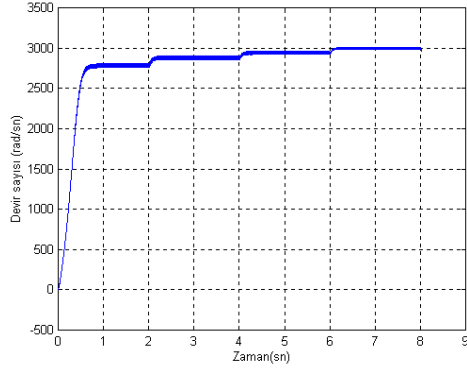
$$t=2-4sn' \text{ de } V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 16. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinenin Hız-Moment karakteristiği

$$(t=0-2sn \text{ ve } 4-6sn' \text{ de } V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}),$$

$$t=2-4sn' \text{ de } V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



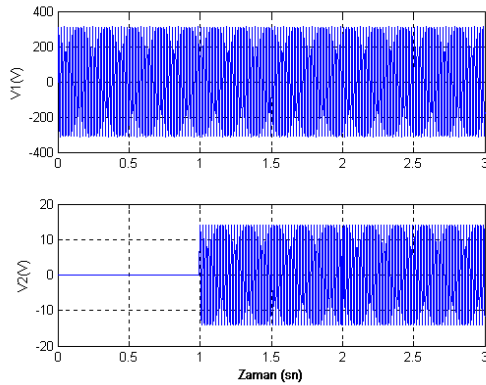
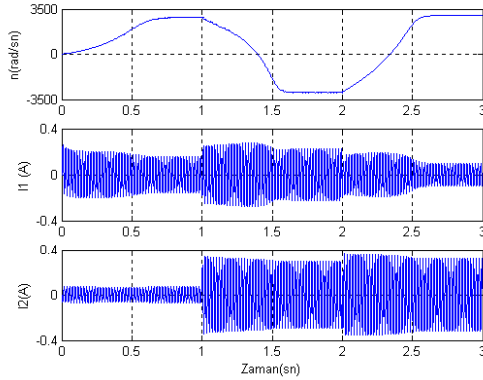
Şekil 17. Gölge sargıya uygulanan faz farklı gerilimler ile kontrol edilen makinenin Hız- Zaman karakteristiği

$$(t=0-2sn'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{6}),$$

$$t=2-4sn'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{4}),$$

$$t=4-6sn'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{3}),$$

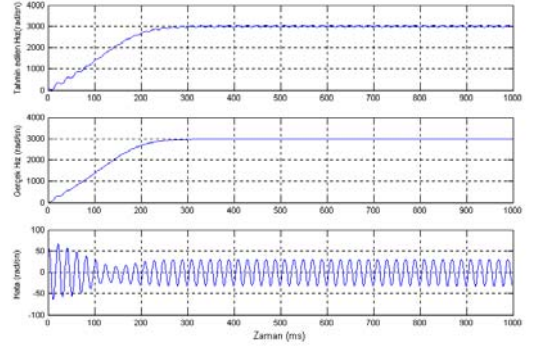
$$t=6-8sn'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 18. Eğitim verileri ( n, I1, I2, V1, V2)

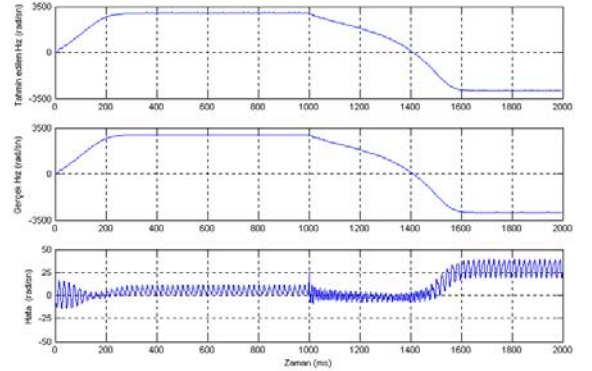
$$(t=0-1s V_2=0, t=1-2s V_2= 10\sqrt{2} \sin(wt+\frac{\pi}{2}), t=2-3s V_2$$

$$= 10\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 19 1000 test verisi için , YSA temelli tahmin edilen hız, Gerçek hız ve Hata - zaman karakteristiği

$$(t=0-1s V_2= 10\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2}), T_L=0)$$



Şekil 20 2000 test verisi için , YSA temelli tahmin edilen hız, Gerçek hız ve Hata - zaman karakteristiği.

$$(t=0-1s V_2= 10\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2}), t=1-2s V_2= 10\sqrt{2} \sin(wt+\frac{\pi}{2}), T_L=0)$$

