

ASENKRON MOTORDA KAÇAK AKILARI AZALTACAK YARIKLI DİŞLİ YENİ BİR NÜVE TASARIMI

Asım Gökhan YETGİN^a, Mustafa TURAN^b, Ali İhsan ÇANAKOĞLU^c

^{a,b} Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya

^c Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya
agyetgin@dpu.edu.tr, turan@sakarya.edu.tr, acanakoglu@dpu.edu.tr

(Geliş/Received: 17.08.2011; Kabul/Accepted: 02.02.2012)

ÖZET

Asenkron motorlar endüstride yaygın bir şekilde kullanılmalarından dolayı birçok ülkenin enerji tüketiminde birinci sırada yer almaktadır. Özellikle son yıllarda asenkron motorlarda enerji tasarrufunun ön plana çıktığı araştırmalar sayesinde yapılabilecek ufak puanlı bir verim artışı bile küresel enerji tasarrufunda önemli bir yer tutacaktır. Bu bağlamda, bu çalışmada asenkron motorun başarımını artırabilmek amacıyla yeni bir nüve tasarımı önerilmiştir. Önerilen yeni tasarımlarda stator ve rotor dişlerinin ortasına yarıklar uygulanmıştır. Oluşturulan yarıklı modellerde yarık derinliği ve genişliği Sonlu Elemanlar Yöntemi (S.E.Y.) kullanılarak F.E.M.M. yazılımı ile optimize edilmiştir. Önerilen yarıklı yapı ile oluşturulan yeni motor modeli ile orijinal motor modelinden elde edilen doyma noktaları, akı halkalarının ve zikzak akıların değişimleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor, Sonlu elemanlar yöntemi, Yarıklı stator, Yarıklı rotor

A NOVEL SLITTED TOOTH CORE DESIGN to DECREASE LEAKAGE FLUX in INDUCTION MOTOR

ABSTRACT

Induction motors, due to the extensive use in industrial applications, are dominant factor in terms of energy consumption in many countries. Especially in recent years, many studies have been realized to achieve higher energy savings in induction motors. Thus, even if a small percentage increases in efficiency would result in a huge amount of energy savings in a global scale. In this work, a new design for the core is proposed to increase the induction motor performance. In the proposed design, slits are inserted between the stator and the rotor teeth. In the slitted models proposed, the slit depth and width are optimized using Finite Element Method in F.E.M.M. (Finite Element Method Magnetics) software. Saturation points, variation of flux leakage and zigzag flux obtained from both proposed and original motor are given in comparison.

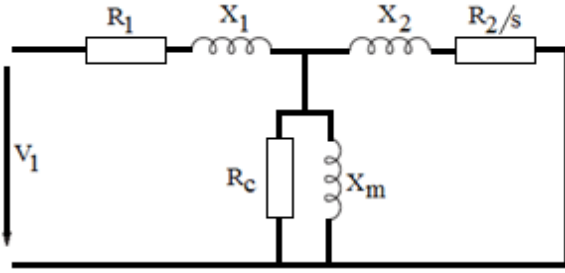
Keywords: Induction motor, Finite element method, Slitted stator, Slitted rotor

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaçak akılar ve bu akıların oluşturduğu reaktansların belirlenmesi, elektromanyetik sistemlerin tasarımında ilgilenilen ana konulardır. Bu akılar devrelerini nüve ve havadan tamamlar ve manyetik sistemlerin ideal olmayan davranışlar sergilemesine sebep olurlar [1].

Asenkron motorlarda kaçak reaktanslar motor başarımına etki eden en önemli parametrelerden

biridir. Özellikle momentin ve akımın değişimi reaktansların değişimine oldukça bağlıdır. Şekil 1’ de verilen asenkron motorun bir faz eşdeğer devre modelinde X_1 , X_2 ve X_m olmak üzere üç farklı reaktans mevcuttur. Analiz açısından $(X_1 + X_2)$ kaçak reaktansı yedi farklı bileşene ayrılır [2] ve hesaplamalarda stator ve rotor kaçak reaktansları stator tarafındaki X_1 reaktansında toplanmıştır. Stator ile rotorun kuplajı ve rotor akımları X_m reaktansı ile tanımlanmıştır.

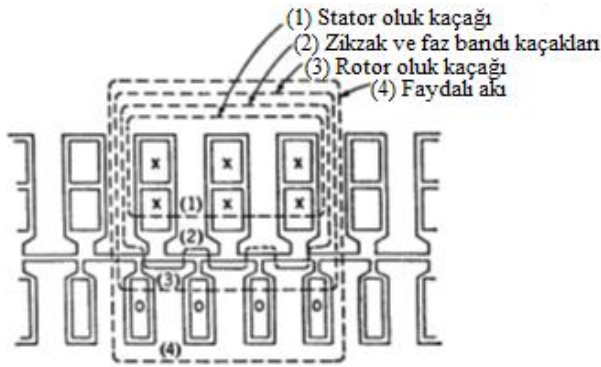


Şekil 1. Asenkron motorun bir faz eşdeğer devresi (Single phase equivalent circuit of the induction motor) [3]

Şekil 1’ de R_1 stator direncini, R_2 statora indirgenmiş rotor direncini, X_1 stator reaktansını, X_2 statora indirgenmiş rotor reaktansını, R_c demir direncini, s kaymayı, V_1 şebeke gerilimini ifade etmektedir.

