
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 12.12.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 20.04.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.309406	

Asenkron motor mil çapının motor performansına etkisi

Asım Gökhan Yetgin^{1*}

ÖZ

Asenkron motorlar geçmişten günümüze kadar birçok alanda kullanılmış ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha farklı alanlarda da kullanılmaya devam etmektedir. Asenkron motorların veriminde yapılacak bir iyileştirme, enerji tasarrufu açısından büyük getirilere sebep olacağı açıktır. Bu bağlamda asenkron motor üretici firmaları ve tasarımcılar motor performansını ve verimini artırabilmek için sürekli olarak yeni yöntemler denemektedirler. Bu çalışmada ise asenkron motorun verimini artırabilmek amacıyla mil çapının optimum değerinin ne olacağı araştırılmıştır. Çalışmada 5.5 kW, 7.5 kW ve 11 kW gücündeki motorlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler üretici firmaların mil çapı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca motorun manyetik akı değerleri, ağırlık, performans değerleri gibi kritik noktalar incelenip her bir motor için optimum mil çapı değerleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: asenkron motor mil çapı, asenkron motor tasarımı, performans analizi

The effect of induction motor shaft diameter on motor performance

ABSTRACT

Induction motors are used in many areas from the past to the present and in different fields with the development of technology has continued to be used. It is obvious that induction motors as an improvement to the efficiency in terms of energy saving would cause great benefit. In that context, induction motor manufacturers and designers are constantly trying out new methods to improve motor performance and efficiency. In this study, what would be the optimum diameter of the shaft in order to increase the efficiency of the induction motor were investigated. In the study, 5.5 kW, 7.5 kW and 11 kW motors analyzes were also performed. Obtained shaft diameter values were compared with the manufacturer values. In addition, critical points such as the magnetic flux values, weight values and performances of the motors were examined and optimal shaft diameter values for each motor have been determined.

Keywords: induction motor shaft diameter, induction motor design, performance analysis

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya-gokhan.yetgin@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Asenkron motorlar endüstride ve diğer sektörlerde çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Sağlam ve güvenilir olmasının yanı sıra değişik hız uygulamalarında kullanılabilmesi, düşük maliyetli olması, yüksek güvenilirlikte olması, verimlerinin yüksek olması, bakımlarının kolay olması gibi nedenlerden dolayı dünyada en çok tercih edilen motorlardır [1]. Dünyada kullanılan motorların % 80' ninden daha fazlasını asenkron motorlar oluşturmaktadır. Bu sebeple motor veriminin ve güç faktörü değerinin artırılması asenkron motor tasarımı ve optimizasyonu yapanların en önemli konuları arasında yer almaktadır [2]. Asenkron motor tasarımı ve performansın (verim, moment vb.) artırılması ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Aguiar ve arkadaşları çalışmalarında asenkron motorun stator sargılarında bobin adımını kısaltarak verim analizi yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre bobin adımındaki kısalma değeri arttıkça verim değerinin arttığını ifade etmişlerdir [3]. Agamloh ve arkadaşları asenkron motorun verimini artırmada bilinen en iyi yöntemin motorun paket boyunun artırılması olarak ifade etmişlerdir. Ayrıca birçok motor üreticisinin, maliyet, hacim, ağırlık, bakır, demir vb. parametrelerin optimizasyonunu yaparak motor tasarımları gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir [4]. Boglietti ve arkadaşları çalışmalarında asenkron motorun tasarım aşamalarını adım adım özetlemişlerdir. Hedeflenen moment değerini elde edinceye kadar rotor çapını artırmak suretiyle tasarım aşamalarını gerçekleştirmişlerdir [5]. Ortega yüksek lisans çalışmasında 55 kW' lık asenkron motoru Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanarak motorun optimizasyonunu gerçekleştirmiş [6]. Chiricozzi ve arkadaşları asenkron motorun nüve kısmında farklı malzemelerin kullanılmasının performansa etkisini incelemişlerdir. 5350H elektriksel çelik kullanımı ile motor veriminin 0.4 ile 0.7 arasında artırılabilirliğini, ayrıca rotor barlarında alüminyum yerine bakır kullanılması durumunda verim değerinin 2.1 puan artırılabilirliğini ifade etmişlerdir [7]. Yanawati ve arkadaşları asenkron motorun nüvesinde kullanılan sacların kalınlıklarının motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 0.35 mm sac kalınlığına sahip motorun 0.5 mm sac kalınlığına sahip motora göre verim değerinde % 6 iyileşme, rotor bakır kayıplarında % 18.8 azalma ve demir kayıplarında % 19.52 oranında bir azalma elde etmişlerdir [8]. Han ve arkadaşları çalışmalarında genetik algoritma kullanarak asenkron motorun maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları yöntem ile motor maliyetini % 5 azaltmışlardır [9]. Khazin ve arkadaşları çalışmalarında stator nüvesinde kullanılan çelik sacların amorphous ve silisyum katkılı malzemelerin kullanılması durumundaki performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Amorphous malzemesinin kayıp güç değerlerinin oldukça düşük olmasından dolayı motor performansında ve manyetik alan dağılımlarında daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir [10]. Verma ve arkadaşları motor milinin yanlış hizalanması ile motor veriminin azalacağını, titreşime yol açacağını ve daha uzun süreli çalışmalarda stator ve rotor sargılarının zarar göreceğini ifade etmişlerdir [11]. Kolgiri ve Petkar çalışmalarında asenkron motorun mil hesabını hem teorik olarak hem de ANSYS sonlu elemanlar paketi ile dinamik olarak modellemişlerdir. Araştırmalarında mile gelen kuvvetlerin analizlerini hesap etmişlerdir [12]. Bonnett çalışmasında asenkron motorların mil yapısında sıcak haddelenmiş karbon çelik malzeme kullanılmasının iyi bir