## 7. SONUÇLAR

Gölge kutuplu asenkron motorda açılan ikinci kapağın gerilimin fazını mikro denetleyici ve elektronik bir sürme devresi yardımıyla kaydırarak elde edilen simülasyon ve deneysel sonuçlara göre,

- Başlama momenti yaklaşık olarak altı kat artmıştır.
- Rotorun hızı ayarlanabilir.  $V_1$ 'e göre  $V_2$ 'nin fazını  $-\frac{\pi}{6}$ ,  $-\frac{\pi}{4}$ ,  $-\frac{\pi}{3}$ ,  $-\frac{\pi}{2}$  kaydırarak motorun hızı artırılabilir.
- Gölge kutuplu motor dört bölge çalışırken;

1. Ana sargı tarafından akım yön değiştirirken çekilen akım artar. Fakat bu zararlı değildir. Çünkü bu sargı yeterli dirence sahiptir.

2. İleri fren modunda motor daha yüksek harmoniklere sahip bir fren momenti üretir ve beslemeden çekilen reaktif güç artar.
3. Geri hareket modunda geliştirilen moment ileri hareket modundakine oranla daha fazla harmonik içerir.
4. Geri fren modunda fren momenti, harmonikleri hariç tutarsak ileri frenleme modundaki ile aynı olur.
5. Geri fren modunda, ileri hareket moduna geçiş esnasında  $n=0$ 'daki moment yaklaşık olarak başlama momentine eşittir.
  - Gölge kutuplu makinanın dinamik performansı d-q eksen gösterimi ile tahmin edilebilir ve hatanın sınırı %10'dan daha az olur.
  - Kısa devre olmayan bir sargı ikinci bir girişle motora destek sağlar. Buna göre, başlama ve fren momenti artar, döner alanın ve rotorun yönü tersine çevrilebilir.

Ek olarak, YSA temelli hız tahmin edici yardımıyla halka yerine sargı kullanan gölge kutuplu asenkron motorun hız tahmini, sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymaksızın büyük bir doğrulukla elde edildi. Gerçek ve YSA temelli hız tahmin edici çıkışları arasındaki hata'nın kabul edilebilir olduğu görüldü. YSA temelli sistemin paralel yapısı ve hızlı cevap vermesi yüzünden gerçek zamanlı sistemler için uygun olduğu söylenebilir.

## 8. KAYNAKLAR

1. Akpınar S. and Kaya İ. "A Method of Increasing the Starting Torque, Reversing the Direction and Controlling the Speed for the Shaded Pole Induction Motor" Electric Machines and Power Systems, 20:321-338,1992
2. ERDEM A. and AKPINAR S., "Mikrodenetleyici ile Halka Yerine Sargı Kullanılan Gölge Kutuplu Asenkron Motorun Kontrolü", Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, S. 1-4, 19-23 Eylül 2001, Kocaeli.

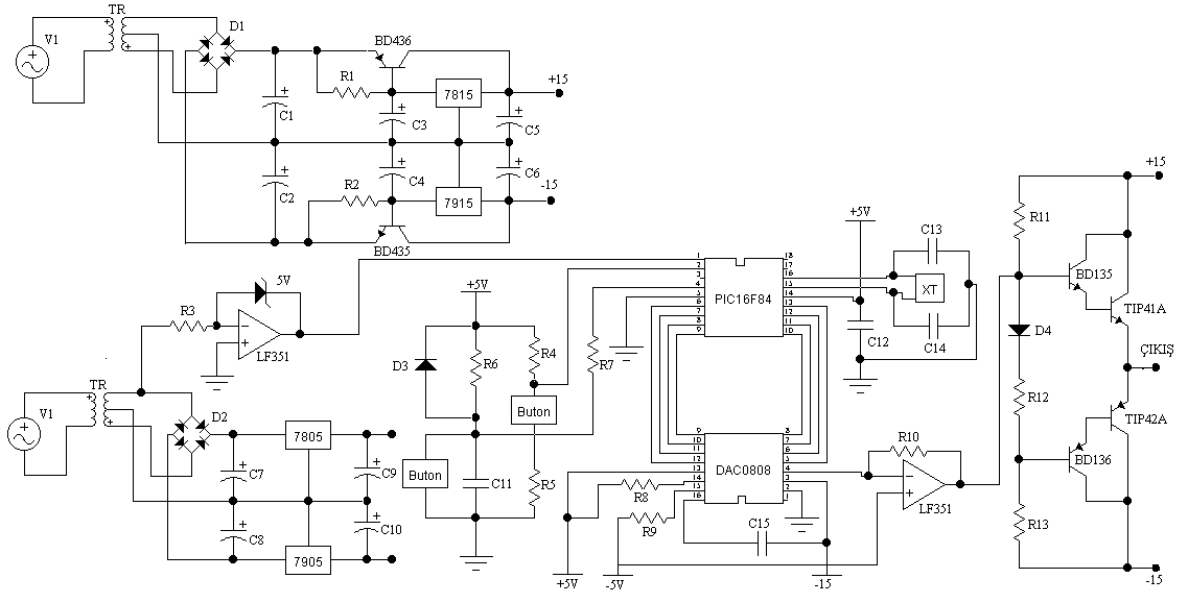
3. Nasar S.A, Handbook of Electric Machines, Mc Graw Hill Book Co. 1987
4. Predko M., Programming and Customizing the IC Microcontroller, McGraw Hill, 1998
5. Desai B.G and Mathew M.A , "Transient Analysis of Shaded pole Motor" IEEE Transaction on Power Apparatus and System. Vol. Pas-90, No:2, 1971
6. Krause P.C. Analysis of Electric Machinery, McGraw Hill, 1987
7. Osheiba A.M, Ahmed K.A and Azizur Rahman M."Performance Prediction of Shaded Pole Induction Motors" IEEE Transaction on Industry Application. Vol.27, No : 5, 1991
8. Haykin Simon, "Neural networks, A comprehensive foundation", IEEE Press, 1994.
9. The Math Works Inc. The Student Edition of MATLAB 1992