- Stator oluk kaçak reaktansı
- Rotor oluk kaçak reaktansı
- Zikzak kaçak reaktansı
- Eğrilik kaçak reaktansı
- Faz bandı kaçak reaktansı
- Cephe bağlantısı kaçak reaktansı
- İlave kaçak reaktans

(c), (d), (e) şıkları hava aralığı kaçakları veya diferansiyel kaçak diye adlandırılıp hava aralığı harmoniklerinin neden olduğu kaçaklardır. (g) şıkkı ise dişlerdeki azalan sekonder akım dağılımlarının neden olduğu, tam hızda oluşan ilave reaktanstır. Şekil 2’ de asenkron motorun stator, rotor ve hava aralığı kısımlarında meydana gelen kaçak akı yolları gösterilmiştir.



Şekil 2. Asenkron motorun kaçak akı yolları (Leakage flux paths of the induction motor) [2]

Yüksüz durumda stator akımı küçük ve rotor akımı da pratik olarak sıfır kabul edilebileceğinden, tüm akılar hava aralığını geçerek stator ve rotor dişleri üzerinden manyetik devrelerini tamamlarlar (Şekil 2, 4. çizgi). Yük altında artan rotor akımının hava aralığında oluşturacağı zıt manyetomotor kuvveti (mmk) statorun ürettiği hava aralığı akısını azaltacak yödedir. Bu doğal olarak toplam akının ve endüklenen gerilimin azalmasına neden olur. Bunun

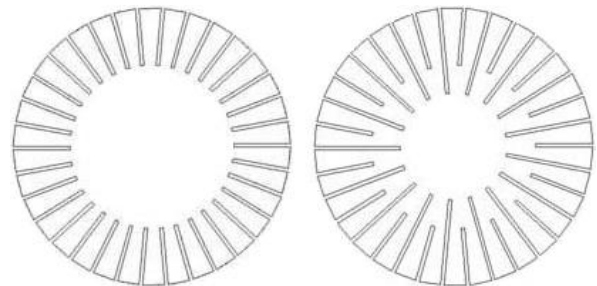
sonucunda hattan daha fazla akım çekilir ve bozulan akı eski değerine döndürülür [4].

Statordaki yük akımı ve buna zıt olan rotor akımı, iki sargı arasındaki oluk ve diş başlarını atlayarak bir kaçak akı yörüngesinde akı akışı oluşturacak şekilde işbirliği yaparlar (Şekil 2, 1, 2 ve 3 nolu çizgiler). Bu akılar rotor akımı arttıkça hava aralığını geçen radyal akıların sapmasına ve rotora giden akı / toplam stator akımı oranının küçülmesine yol açar. Böylece, rotor yüklendikçe stator akısı devresini rotordan tamamlamak yerine hava aralığı yüzeyinde akmaya başlar ve bu akı yük arttıkça artar. Özel bir durum olan ani kısa devre durumunda ise, stator akısının tamamı devresini hava aralığı yüzeyinden tamamıyormuş gibi düşünülebilir [5].

Bu çalışmada, asenkron motorda manyetik akı azalmasını ve beraberinde başarımı bozan kaçak akıları (Şekil 2, 1, 2 ve 3 nolu çizgiler) daha yüksek kaliteli sac kullanmadan azaltmak için, yarıklı diş geometrisi önerilmektedir. Önerilen geometrik tasarım ile kaçak akıların azalacağı ve çalışma başarımının artacağı tahmin edilmektedir.

Şu ana kadar yapılan literatür araştırmaları sonucunda anahtarlamalı relüktans motor, hibrid tahrik senkron motor ve som çelik rotorlu asenkron motorun yarıklı yapı kullanılarak modellendiği tespit edilmiştir. Asenkron motorda ise bu tip bir çalışma şu ana kadar gözlemlenmemiştir. Yarıklı yapı kullanılarak yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

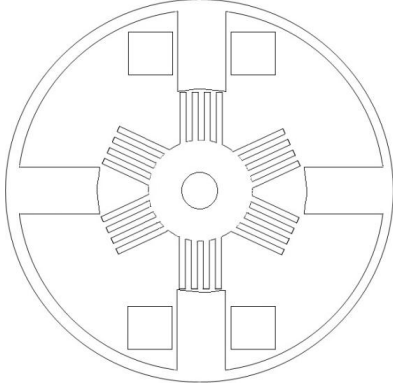
Aho ve arkadaşları çalışmalarında Şekil 3’ de gösterilen yarıklı bir yapıya sahip som çelik rotorlu asenkron motorun yarıklı yapısının başarımına olan etkilerini incelemişlerdir. Yarıklı yapıya sahip rotorun daha iyi bir alan dağılımı verdiğini fakat rotorun mekanik dayanıklılığını azalttığını, ayrıca yarıklı motor yapısının analitik olarak çözümünün zor olduğunu belirtmişlerdir [6].



