

## **Anahtarlamalı Relüktans Motor Manyetik Akısının**

### **Yapay Sinir Ağı Tabanlı Modellenmesi**

**Uğur Güvenc**

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara  
ugurguven@gazi.edu.tr

**Özet:** Anahtarlamalı Relüktans Motorlar (ARM) ayarlı hız uygulamalarında gittikçe artan bir ilgiye sahiptirler. ARM'nin dinamik karakteristikleri çalışma şartlarında farklılık göstermektedir. Son zamanlarda, ARM'lerden yüksek performans elde edilebilmesi için manyetik devresinin modellenmesinde bir çok metod önerilmiştir. Ancak, ARM doğrusal bir yapıya sahip olmadığından bu yöntemler yetersiz kalmaktadırlar. Bu makalede, doğrusal olmayan ARM manyetik akısını modellemek için YSA tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, modellemenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Anahtarlamalı Relüktans Motor, Yapay Sinir Ağları, Doğrusal Olmayan Modelleme

#### **An Artificial Neural Network Based Modeling Of Switched Reluctance Motors Flux Linkage**

**Abstract:** Switched Reluctance Motors (SRMs) are getting increasing attention in variable speed applications. The SRMs dynamic characteristics vary as condition change. So far, several methods of modeling of the magnetic circuit of the SRMs have been proposed for getting high performance. Due to nonlinear characteristics of the SRM, this cannot be adequately described by these models. In this paper, an Artificial Neural Network (ANN) based modeling of a Switched Reluctance Motor (SRM) flux linkage has been presented. Simulations results show very good agreement with measured results.

**Keywords:** Switched Reluctance Motor, Artificial Neural Network, Nonlinear Modeling

#### **1. Giriş**

ARM basit ve dayanıklı yapısı, ucuz imalatı, düşük ataleti, yüksek hızı ve verimi ile değişken hız uygulamalarında, diğer motorlar arasında güçlü bir aday haline gelmiştir. Uygulama alanları arasında, ofis araçları, uzay araçları, elektrikli otomobiller, radarlar, madencilik teknolojileri, otomatik kapı sistemleri, su pompaları ve elektrikli ev cihazları sayılabilir. ARM'lerin en önemli karakteristik özelliği, rotor pozisyonu ve akım genliğine bağlı olarak manyetik devresinin doğrusal olmayan yapıda olmasıdır [1]. Bu yüzden motor manyetik akısının gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi, ARM'den yüksek performans sağlayacaktır.

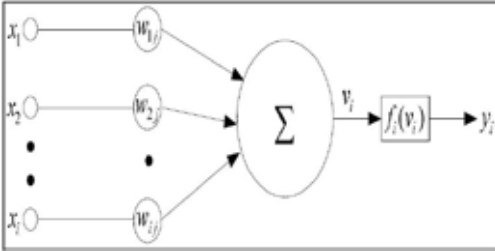
ARM'nin doğrusal olmayan yapısını modellemek için farklı yaklaşımlar kullanılarak motor için en uygun model elde edilmeye çalışılmıştır. Uematsu ve Wallace, çeşitli akım kademeleri ve rotor pozisyonlarında ARM'nin koenerjisini hesaplamak için sonlu element analiz yöntemini kullanmışlardır [2]. Faiz ve Finch, ARM'nin kaba torkunu hesaplamak için manyetik devre kavramını kullanmışlardır [3]. Moallem ve arkadaşları, ARM'nin performansını tahmin etmek için geliştirilmiş bir manyetik eşdeğer metodunu kullanmışlardır [4]. Panda ve Amaratunga, manyetik akı daltalarının eğri uydurmasında kosinüs serilerini kullanmışlardır [5].

Bu çalışmada, normalde bir doğrusal olmayan özellik gösteren ARM'nin manyetik akısı YSA kullanılarak modellendi. Benzetim sonuçlarına göre YSA tabanlı modelleme diğer modelleme metodlarının iyi bir alternatifi olduğu sonucuna varılmıştır.

## 2. Yapay Sinir Ağları

YSA'lar, insan beynin fizyolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bilgisayar programlarıdır. YSA genel olarak model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırılması gibi işlerde başarılıdır [6].

YSA'larındaki işlem elemanları basit sinirler olarak adlandırılır. Bir sinirin yapısı ağırlıklar, toplama işlevi ve etkinlik işlevi olmak üzere 3 bölümden oluşur. Şekil 1'de sinir ağlarında kullanılan genel bir sinir modeli verilmiştir.



