

ASENKRON MOTORLARDA SARGI YAPISININ
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Murat İMRE

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Asım Gökhan YETGİN

Haziran-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Murat İMRE' nin YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı ASENKRON MOTORLARDA SARGI YAPISININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

10/06/2019

Prof.Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof.Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Bölüm Başkanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Dr.Öğr.Üyesi Asım Gökhan YETGİN

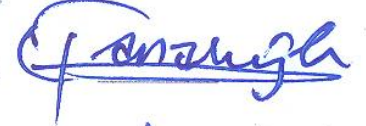
Danışman, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü



Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan ÇANAKOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Asım Gökhan YETGİN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



ETİK İLKELERE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 7 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Asım Gökhan YETGİN

Murat İMRE

ASENKRON MOTORLARDA SARGI YAPISININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Murat İMRE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Asım Gökhan YETGİN

ÖZET

Asenkron motorların performansını artırmak amacı ile yapılmış birçok çalışma literatürde mevcuttur. Stator ve rotor oluk yapılarının optimize edilmesi, kullanılan malzemelerin analizi, motor sürücü devrelerinin geliştirilmesi, tasarım parametrelerinin iyileştirilmesi, sargı tekniklerinin geliştirilmesi vb. yöntemler ile motor performansının artırılması hedeflenmektedir.

Asenkron motorlarda sarım tekniği, motor performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Stator oluk yapısında kullanılan sarımların farklı yapılarda olması, oluktaki sipir sayısı, kullanılan bobin tellerinin çapı ve uzunluğu gibi parametreler motor performansını değiştirmektedir.

Bu tez çalışmasında 1,1 kW gücündeki sincap kafesli bir asenkron motorun stator sargılarında iki farklı sarım tekniği kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Motor sargıları yarım kalıp ve tam kalıp sarılmıştır. Bununla birlikte stator oluğundaki sipir sayılarının etkisinin görülebilmesi amacıyla, her bir oluktaki sipir sayısı 96, 106 ve 116 olacak şekilde sarılmıştır. Deneysel çalışmalarda 6 adet aynı güç ve ebattaki motorlardan, 3 adedi 96, 106 ve 116 sipir olacak şekilde yarım kalıp, diğer 3 motor ise yine 96, 106 ve 116 sipir olacak şekilde tam kalıp olarak sarılmıştır.

Boşta, kısa devre ve yüklü çalışma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile eşdeğer devre parametreleri, moment ve verim hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 106 sipir tam kalıp motordan en iyi verim elde edilmiştir. Ayrıca aynı sipir sayısında tam kalıp motorlardan elde edilen verimlerin yarım kalıp motorlara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Asenkron motor, performans analizi, sargı yapısı, tam kalıp sargı, yarım kalıp sargı.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WINDING STRUCTURE ON MOTOR PERFORMANCE IN INDUCTION MOTORS

Murat İMRE

Electrical and Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Asım Gökhan YETGİN

SUMMARY

The literature includes many studies conducted with an aim to increase performance of induction motors. Methods like optimisation of stator and rotor slot structures, analysis of used materials, development of motor drive circuits, improvement of design parameters, development of winding techniques, etc. are used to achieve increases in motor performance.

In induction motor winding technique have a significant effect on the motor performance. Parameters such as different structures of coils used in the stator slot types, the number of coils in the slot and the diameter and length of the used coil wires create changes in motor performance.

In this thesis study motor performance is analysed with two different winding techniques used in stator coils of a 1.1 kW squirrel-cage induction motor. Motor windings were coiled half coil winding and whole coil winding. In addition, to analyse the effect of the number of coils on each stator slot spooling was done in three coil number options, namely 96, 106 and 116 coils. In experimental studies 6 motors with the same power and size specifications were prepared to comprise 3 motors with 96, 106 and 116 coils on half coil winding , and 3 motors with 96, 106 and 116 coils on whole coil winding.

Experimental tests were conducted no-load, locked rotor, and loaded operation. The data collected from these tests were used to calculate equivalent circuit parameters, torque, and efficiency and etc. values. According to the obtained results, the best efficiency was obtained from 106 coil whole coil winding. In addition, it is inferred that efficiency rates of whole coil winding motors is better than those of half coil winding motors at the same number of coils.

