



ASENKRON MOTORUN BOYUNDURUK VE DIŞ BOYUTLARININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

*Asım Gökhan YETGİN¹, Mustafa TURAN², Ali İhsan ÇANAKOĞLU¹

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, agyetgin@dpu.edu.tr, acanakoglu@dpu.edu.tr

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, turan@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi: 23.11.2011

Kabul Tarihi: 27.02.2012

ÖZET

Bu çalışmada sincap kafesli bir asenkron motorun stator ve rotor boyunduruk ve dış boyutlarının motor performansına etkileri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Referans motorun stator iç çapı artırılarak (dış çap sabit) oluşturulan yeni motor modelinden elde edilen performans değerleri, referans motordan elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeni oluşturulan motor modeli ile referans motor modelinden elde edilen manyetik alan dağılımları, nominal çalışma noktasındaki işletme değerleri, elde edilen kayıp güç değerleri, nüve ağırlıkları ve performans grafikleri (moment, verim) karşılaştırılmalı olarak çizelge ve grafikler halinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Asenkron motor, stator-rotor boyunduruk ve dış boyutları, performans analizi, sonlu elemanlar yöntemi*

THE EFFECTS OF YOKE AND TOOT DIMENSIONS ON INDUCTION MOTOR PERFORMANCE

ABSTRACT

In this study, the effects of stator and rotor yokes and dimensions of stator and rotor teeth on motor performance in squirrel-cage induction motor were investigated using finite element method. A new motor model was obtained by means of increasing the inner stator diameter of the reference motor (taken outer diameter fixed). The performance values obtained from new motor model were compared with those obtained from reference motor model. In additionally, the magnetic field distributions, operational characteristics for nominal point, power loss values, core weights and performance graphics (such as, torque and efficiency vs. slip) were given.

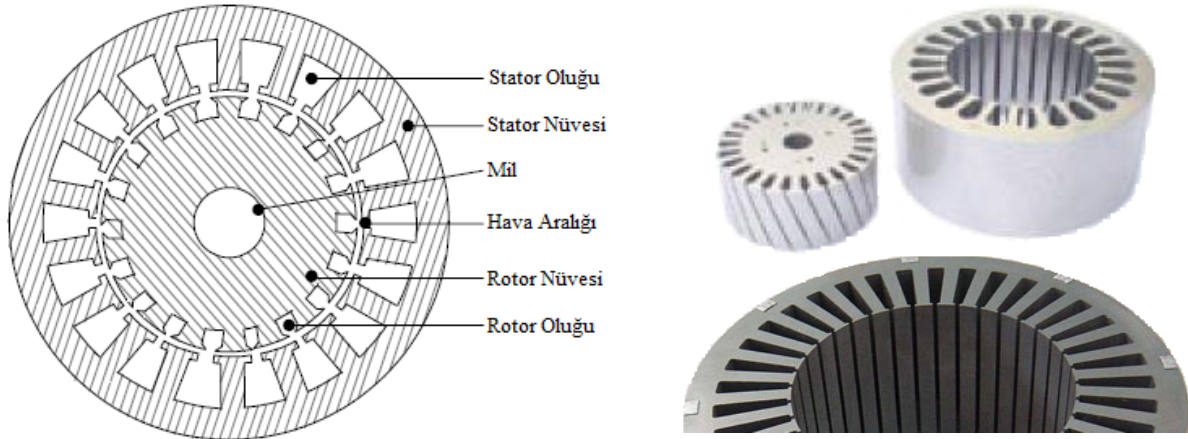
Keywords: *Induction motor, core dimensions, analysis of performance, finite element method*

1. GİRİŞ

Asenkron motorun performansını belirlemede birçok parametre etkin olarak rol oynar. Motor performansını belirleyen önemli parametreler moment, akım, güç faktörü, çıkış gücü, verim vb. olarak verilebilir. Bu parametrelerin iyileştirilmesi şüphesiz motor performansında da önemli artılar getirecektir. Motor performansını artırmak için aşağıdaki yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır [1].