Şekil 1. Yapay bir sinir

Girişler, çevreden aldığı bilgiyi sinire getirir. Ağırlıklar, yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Toplama işlevi, sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamalarını etkinlik işlevine gönderir.

$$v_i(t) = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_j(t) + \theta_j \quad [1]$$

Toplama işlevinin sonucu, etkinlik işlevinden geçirilip çıkışa iletilir. Sonuç olarak nöron çıkışının denklemi ise aktivasyon fonksiyonunun değerine göre,

$$y_i = f(v_i) \quad [2]$$

olur. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisinde ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Öğrenme yöntemi, bütün işleme elemanlarının anlık hatalarını en aza indirmeye çalışır. Tüm ağıdaki hataya genellikle E ile gösterilir ve şu şekilde yazılabilir.

$$E = \frac{1}{2} \sum (v_i - z_i)^2 \quad [3]$$

Burada; vt istenilen çıktı örneği, zt, gerçek çıktı örneğidir. Danışmanlı öğrenmede gerçek çıkış istenen çıkışla kıyaslanır.

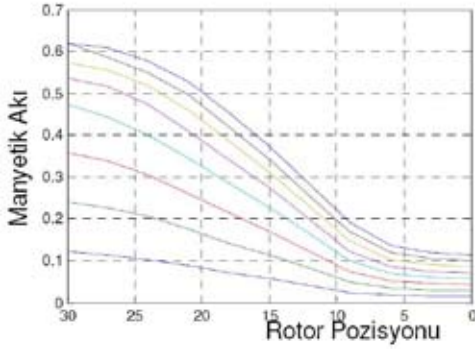
## 3. Manyetik Akı Değişiminin Yapay Sinir Ağı ile Modellemesi

ARM'deki performansı yükseltmek için manyetik devrenin manyetik/rotor pozisyonu/faz akımı (I/f /d/ i) eğrilerini tahmin etmek gerekmektedir. Benzetimi yapılan motor için manyetik akı değişiminin belirlenmesinde faz empedansının ölçümüne dayalı bir ölçme metodu kullanılmıştır [7]. Faz akımlarının 1-8 amper (1 artışlı) ve rotor pozisyonunun 0o-30o (3o artışlı) manyetik değerleri hesaplanıp, elde edilen manyetik akı değerleri Çizelge 1 de ve eğriler Şekil 2 de gösterilmiştir.

		Atım (A)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rotor Pozisyonu	0	0,1219	0,2411	0,3579	0,4728	0,5345	0,5707	0,597	0,6202
	3	0,1142	0,2264	0,3374	0,4429	0,5154	0,5557	0,5856	0,6083
	6	0,103	0,2055	0,3054	0,3999	0,4724	0,5175	0,5506	0,5771
	9	0,0886	0,1753	0,2612	0,3451	0,4103	0,4594	0,4961	0,5278
	12	0,0714	0,1427	0,2137	0,2846	0,3425	0,3872	0,4211	0,4538
	15	0,0573	0,1142	0,1682	0,2263	0,2746	0,3097	0,3424	0,3712
	18	0,0411	0,0819	0,1224	0,1631	0,1993	0,2287	0,2553	0,2824
	21	0,0249	0,0497	0,0745	0,0988	0,1234	0,1464	0,1695	0,1915
	24	0,0171	0,0341	0,051	0,068	0,0849	0,1018	0,1187	0,1355
	27	0,0151	0,0302	0,0453	0,0604	0,0754	0,0903	0,1053	0,1195
	30	0,0144	0,0289	0,0433	0,0577	0,072	0,0863	0,1007	0,115

Çizelge 1. Deneyden ölçülen değerlerden hesaplanan manyetik akı değerleri

ARM'nin bu basit yapısına rağmen, makinenin manyetik akı değişiminin matematiksel model kullanılarak elde edilmesi çok zordur.

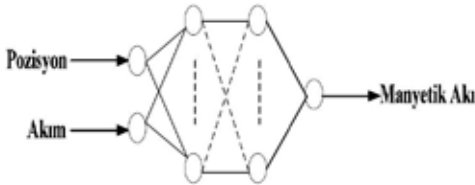


Şekil 2. ARM'nin manyetik akı değişim karakteristiği

### 3.1 YSA Yapısı

Motorun manyetik akı değişiminin modellenmesinde, deneysel düzenden alınan veriler referans olarak danışmanlı öğrenme yöntemi kullanılmıştır.

Bir YSA tasarımında temel amaç, YSA sisteminin mümkün olduğunca basit bir yapıda tasarlanmasına dikkat etmektir. Bu karmaşıklığın artması öğrenme sürecini doğrudan arttırmakta ve yapının performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.



Şekil 3. Manyetik Akının YSA ile modellenmesi

YSA uygulamalarında, en uygun sayıdaki katman ve katmanlardaki sinir sayısını bulmak için her hangi bir kural yoktur. Genellikle sistemin karmaşıklığı, gizli katmanların ve gizli katmanlardaki sinirlerin sayısının artmasıyla giderilir. Çalışmanın başında sinir ağı bir giriş katmanı, bir gizli katmanı ve bir çıkış katmanı olarak üç katmanlı seçilmiştir. Deneme ve yanılma yoluyla bu sistem için en uygun ağ yapısı bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanıdır. Sırasıyla her bir katmandaki

düğüm sayıları ise iki, altı, altı ve bir olarak yeterli bulunmuştur.