Keywords : Induction motor, performance analysis, winding structure, whole coil winding, half coil winding.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Asım Gökhan YETGİN' e, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyonu (BAP)' na, varlığını hep yanımda hissettiğim eşim Ümran İMRE' ye, oyun zamanından aldığım, küçük küçük yüreğiyle desteğini esirgemeyen oğlum Emir Efe İMRE' ye ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ASENKRON MOTORLAR.....	6
2.1. Asenkron Motor Çeşitleri.....	6
2.1.1. Sincap kafesli (kısa devre rotorlu) asenkron motorlar.....	6
2.1.2. Rotoru sargılı (bilezikli) asenkron motorlar	7
2.1.3. Sincap kafesli ve rotoru sargılı asenkron motorların karşılaştırılması	7
2.2. Asenkron Motorların Parçaları.....	8
2.2.1. Stator.....	8
2.2.2. Rotor	10
2.2.3. Gövde ve kapaklar	12
2.2.4. Yataklar ve rulmanlar	13
2.2.5. Pervane.....	14
2.3. Asenkron Motorun Çalışması	14
2.3.1. Asenkron motorun eşdeğer devresi.....	15
2.3.2. Boşta çalışma deneyi	16
2.3.3. Kısa devre (kilitli rotor) deneyi	19
2.3.4. Yüklü çalışma deneyi	22
3. ASENKRON MOTORLARDA SARIM TEKNİKLERİ.....	26
3.1. Tek Tabakalı Sargılar.....	26
3.1.1. El tipi sargılar.....	27
3.1.2. Yarım kalıp sargılar	28
3.2. Tam Kalıp (İki Tabakalı) Sargılar	31
4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	34
4.1. Motorlar ve Özellikleri.....	34

