



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Elektriksel Malzemelerin Asenkron Motor Stator ve Rotor Nüve Ağırlığı Üzerindeki Etkilerinin Analitik ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

 Asım Gökhan YETGİN^{a,*}

^{a,*} *Elektrik Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: agyetgin@mehmetakif.edu.tr
DOI : 10.29130/dubited.568580

ÖZET

Asenkron motorlar geçmişten günümüze kadar hem güç hem de verim açısından büyük aşama kaydetmişlerdir. Bu gelişimin en önemli nedenleri arasında stator ve rotor nüvesinde kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi, malzemelerin kayıp güç değerlerinin azaltılması gibi kritik noktalar ön plana çıkmaktadır. Asenkron motorların stator ve rotor nüve kısımlarında çok farklı elektriksel malzemeler kullanılmaktadır ve bu manyetik malzemelerin özellikleri birbirlerinden farklıdır. Bu farklılıklar asenkron motorun performansında, özellikle demir kayıplarında kendisini göstermektedir. Stator ve rotor kısımlarında meydana gelen demir kayıpları tamamen kullanılan malzemeye göre değişmektedir. Ayrıca kullanılan malzemeler stator ve rotor nüve ağırlığında da kritik bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada asenkron motorların en önemli parçalarından biri olan stator ve rotor nüvesinin ağırlık hesabı yapılmış ve analitik olarak elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Nüve ağırlığına etkisi olan parametrelerin analizleri yapılmıştır. Nüve kısımlarında kullanılan farklı malzemelerin ve bunların özelliklerinin motor nüve ağırlığını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bununla birlikte farklı malzemelerin motor verimini nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Asenkron motor, Elektriksel malzeme, Stator ve rotor nüve ağırlığı, SEY*

Analysis of the Effects of Electrical Materials on Induction Motor Stator and Rotor Core Weight using Analytical and Finite Element Method

ABSTRACT

Induction motors have made great progress in terms of both power and efficiency from past to present. The most important reasons for this development are the improvement of the properties of the materials used in the stator and rotor cores and the reduction of the lost power values of the materials. Many different electrical materials are used in the stator and rotor core parts of induction motors and the properties of these magnetic materials are different. These differences are reflected in the performance of the induction motor (especially in iron losses). The iron losses occurring in the stator and rotor parts vary depending on the used material. In addition, the used materials have a critical effect on the weight of the stator and rotor core. In this study, the weight calculation of the stator and rotor core, which is one of the most important parts of induction motors, is calculated and the analytical results are compared with the results obtained by finite element method (FEM). The parameters which have effect on core weight are analyzed. It has been investigated how different materials and their properties affect the motor core weight. However, it has been shown how different materials affect motor efficiency.

Keywords: *Induction motor, Electrical material, Stator and rotor core weight, FEM*

I. GİRİŞ

Günümüzde, asenkron motorlar sanayileşmiş ülkelerdeki toplam elektrik kullanımının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca, tarım ve ticaret sektörlerinde elektrik motorlarının güç tüketimi oldukça önemlidir. Motor veriminin yüksek olması hem üretim bandı için hem de işletmeci için büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, verim değerindeki küçük bir artış bile enerji tasarrufunda büyük bir fark olmasına yardımcı olur [1].