Şekil 3. Yarıklı yapıdaki som çelik rotorlu asenkron motor (Solid rotor induction motor with slitted construction)

Chan ve Hamid çalışmalarında S.E.Y. kullanarak anahtarlamalı relüktans motor modelini incelemişlerdir. Çalışmada Şekil 4’ de verilen motorun rotor yapısına değişik sayıda yarık açarak akım, moment ve manyetik akı yoğunluğu

değişimlerini incelemişlerdir. Beş yarıklı motor modeli için hem akım hem de moment grafiklerinde tepesi düz bir dalga formu elde edildiğini ve çıkış gücünün % 16 oranında arttığını (akımın tepe değeri artmadan) belirtmişlerdir. Ayrıca yarık sayısı değiştirilerek rotordaki doymanın kontrol edilebileceğini ifade etmişlerdir [7].



Şekil 4. Yarıklı yapıdaki anahtarlamalı relüktans motor (Switched reluctance motor with slitted construction)

Li ve arkadaşları çalışmalarında hibrid tahrik senkron makinasında meydana gelen endüvi reaksiyonunu önlemek amacıyla yarıklı yapı modelini önermişlerdir. Amaç akı yolunu daha uzun yaparak endüvi reaksiyonunun etkisini azaltmaktır. Önerilen yöntem ile endüvi reaksiyonunun azaltılabileceğini belirtmişlerdir [8].

Gessese ve Binder çalışmalarında 2 ve 4 kutuplu som çelik rotorlu asenkron motorların başarımını sayısal olarak analiz etmiş ve aynı hacimdeki sabit mıknatıslı senkron relüktans motorunun ölçülmüş başarımı ile karşılaştırılmıştır. Üç fazlı, 4 kutuplu, eksenel yarıklı, bakır kısa devre halkaları kullanılmış örnek bir som çelik rotorlu asenkron motor imal edip, test etmişlerdir. Benzetim sonuçları 2 kutuplu som çelik rotorlu asenkron motorun 4 kutuplu motora göre daha büyük özgül momente sahip olduğunu göstermişlerdir [9].

2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (FINITE ELEMENT METHOD)

Sonlu Elemanlar Yöntemi (S.E.Y.); elektrik makineleri ve benzeri araçlardaki elektromanyetik olayları analiz etmek için kendini kanıtlamış sayısal bir araçtır. Bu yöntem hava aralığı akı yoğunluğu gibi, makinenin herhangi bir noktasındaki manyetik büyüklüklerin tam olarak değerlendirilmesine olanak tanır [10].

Elektromanyetik problemlerde amaç, alan dağılımlarını belirleyerek buna bağlı olan diğer fiziki büyüklüklere ulaşmaktır. Tasarım aşamasında bu önemli bir noktadır. Elektrik motorlarının tasarımında ve iyileştirilmesinde de alan dağılımlarını hesaplamak

veya bir şekilde ulaşılmak istenen büyüklükleri ölçmek gerekir. Ancak, modelin imalat safhasından sonra sonuç elde etmek, esnek bir tasarım yöntemi olmayacaktır. Zaman ve maliyet kaybına yol açacaktır. Motorun modeli kâğıt üzerinde tasarlandığı anda gerekli hesapların ve ölçmelerin yapılabilmesi gerekir. Bunun için analitik yöntemler kullanılabilir. Ancak geometri analitik çözümü bilinen tarzlara uymuyorsa veya karmaşıksa sayısal hesaplama yöntemlerinden faydalanılır [11].

Hangi yöntem ile çalışmanın uygun olacağına karar vermede, problem için en kısa sürede en doğru sonuca ulaşma, kolay programlanabilme ve kolay kullanılabilme özellikleri etkilidir [12]. Son yıllarda sayısal yöntemlerin ve bilgisayarların gelişmesi ile elektrik makinalarındaki manyetik alanların hesaplanması için sonlu elemanlar yöntemini kullanmak pratik bir hale gelmiştir [13]. S.E.Y. ile karmaşık geometrilere sahip makinelerde manyetik doyma, endüvi reaksiyonunun etkisi, girdap akımları etkisi gibi etkiler göz ardı edilmeden manyetik alan büyüklükleri ve tasarım ölçütleri doğru biçimde belirlenebilmektedir [14].

Bu çalışmada orijinal motor ve önerilen yarıklı motor modellerinin analizleri için 2 boyutlu, lineer olmayan, zaman adımlı sonlu elemanlar yöntemini kullanan F.E.M.M. [15] paket programı kullanılmıştır.

Hareketli kısımların etkisini inceleyebilmek için zaman adımlı analiz seçilmiştir. 2 boyutlu analizde rotorun statora göre olan hareketliliği ancak bu şekilde göz önüne alınabilir [6].

Kartezyen koordinat sisteminde bir asenkron motorun elektromanyetik alanı manyetik vektör potansiyeli (A) ile tanımlanabilir [16].

$$\nabla \cdot \nabla \times A + \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right) = J \quad (1)$$

İfade de ν manyetik relüktivite, σ elektriksel geçirgenlik, t zaman ve J akım yoğunluğunu ifade etmektedir.