seçim olacağını ifade etmiştir. Eğer mil daha büyük yüklere maruz kalacaksa krom-molibden (Cr-Mo) gibi haddelenmiş malzemelerin sıklıkla kullanıldığını, çok fazla korozyon oluşabilecek uygulamalarda veya çevrenin uygun olmadığı ortamlarda paslanmaz çelik malzeme kullanılmasının gerekli olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca motorlarda kullanılacak mil türlerini ve motor millerinde meydana gelen hataları da sınıflandırmıştır [13]. Singh ve arkadaşları asenkron motorlarda en kritik parçalarından birinin motor mili olduğunu ifade etmişlerdir. Motor milinde meydana gelebilecek bir hatanın rulman arızasına yol açabileceğini ve bakım yapılmadığı takdirde devamında sargı arızasına yol açabileceğini ifade etmişlerdir [14]. Kadhim çalışmasında üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun verim, yol alma momenti ve sıcaklık artışına ilişkin parametreleri dikkate alarak optimum tasarımı gerçekleştirmeye çalışmıştır. Geleneksel motor tasarım yöntemleri ile benzetim tavlama yöntemini karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır [15]. Ayrıca asenkron motorun performansını artırmak için stator sargılarında da değişiklik yapılmaktadır [16, 17].

Bu çalışmada asenkron motorların tasarımı sırasında pek de önemsenmeyen kısım olan mil çapının hesap yöntemlerinden bahsedilmiş, üretici firmaların mil çapları incelenmiş, 5.5 kW, 7.5 kW ve 11 kW güçlerindeki asenkron motorlar için optimum mil çapı boyutları analiz edilmiştir. Farklı çaplardaki mil boyutlarının asenkron motorun rotor boyunduruk kısmındaki manyetik akı değerlerine, verim gibi performans parametrelerine, nüve ağırlığı gibi fiziksel parametrelere olan etkileri incelenmiştir.