2000' li yıllardan beri, düşük gerilimli asenkron motorlar için enerji verimliliği sınıflarını belirleyen Avrupa Elektrik Makineleri ve Güç Elektronikleri Üreticileri Komitesi - (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics) (CEMEP), asenkron motorları (Efficiency Class-EFF) EFF3' ten (en düşük) EFF1' e (en yüksek) kadar üç verimlilik bandında sınıflandırmıştır. Bu verim sınıflandırması, üreticileri doğru bir motor tasarımı, yeni malzemeler ve yenilikçi teknolojilerin benimsenmesini gerektiren yüksek verimli motor yelpazelerinin geliştirilmesinde teşvik etmektedir [1]. Asenkron motorların verimlerinin iyileştirilmesi için genellikle stator ve rotor oluk geometrilerinin optimizasyonu, oluklarda kullanılan sargıların sayısının optimize edilmesi, motor hacminin küçültülmesi, sürücü devrelerinin geliştirilmesi gibi birçok yöntem üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Verim iyileştirmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise stator ve rotor nüve kısımlarında kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerinin iyileştirilmesi ve kayıp güç değerlerinin aşağıya çekilmesine dayanmaktadır. Asenkron motorlar şebekeye bağlandıklarında aralarında 120 şer derece faz farklı olarak stator sargılarına yerleştirilen sargılardan akım akmaya başlar. Bu akımlar stator nüvesinde bir manyetik alan meydana getiriler ve bu manyetik alan hava aralığı kısmını geçerek rotor nüvesinden devresini tamamlar. Bu bağlamda asenkron motorlardaki en önemli parçalardan biriside stator ve rotor nüve kısımlarıdır. Manyetik akının dolaştığı stator ve rotor nüve malzemelerinin özellikleri motor performansı üzerinde direkt bir etkiye sahiptir. Özellikle malzemelerin kayıp güç değerlerinin düşük olması, manyetik geçirgenliklerinin iyi olması aranan özellikler arasındadır. Kullanılan malzemelerin motorun ağırlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Aynı güç ve ebatlardaki bir motordan farklı malzemelerin kullanılması ile daha hafif ve daha verimli motorların elde edilmesi mümkündür.

Asenkron motorlarda farklı malzemelerin kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların genellikle histerezis ve fukolt kayıplarının toplamı olan demir kayıpları üzerindeki etkileri ile ilgilidir. Muhlethaler ve arkadaşları farklı malzemelerin Steinmetz parametreleri üzerindeki etkisini ve demir kayıplarındaki değişimi analiz etmişlerdir [2]. Yue ve arkadaşları farklı manyetik malzemelerin demir kayıpları üzerindeki etkisini hem sinüzoidal hem de dikdörtgen sinyal uyarmalı durumlar için karşılaştırmıştır [3]. PLUTA çalışmasında tanecik yönlendirmeli olan ve tanecik yönlendirmeli olmayan elektriksel çelik sacların demir kayıpları üzerindeki etkisini frekans değişimlerini de katarak analiz etmiştir [4]. Chwastek çalışmasında farklı elektriksel çelik malzemelerin demir kayıpları üzerindeki etkisini araştırmıştır [5]. Sato ve Enokizono çalışmalarında 0.05 mm ve 0.35 mm kalınlığındaki elektriksel çelik sacların motor demir kayıpları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [6].

Malzemelerin motor ağırlığı üzerine olan etkileri ise sadece motor tasarım kitaplarında yer almaktadır [7-10]. Stator ve rotor nüve ağırlığı hesap edildikten sonraki aşamada kayıp güç eğrisinden yararlanılarak motorun demir kayıpları hesap edilmektedir.

Bu çalışmada 90 kW gücündeki sincap kafesli bir asenkron motorun farklı elektriksel malzemeler kullanılması durumundaki motor nüve ağırlığının değişimi incelenmiş ve nüve ağırlığına etki eden parametrelerin değişimleri hem analitik hem de sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yönteminden elde edilen çeşitli noktalardaki manyetik akı yoğunluğu değerleri her bir malzeme için verilmiş ve farklı malzemelerin motor verimine olan etkileri de incelenmiştir.