Seçilen YSA yapısında, girişlerimiz rotor pozisyonu/faz akımı ( $\theta/i$ ) ve çıkışımız manyetik akı ( $\Psi$ ) olup iki gizli katman (6-6 sinir) kullanılmıştır. Şekil 3' de ARM'nin manyetik akı değişiminin modellenmesi için kullanılan YSA modeli verilmiştir.

YSA'nın eğitilmesi için C Builder programı kullanarak, giriş katmanı maksimum on beş giriş, çıkış katmanı ise maksimum on çıkış olacak sistemlerin eğitilmesinde kullanılabilecek bir paket program hazırlanmıştır. Hazırlanan paket programda bir giriş katmanı, dört gizli katmana ve bir çıkış katmana izin verilmektedir.

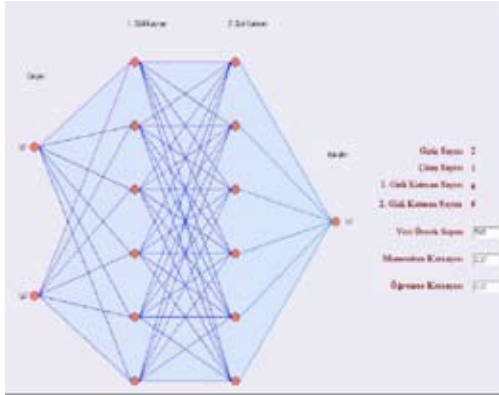
Bu çalışmada kullanılan ağ yapısı Şekil 4 de görülmektedir.

Şekil 4. YSA yapısının belirlenmesi

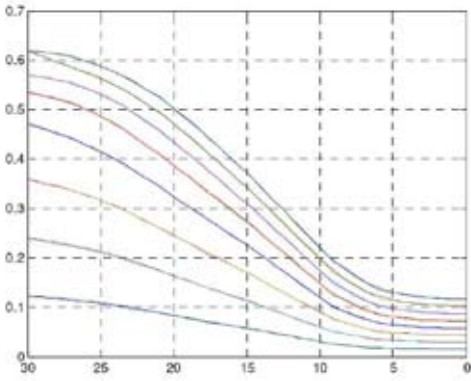
Sistemin ağ yapısı belirlendikten eğitimde kullanılacak öğrenme katsayısı, momentum katsayılarının belirlenmesi ve veri örnek sayısının girilmesi ile ağ eğitime başlar. Şekil 5'de hazırlanan paket programda sistemin eğitilmesi görülmektedir.

YSA tabanlı manyetik akı modelinin başarımını görmek için deneysel düzenden alınan veri

eğrileri ile YSA eğitim sonrası elde edilen eğriler Şekil 6'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Sistemin eğitilmesi



Şekil 6. Manyetik akının karşılaştırılması

#### 4. Sonuç

Tasarlanan bu YSA modeliyle, ARM'nin manyetik akısının en doğru şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. YSA tabanlı manyetik akı modelinin başarımını görmek için deneysel düzenden alınmış veri eğrileri ile YSA eğitim sonrası elde edilen eğriler karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin, ölçümlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, gerçeğe çok yakın bir sonuç ortaya koyduğu sonucuna varılmıştır. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar, manyetik akı değişimi için oluşturulan modellemenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

#### 5. Kaynaklar

[1]. Lawrenson, P.J., Stephenson, J.M., Blenkinsop, P.T., Corda, J., Fulton, N.N., Variable-Speed Switched Reluctance Motors, IEE Proc., 253-265, USA, 1980.

[2]. Uematsu, T., Wallace, R.S., Design Of A 100 KW Switched Reluctance Motor for Electric Vehicle Propulsion, 10th Annual Applied Power Electronics Conf. And Exposition, 411-415, 1995

[3]. Faiz, J., Finch, J.W., Aspects Of Design Optimization For Switched Reluctance Motors, IEEE Transactions of Energy Conversion, 704-713, 1993

[4]. Moallem, M., Nikkhajoei, H., Falahi, M., Predicting The Performance Of A Switched Reluctance Machine Using Improved Magnetic Equivalent Circuit Method, Proc. of the 1995 Int. Conf. On Power Electronics and Drive Systems, 198-201, 1995

[5]. Panda, S.K., Amaratunga, G.A.J., Waveform Detection Techniques For Indirect Rotor Position Sensing Of Switched Reluctance Motor Drives- Part I Analysis, IEE Proa, 80-88, 1993

[6]. Elmas, Ç., Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, Ankara, 22-37, 2003.

[7]. Bay, Ö., F., Anahtarlamalı Relüktans Motorun Bulanık Mantık Tabanlı Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.