## EKLER

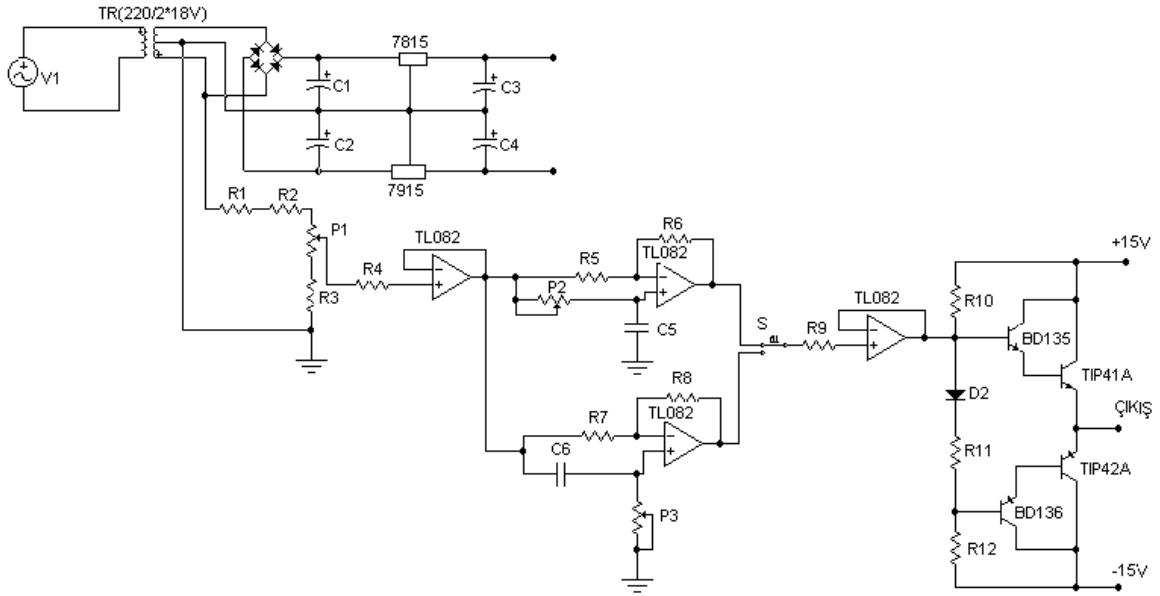
### EK 1. Motor Parametreleri

Ana sargı direnci	$R_1 = 310 \Omega$
Gölge sargı direnci	$R_2 = 1012 \Omega$
Rotor sargı direnci	$R_r = 974 \Omega$
Pozisyon açısı	$\alpha = 37.5^\circ$
Motorun eylemsizlik mom.	$j = 0,0000185 \text{ kg.m}^2$
Ana sargı öz indüktansı	$L_1 = 9,89H$
Gölge sargı öz indüktansı	$L_2 = 7,317H$
Rotor öz indüktansı	$L_r = 7,53H$
Rotorla ana sargı arasındaki ortak indüktans	$M_{1r} = 7,53H$
Rotorla gölge sargı arasındaki ortak indüktans	$M_{2r} = 4,29H$
Gölge sargı ile ana sargı arasındaki ortak indüktans	$M_{12} = 6,7H$





Şekil. E.1 Mikrodenetleyici ile gerçekleştirilen faz kaydırma devresi



Şekil. E.2 Analog bir devre ile faz kaydırma devresi