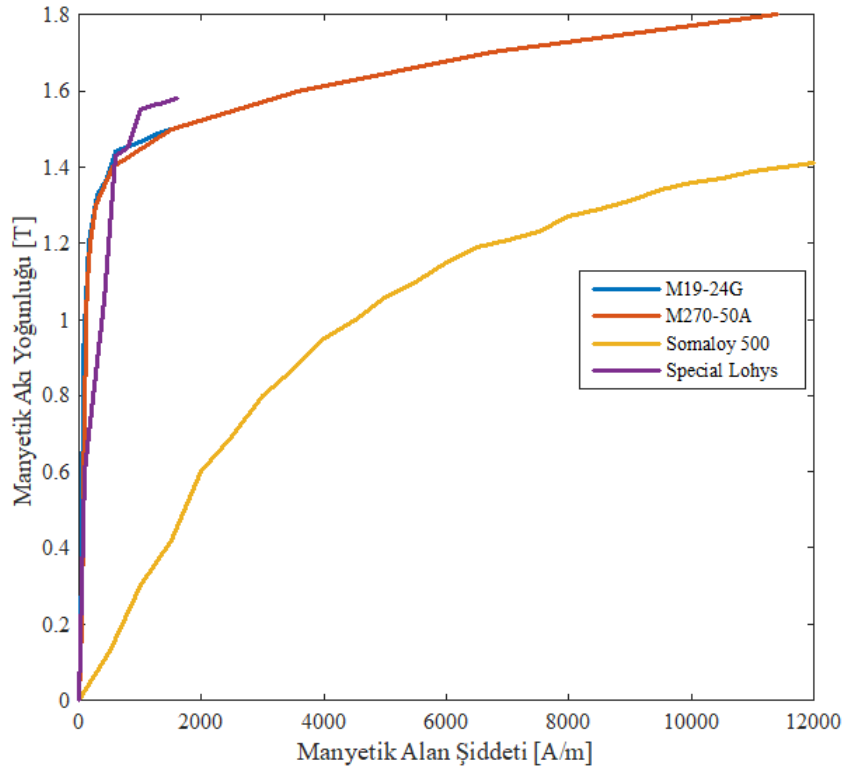
II. MANYETİK MALZEMELER

Elektriksel malzemeler endüstriyel ve nakliye makinelerinde güç aparatlarının imalatında kilit bir malzemedir. Spesifik olarak motorlardaki nüveleri oluştururlar ve manyetik enerjiyi elektrik enerjisine verimli bir şekilde dönüştürmeye yararlar. Çelik laminasyonların manyetik özellikleri, belirli bir uygulama için malzeme seçiminin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır [11].

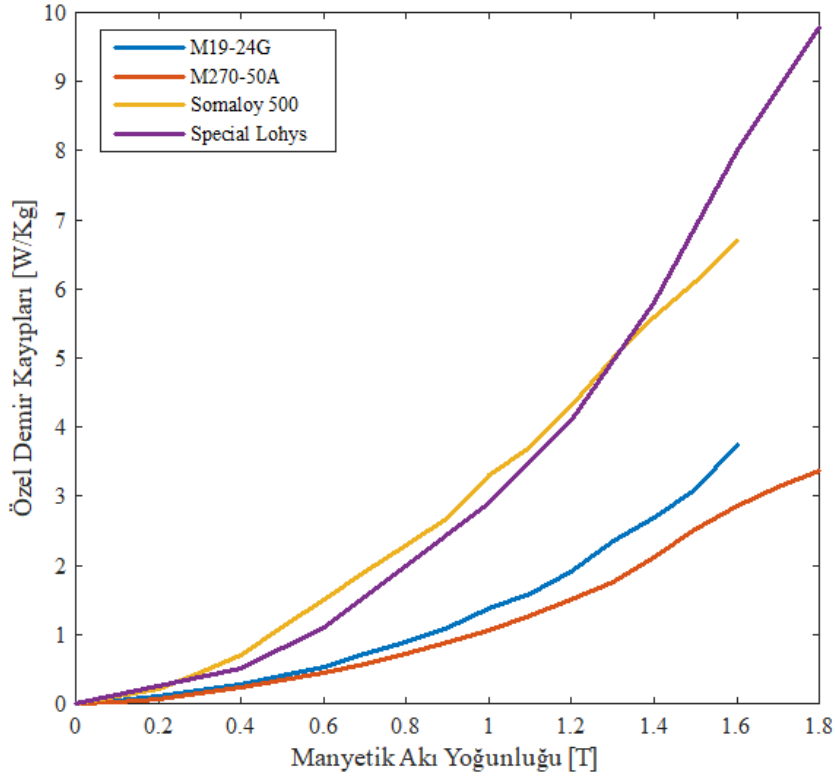
Manyetik malzemeler genellikle yumuşak ve sert manyetik malzemeler olmak üzere iki türe ayrılırlar. Yumuşak manyetik malzemeler kolay manyetikleşir, manyetikliklerini kolay kaybederler, çoğunlukla transformator, elektrik motoru ve jeneratörlerde nüve malzemesi olarak kullanılırlar. Sert manyetik malzemeler ise zor manyetikleşirler, manyetikliklerini kolay kaybetmezler. Bunlar genellikle mikrofonlarda, telefon alıcılarında ve benzeri yerlerde kullanılırlar [12].