2. MİL ÇAPININ HESABI (CALCULATION OF SHAFT DIAMETER)

Asenkron motorlarda kullanılan malzemeler (sac, iletken), performans değerleri (verim, güç faktörü, yol alma momenti ve akımı, devrilme momenti vb.), sıcaklık değerleri, yalıtım sınıfı, gövde boyutları, mil boyutları, soğutma türü, çalışma sınıfı, koruma sınıfı vb. birçok parametre uluslararası standartlar tarafından (NEMA, IEEE, IEC, EU, vb.) belirlenmiştir. Bu standartlar üretici firmaları ve tasarımcıları sınırlamakla birlikte ekonomik açıdan kabul görmüş durumdadır [18]. Türkiye' de çeşitli güçlerdeki asenkron motorların mil boyutlarını belirleyen standart ise "Endüksiyon Motorları-Üç Fazlı, Standard Boyutlu ve Çıkış Güçlü, Genel Amaçlı-Şasi Numaraları 56 ile 315 ve Flanş Numaraları 65 ile 740" isimli TS EN 50347 standardıdır [19].

Asenkron motor milinin teorik olarak hesap edilmesi için tasarım işlemlerinin sırasıyla yapılması gerekmektedir. Stator iç-dış çap değerleri, stator nüve ve oluk değerleri, hava aralığı uzunluğu, rotor iç çap değeri, rotor oluk değerleri, rotor boyunduruk değeri belirlendikten sonra mil çapı belirlenebilir. Çeşitli tasarım kitaplarında mil çapının hesap yöntemi, motor tasarım formülleri vb. verilmiştir [18, 20].

Asenkron motorda maksimum mil çapı d_{mil} , tasarım parametrelerine göre aşağıdaki formül ile hesap edilebilir [18].

$$d_{mil} = D_{is} - 2 * g - 2 * (h_{or} + h_r + h_{cr}) \text{ mm} \quad (1)$$

Burada D_{is} stator iç çapını, g hava aralığı uzunluğunu, h_{or} , h_r ve h_{cr} sırasıyla rotor kama yüksekliğini, rotor oluk

yüksekliğini ve rotor boyunduruk yüksekliğini ifade etmektedir.

Yung çalışmasında asenkron motorun minimum mil çapının (kamalı mil için) güç değerine P (kW) ve hız değerine N (d/d) bağlı olarak aşağıdaki gibi hesap edilebileceğini ifade etmiştir [21].

$$d_{mil} = \sqrt[3]{\frac{1.33 \cdot 10^6 \cdot P}{N}} \text{ mm} \quad (2)$$

Yung aynı çalışmada kamasız mil için ise minimum mil çapını aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

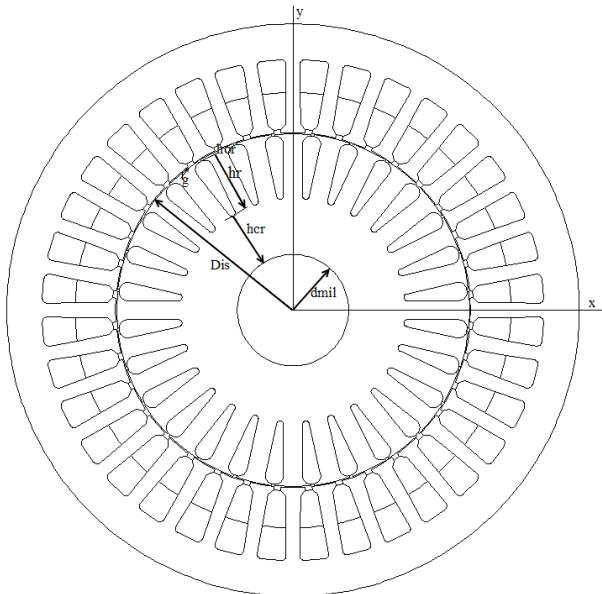
$$d_{mil} = \sqrt{\frac{0.677 \cdot 10^6 \cdot P}{N}} \text{ mm} \quad (3)$$

Modellemelerde 5.5 kW, 7.5 kW ve 11 kW'lık üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmıştır. Motorlara ait bilgiler Tablo 1' de verilmiştir. Ayrıca 5.5 kW motor 132S, 7.5 kW motor 132M ve 11 kW motor 160M gövde yapısına sahiptir.