Analizler iki boyutlu yapılacağından manyetik vektör potansiyelin ve J akım yoğunluğu vektörünün sadece z bileşenleri vardır. Dolayısıyla A sadece x ve y nin fonksiyonudur. Kaynak vektörü sinüzoidal olduğundan aşağıdaki şekilde tanımlanır [17].

$$J = J \cos \omega t \quad (2)$$

Dolayısıyla vektör potansiyel de aşağıdaki formda olur.

$$A = |A| \cos(\omega t + \phi) \quad (3)$$

Bu ifadelerde kaynak akım değerlerinin ve çözüm sonucunda elde edilen vektör potansiyel değerlerinin karmaşık sayı olacağı görülür ve genliği ile açısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$|A| = \sqrt{(A^R)^2 + (A^I)^2} \quad (4)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{A^I}{A^R} \right] \quad (5)$$

Modellemelerde tam geometri ele alındığından stator dış sınırında homojen Dirichlet sınır şartı tanımlıdır.

$$A = 0 \quad (6)$$

Galerkin yöntemi kullanılarak (1) eşitliği için ağırlıklı Rezidüler teoremine göre aşağıdaki biçim elde edilir [17].

$$-\int_{\Omega} \nabla W \mathcal{G} \nabla A d\Omega + \int_{\Gamma} W \frac{\partial A}{\partial n} d\Gamma - \int_{\Omega} W (i\sigma\omega A - J) d\Omega = 0 \quad (7)$$

Elde edilen bu denklem ile bir eleman üzerindeki vektör potansiyel aşağıdaki şekilde belirtilebilir.

$$A_e = \sum N_i A_i \quad (8)$$

(7) ifadesinde $W_i = N_i$ alınarak S.E.Y. için ayrık form aşağıdaki şekilde elde edilir [17].

$$\begin{bmatrix} (3(b_1^2 + c_1^2) - 2i\alpha A^2) & (3(b_1b_2 + c_1c_2) - i\alpha A^2) & (3(b_1b_3 + c_1c_3) - i\alpha A^2) \\ & (3(b_2^2 + c_2^2) - 2i\alpha A^2) & (3(b_2b_3 + c_2c_3) - i\sigma A^2) \\ & & (3(b_3^2 + c_3^2) - 2i\alpha A^2) \end{bmatrix} \quad (14)$$

(simetrik)

Eleman matrislerinin simetrik olduğu görülmektedir. Bu işlemlerden sonra sonlu eleman ağındaki elemanların birleştirilmesi yapılır ve istenilen büyüklükler elde edilir.

3. ÖNERİLEN YARIKLİ YAPI (PROPOSED SLITTED CONSTRUCTION)

Asenkron motorda manyetik akı azalmasını ve beraberinde başarımı bozan kaçak akıları, daha yüksek kaliteli sac kullanmadan azaltmak için yeni bir diş geometrisi önerilmektedir. Önerilen geometrik tasarım ile kaçak akıların azalacağı, faydalı akının artacağı ve çalışma başarımının iyileşeceği öngörülmüştür.

Modellemelerde kullanılan asenkron motorun özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.

$$\left[\int_e \mathcal{G} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} \right) dx dy - i \int_e \sigma \omega N_i N_j dx dy \right] A_i = \int_e N_i J dx dy \quad (9)$$

N_i ve N_j değerleri eleman enterpolasyon fonksiyonlarıdır. Üçgen elemanlar kullanılması durumunda (9) ifadesinden yola çıkılarak S.E.Y. için kapalı formda eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilir [17].

$$(p_{ij} + jq_{ij}) [A_i] = f_i + jg_i \quad (10)$$

Kapalı form için p_{ij} , q_{ij} , f_i ve g_i aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$p_{ij} = \frac{1}{4A\mu} (b_i b_j + c_i c_j) \quad (11)$$

$$q_{ij} = -\sigma \omega \int_e N_i N_j dx dy = \frac{A\sigma\omega}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$f_i = \frac{1}{3} A J_R \quad (13)$$

$$g_i = \frac{1}{3} A J_I$$

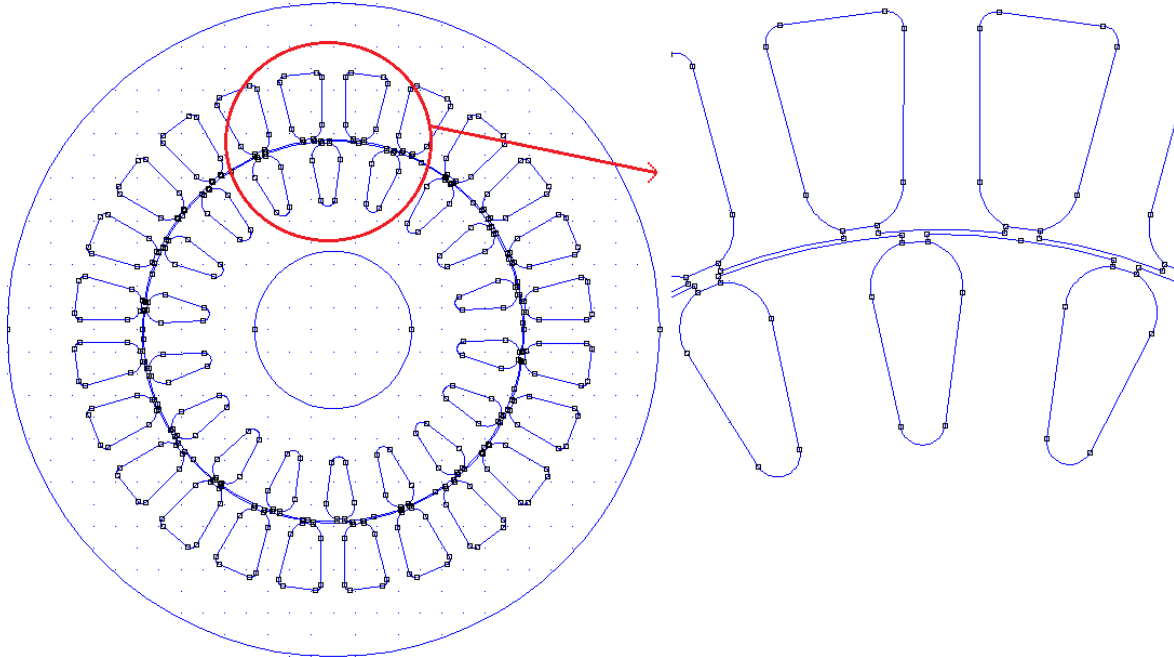
J_R ve J_I , J vektörünün gerçek ve sanal kısımlarıdır. Sonuç olarak bir eleman için katsayılar matrisi, $\alpha = \omega\sigma\mu$ olmak üzere aşağıdaki şekilde yazılır [17].