Üretici firmalar tarafından malzemelerin B-H eğrileri verilirken, kayıp güç eğrileri verilmemektedir. Kayıp güç eğrisinin motor demir kayıplarının hesabında ve ağırlık hesabında kullanılması araştırmacılar için bir dezavantaj olarak gözükmemektedir. Bu değerlerin elde edilmesi için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, üç fazlı asenkron motorlar için manyetik malzemelerin stator ve rotor ağırlığına olan etkisinin görülebilmesi için 4 farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler M270-50A, M19-24G, Somaloy 500 ve Special Lohys malzemeleridir. Malzemelere ait B-H eğrileri ve W/Kg cinsinden kayıp güç eğrileri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 1. Malzemelerin B-H eğrileri [8, 13-15].



Şekil 2. Malzemelerin kayıp güç eğrileri [8, 13, 15, 16].

Kullanılan malzemelere ait karakteristik özellikler ise Tablo 1’ de verilmiştir. Bu değerler sonlu elemanlar yöntemi ve analitik hesaplamalarda kullanılan değerlerdir. Elde edilen kayıp güç değerleri 50 Hz frekansında ve 1 T manyetik akı yoğunluğunda elde edilen verilerdir.

Tablo 1. Manyetik malzemelerin karakteristik özellikleri [8, 13, 17-20].

Malzemeler	Yoğunluk (kg/m^3)	Özdirenç ($\mu\Omega cm$)	Kayıp güç değeri (50 Hz - 1 T) (W/kg)	Paketleme faktörü
M270-50A	7600	55	1,07	0,97
M19-24G	7650	5,102	1,38	0,94
Somaloy 500	7370	70	3,3	0,95
Special Lohys	7780	21	2,84	0,95

III. ANALİTİK VE NÜMERİK ÇÖZÜM

Asenkron motorun toplam nüve ağırlığının hesap edilebilmesi için ayrı ayrı stator/rotor dişlerinin ve boyunduruk kısımlarının ağırlıklarının hesap edilmesi gerekmektedir. Bu ifadeler Eşitlik 1-7 arasında verilmiştir [7,8].

Stator dişlerinin ve boyunduruk kısmının ağırlıkları Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 yardımı ile bulunabilir. Ağırlıkları etkileyen parametrelerin stator dış çap (D_{out}), paket boyu (L), toplam stator oluk yüksekliği (h_{stop}), stator oluk sayısı (N_s), diş genişliği (b_{ts}) ve malzemenin yoğunluk değeri (γ_{iron}) ve malzemenin paketleme faktörü (K_{fe}) olduğu görülmektedir. W_{steeth} ve W_{score} stator diş ve boyunduruk ağırlıklarını ifade etmektedir. Stator dış çapından boyunduruk yüksekliğinin çıkarılması ile elde edilen çap değeri Eşitlik 3’ de verilmiştir. İfade de h_{cs} stator boyunduruk yüksekliğini göstermektedir.

$$W_{steeth} = L \cdot K_{fe} \cdot \gamma_{iron} \cdot N_s \cdot b_{ts} \cdot h_{s_{top}} \cdot 10^{-9} \quad (1)$$

$$W_{score} = L \cdot K_{fe} \cdot \gamma_{iron} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{out}^2 - D_d^2) \right] \cdot 10^{-9} \quad (2)$$

$$D_d = D_{out} - 2 \cdot h_{cs} \quad (3)$$

Aynı şekilde rotor dişlerinin ve boyunduruk kısmındaki ağırlıklar Eşitlik 4 ve Eşitlik 5’ de verilmiştir. Stator iç çap değerinden hava aralığı uzunluğu ve rotor oluk yükseklik değerlerinin çıkarılması ile elde edilen çap değeri ise Eşitlik 6’ da verilmiştir. İfadelerde (b_{tr}) rotor diş genişliğini, (N_r) rotor oluk sayısını, (hr_{top}) toplam rotor oluk yüksekliğini, (D_{mil}) mil çapını, (g) hava aralığı uzunluğunu ifade etmektedir. W_{rteeth} ve W_{rcore} rotor diş ve boyunduruk ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$W_{rteeth} = L \cdot K_{fe} \cdot \gamma_{iron} \cdot N_r \cdot b_{tr} \cdot hr_{top} \cdot 10^{-9} \quad (4)$$

$$W_{rcore} = L \cdot K_{fe} \cdot \gamma_{iron} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_{mil}^2) \right] \cdot 10^{-9} \quad (5)$$

$$D = D_{is} - 2 \cdot g - 2 \cdot hr_{top} \quad (6)$$

Stator ve rotor diş/boyunduruk ağırlıkları hesap edildikten sonra motorun toplam nüve ağırlığı ($W_{toplaml}$) Eşitlik 7’ den bulunur. Eşitliklerden görüleceği üzere motorun toplam nüve ağırlığı üzerinde birçok parametrenin etkisi olduğu ve bu parametrelerin değişimlerinin motor nüve ağırlığı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