Tablo 1. Motorların özellikleri (Specification of motors)

	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Güç (kW)	5.5	7.5	11
Gerilim (V)	460	400	380
Hız (d/d)	1764	1478	1462
Dış çap (mm)	160	215	260
İç çap (mm)	111.6	130	170
Mil çapı (mm)	35	44	60

Şekil 1' de modellemesi yapılan 5.5 kW gücündeki sincap kafesli asenkron motorun iki boyutlu kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. 5.5 kW gücündeki asenkron motorun kesit görünüşü (Sectional view of 5.5 kW induction motor)

Mil çaplarının etkisinin görülebilmesi için modellemesi yapılan asenkron motorların sadece mil çaplarında değişiklik yapılmıştır. Motorların diğer herhangi bir parametresinde değişiklik yapılmamıştır.

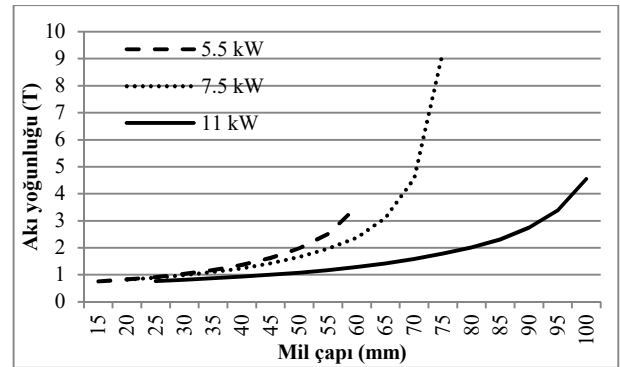
Ulusal ve uluslararası boyutta asenkron motor tasarımı ve imalatı yapan firmalara ait mil çapı değerleri Şekil 2' de

verilmiştir [22-31]. Şekil incelendiğinde mil çaplarının standartlarda [32] belirtilen boyutlarda olduğu görülmektedir. Gövde yapısının büyümesi ve pik dökümlü gövde kullanılan asenkron motorlarda farklı devir sayıları için farklı mil çaplarının kullanıldığı görülmektedir.

3. ELDE EDİLEN SONUÇLAR (OBTAINED VALUES)

Bu çalışmada 5.5 kW, 7.5 kW ve 11 kW gücündeki üç motorun mil çaplarının değerleri değiştirilerek motor performansının nasıl değiştiği incelenmiştir. Özellikle rotor boyunduruk kısmındaki manyetik akı değerlerinin değişimi, rotor ağırlığı ve verim gibi parametreler karşılaştırılmıştır. Optimum mil çapı belirlenmeye çalışılmıştır. Analizler için asenkron motor tasarım kitaplarından faydalanılmıştır [18, 20].

Mil çapı ile rotor boyunduruk kısmındaki manyetik akı yoğunluğu değerlerinin değişimi her üç motor tipi için Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 2. Mil çapı-akı yoğunluğu grafiği (Graphic of shaft diameter-flux density)

Grafik incelendiğinde mil çapının artması ile birlikte rotor boyunduruk kısmının azalmasına bağlı olarak manyetik akı yoğunluğu değerlerinin her üç motor için de arttığı görülmektedir.

Şekil 4' de ise mil çapı ile rotor nüve ağırlığı arasındaki değişim verilmiştir. Şekil incelendiğinde mil çapının artması rotor nüve ağırlıklarında azalma ile sonuçlanmış olup, rotor boyunduruk yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak gözle görülür oranda azalma söz konusu olmuştur.