- Daha kaliteli / daha küçük kayıplı nüve malzemesi kullanılması [2]
- Optimum stator ve rotor tasarımı [3,4,5]
- Optimum hava aralığı [6,7,8]
- Paket boyunun optimum seçilmesi [9,10,11]
- Kayıpların azaltılması [12,13,14]
- Doymanın engellenmesi [15]
- Kaçak reaktansların azaltılması, faydalı akının artırılması [1]
- Harmoniklerin azaltılması [16]
- Tasarım parametrelerinin optimizasyonu [17]
- Eşdeğer devre parametrelerinin optimizasyonu [18,19]

Motor performansını etkileyen önemli faktörlerden biri olan manyetik akı yoğunluğu değerinin fazla olması demir kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden motor tasarımı yapılırken stator ve rotor dişleri ile boyunduruk kısımlarında meydana gelebilecek doymaların önüne geçmek için oluk geometrilerinin ve boyunduruk yüksekliklerinin optimum olarak tasarlanması gerekmektedir. Genellikle doymaların önüne geçebilmek için oluk kenarları birbirlerine paralel olarak yapılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca endüstride son zamanlarda tasarlanan motorların stator ve rotor diş genişliklerinin oluk genişliği kadar yapıldığı ve stator boyunduruk yüksekliğinin düşürüldüğü, buna mukabil rotor boyunduruk yüksekliğinin artırıldığı görülmektedir [1]. Tanımlanan bu son yapı tipi, endüstride kullanılan motorlarda standart bir yapı haline gelmeye başlamıştır. Bu tür yapılara örnek modeller Şekil 1’ de verilmiştir.



Şekil 1. Stator ve rotor oluk geometrileri [20, 21, 22]

Bu çalışmada ise asenkron motorun performansını geliştirebilmek amacıyla stator ve rotor boyunduruk yüksekliği ile diş genişliklerinin boyutları değiştirilerek yeni bir tasarım oluşturulmuştur. Stator iç çap değeri 4 mm artırılarak (stator dış çapı sabit) oluşturulan bu yeni tasarımın motor performansına etkileri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

2. REFERANS ve YENİ OLUŞTURULAN MOTOR MODELLERİ

Karşılaştırmalarda kullanılacak olan referans motorun (R.M.) etiket değerleri çizelge 1’ de, geometrik yapı ve diğer bilgileri çizelge 2’ de, stator ve rotor oluk geometri değerleri ise çizelge 3’ de verilmiştir.

Çizelge 1. Referans motorun etiket değerleri

Motor Parametreleri	Sembol	Değer
Nominal güç [kW]	P_n	3
Nominal gerilim [V]	U_n	380
Nominal akım [A]	I_n	6.63
Bağlantı		Yıldız
Frekans [Hz]	f_1	50
Faz sayısı	m	3
Güç faktörü	$\cos\phi$	0.88
Nominal verim [%]	η	78
Rotor devir sayısı [d/d]	n_r	2844

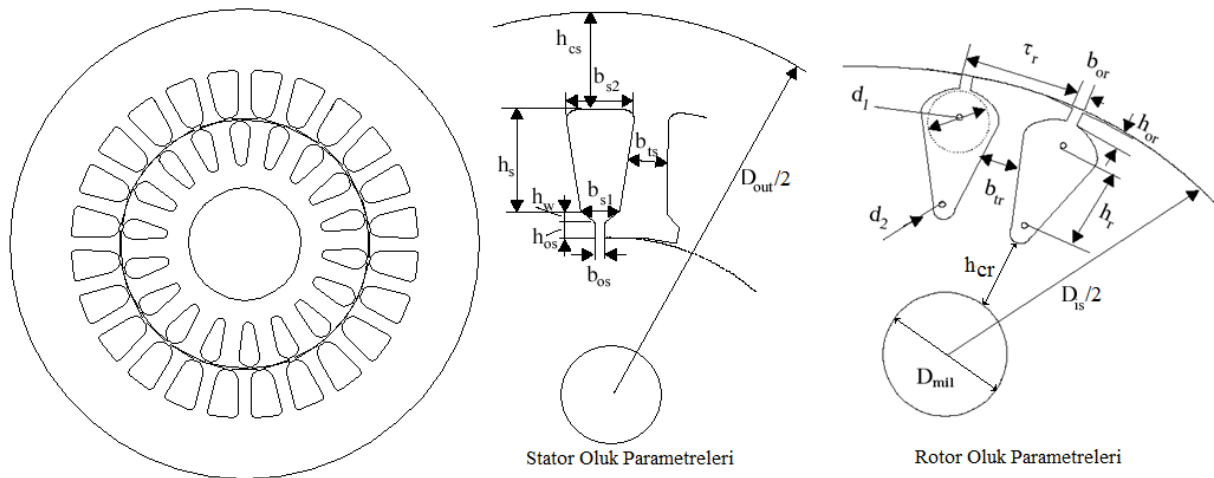
Çizelge 2. Referans motorun geometrik bilgileri

Motor parametreleri	Sembol	Değer
Stator oluk sayısı	N_s	24
Rotor oluk sayısı	N_r	18
Kutup sayısı	p	1
Stator oluk geometrisi		Trapezoidal
Rotor oluk geometrisi		Damla

