



## ROTOR OLUK GENİŞLİĞİ VE ROTOR OLUK YÜKSEKLİĞİ ORANININ SİNCAP KAFESLİ ASENKRON MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Asım Gökhan YETGİN<sup>1,\*</sup>, Mehmet Murat TEZCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

<sup>2</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Asenkron motor,  
Rotor oluk yapısı,  
Dikdörtgen oluk,  
Performans analizi.

### Öz

Asenkron motor performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri rotor oluk geometrisidir. Rotor oluk geometrilerindeki değişimin özellikle motorun moment-devir sayısı karakteristiği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada kare ve dikdörtgen rotor oluk yapısına sahip bir asenkron motorun rotor oluk genişliği ( $b_s$ ) ile rotor oluk yüksekliği ( $h_s$ ) oranının ( $h_s/b_s$ ) motor performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Değişik oranlar için motora ait moment, akım, akı yoğunlukları, nüve malzemesinin ağırlığı, kullanılan malzemelerin ağırlığı, akım yoğunluğu, verim vb. değerlerin değişimi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan motor 2.2 kW gücünde üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motor olup modellemeler için Rmxprt programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre  $h_s/b_s$  oranının optimum motor performansı için 2 ile 3 arasında olması gerektiği tespit edilmiştir.

## EFFECTS OF ROTOR SLOT WIDTH AND ROTOR SLOT HEIGHT RATIO ON SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTOR PERFORMANCE

### Keywords

Induction motor,  
Rotor slot structure,  
Rectangular slot,  
Performance analysis.

### Abstract

One of the most important parameters affecting induction motor performance is the rotor slot geometry. It is known that the change in the rotor slot geometry has a great influence on the torque-speed characteristic of the motor. In this study, we investigated how the ratio ( $h_s/b_s$ ) of the rotor slot width ( $b_s$ ) and rotor slot height ( $h_s$ ) to the motor performance of an induction motor with square and rectangular rotor slot structure. For different ratios, the parameters such as the motor torque, current, flux densities, weight of core material, weight of materials, current density, and efficiency were investigated. The used motor in the study is an induction motor with a three-phase, squirrel cage and 2.2 kW. Rmxprt program is used for the analytical models. According to the obtained results,  $h_s/b_s$  ratio has to be between 2 and 3 for optimum motor performance.

### Alıntı / Cite

Yetgin, A.G., Tezcan, M.M., (2019). Rotor Oluk Genişliği ve Rotor Oluk Yüksekliği Oranının Sincap Kafesli Asenkron Motor Performansına Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 60-64.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.G. Yetgin, 0000-0003-3971-0504  
M.M. Tezcan, 0000-0002-5390-4527

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.07.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.10.2018
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.11.2018
Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2019

### 1. Giriş

Bir asenkron motor tasarımı için temel gereksinimler, manyetik yükleme katsayısı, akı yoğunluğu, nüve uzunluğu, hava aralığı uzunluğu, kutup sayısı, stator ve

rotor oluklarının sayısı, stator ve rotor dış genişliği, devir sayısı, moment, verim, bakır ve nüve ağırlığı gibi parametrelerdir. Bu gereksinimlerin yanı sıra, kullanılan malzemelerin seçimi, daha iyi elektromanyetik bağlantı, daha iyi geometri ve

\* İlgili yazar / Corresponding author: agyetgin@mehmetakif.edu.tr, +90-248-213-2778

topoloji, termal tasarım, birim ağırlığa göre yüksek güç, birim ağırlık başına daha yüksek moment ve en iyi performans değerleri muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır (Prakash vd., 2014). İstenilen performansta bir asenkron motor tasarlayabilmek için yapılacak çalışmaların başında stator ve rotor oluk tasarımı gelmektedir. Özellikle rotor oluk tipinin motorun moment-devir sayısı karakteristiği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