Tablo 1. Asenkron motor parametreleri (Parameters of the induction motor)

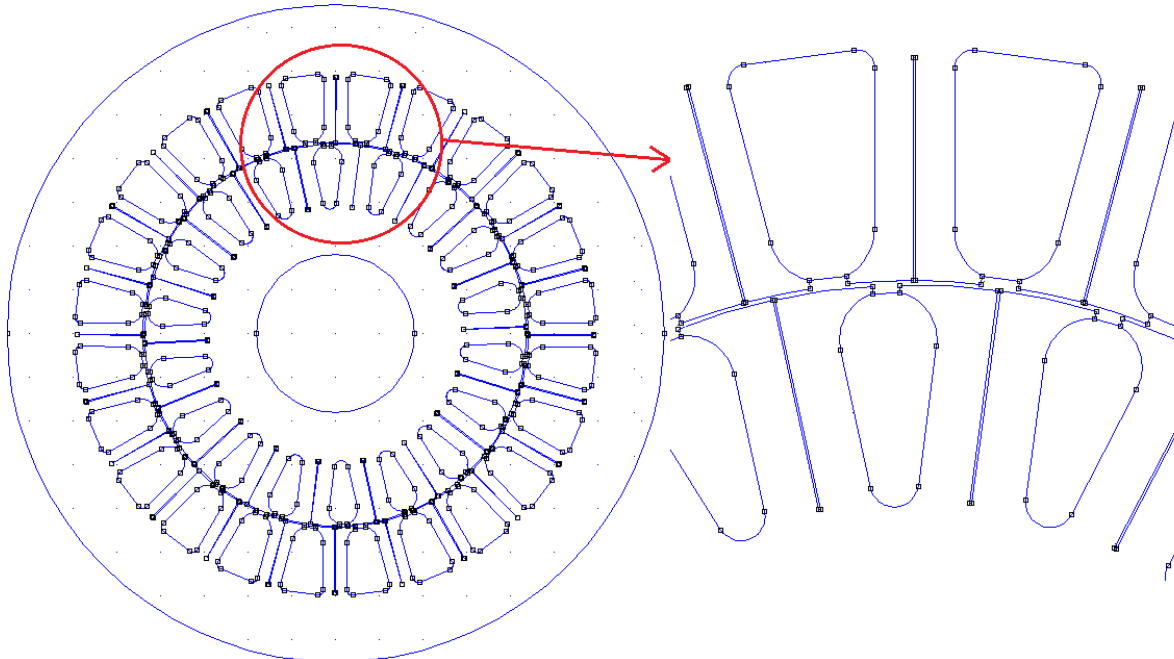
Motor Parametreleri	Sembol	Değer
Nominal Güç [kW]	P_n	3
Nominal Gerilim [V]	U_l	380
Nominal Akım [A]	I_n	6,63
Bağlantı Şekli		Yıldız
Frekans [Hz]	f_l	50
Faz Sayısı	m	3
Güç Faktörü	$\cos\phi$	0,88
Verim [%]	η	78
Rotor Devir Sayısı [d/d]	n_r	2844

F.E.M.M. programında analizleri yapılan orijinal motor modeli Şekil 5’ de, önerilen yarıklı yapının uygulandığı motor modeli ise Şekil 6’ da verilmiştir. Stator ve rotor oluk geometrileri, iç-dış çap, sipir

Yapılan değişik modellemeler sonucunda önerilen yarıklı motor modellerinde kullanılan yarıkların derinliğinin stator ve rotor oluk yüksekliğinde; yarık genişliğinin ise gerek dişlerde oluşabilecek doymanın