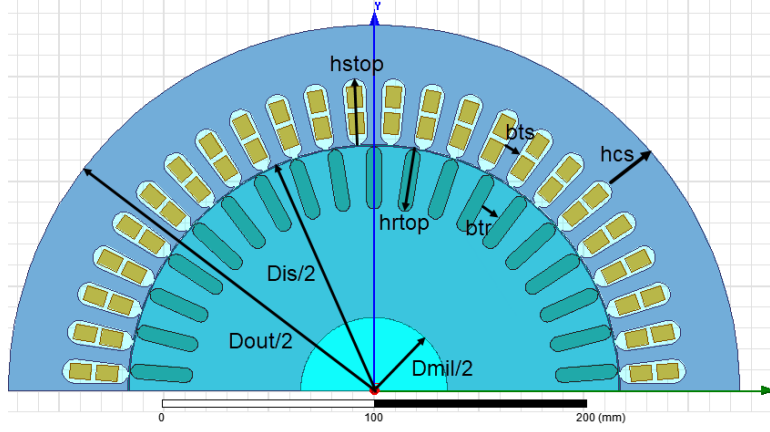
$$W_{toplaml} = W_{steeth} + W_{rteeth} + W_{score} + W_{rcore} \quad (7)$$

Eşitlikler incelendiğinde stator ve rotor nüve ağırlığına etki eden K_{fe} ve γ_{iron} parametrelerinin malzemenin karakteristik özellikleri ile ilgili olduğu, diğer parametrelerin ise motorun geometrik yapısı ile alakalı olduğu görülmektedir. Ağırlık hesaplarında, analitik yöntemde ağırlıklar ayrı ayrı hesap edilmişken, sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerden elde edilen ağırlıklar diş ve boyunduruk ağırlıklarının toplamı şeklinde verilmiştir.

Modellemesi yapılan motora ait geometrik boyutlandırma ve etiket bilgileri Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Motor etiket ve geometrik boyut değerleri [21].

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Stator dış çap (mm)	349	Güç (kW)	90
Stator iç çap (mm)	235	Gerilim (V)	380
Rotor dış çap (mm)	233,6	Akım (A)	168
Mil çapı (mm)	70	Frekans (Hz)	50
Paket boyu (mm)	300	Devir sayısı (d/d)	1463
Stator oluk alanı (mm ²)	303,35	Güç faktörü	0,81
Rotor oluk alanı (mm ²)	200	Bağlantı şekli	Yıldız
Stator oluk sayısı	48	Kutup sayısı	4
Rotor oluk sayısı	38	Stator boyunduruk yüksekliği (mm)	25,4
Stator oluk yüksekliği (mm)	31,6	Stator diş genişliği (mm)	7,1
Rotor oluk yüksekliği (mm)	29,92	Rotor diş genişliği (mm)	10,2



Şekil 3. Asenkron motorun 2 boyutlu kesit görüntüsü.

Motorun 2 boyutlu genel kesit görüntüsü Şekil 3’ de verilmiştir. Nümerik analizler Maxwell programında [22] gerçekleştirilmiştir. Motorlara ait boyut değerleri ve etiket değerleri kullanılarak RMxprt programında 90 kW’ lık motorun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Her bir malzemenin özelliklerinin tanımlanması ile stator ve rotor nüve ağırlıkları elde edilmiştir. Daha sonraki aşamada her bir malzeme için manyetik alan dağılımları elde edilmiştir.