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

4.2. Ölçülen Değerler ve Hesaplamalar	38
4.2.1. Yarım kalıp sarım sonuçları.....	38
4.2.2. Tam kalıp sarım sonuçları.....	50
4.3. Sonuçların Grafikselsel İncelenmesi	62
5. SONUÇLAR.....	79
KAYNAKLAR DİZİNİ	81
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. 36 oluklu üç fazlı asenkron motorun stator olukları görünümü.....	9
2.2. 36 oluklu üç fazlı asenkron motorun stator sargıları görünümü.....	9
2.3. Sincap kafesli rotor	10
2.4. Sargılı (bilezikli) rotor	11
2.5. Asenkron motor gövdesinin yandan görünümü.....	12
2.6. Asenkron motor gövdesinin üstten görünümü.....	12
2.7. Asenkron motor kapağı	13
2.8. Rulman görünümü.....	13
2.9. Asenkron motor pervanesi.....	14
2.10. R-S-T gerilimleri arasındaki 120 ° elektriksel faz farkı.....	14
2.11. Üç fazlı döner alan oluşumu	15
2.12. Asenkron motor T tipi eşdeğer devresi	16
2.13. Üç fazlı asenkron motorun boşta çalışma bağlantı şeması	17
2.14. Üç fazlı asenkron motorun kısa devre çalışma bağlantı şeması.....	20
2.15. Üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma bağlantı şeması.....	23
2.16. Üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma deneyi bağlantı düzeneği.....	23
3.1. X=36 2p=2 m=3 El tipi sarım şeması	27
3.2. X=36 2p=4 m=3 El tipi sarım şeması	27
3.3. X=36 2p=6 m=3 El tipi sarım şeması	28
3.4. X=24 2p=4 m=3 Eşit adımlı yarım kalıp sarım şeması	29
3.5. X=24 2p=4 m=3 Değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması	29
3.6. X=24 2p=2 m=3 Kısa adımlı yarım kalıp sarım şeması	30
3.7. X=24 2p=2 m=3 Uzun adımlı yarım kalıp sarım şeması	31
3.8. X=12 2p=2 m=3 Normal adımlı tam kalıp sarım şeması.....	32
3.9. X=12 2p=2 m=3 Kısa adımlı tam kalıp sarım şeması	32
4.1. 36 oluklu asenkron motorun stator oluk yapısı.....	34
4.2. 0,55 mm bakır tel görünümü	34
4.3. X=36 2p=4 m=3 Asenkron motorun stator sargıları yapılırken görünümü.....	36
4.4. X=36 2p=4 m=3 Asenkron motorun stator sargıları tamamlanmış görünümü.....	36
4.5. X=36 2p=4 m=3 Değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.6. X=36 2p=4 m=3 Kısa adımlı tam kalıp sarım şeması.....	37
4.7. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışma akımı değişimi.....	62
4.8. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma akımı değişimi.....	63
4.9. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışma akımının aktif bileşeni değişimi.....	63
4.10. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir kayıpları değişimi.....	64
4.11. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışmada çekilen görünür güç değişimi.....	64
4.12. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.....	65
4.13. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışmada güç katsayısı değişimi.....	65
4.14. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre gerilimi değişimi.....	66
4.15. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların bakır kayıpları değişimi.....	66
4.16. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen görünür güç değişimi.....	67
4.17. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.....	67
4.18. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada güç katsayısı değişimi.....	68
4.19. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada güç katsayısı değişimi.....	68
4.20. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen aktif güç değişimi.....	69
4.21. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen görünür güç değişimi.....	69
4.22. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.....	70
4.23. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların nominal moment değişimi.....	70
4.24. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların çıkış gücü değişimi.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdellik verim değişimi.....	71
4.26. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada devir sayısı değişimi.....	72
4.27. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator faz direnci değişimi.....	72
4.28. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor direnci değişimi	73
4.29. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer direnç değişimi	73
4.30. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator kaçak reaktans değişimi	74
4.31. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor kaçak reaktans değişimi.....	74
4.32. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer reaktans değişimi	75
4.33. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer empedans değişimi	75
4.34. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir direnci değişimi	76
4.35. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma reaktansı değişimi.....	76
4.36. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların devrilme kayması değişimi.....	77
4.37. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdellik nominal kayma değişimi.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Asenkron motorların fiziksel boyutları ve özellikleri	35
4.2. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler	38
4.3. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler.....	38
4.4. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler.....	39
4.5. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler.....	49
4.6. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri.....	49
4.7. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler	50
4.8. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler..	50
4.9. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler.....	51
4.10. Tam kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler.....	61
4.11. Tam kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
V_0	Boşta çalışmada fazlar arası gerilim
I_0	Boşta çalışma akımı
P_0	Demir kaybı
S_0	Boşta çalışmada çekilen görünür güç
Q_0	Boşta çalışmada çekilen reaktif güç
$\cos \theta_0$	Boşta çalışmada güç katsayısı
V_k	Kısa devre gerilimi
I_k	Kısa devre akımı
P_k	Bakır kaybı
S_k	Kısa devre çalışmada çekilen görünür güç
Q_k	Kısa devre çalışmada çekilen reaktif güç
$\cos \theta_k$	Kısa devre çalışmada güç katsayısı
V_1	Nominal gerilim
P_1	Yüklü çalışmada çekilen aktif güç
S_1	Yüklü çalışmada çekilen görünür güç
Q_1	Yüklü çalışmada çekilen reaktif güç
$\cos \theta_1$	Yüklü çalışmada güç katsayısı
V_f	Faz gerilimi
I_1	Stator akımı
R_1	Stator faz direnci
X_1	Stator kaçak reaktansı
R_c	Demir direnci
I_c	Boşta çalışma akımının aktif bileşeni
I_m	Mıknatıslanma akımı
X_m	Mıknatıslanma reaktansı
X_2'	Statora indirgenmiş rotor kaçak reaktansı
R_2'	Statora indirgenmiş rotor direnci
R_k	Eşdeğer direnç
X_k	Eşdeğer reaktans
Z_k	Eşdeğer empedans