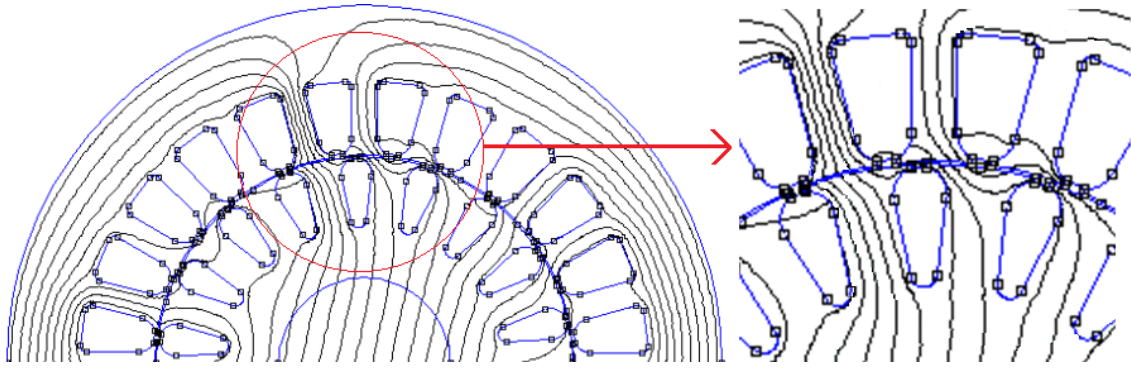
Şekil 5. Orijinal motor modeli (The original motor model)



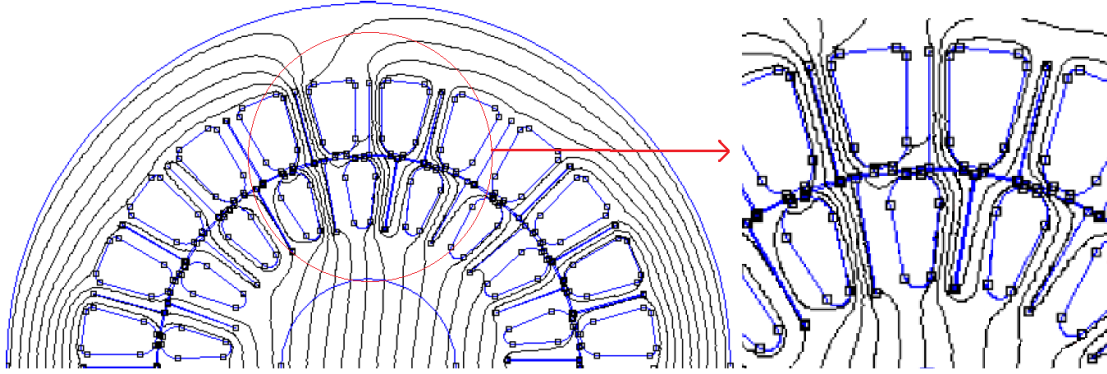
Şekil 6. Önerilen yarıklı motor modeli (Proposed slitted motor model)

sayıları vb. parametreler değiştirilmeden her iki motor modeli için aynı değerlerin kullanılmasıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve grafikler nominal çalışma noktası için verilmiştir.

önlenebilmesi ve gerekse zikzak kaçakları azaltmada en uygun değer olan 0,1 mm olarak belirlenmiştir [18].



Şekil 7. Orijinal motor modelinde oluşan zikzak akılar (Zigzag flux occurring in the original motor model) [18]



Şekil 8. Önerilen yarıklı motor modelinde oluşan zikzak akılar (Zigzag flux occurring in the proposed slitted motor model) [18]

Şekil 7’ de orijinal motor modelinden, Şekil 8’ de ise önerilen yarıklı yapıdaki motor modelinden elde edilen alan dağılımı ve hava aralığı civarında meydana gelen zikzak akılar gösterilmiştir.

Yarıklı yapıdaki motor modelindeki alan dağılımı incelendiğinde hava aralığındaki zikzak akıların hava aralığı boyunca izlediği yolun kısalması sonucu azaldığı görülmektedir.

Tablo 2’ de motor modellerine ait zikzak permeans değerleri ve bağıl fark değeri verilmiştir. Kullanılan yarıklı yapı ile statordan hava aralığına geçen ve hava aralığından devresini tamamlayan zikzak akıların, hava aralığında dolaşmak yerine direkt olarak rotor nüvesinden devresini tamamlamaları nedeniyle zikzak permeans değerinde % 6,123 oranında bir iyileşme meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 2. Zikzak permeans değerleri (The values of zigzag permeance) [18]

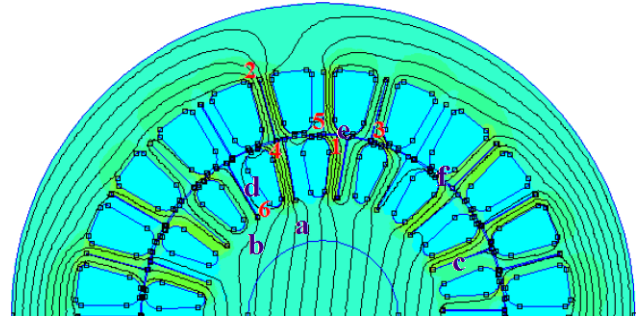
Motor Parametreleri	Orijinal Motor [Wb/A.T]	Yarıklı Motor [Wb/A.T]	Bağıl Fark [%]
Zikzak Permeans (λ_z)	0,5095	0,4783	-6,123