Çizelge 3. Referans motorun oluk geometri değerleri

Motor parametreleri	Sembol	Değer [mm]
Stator dış genişliği	b_{ts}	4.36
Stator oluk alt genişliği	b_{s1}	6.96
Stator oluk üst genişliği	b_{s2}	9.78
Stator oluk yüksekliği	h_s	14.86
Stator boyunduruk yüksekliği	h_{cs}	19.5
Rotor dış genişliği	b_{tr}	5.97
Rotor oluk üst genişliği	d_1	6.56
Rotor oluk alt genişliği	d_2	3.22
Rotor oluk yüksekliği	h_r	14.41
Rotor boyunduruk yüksekliği	h_{cr}	6.81

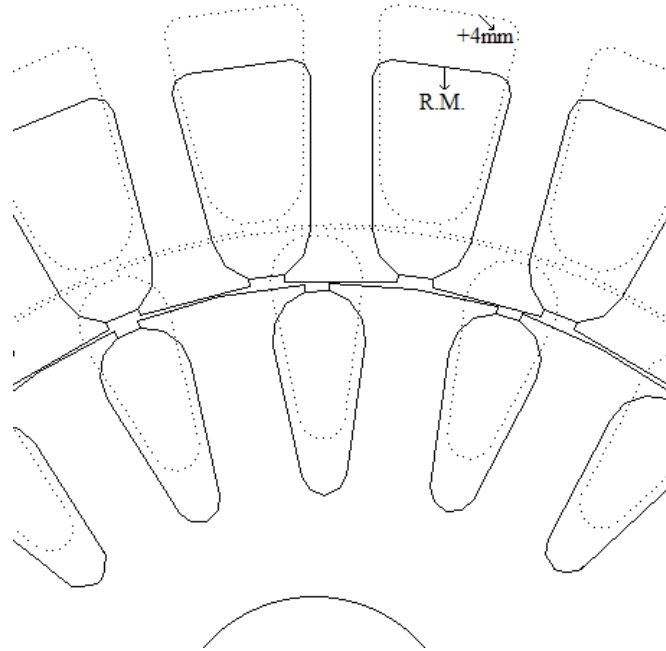
Referans motorun 2 boyutlu kesiti ve oluk geometrilerinin detaylı gösterimi Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Asenkron motorun 2 boyutlu kesiti ve stator-rotor oluk geometrileri

Referans motorun stator iç çapı artırılarak yeni motor modeli oluşturulmuştur. Tasarımı yeniden yapılan motorun stator ve rotor oluk geometri ve sayılarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Dış çap, mil çapı, hava aralığı uzunluğu ve paket boyu gibi değerler de sabit tutulmuştur. Burada amaç stator iç çapını artırarak stator ve rotor dış genişliklerini artırmak ve dişlerde meydana gelen doymaların önüne geçmektir. Ayrıca stator iç çapının optimum değerde seçilmesi ile stator ve rotor dış diplerinde meydana gelen doymaların azaltılması ve performans artırımı amaçlanmaktadır.

Şekil 3’ de referans motor ve +4mm’ lik motorların stator ve rotor dişlerinde meydana gelen farklılıkları görebilmek amacıyla oluk yapılarının detaylı çizimleri verilmiştir. Burada düz çizgiler referans motor modelini, noktalı çizgiler iç çapı artırılmış +4mm’ lik motor modelini göstermektedir.



Şekil 3. Referans ve +4mm motor modellerinin kesit görüntüsü

3. STATOR VE ROTOR BOYUNDURUK YÜKSEKLİĞİ VE DİŞ GENİŞLİKLERİNİN HESAPLANMASI

Şekil 2’ de verilen stator oluk geometrisi için stator diş akı yoğunluğu B_{ts} , hava aralığı akı yoğunluğu B_g ve stator oluk adımı τ_s değerleri kullanılarak stator diş genişliği b_{ts} aşağıdaki gibi hesaplanabilir. K_{fe} paketleme faktörüdür [23].

$$b_{ts} = \frac{B_g \tau_s}{B_{ts} K_{fe}} \quad (1)$$

Stator boyunduruk yüksekliği h_{cs} ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. D_{out} stator dış çapını, D_{is} stator iç çapını, h_{os} stator oluk ağız yüksekliğini, h_s stator oluk yüksekliğini ifade etmektedir.

$$h_{cs} = \frac{D_{out} - (D_{is} + 2(h_{os} + h_s))}{2} \quad (2)$$

Stator boyunduruk yüksekliği değeri bilindiğinden stator boyunduruk akı yoğunluğu B_{cs} eşitlik [3] ile bulunur. L_p paket boyu, Φ akı değeridir.

$$B_{cs} = \frac{\Phi}{2L_p h_{cs}} \quad (3)$$

Stator oluk tasarımında olduğu gibi rotor oluk geometrisi için de önemli parametreler olan diş genişliği ve rotor boyunduruk yüksekliği formülleri verilmiştir. Şekil 2’ de tanımlanmış parametreler temel alınarak rotor oluk boyutlandırması aşağıdaki gibi yapılır.