Lee vd. (2017) çalışmalarında asenkron motorun rotor oluklarında damla tipi oluk ile dikdörtgen tipi oluk kullanılması durumunda motorun yol alma momentindeki değişimi incelemişlerdir. Dikdörtgen tipindeki oluk yapısında oluk ağız ve kama bölgesindeki alanın azaltılması ile motorun yol alma momentini 3.35 N.m' den 3.74 N.m' ye çıkarmışlardır. Jelassi vd. (2013) asenkron motorun rotor oluklarında, oluk ağız yarı kapalı ve tam açık (dikdörtgen) oluk kullanılması durumunda motorda meydana gelen demir kayıplarının değişimini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda oluk ağız açıklığının hesaplamalarda ihmal edilmemesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Chekroun vd. (2015) hibrid genetik algoritma kullanarak asenkron motorun stator ve rotor oluk geometrilerini optimize ederek motorun performansını artırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada rotor oluk yüksekliğini ve rotor oluk ağız açıklığını birer mm küçülterek performansı artırmışlardır. Tumbek vd. (2015) çalışmalarında 6 farklı rotor oluk yapısı için asenkron motorun optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon sonucunda oluk kenarları paralel tipte olan rotor oluklarının daha iyi verim değerlerine sahip olduklarını göstermişlerdir. Zhang vd. (2014) çalışmalarında NEMA D sınıfına ait rotor oluk geometrisini optimize ederek motor performansını artırmaya çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre oluk ağız genişliğinin artırılması ve rotor oluk çapının azaltılması ile verim değerinin arttığını göstermişlerdir. Gyftakis vd. (2014) yaptıkları çalışmada asenkron motorun rotor oluk geometrisini optimize ederek aynı güç değeri için verim değerini % 5 artırmayı başarmışlardır. Lee vd. (2013) çalışmalarında 3 farklı rotor oluk geometrisini ele almışlardır. Elde ettikleri sonuç ise her bir oluğun yol alma momenti, maksimum moment ve nominal moment değerlerinde farklı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Bu durumdan yola çıkarak rotor oluklarının en uygun şekilde tasarımının, asenkron motorun moment-kayma karakteristiği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ifade etmişlerdir.

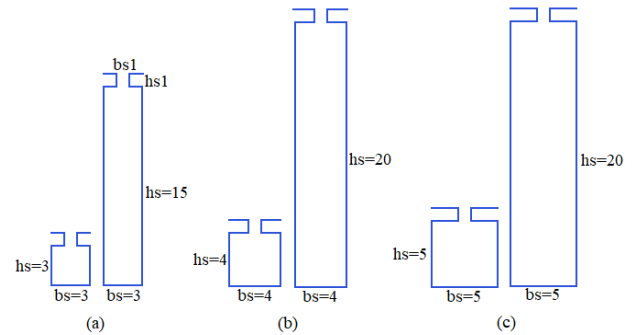
Bu çalışmada ise kare ve dikdörtgen tipinde rotor oluk yapısına sahip olan bir asenkron motorun rotor oluk genişliği ile rotor oluk yüksekliği oranının ( $h_s/b_s$ ) motor performansına olan etkileri araştırılmıştır. Oluk genişliği ve oluk yüksekliği motorun geometrik yapısına bağlı olarak değiştirilmiştir.

## 2. Nümerik Model

Çalışmada kullanılan motor 2.2 kW gücünde, üç fazlı, sincap kafesli, 4 kutuplu, 220 V, 50 Hz, Yıldız bağlı, stator oluk sayısı 36, rotor oluk sayısı 28 olan bir asenkron motordur. Motor dış çapı 150 mm, stator iç çapı 90 mm, hava aralığı uzunluğu 0.125 mm, rotor iç çapı 36 mm ve nüve uzunluğu 175 mm' dir. Rotor olukları alüminyum, stator ve rotor nüve malzemesi ise 1010 çeliğidir (Salman, 2011). Ayrıca kısa devre halkası eni ve boyu, statorda kullanılan sargı yapısı ve özellikleri ile diğer motor ebatları aynıdır.