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
n_r	Yüklü çalışmada devir sayısı
s_n	Nominal kayma
$\%s_n$	Yüzdelik nominal kayma
s_d	Devrilme kayması
P_2	Çıkış gücü
M	Moment
M_n	Nominal moment
η	Verim
$\%\eta$	Yüzdelik verim
R_{RS}	Fazlar arası direnç değeri
X	Oluk sayısı
$2p$	Çift kutup sayısı
C	Bir kutup bölgesinde bir faza düşen oluk sayısı
m	Faz sayısı
Y_x	Oluk adımı
α	Oluk açısı
q	Uzatılacak veya kısaltılacak adım sayısı
τ_p	Kutup adımı
n_0	Boşta çalışmada devir sayısı
Ω	Ohm

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	Amper
AA	Alternatif akım
EMK	Elektromotor kuvvet
kW	Kilowatt
mm	Milimetre
N.m	Newton.metre
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
V	Volt

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
VA	Volt.amper
VA _r	Volt.Amper.reaktif
W	Watt



1. GİRİŞ

Asenkron motorlar elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Asenkron motorun çalışması için bir alternatif akım (AA) kaynağının yeterli olması nedeniyle tek uyarımlıdır. Stator hızı rotor hızından büyük olan makinelere asenkron motorlar denir (Çolak, 2008:15).

Asenkron motora yük uygulandığında, devir sayıları çok az değiştiğinden sabit devirli motorlar sınıfına girer (Görkem, 2000:113).

Üç fazlı asenkron motorlar rotoru sargılı (bilezikli) ve sincap kafesli (kısa devre rotorlu) olmak üzere iki çeşittir. Rotor olukları içerisinde stator sargıları özelliğinde sargılar var ise, rotoru sargılı asenkron motor denir. Rotor olukları içerisinde kısa devre edilmiş alüminyum veya bakır çubuklar varsa, sincap kafesli asenkron motor denir (Korkmaz, 2005).

Asenkron motorların dönme hızı, senkron motorlar gibi sabit değildir. Senkron motorlarda dönme hızı sabitken, asenkron motorlarda dönme hızı değişkendir (Sarioğlu, 1983:1).

Üç fazlı asenkron motorlar stator, rotor, rotor yatakları, gövde, rotor mili, kapaklar ve pervaneden oluşmaktadır. Stator ve rotor oluklarında elektrik akımını ileten sargılar bulunur (Çolak, 2008:15).

Stator sabit, rotor ise dönen kısımdır. Stator ve rotor arasında 1 milimetre (mm)' den daha küçük hava aralığı bulunur. Stator ve rotor nüvesi bir tarafı yalıtılmış olan sacların üst üste paketlenmesiyle oluşturulur. Stator ve rotor üzerine açılan oluklara stator ve rotor sargıları yerleştirilir (Boduroğlu, 1988:1).

Asenkron motorların gövdesi üzerinde hava kanalları vardır. Bu hava kanalları, güç kayıpları sebebi ile ısınan havanın dışarı atılmasına yardımcı olur. Hava kanalları soğutmanın hızlı olması içindir. Asenkron motorun yüklü çalışmasında ısınma fazla olur. Bu nedenle soğutma, yüklü çalışmada önemlidir (Çolak, 2008:16).

Asenkron motor biri stator, diğeri rotor sargısı olmak üzere iki sargıdan oluşur. Bu sargılar bir, iki, üç veya daha çok fazlı olabilir (Sarioğlu, 1983:2).

Asenkron motorlara AA uygulandığında, stator sargılarında manyetik alan oluşur. Stator sargılarına uygulanan bu alternatif akımın aralarında 120° elektriksel faz farkı vardır. Manyetik alanın çoğunluğu hava aralığından geçerek rotor sargılarında gerilim endükler.

Endüklenen bu gerilim rotor sargılarını keserek rotor döner alanının meydana gelmesine sebep olur ve rotor döner (Korkmaz, 2005).