Rotor diş akı yoğunluğu B_{tr} , hava aralığı akı yoğunluğu B_g ve rotor oluk adımı τ_r değerleri kullanılarak rotor diş genişliği b_{tr} bulunabilir [23].

$$b_{tr} = \frac{B_g \tau_r}{B_{tr} K_{fe}} \quad (4)$$

Rotor boyunduruk yükseklik değeri h_{cr} ise eşitlik [5] ile hesaplanır. İfade de, g hava aralığı uzunluğunu, h_{or} oluk ağız yüksekliğini, h_r oluk yüksekliğini, D_{mil} mil çapını ifade etmektedir.

$$h_{cr} = \frac{D_{is} - 2(g + h_{or} + h_r) - D_{mil}}{2} \quad (5)$$

Rotor boyunduruk yükseklik değeri hesaplandıktan sonra rotor boyunduruğundaki akı yoğunluğu değeri B_{cr} aşağıdaki gibi bulunur.

$$B_{cr} = \frac{\phi}{2L_p h_{cr}} \quad (6)$$

Stator iç çapının değiştirilmesi ile stator ve rotor diş genişlikleri ile boyunduruk yükseklik değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu parametrelerin değişim miktarları +4mm' lik motor modeli için çizelge 4' de verilmiştir.

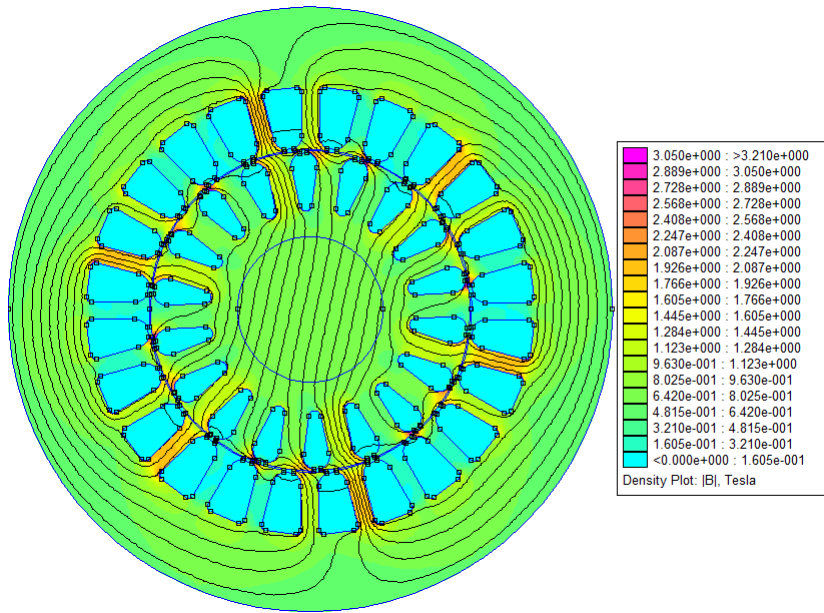
Çizelge 4. Referans ve +4mm motor modellerinin diş genişliği ve boyunduruk yükseklik değerleri ve bağıl fark değerleri [1]

Motor parametreleri	Sembol	Referans motor [mm]	+4mm motor [mm]	Bağıl fark [%]
Stator diş genişliği	b_{ts}	4.36	5.40	19.259
Stator boyunduruk yüksekliği	h_{cs}	19.50	15.50	-20.512
Rotor diş genişliği	b_{tr}	5.97	7.37	23.450
Rotor boyunduruk yüksekliği	h_{cr}	6.81	10.81	58.737