IV. ELDE EDİLEN TASARIM DEĞERLERİ

Farklı özellikteki malzemelerin kullanılması sonucunda elde edilen stator/rotor diş ve boyunduruk ağırlıkları Tablo 3’ de verilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri Kg cinsinden verilmiştir. Elde edilen verilere göre analitik olarak bulunan sonuçların sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçları desteklediği görülmektedir. Özellikle rotor diş ve boyunduruk kısımlarındaki ağırlık değerlerinin % 1’ in altında hata ile sonuca ulaştığı tespit edilmiştir. Stator diş ve boyunduruk kısımlarından elde edilen değerlerin hata oranı ise % 4 civarında çıkmıştır. En büyük nüve ağırlık değerleri Special Loys malzemesinden elde edilmişken, en küçük nüve ağırlık değeri Somaloy 500 malzemesinden elde edilmiştir.

Tablo 3. Motorun analitik ve SEY modellerinden elde edilen ağırlık değerleri.

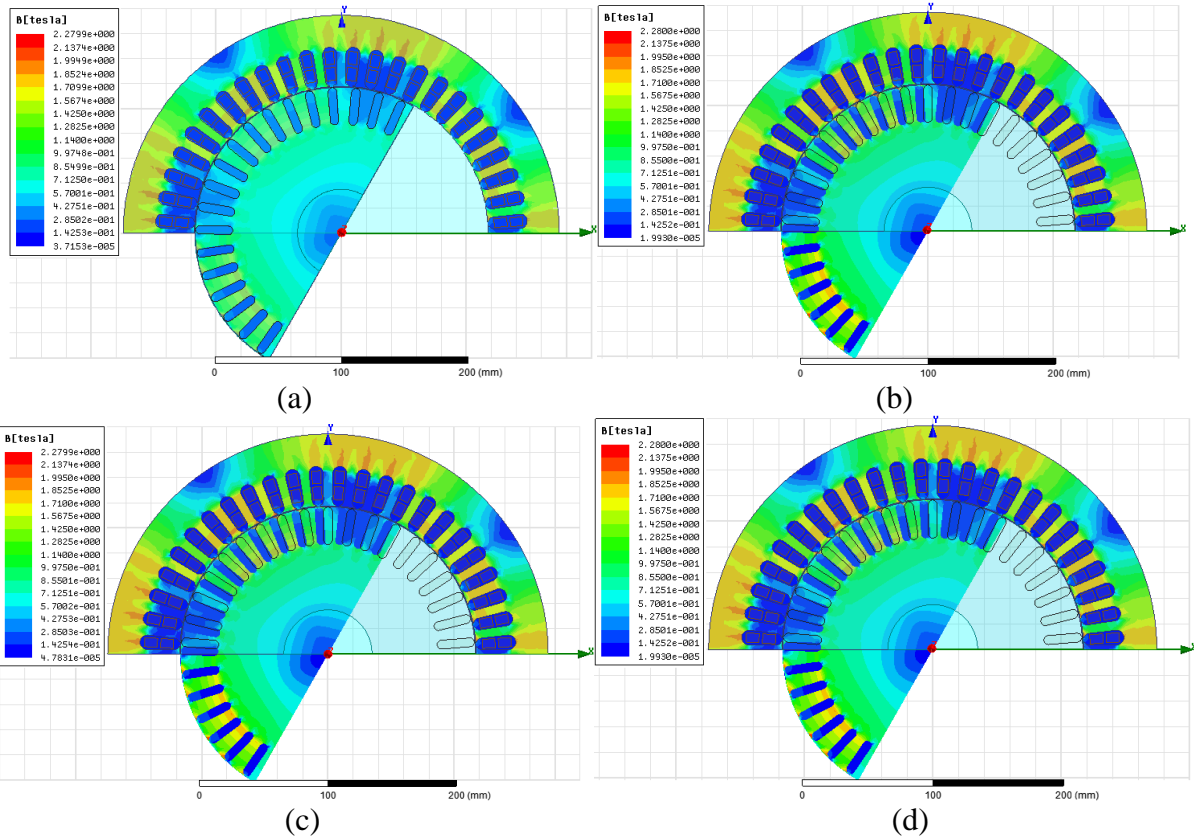
	M270-50A				M19-24G			
	Analitik	Analitik Toplam	SEY	Toplam % Hata	Toplam	Analitik Toplam	SEY	Toplam % Hata
Stator Diş	23,8173				23,4797			
Stator Boyunduruk	57,1082	80,9255	84,5859	- 4,52	56,2987	79,7784	82,5448	- 3,467
Rotor Diş	25,6479				25,2843			
Rotor Boyunduruk	43,9328	69,5807	69,7474	- 0,239	43,3100	68,5943	68,0350	0,815
	Somaloy 500				Special Lohys			
	Analitik	Analitik Toplam	SEY	Toplam % Hata	Analitik	Analitik Toplam	SEY	Toplam % Hata
Stator Diş	22,6203				23,8787			
Stator Boyunduruk	54,2381	76,8584	80,3577	- 4,552	57,2554	81,1341	84,8281	- 4,552
Rotor Diş	24,3589				25,7140			
Rotor Boyunduruk	41,7248	66,0837	66,2421	- 0,239	44,0460	69,7600	69,9272	- 0,239