Asenkron motorun çalışma ilkelerini kapsayan patentin ilk olarak Nikola Tesla tarafından 1888 yılında alınıp, iki yıl sonrasında da endüstri tipi asenkron motor üretimini başarmasının ardından günümüze kadar verimliliği artırma amacıyla, birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Gief ve arkadaşları değişken frekanslı şebekede Dahlander sarımlı asenkron motorun tasarımını yapmışlardır. Kutup çiftinin hava aralığı akı yoğunluğunu optimize etmek için iki boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanmışlardır. Çalışmada, kararlı durum ölçümleri bir hava aracı için gereksinimleri karşıladığı sonucuna varmışlardır (Gief vd., 2007).

Hadziselimovic ve arkadaşları asenkron motorun verimliliği üzerinde sarım tipinin etkisini incelemişlerdir. Konsantrik tek katmanlı sargı, konsantrik çift katmanlı sargı ve kesirli konsantrik sargı olmak üzere üç farklı stator sargı tipini kullanmışlardır. En az sargı kütlesi ile en iyi verimi elde etmeye çalışmışlardır. Yazılım paketi olarak EMLOADS kullanmışlardır. Konsantrik tek katmanlı ve konsantrik çift katmanlı sargıda 0,853, kesirli konsantrik sargıda 0,855 verim elde etmişlerdir. Sonuç olarak, kesirli konsantrik sarımda, en az sarımla, en iyi verimi elde etmişlerdir (Hadziselimovic vd, 2011).

Korkmaz çalışmasında, stator sarım yöntemlerinin motor performansına etkisini araştırmıştır. Altı farklı asenkron motora, altı farklı stator sargısı uygulamıştır. Deneylerde asenkron motorları şebekeden ve invertör üzerinden çalıştırmıştır. Boşta, kısa devre ve yüklü çalışma deneylerinden elde ettiği sonuçları değerlendirmiştir (Korkmaz, 2008).

Yahaya çalışmasında, üç fazlı asenkron motorların tek katmanlı sargıların temel aşamalarını analitik yöntemler ile açıklamıştır. Ayrıca bobinlerin yerleştirilmesi ve sarım diyagramlarını izah etmiştir (Yahaya, 2013).

Toliyat ve arkadaşları statik güç dönüştürücüler ile çalışacak şekilde tasarlanmış, çok fazlı konsantrik sarım asenkron motorun performansını incelemişlerdir. Kararlı durum geçişi esnasında, tüm motor endüktanslarının hesaplanmasını ve çok fazlı asenkron motorların performanslarını açıklayan denklemler elde etmişlerdir. Harmoniklerin etkisini dâhil ederek, geleneksel bir üç fazlı asenkron motoru simüle etmişlerdir (Toliyat vd, 1991).

Zhang ve arkadaşları 6 kutuplu, 54 oluklu, 7,5 kilowatt (kW) gücünde üç fazlı bir asenkron motorla çalışmışlardır. Yüksek verim elde etmek için kayıpları azaltmaya yönelik

çalışma yapmışlardır. Stator sarım tipi ve bağlantı şeklini değiştirerek kayıpları azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler sunmuşlardır (Zhang vd, 2014).

Coşkun ve Korkmaz 36 oluklu, 4 kutuplu 1,1 kW' lık tek tabakalı ve çift tabakalı asenkron motor tasarlamışlardır. Elde ettikleri değerleri karşılaştırmışlardır. Yarım kalıp sargıda daha yüksek verim elde etmişlerdir. Tam kalıp sarımın ise harmonik ve güç katsayısı yönünden daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Coşkun ve Korkmaz, 2007).

Kundrotas ve arkadaşları altı fazlı asenkron motor sargı şemalarını incelemişlerdir. Konsantre çift tabakalı normal adımli ve çift tabakalı kısa adımli bobin sarım bağlantısını karşılaştırmışlardır. Manyetomotor kuvvetlerini hesaplayıp analiz etmişlerdir. Her sargının manyetomotor kuvvetinin uzay harmonik spektrumunu Fourier serisi tabanı üzerinde elde etmişlerdir. Harmonik spektrumuna göre, kısa aralıklı bobin sargısının daha yüksek verimliliğe sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Kundrotas vd., 2014).

Ionescu ve arkadaşları tek tabakalı ve çift tabakalı sarım türleri için motor gürültüsünü araştırmışlardır. Motorları SEY ile manyetik ve mekanik açıdan modellemişlerdir. Motor gürültü analizlerini simülasyon sonuçları ve deneysel olarak elde ettikleri zaman-frekans boyutunda karşılaştırmışlardır (Ionescu vd., 2012).