Motorda kullanılan rotor oluk yapıları Şekil 1' de verilmiştir. İlk aşamada her bir rotor oluk geometrisinde rotor oluk genişliği ve rotor oluk yüksekliği değerleri eşit alınarak yani ( $h_s/b_s$ ) oranı 1 alınarak kare oluk tipi oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada rotor oluk yükseklikleri artırılarak dikdörtgen oluk tipi elde edilmiştir. Dolayısıyla ( $h_s/b_s$ ) oranının 1 ile 5 arasında değiştiği görülmektedir. Rotor oluğundaki diğer parametreler sabit alınmıştır. Rotor oluk ağız açıklığı ( $b_{sT}$ ) ve rotor kama yüksekliği ( $h_{sT}$ ) değerleri 1 mm olarak seçilmiştir.

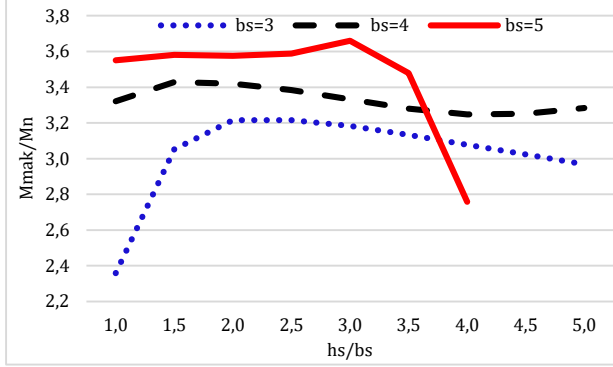
Şekil 1 (a)' da oluk genişliği ve oluk yüksekliği değerleri ilk aşamada 3 mm alınarak kare oluk tipi elde edilmiştir. Oluk genişliği sabit tutularak oluk yüksekliği değeri 15 mm' ye kadar çıkartılmış ve dikdörtgen oluk tipi elde edilmiştir. Bu modelde  $h_s/b_s$  oranı 1 ile 5 arasında değiştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 1 (b)' de oluk genişlik değeri 4 mm olarak alınmış, oluk yükseklik değeri ise 20 mm' ye kadar artırılmıştır.  $h_s/b_s$  oranı yine 1 ile 5 arasında değiştirilmiştir. Şekil 1 (c)' de ise oluk genişliği 5 mm alınmış, oluk yükseklik değeri ise 20 mm' ye kadar artırılmıştır. Bu modelde  $h_s/b_s$  oranı ise 1 ile 4 arasında değişmektedir. Şekil 1 (b) ve 1 (c)' de oluk yükseklik değerlerinin daha fazla artırılması durumunda rotor boyunduruk yüksekliğinin oldukça küçüldüğü ve rotor boyunduruk akı yoğunluğu değerlerinin aşırı derecede arttığı tespit edilmiş bundan dolayı oluk yükseklik değeri 20 mm' de bırakılmıştır.



Şekil 1. Rotor Oluklarının Kesit Şekilleri a)  $b_s=3$  için b)  $b_s=4$  için c)  $b_s=5$  için

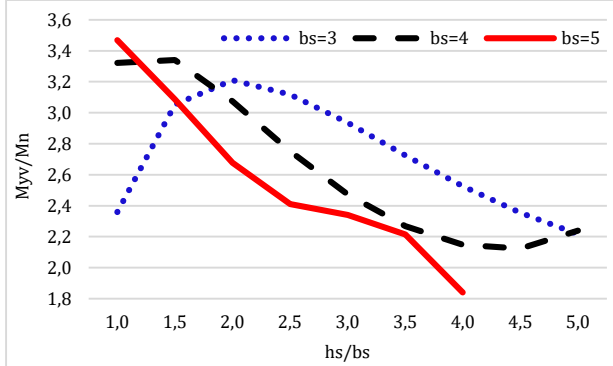
### 3. Elde Edilen Sonuçlar

Analizlerden elde edilen sonuçlar: maksimum moment grafiği Şekil 2' de, yol verme momentini Şekil 3' de, yol verme akımı Şekil 4' de verilmiştir. Grafiklerde  $M_n$  ve  $I_n$  parametreleri sırasıyla nominal moment ve nominal akımı ifade etmektedir.