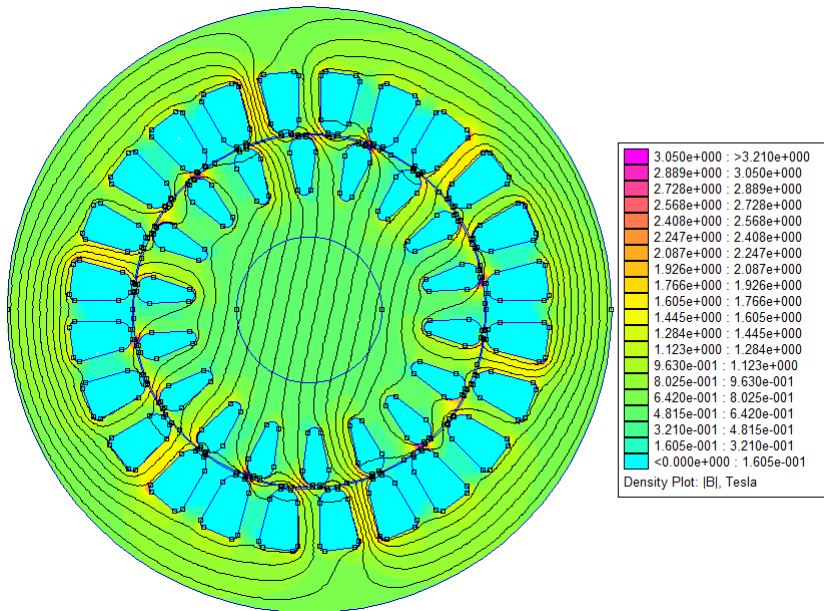
Çizelgeden de anlaşılacağı üzere stator iç çapı artırıldığında stator ve rotor diş genişlikleri referans motora göre sırasıyla % 19.259 ve % 23.450 oranlarında arttığı görülmekte iken, stator boyunduruk yüksekliğinde % 20.512 azalma, rotor boyunduruk yüksekliğinde ise % 58.737 oranında artma meydana gelmiştir.

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Referans motor ve +4mm motor modelleri için F.E.M.M. (Finite Element Method Magnetics) [24] programından elde edilen manyetik alan dağılımları Şekil 4 ve Şekil 5' de verilmiştir. F.E.M.M. ile yapılan modellemelerde mil merkezi koordinat sisteminin orijini'dir. Alan dağılımları motorun nominal kayma değerinde elde edilmiştir. Her iki motor modeli için stator ve rotor diş ve boyunduruk kısımlarında çeşitli noktalardan ölçülen manyetik akı yoğunluk değerleri Çizelge 5' de verilmiştir.



Şekil 4. Referans motor modelinin alan dağılımı



Şekil 5. +4mm motor modelinin alan dağılımı

Çizelge 5. Stator ve rotor diş ve boyunduruk kısımlarındaki manyetik akı değerleri

Koordinatlar [mm] (x, y)	Manyetik akı yoğunluğu [T]		Bağıl fark [%]
	Referans motor	+4mm motor	
-12.9, 46.9	1.93259	1.59429	-17.505
30.8, 54.4	0.73504	0.88152	19.928
4.5, 21	0.68893	0.58038	-15,756
-8.3, 2.8	1.22903	1.00066	-18,581
7.2, -34	1.16275	0.95170	-18,150

Şekillerden anlaşılacağı üzere +4mm motor modelinde stator dış genişliği arttığı için stator dışlarındaki doymalar referans motora göre azalmıştır. Stator boyunduruk yüksekliği küçüldüğü için, bu kısımlardaki doyma miktarı referans motora göre bir miktar artış göstermiştir. Benzetimler bu artışın performansı etkilemediğini tam tersine stator boyunduruk ağırlığında belli bir miktarda azalma meydana gelmiş olmasından dolayı stator boyunduruk kayıplarında önemli bir oranda azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6' da referans ve +4mm motor modellerinden elde edilen nüve ağırlık değerleri ve bağıl fark değerleri verilmiştir. Çizelge 7' de ise referans ve +4mm motor modellerinin kayıp güç ve bağıl fark değerleri verilmiştir.

Çizelge 6. Referans ve +4mm motor modellerinin nüve ağırlık ve bağıl fark değerleri [1]

Motor parametreleri	Referans motor [Kg]	+4mm motor [Kg]	Bağıl fark [%]
Stator dış ağırlığı	1.8563	2.2990	23.848
Stator boyunduruk ağırlığı	8.2887	6.7904	-18.076
Rotor dış ağırlığı	2.1558	2.6545	23.132
Toplam ağırlık	12.3008	11.7439	-4.527

Çizelge 7. Referans ve +4mm motor modellerinin kayıp güç ve bağıl fark değerleri [1]