Tablo 3’ de motor modellerinden F.E.M.M. programında analizler sonucu elde edilmiş stator ve

rotor kaçak endüktanslarının toplam değerleri ve bağıl fark değeri verilmiştir. Önerilen yarıklı yapı ile stator ve rotor kaçak endüktans değerinde % 2,460 oranında bir azama meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 3. Stator ve rotor kaçak endüktans değerleri (The values of stator and rotor leakage inductance) [18]

Motor Parametreleri	Orijinal Motor [mH]	Yarıklı Motor [mH]	Bağıl Fark [%]
Stator ve Rotor Kaçak Endüktansı (L_1+L_2)	1,016	0,991	-2,460



Şekil 9. Manyetik akı yoğunluğu ve faydalı akı değerlerinin belirlenmesi için stator ve rotor diş ile boyunduruk kısımlarında belirlenen noktalar (The points defined in stator, rotor and yoke parts in order to determine magnetic flux density and coupling flux values)

Tablo 4’ de orijinal ve yarıklı motor modellerinin Şekil 9’ da gösterilen noktalarda (hava aralığı, rotor dişleri ve rotor boyunduruk kısımlarında) meydana gelen faydalı akı değerleri ve orijinal motor modeline göre bağıl fark değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Orijinal ve yarıklı motor modellerinden elde edilen faydalı akı ve bağıl fark değerleri (The values of coupling flux and relative difference obtained from the original and the slitted motor models) [18]

Noktalar	Koordinatlar (x, y) [mm]	Faydalı Akı [mWb]		Bağıl Fark [%]
		Orijinal Motor	Yarıklı Motor	
a	-4.2, 22.1	0,934937	0,954496	2,092
b	-21.7, 10.6	0,973707	0,976006	0,236
c	32.9, 12.3	1,229049	1,307770	6,405
d	-16.9, 30.7	1,363618	1,392062	2,085
e	4.28, 43.28	1,275455	1,293198	1,391
f	-27.6, 32.9	1,355180	1,369690	1,070

Çeşitli koordinat noktalarında elde edilen faydalı akı değerlerine göre yarıklı yapıdaki motor modelinde meydana gelen faydalı akı değerleri orijinal motor modeline göre ortalama olarak % 2,041 oranında bir artış göstermektedir. Yarıklı yapıdaki motor modelinde zikzak akıların azalması ile hava aralığından rotor kısmına geçen akı çizgilerinin sayısında bir artışın meydana gelmiş olması faydalı akının artmasında rol oynamıştır.

Tablo 5’ de motor modellerine ait mıknatıslanma endüktans değerleri ve bağıl fark değeri verilmiştir. Önerilen yarıklı yapı sayesinde faydalı akıda meydana gelen artış nedeniyle mıknatıslanma endüktansı da artmıştır.

Tablo 5. Mıknatıslanma endüktansı değerleri (The values of magnetizing inductance) [18]

Motor Parametreleri	Orijinal Motor [mH]	Yarıklı Motor [mH]	Bağıl Fark [%]
Mıknatıslanma Endüktansı (L_m)	0,435345	0,454349	4,365

Stator ve rotor dişleri ile boyunduruk kısımlarında meydana gelen manyetik akı yoğunluklarının Şekil 9’ da gösterilen noktalarda elde edilen değerleri orijinal ve yarıklı yapıdaki motor modelleri için Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6. Orijinal ve yarıklı motor modellerinin stator ve rotor diş ile boyunduruk kısımlarında meydana gelen manyetik akı yoğunlukları (Magnetic field densities which occur in stator, rotor and yoke parts of the original and the slitted motor models) [18]

Noktalar	Koordinatlar (x, y) [mm]	Orijinal Motor $ \vec{B} $ [T]	Yarıklı Motor $ \vec{B} $ [T]	Bağıl Fark [%]
1	3.9, 41.9	1,37567	1,31426	-4,439
2	-17.94, 56.29	2,23826	2,15681	-3,638
3	14.7, 41.6	2,31346	2,29108	-0,967
4	-14.65, 40.31	1,74266	1,69845	-2,536
5	-0.5, 44.1	1,28409	0,77348	-39,763
6	-11.99, 25.96	0,98742	0,92347	-6,476

Tablo 6’ dan görüleceği üzere motor modellerinden çeşitli noktalarda alınan manyetik akı yoğunluk değerlerinde önerilen yapı ile doymaların önlenilebileceği ve motorda özellikle oluk diplerinde meydana gelen akı yığılmalarının engellenebileceği görülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada asenkron motorda oluşan zikzak akıların azaltılması ve oluk diplerinde meydana gelen doymaların önlenilebilmesi amacıyla yeni bir diş geometrisi önerilmiştir. Önerilen geometri ile yeniden oluşturulan motor modelleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan F.E.M.M. paket programı ile analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Asenkron motorda endüklenen moment, rotor direnci ile doğru orantılı iken, stator ve rotor kaçak reaktansları ile ters orantılıdır. Aynı çıkış katsayısına sahip motorda elde edilecek moment iyileştirilmesi, oluşacak kaçak reaktansların azaltılmasına bağlıdır. Stator ve rotor oluk geometrilerini değiştirmeden, nüveye açılan yarıklar sayesinde oluşturulan kaçak akı koşullanması ile kaçak reaktansların azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu sayede stator ve rotor kaçak endüktanslarında meydana gelen toplam % 2,460 oranındaki azalma, asenkron motorun nominal moment değerinde yaklaşık % 4 civarında bir iyileşme sağlamıştır. Bunun sonucu olarak motor başarımlı (çıkış gücü, verim vb.) üzerinde olumlu yönde bir etki sağlanmıştır. Ayrıca mıknatıslanma endüktansında elde edilen % 4,365’ lik artış sayesinde mıknatıslama akımının genliğinin azalacağı ve bu durumun da motor başarımlı üzerinde pozitif bir yarar sağlayacağı görülmektedir.