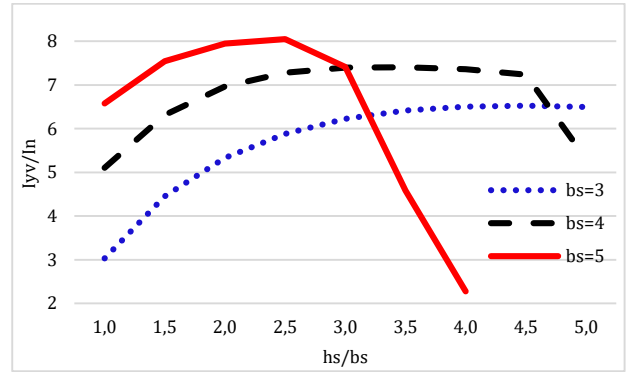
Şekil 2.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık  $M_{mak}/M_n$  Grafiği

Şekil 2 incelendiğinde rotor oluk genişliğinin artması durumunda maksimum momentin ( $M_{mak}$ ) daha büyük değerlerde elde edildiği görülmektedir.  $h_s/b_s$  oranının artmasına bağlı olarak maksimum moment değerinde belli oranda bir artışın meydana geldiği, fakat  $h_s/b_s$  oranının 3 olmasından sonra maksimum moment değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur.



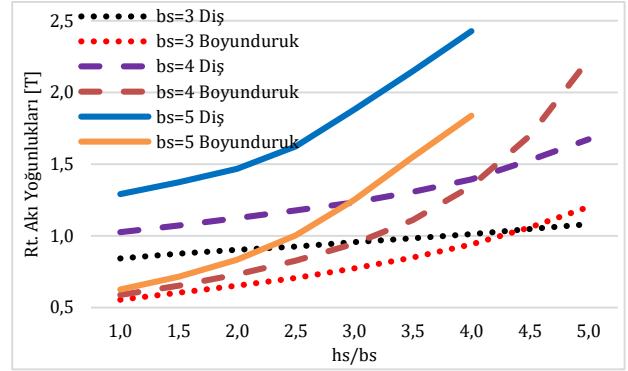
Şekil 3.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık  $M_{yv}/M_n$  Grafiği

Şekil 3' te ise yol verme momentinin ( $M_{yv}$ ) değişimi verilmiştir. En yüksek yol verme momentini rotor oluk genişliği en büyük olan motor modelinden elde edilmiştir. Fakat  $h_s/b_s$  oranı arttıkça yol verme momentinin hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir.  $h_s/b_s$  oranının küçük durumları için rotor dirençleri daha büyük ve rotor reaktans değerleri daha küçük elde edilmiş olmasından dolayı maksimum moment büyük çıkmıştır.



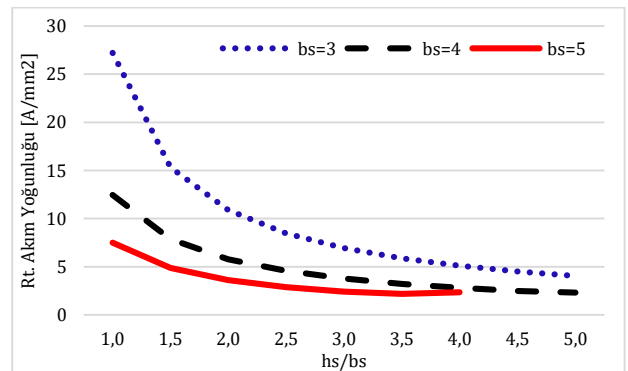
Şekil 4.  $h_s/b_s$  oranına karşılık  $I_{yv}/I_n$  grafiği

Şekil 4' te görüldüğü üzere yol verme akımının ( $I_{yv}$ ) en yüksek olduğu oluk tipi  $b_s$  değerinin 5 mm olduğu oluk tipidir.  $h_s/b_s$  oranının artması ile birlikte yol verme akımının arttığı görülmektedir.