Motor parametreleri	Referans motor [W]	+4mm motor [W]	Bağıl fark [%]
Stator bakır kayıpları	165.006	164.388	-0.375
Rotor bakır kayıpları	164.513	162.834	-1.023
Stator dış kayıpları	106.735	95.507	-10.519
Stator boyunduruk kayıpları	286.417	260.776	-8.952
Rotor dış kayıpları	2.901	1.903	-34.401
Pulzasyon kayıpları	5.272	3.766	28.566
İlave yük kayıpları	30.156	28.426	-5.736
Sürtünme-vantilasyon kayıpları	90	90	-----
Toplam kayıplar	851.0	807.6	-5.099

Stator boyunduruk yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak stator boyunduruk ağırlığı % 18.076 oranında azalmıştır. Bu nedenle stator boyunduruk kayıpları % 8.952 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Rotor boyunduruk yüksekliğinin artmış olmasına rağmen, rotor boyunduruk kayıpları frekansın küçük olması sebebiyle fazla değişim göstermemiştir. Stator dış ağırlığı, dış genişliğinin artmasından dolayı % 23.848 oranında artmış, fakat +4mm motorun dışlarında meydana gelen doymaların azalmasına bağlı olarak stator dış kayıpları % 10.519 azalmıştır. Toplam kayıplarda ise +4mm motor modeli, referans motor modeline göre % 5.099 oranında bir azalma göstermiştir. Stator ve rotor bakır kayıplarında ise oluk ve sargı yapısı ile ilgili herhangi bir değişiklik yapılmadığı için bu kayıplarda fazla bir değişim meydana gelmemiştir.

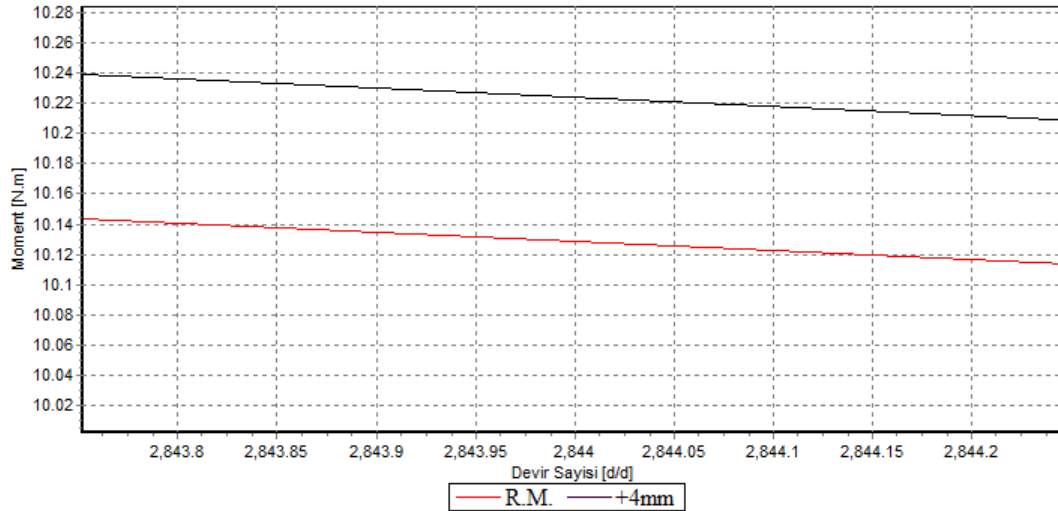
Çizelge 8' de referans ve +4mm motor modellerinin nominal çalışma noktasındaki işletme değerleri ve bağıl fark değerleri verilmiştir.

Çizelge 8. Referans ve +4mm motor modellerinin nominal çalışma noktasındaki işletme değerleri ve bağıl fark değerleri [1]