Önerilen yarıklar zikzak akı yollarına relüktans teşkil etmiş, zikzak permeans değerinde % 6,123’ lük azalma elde edilmiştir.

Ayrıca hava aralığındaki zikzak akıların azalması sonucunda, statorda üretilen akı yeniden yönlendirilerek faydalı akıda % 2,041 oranında artma elde edilmiştir. Akı koşullanması ve yeni yönlendirmeler nedeniyle nüve üzerindeki akı yoğunluklarında daha iyi bir dağılım elde edilmiştir. Akı yoğunlukları açısından bakıldığında, elde edilen noktasal ölçümlerden, orijinal motora göre daha az zorlanma olduğunu göstermiştir.

Bundan sora yapılacak çalışmalarda yarıklı yapı modelinin motor başarımına (moment, verim) nasıl etki edeceği, yarık derinliğinin ve genişliğinin en uygun değerleri ve başarımına etkileri araştırılacaktır.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi 2006–50–02–061 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. FAGHIHI, F., HEYDARI, H., Reduction of Leakage Magnetic Field in Electromagnetic Systems Based on Active Shielding Concept Verified by Eigenvalue Analysis, **Progress in Electromagnetics Research, PIER 96**, 217-236, 2009.
2. ALGER, P., L., **The Nature of Polyphase Induction Machines**, Wiley, Newyork, 397, 1951.
3. ANSARI, A., A., DESHPANDE, D., M., Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink, **International Journal of Engineering Science and Technology**, Vol. 2, No. 5, 1260-1267, 2010.
4. TURAN, M., **Asenkron Makinanın Geliştirilmiş Uç Etkilerinin Sonlu Elemanlar Harmonik Reaktans ve Momentlerin Hesabı**, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996, ss 97, Sakarya, 1996.
5. İKİZLİ, O., **Elektrik Makinalarında Dağılım, Kayıplar ve Isınmanın Hesapları**, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1962.
6. AHO, T., NERG, J., PYRHONEN, J., Influence of Rotor Slit Depth on the Performance of the Solid Rotor Induction Motor, **Energy Efficiency in Motor Driven Systems Conference Proceedings**, Vol. 1, 81–89, 5–8 Sep, 2005.
7. CHAN, S., HAMID, M., N., Finite Element Study on a Two-Phase Switched Reluctance Motor with Split Rotor Poles, **Power Electronics and Drives Systems PEDS 2005 International Conference**, 1156-1160, 28-01 Nov-Dec, 2005.
8. LI, L., FOGGIA, A., LEBOUÇ, A., K., MIPO, J., C., KOBYLANSKY, L., Some Armature Reaction Compensation Methods Numerical Design of Experiments and Optimization for a Hybrid Excitation Machine, **International Electric Machines and Drives Conference IEEE IEMDC2009**, 7, 3-6 May, 2009.
9. GESSESE, Y., BINDER, A., Axially Slitted, High-Speed Solid-Rotor Induction Motor Technology with Copper End-Rings, **Electrical Machines and Systems, ICEMS 2009, International Conference**, p 6, 15-18 Nov, 2009.
10. SARAC, V., STEFANOV, G., Calculation of Electromagnetic Fields in Electrical Machines using Finite Elements Method, **International Journal of Engineering and Industries**, Vol. 2, No. 1, pp 21-29, March, 2011.
11. SELÇUK, A., H., **Lineer Asenkron Motorlarda Uç Etkilerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi**, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003, ss 108, Elazığ, 2003.
12. ÜMÜTLÜ, E., **Doğru Akım Motorlarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi**, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998, ss 81, Ankara, 1998.
13. HO, S., L., FU, W., N., Review and Future Application of Finite Element Methods in Induction Motors, **Electric Machines and Power Systems**, Vol.26, 111-125, 1998.
14. ŞENLİK, İ., ÖNBİLGİN, G., COPCUOĞLU, O., Electromagnetic Field Study and Performance Characteristics of Solid Steel Rotor Induction Machines, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, Vol. 26, No. 2, pp 447-454, 2011.
15. MEEKER, D., F.E.M.M. (Finite Element Method Magnetic), www.femm.info, 2011.
16. [16] AHO, T., SIHVO, V., NERG, J., PYRHONEN, J., Rotor Materials for Medium-Speed Solid-Rotor Induction Motors, **IEEE**, 525-530, 2007.
17. BINNS, K., J., LAWRENSON, P., J., TROWBRIDGE, C., W., **The Analytical and Numerical Solution of Electric and Magnetic Fields**, John Wiley and Sons, 470, 1992.
18. YETGİN, A., G., **Yarıklı Nüve Tasarımı ile Asenkron Motor Performansının İyileştirilmesi**, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, ss 110, Sakarya, 2010.