Şekil 5.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık Rotor Diş ve Boyunduruk Akı Yoğunluğu Grafiği

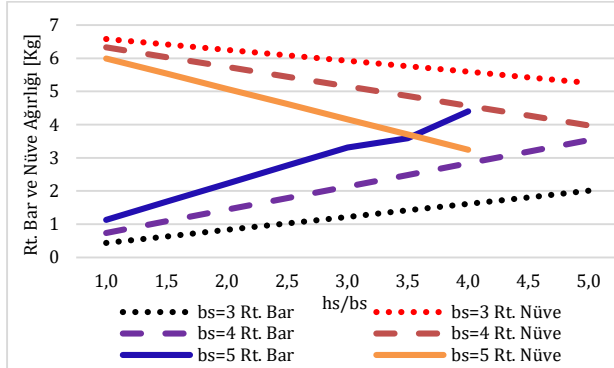
Şekil 5' de her üç motor modeline ait rotor diş akı yoğunluğu ve rotor boyunduruk akı yoğunluğu değerleri verilmiştir. Rotor oluk genişliğinin artması ile birlikte rotor diş genişliği değeri azalmakta ve buna bağlı olarak rotor diş akı yoğunluğu değerlerinin arttığı görülmektedir.  $h_s/b_s$  oranının artması ile birlikte rotor boyunduruk mesafesi küçülmekte ve rotor boyunduruk akı yoğunluğu değeri artmaktadır.



Şekil 6.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık Rotor Akım Yoğunluğu Grafiği

Şekil 6 incelendiğinde küçük  $h_s/b_s$  oranına sahip motor

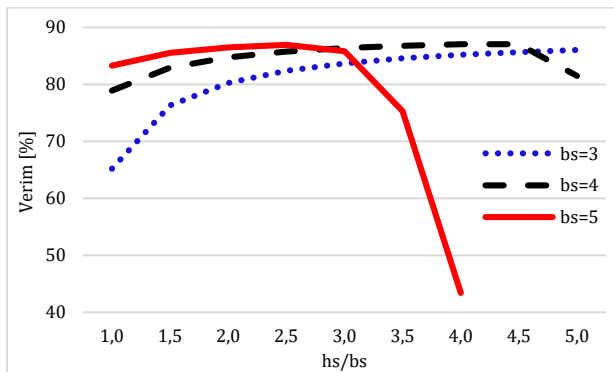
modellerinden elde edilen akım yoğunluklarının rotor oluk alanının küçük olmasından dolayı çok büyük çıktığı görülmektedir.  $h_s/b_s$  oranı arttıkça daha düzgün bir dağılımın elde edildiği ve rotor oluklarındaki akım yoğunluklarının genel kabullere yakın değerler de olduğu görülmektedir.



Şekil 7.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık Rotor Bar Malzeme ve Rotor Nüve Ağırlık Grafiği

Şekil 7 incelendiğinde  $h_s/b_s$  oranının küçük olduğu modellerde rotor oluk alanının küçük olmasından dolayı kullanılan malzeme ağırlıklarının da küçük değerlerde elde edildiği görülmektedir. Buna karşılık rotor nüve miktarının fazla olması nüve ağırlığının da artmasına neden olmuştur.  $h_s/b_s$  oranı arttıkça bu durum tersine dönmektedir.