SEY modellerinden elde edilen ortalama manyetik akı yoğunluğu (B) değerlerinin değişimi Tablo 4’ de verilmiştir. Elde edilen değerlerin birimi Tesla (T)’ dir. Stator boyunduruk kısmındaki akı yoğunluğu değerlerinin bir miktar fazla çıktığı fakat bu değerlerin motor tasarımı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca malzemelerin karakteristik özelliklerinin farklı olmasından dolayı aynı ebat ve geometriye sahip motor modelinden farklı sonuçların elde edildiği görülebilmektedir. Bu durum motor performansının da değişmesine neden olmaktadır.

Tablo 4. Motorun çeşitli kısımlarındaki ortalama manyetik akı yoğunluğu değerleri.

	M270-50A (T)	M19-24G (T)	Somaloy 500 (T)	Special Lohys (T)
Stator Dış Kısmı	1,678	1,740	1,681	1,737
Stator Boyunduruk Kısmı	1,852	1,915	1,887	1,887
Rotor Dış Kısmı	1,564	1,622	1,566	1,619
Rotor Boyunduruk Kısmı	0,582	0,999	0,593	0,593

Farklı malzemelerin kullanılması ile oluşturulan motor modellerinden elde edilen manyetik alan dağılımları Şekil 4’ de verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde aynı motor parametreleri kullanılmasına rağmen her bir malzemenin alan dağılımlarının farklılıklar gösterdiği açıktır. Bu durum kayıplar ve verim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 4. Manyetik alan dağılımları (a) M270-50A (b) M19-24G (c) Somaloy 500 (d) Special Lohys.

Tablo 5’ de SEY modellerinden elde edilen verim değerleri verilmiştir. En iyi verim değerinin M19-24G malzemesine ait olduğu görülmektedir. En düşük stator ve rotor nüve ağırlığı Somaloy 500 malzemesinden elde edilmiş olmasına rağmen en yüksek kayıp güç değerine sahip olmasından dolayı bu malzemenin verimi düşük çıkmıştır.

Tablo 5. Farklı malzemeler için elde edilen verim değerleri.

	M270-50A	M19-24G	Somaloy 500	Special Lohys
Verim (%)	86,359	87,751	82,351	85,717

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada sincap kafesli bir asenkron motorun stator ve rotor nüve kısımlarında farklı malzemelerin kullanılmasının motor nüve ağırlığına olan etkileri analiz edilmiştir. Analizler analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca manyetik akı dağılımları ve motor verimi de analiz edilmiştir. Analizlerde M270-50A, M19-24G, Somaloy 500 ve Special Lohys malzemeleri kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre en düşük nüve ağırlığı Somaloy 500 malzemesinden, en yüksek ağırlık değeri ise Special Lohys malzemesinden elde edilmiştir. Ağırlık farklarının malzemenin yoğunluk değerinin değişmesi ve küçük de olsa paketleme faktörünün değişmesi ile oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerinin farklı olması stator/rotor diş ve boyunduruk kısımlarında meydana gelen akı dağılımlarının da farklı çıkmasına neden olmuştur. Özellikle 50 Hz ve 1 T değerinde elde edilen kayıp güç değerlerinin motor performansında etkisinin büyük olmasından dolayı, en düşük nüve ağırlığının Somaloy 500 malzemesinden elde edilmiş olmasına rağmen en düşük verim değerinin de bu malzemenin elde edildiği görülmektedir. En iyi verim ise M19-24G malzemesinden elde edilmiştir.