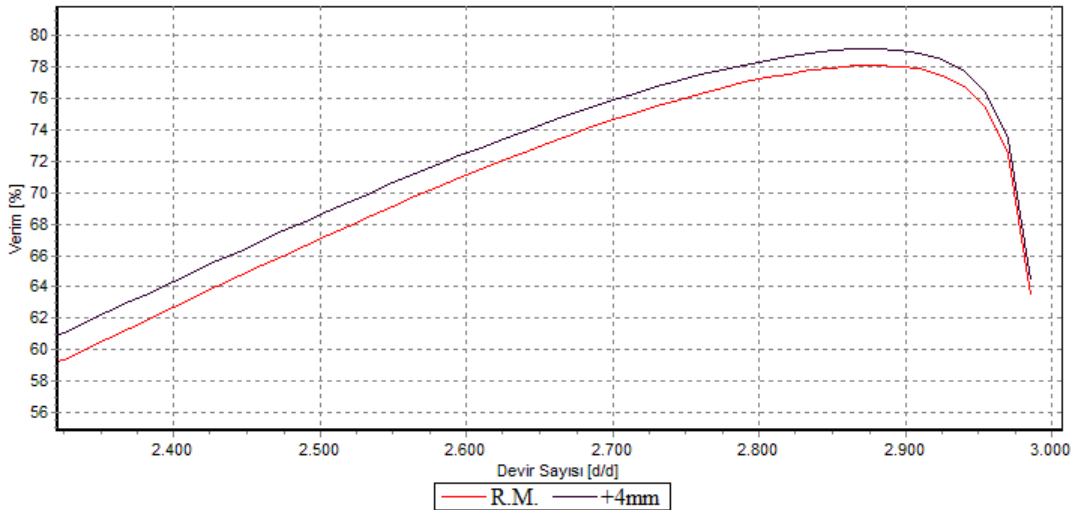
Motor parametreleri	Referans motor	+4mm motor	Bağıl fark [%]
Çıkış gücü [W]	2999.2	3030.0	1.026
Verim [%]	77.890	78.965	1.380
Nominal akım [A]	6.673	6.645	-0.419
Güç faktörü	0.874	0.875	0.114
Nominal moment [N.m]	10.129	10.223	0.928

Nominal noktada elde edilen işletme değerleri incelendiğinde +4mm motor modelinin referans motora göre daha iyi işletme değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 6 ve 7’ de referans ve +4mm motor modellerinin devir sayısı-moment ve devir sayısı-verim eğrilerinin detaylı gösterimi verilmiştir.



Şekil 6. Referans ve +4mm motor modellerinin devir sayısı-moment eğrileri (nominal çalışma noktası civarında)



Şekil 7. Referans ve +4mm motor modellerinin devir sayısı-verim eğrileri [1]

Çizelge 9 ve 10’ da referans motor ve +4mm motor modellerinin nominal moment ve nominal noktadaki verim değerleri ile bağlı fark değerleri verilmiştir.

Çizelge 9. Referans ve +4mm motor modellerinin moment ve bağlı fark değerleri [1]

Motor modeli	Nominal Moment [N.m]	Bağlı fark [%]
Referans motor	10.129	
+4mm motor	10.223	0.928

Çizelge 10. Referans ve +4mm motor modellerinin nominal noktadaki verim ve bağıl fark değerleri [1]

Motor modeli	Verim [%]	Bağıl fark [%]
Referans motor	77.890	
+4mm motor	78.965	1.380

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada ele alınan referans motorun stator ve rotor dipleri ile rotor boyunduruk kısmında meydana gelen doymaların azaltılması amacıyla, motorun stator iç çap değeri 4 mm artırılarak yeni bir motor tasarımına gidilmiştir. Oluşturulan yeni motor tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Stator boyunduruk yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak stator boyunduruk ağırlığı % 18.076 oranında azalmıştır. Bu nedenle stator boyunduruk kayıpları % 8.952 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Rotor boyunduruk yüksekliğinin artmış olmasına rağmen, rotor boyunduruk kayıpları frekansın küçük olması sebebiyle fazla değişim göstermemiştir. Stator dış ağırlığı, dış genişliğinin artmasından dolayı % 23.848 oranında artmış, fakat +4mm motorun dışlarında meydana gelen doymaların azalmasına bağlı olarak stator dış kayıpları % 10.519 azalmıştır. Toplam kayıplarda ise +4mm motor modeli, referans motor modeline göre % 5.099 oranında bir azalma göstermiştir.

Stator iç çapının 4 mm artırılması ile nominal moment değerinde % 0.928 oranında bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Verim değerinde ise manyetik alan dağılımında referans motor modeline göre daha az zorlanmalar meydana geldiği ve buna bağlı olarak da kayıp değerlerindeki azalmalara bağlı olarak % 1.380 oranında bir artma elde edildiği görülmektedir.