Şekil 8 incelendiğinde rotor oluk genişliği 5 mm olan motor modeli için  $h_s/b_s$  oranının 3 olduğu değere kadar bir artış meydana gelmişken bu orandan sonra verim değerinde hızlı bir düşüş meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise hem rotor diş hem de rotor boyunduruk akı yoğunluğu değerlerinin artmış olması ve buna bağlı olarak demir kayıplarındaki artış olarak açıklanabilir. Aynı durum rotor oluk genişliği 4 mm olan motor modelinde de görülmektedir.  $b_s$  değerinin 3 mm olduğu modelde ise herhangi bir doyma söz konusu olmamıştır. Bu sebeple verim değerinde artış gözlemlenmektedir.



Şekil 8.  $h_s/b_s$  Oranına Karşılık Verim Grafiği

Ayrıca küçük  $h_s/b_s$  değerlerinde motor gerekli çıkış gücünü sağlayamamış ve bu durum motor

performansını negatif yönde etkilemiştir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 3 fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun rotor oluklarında kare ve dikdörtgen tipi oluk kullanılması durumundaki değişimler analiz edilmiştir. Rotor oluk genişliği ve rotor oluk yüksekliği oranı ( $h_s/b_s$ ) 1 ile 5 arasında değiştirilmiş ve motor performansının nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre  $h_s/b_s$  oranının artması ile birlikte verim değerlerinde bir miktar artış meydana gelmiştir. Fakat rotor oluk genişliğinin büyük olduğu motor modelinde  $h_s/b_s$  oranının artması ile birlikte verim değerinde hızlı bir düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca  $h_s/b_s$  oranının büyük olduğu durumlarda rotor dişlerinde ve rotor boyunduruk kısmında doymalar meydana gelmiştir. Akım yoğunluğu değerleri ise  $h_s/b_s$  oranının artması ile birlikte kabul edilebilir seviyelere düşmüştür.

Bütün parametreler göz önüne alındığında, genel bir değerlendirme yapılacak olursa  $h_s/b_s$  oranının 2 ile 3 arasında olması durumunda motorun optimum performans ile çalışacağı sonucuna varılmıştır.

#### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar

- Prakash, R., Junaidakhtar, M., Behera, R.K., Parida, S.K., 2014. Design of a Three Phase Squirrel Cage Induction Motor for Electric Propulsion System. Third International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems, 1, 801-806.
- Lee, H.J., Im, S.H., Park, G.S., 2017. Shape Design of a Rotor Bar for Improving Starting Torque and Running Efficiency in Squirrel Cage Induction Motor. 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2017), 1, 1-2.
- Jelassi, S., Romary, R., Brudny, J.F., 2013. Slot Design for Dynamic Iron Loss Reduction in Induction Machines. Progress In Electromagnetics Research B, 52, 79-97.
- Chekroun, S., Abdelhadi, B., Benoudjit, A., 2015. Design Optimization of Induction Motor using Hybrid Genetic Algorithm a Critical Analyze. AMSE Journals-2015-Series: Advances C, 71 (1), 1-23.
- Tumbek, M., Oner, Y., Kesler, S., 2015. Optimal Design of Induction Motor with Multi-Parameter by FEM

Method. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 1, 1053-1056.

Zhang, D., Ren, Z., Koh, C.S., 2014. Multi-Objective Optimal Design of a NEMA Design D Three-phase Induction Machine Utilizing Gaussian-MOPSO Algorithm. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 9 (1), 184-189.

Gyftakis, K.N., Katsantonis, I., Kappatou, J., 2014. Optimization of the Electromagnetic Characteristics of a 3-Phase Squirrel-Cage Induction Motor using FEM. *Journal of Materials Science and Engineering*, 4 (3), 65-72.

Lee, G., Min, S., Hong, J.P., 2013. Optimal Shape Design of Rotor Slot in Squirrel-Cage Induction Motor Considering Torque Characteristics. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49 (5), 2197-2200.

Salman, E., 2011. Üç Fazlı Sincap Kafesli Asenkron Motorun Sıcaklık Dağılımının Çıkarılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.