İleriki çalışmalarda malzeme sayısı artırılarak daha geniş çaplı bir analiz yapılabilir ve motor modellerinin geçici hal analizleri gerçekleştirilip, malzemelerin motorun yol alma anındaki değişimleri incelenebilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Y.L. Karnavas and I.D. Chasiotis, "Influence of Soft Magnetic Materials Application to Squirrel Cage Induction Motor Design and Performance," *Engineering Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 193-206, 2017.
- [2] J. Muhlethaler, J. Biela, J.W. Kolar and A. Ecklebe, "Core Losses under the DC Bias Condition Based on Steinmetz Parameters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 2, pp. 953-963, 2012.
- [3] S. Yue, Q. Yang, Y. Li and C. Zhang, "Core Loss Calculation for Magnetic Materials Employed in SMPS under Rectangular Voltage Excitations," *AIP Advances*, vol. 8, no. 056121, pp. 1-6, 2018.
- [4] W.A. Pluta, "Core Loss Models in Electrical Steel Sheets with Different Orientation," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, vol. R. 87, no. 9b/2011, pp. 37-42, 2011.
- [5] K. Chwastek, "Prediction of Loss in Non-Oriented Steel Laminations," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, vol. R. 88, no. 5a/2012, pp. 5-9, 2012.
- [6] T. Sato and M. Enokizono, "Evaluation of Stator Core Loss of High Speed Motor by using Thermography Camera," *AIP Advances*, vol. 8, no. 047609, pp. 1-11, 2018.

- [7] I. Boldea and S.A. Nasar, *The Induction Machine Handbook*, Boca Raton, USA: CRC Press LLC, Chapter 15, 2002, pp. 1-31.
- [8] M.V. Deshpande, *Design and Testing of Electrical Machines*, New Delhi, India: PHI Learning Private Limited, 2010, pp. 1-510.
- [9] J. Pyrhonen, T. Jokinen and V. Hrabovcova, *Design of Rotating Electrical Machines*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2008, pp. 1-531.
- [10] K.M.V. Murthy, *Computer-Aided Design of Electrical Machines*, Giriraj Lane, Sultan Bazar: BS Publications, pp. 1-335, 2008.
- [11] J. Kartigeyan and M. Ramaswamy, "Magnetic Materials for Rotating Electrical Machines: A Selection Perspective," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 2, pp. 1506-1513, 2018.
- [12] Ö. Özdemir, "Malzemelerin Fiziksel Özellikleri, Manyetik Özellikler," *Ders Notları*, ss. 1-29.
- [13] Anonim, (5 Mayıs 2019). [Online]. Erişim: www.cogent-power.com
- [14] G. Paltanea, V. Manescu (Paltanea), P.C. Andrei, C. Grumeza and S. Marinescu, "Laboratory Set-Up to Evaluate the B-H Relationship in Soft Magnetic Materials," *The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, Bucharest, Romania, 23-25 March 2017, pp. 420-423.
- [15] Y. Zhang, M.C. Cheng and P. Pillay, "A Novel Hysteresis Core Loss Model for Magnetic Laminations," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 26, no. 4, pp. 993-999, 2011.
- [16] A. Asari, Y. Guo and J. Zhu, "Magnetic Properties Measurement of Soft Magnetic Composite Material (SOMALOY 700) by using 3-D Tester," *International Conference on Applied Physics and Engineering (ICAPE2016)*, 08 August 2017, pp. 1-10.
- [17] Anonim, (5 Mayıs 2019). [Online]. Erişim: <https://www.stanz-und-lasertechnik.de/en/leistungen/elektroblechqualitaeten-uebersicht.html>
- [18] O. Bouaziz, I. Jaafar and F.B. Ammar, "Performance Analysis of Radial and Axial Flux PMSM Based on 3D FEM Modeling," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 26, pp. 1587–1598, 2018.
- [19] Y.L. Karnavas, I.D. Chasiotis and S.K. Amoutzidis, "Design Considerations and Analysis of In-Wheel Permanent Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicle Applications using FEM," *ISEF 2015-XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering*, Valencia, Spain, 10-12 September 2015, pp. 1-8.
- [20] Anonim, (5 Mayıs 2019). [Online]. Erişim: www.bomatec.com
- [21] T. Lazaridis, "General Design Data of a Three Phase Induction Machine 90 kW–Squirrel Cage Rotor," Technical Report, pp. 1-15, 2016.
- [22] Ansys Maxwell 2D Field Simulator User's Guide, Motors-Three Phase Induction Machine, 2019.