- Case Study,” Presented At ProceedIngs Of The International Conference On Electrical Machines (Icem 2004), Krakow, Poland, Pp. 5-8, Sept. 2004.
- [8] Y. Yanawati, I. Daut, S. N. Shafiqm, I. Pungut, M. N. Syatrah, N. Gomesh, A. R. S. Rafidah And N. Haidar, “Efficiency Increment On 0.35 Mm And 0.50 Mm Thicknesses Of Non-Oriented Steel Sheets For 0.5 Hp Induction Motor,” *Int. J. Mater. Eng.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 1-5, 2012.
- [9] P. W. Han, U. J. Seo, J. H. Choi, Y. D. Chun, D. H. Koo And J. Lee, “Optimizing Design Variables For High Efficiency Induction Motor Considering Cost Effect By Using Genetic Algorithm,” *J. Electr. Eng. Technol.*, Vol. 7, No. 6, Pp. 948-953, 2012.
- [10] A. F. Khazim, S. Rajendran, M. K. A. Khan, R. Gobbi And K. Anayet, “Design Of A Three Phase Induction Motor Based On Efficiency Improvement Using Amorphous Iron Material,” Presented At 2nd Engineering Conference On Sustainable Engineering Infrastructures Development & Management, Kuching, Sarawak, Malaysia, Dec. 2008.
- [11] A. K. Verma, S. Sarangi And M. H. Kolekar, “Shaft Misalignment Detection Using Stator Current Monitoring,” *Int. J. Adv. Comput. Res.*, Vol. 3, No. 1, Pp. 305-309, 2013.
- [12] S. G. Kolgırı And R. K. Petkar, “Study Of Different Stresses Induced In Rotor Shaft Of Electric Motor,” *Int. J. Appl. Innovation Eng. Manage.*, Vol. 3, No. 1, Pp. 167-175, 2014.
- [13] A. H. Bonnett, “Root Cause Ac Motor Failure Analysis With A Focus On Shaft Failures,” *Ieee Trans. Ind. Appl.*, Vol. 36, No. 5, Pp. 1435-1448, 2000.
- [14] V. K. Singh, S. Chatterji And L. Mathew, “Bearing Fault Detection Of An Induction Motor Using Non-Stationary Signal Analysis,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Software Eng.*, Vol. 4, No. 8, Pp. 1170-1177, 2014.
- [15] H. H. Kadhim, “Technical And Economic Design Of Three Phase Induction Motor Using The Multi-Criterion Optimization Method,” *J. Babylon Univ./Eng. Sci.*, Vol. 22, No. 1, Pp. 13-24, 2014.
- [16] L. Zhang, Y. Huang, J. Dong, B. Guo And T. Zhou, “Stator Winding Design Of Induction Motors For High Efficiency,” Presented At 17th International Conference On Electrical Machines And Systems (Icems), Hangzhou, China, Pp. 130-134, Oct. 2014.
- [17] J. Buksnaitis, “New Approach For Evaluation Of Electromagnetic Properties Of Three-Phase Windings,” *Electron. Electr. Eng.*, Vol 3, No. 75, Pp. 31-36, 2007.
- [18] I. Boldea And S. A. Nasar, “The Induction Machine Handbook,” Crc Pres Llc, Washington, 2002.
- [19] Ts En 50347, “Endüksiyon Motorları-Üç Fazlı, Standard Boyutlu Ve Çıkış Güçlü, Genel Amaçlı-Şası Numaraları 56 İla 315 Ve Flaş Numaraları 65 İla 740,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Şubat, 2005.
- [20] J. H. Kuhlmann, “Elektrik Makinalarının Hesabı,” 3th Ed. 1974.
- [21] C. Yung, “Relationship Of Torque And Shaft Size,” 2015.
- [22] Abb, “Motor Gulde-Basic Technical Information About Low Voltage Standard Motors,” Pp. 1-128, Feb. 2014.
- [23] Elsan Elektrik San. Ve Tic. A.Ş., “Norm Elektrik Motorları,” Pp. 1-16, 2016.
- [24] Gamak, “Genel Ürün Kataloğu, Asenkron Motorlar,” Pp. 1-104, 2016.
- [25] Leeson Electric, “Basic Training Industrial-Duty & Commercial-Duty Electric Motors, Gear Reducers, Gear Motors, Ac & Dc Drives,” Pp. 1-114, 2012.
- [26] Volt Elektrik, “Teknik Katalog, Volt Elektrik Motorları,” 2016.
- [27] Wat, “Motor Katalog,” Pp. 1-56, 2016.
- [28] Mıksan, “Trifaze Motor Ölçüleri,” Pp. 1, 2016.
- [29] Siemens, “Simotics Low Voltage Motors,” Pp. 1-501, Jan. 2012.
- [30] Tesla, “Series Three-Phase Asynchronous Motors, Aluminum Housing,” Pp. 1-4, 2016.
- [31] Crompton Greaves, “Induction Motors, Frame 63 To 355 Low Tension Tefc & Spdp Induction Motors,” Pp. 1-50, 2016.
- [32] Grupo Weg, “Motors, Specification Of Electric Motors,” Pp. 1-68, 2016.