Sonuçlar göstermektedir ki, asenkron motorun stator-rotor dış genişlik değerlerinin uygun şekilde tasarlanması ve nüve boyunduruk kısımlarının optimizasyonu ile motor performansını artırmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] A. G. Yetgin, “Yarıklı Nüve Tasarımı İle Asenkron Motor Performansının İyileştirilmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110, (2010).
- [2] A. G. Yetgin, A. İ. Çanakoğlu, “Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Çelik Sacların Asenkron Motor Performansı Üzerine Olan Etkileri ve Verimin İyileştirilmesi”, 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu EVK’2005, 25–27, Kocaeli, (2005).
- [3] H. V. Kalankesh, M. B. B. Sharifian, M. R. Feyzi, “Multi-Objective optimization of Induction Motor Slot Design using Finite Element Method”, Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2003, Proceedings of the 2003 10th IEEE International Conference on 14-17 December, (3), 1308 – 1311, (2003).
- [4] J. W. Kim, B. T. Kim, B. I. Kwon, “Optimal Stator Slot Design of Inverter-fed Induction Motor in Consideration of Harmonic Losses”, IEEE Transactions on Magnetics, 41(5), 2012-2015, (2005).
- [5] M. R. Feyzi, H. V. Kalankesh, “Optimization of Induction Motor Design by Using the Finite Element Method”, Electrical and Computer Engineering Canadian Conference, (2), 845–850, 13–16 May, (2001).
- [6] M. N. Benallal, M. A. Vaganov, D. S. Pantouhov, E. Ailam, K. Hamouda, “Optimal Value of Air Gap Induction in an Induction Motor”, XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, 1-4, Rome, (2010).

- [7] P. Pichler, P. Ebner, H. Weiss, “Comparison Analytical and Calculation Software as a Tool for Designing a High Efficient Induction Machine”, 44th International Conference Power Electronics, Intelligence Motion, Power Quality, CD-ROM Proceeding, 6, Nürnberg.
- [8] J. H. Dableh, R. D. Findlay, B. Szabados, R. Belmans, S. Lie, “Investigation of the Air Gap Influence on the Performance and Cost Optimization of a Squirrel Cage Induction Motor”, Proceeding of IEE 6th International Conference on Electrical Machines and Drivers, U.K., 32-37, (1993).
- [9] T. Aho, J. Nerg, J. Pyrhönen, “Optimizing the Axial Length of the Slitted Solid Iron Rotor”, Industrial Electronics and Applications, ICIEA2007, 2nd IEEE conference, 255-259, Harbin, (2007).
- [10] A. Boglietti, A. Cavagnino, L. Ferraris, M. Lazzari, G. Luparia, “Induction Motor Efficiency Improvements with Low Additional Production Costs”, Power Electronics, Machines and Drivers, PEMD2004, Second International Conference on 31 march-2 april, 775-780, (2004).
- [11] O. Muravleva, O. Muravlev, “Power Effective Induction Motors for Energy Saving, Science and Technology”, KORUS2005, Proceeding the 9th Russian-Korean International Symposium on 26 june-2 july, 358-362, (2005).
- [12] K. Yamazaki, “Loss Calculation of Induction Motors Considering Harmonic Electromagnetic”, Electrical Engineering in Japan, 147(2), 63-73, (2004).
- [13] S. S. Sivaraju, N. Devarajan, “Novel Design of Three Phase Induction Motor Enhancing Efficiency, Maximizing Power Factor and Minimizing Losses”, European Journal of Scientific Research, 58(3), 423-432, (2011).
- [14] S. B. Park, H. B. Lee, S. Y. Hahn, “Stator Slot Shape Design of Induction Motors for Iron Loss Reduction”, IEEE Transactions on Magnetism, 3(3), 2004–2007, (1995).
- [15] R. D. Lorenz, D. W. Novotny, “Saturation Effects in Field-Oriented Induction Machines”, IEEE Transactions on Industry Applications, 26(2), 283-289, (1990).
- [16] H. O. Mirzamani, A. L. Choobar, “Study of Harmonics Effects on Performance of Induction Motors”, 8th WSEAS International Conference on Circuits, CSCC 2004, 487-837, Greece, (2004).
- [17] A. G. Yetgin, “Üç Fazlı Asenkron Makine Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 139, (2004).
- [18] D. Bea, D. Kim, H. K. Jung, S. Y. Hahn, C. S. Koh, “Determination of Induction Motor Parameters by using Neural Network based on FEM Results”, IEEE Transaction on Magnetism, 33(2), 1924-1927, (1997).
- [19] K. Idir, L. Chang, H. Dai, “Improved Neural Network Model for Induction Motor Design”, IEEE Transactions on Magnetism, 34(5), 2948-2951, (1998).
- [20] <http://electrical-engineering-portal.com/construction-of-3-phase-ac-induction-motors/>, (2011).
- [21] <http://www.asianproducts.com/company/A11869722704710411/dongguan-original-spring.html>, (2011).
- [22] http://www.tootoo.com/buy-electric_motor_laminations/, (2011).
- [23] I. Boldea, S. A. Nasar, “The Induction Machine Handbook”, CRC Pres LLC, Washington, D.C., 133–159, (2002).
- [24] D. Meeker, “Induction Motor Example”, 13, (2004).