Grop tezinde kesirli sargının farklı düzenlerini analiz etmiştir. Teorik olarak göstermiştir. Modelleme kısmında SEY kullanmıştır. Teorik sonuçları elde edilen değerlerle karşılaştırmıştır (Grop, 2010).

Saravanan ve arkadaşları asenkron motorun verimini artırmak için bir teknik önermişlerdir. Modifiye edilmiş stator sargısıyla, referans motora göre verim değerini % 7 oranında artırmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçları ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Saravanan vd., 2012).

Ge ve arkadaşları kutup-faz modülasyonlu asenkron motorlarda kutup değişimi için genel bir tasarım kuralı önermişlerdir. 36 oluklu stator ve kutup değiştiren sargılara sahip bir prototip tasarlamışlardır. Konvansiyonel, toroidal ve çift rotorlu toroidal sarım olmak üzere üç farklı yapıyı karşılaştırmışlardır. Konvansiyonel ve çift rotorlu toroidal sarıma sahip motorda yüksek verim elde etmişlerdir. Konvansiyonel sarımlı motor, çift rotorlu toroidal sarımlı motordan daha basit bir yapıda sunulmuştur. Çift vektör kontrol algoritmaları geliştirmişlerdir. Bu algoritmayı moment (M) paylaşma fonksiyonunun kullanıldığı asenkron motorlara kutup değişimi sırasında sabit bir moment sağlamak ve sorunsuz bir şekilde kontrol etmek için

geliştirmişlerdir. 3 faz 12 kutuplu ve 9 faz 4 kutuplu modda çalışabilen kutup-faz modülasyonlu asenkron motorları prototiplemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar ve simülasyonlar önerilen sargı tasarım kuralını, yerleşik modeli ve kutup-faz modülasyonlu asenkron motor sürücüsünü temel alan çift vektör kontrolünü etkin bir şekilde doğrulamıştır (Ge vd., 2013).

J.Y.Chen ve C.Z.Chen üç fazlı AA motor için yeni bir sargı tasarımı sunmuşlardır. 1,5 kW ve 3 kW gücünde iki prototip kullanmışlardır. Tek tabaka kısa adımlı sarımlı asenkron motorun verim değerini, referans motora göre % 3 oranının üzerinde artırmışlardır (J.Y.Chen ve C.Z.Chen, 1998).

Buksnaitis tek tabakalı sargılar içeren üç fazlı asenkron motorların teorik ve deneysel sonuçlarını incelemiştir. Analiz edilen motorların elektromanyetik özelliklerini ve enerji parametrelerini sunmuştur. Nominal yük altında yeni oluşturduğu motorda referans motora göre verim değerini %3,8 oranında artırmıştır (Buksnaitis, 2015).

Araştırmanın Amacı

Asenkron motorun güç tüketiminin azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlayabilmesi için, sarım tekniği en önemli tasarım parametrelerinden biridir. Sarım tekniğinin asenkron motor performansı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sargı yapısı ve oluklara yerleştirilen sipir sayısının asenkron motorların verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 6 adet fiziksel ebatları aynı olan 3 fazlı asenkron motorların stator sargılarına yarım kalıp ve tam kalıp sarımlar gerçekleştirilmiştir. Her bir olukta 96, 106 ve 116 sipir sayısı kullanılmıştır. Her bir motorun boşa, kısa devre ve yüklü çalışma deneyleri yapılarak performans bilgileri elde edilmiştir.

Araştırmanın Önemi

Elde edilen verilere ve hesaplamalara göre, asenkron motorların performansları kabul edilebilir düzeydedir. Her iki sarım yapısı için sipir sayısı arttıkça, demir kaybı (P_0) azalmıştır. Sipir sayısı arttıkça, bakır kaybı (P_k) artmıştır. Yarım kalıp ve tam kalıp sargı modellerinde eşdeğer devre parametreleri sipir sayısı ile doğru orantılı olarak elde edilmiştir. Sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametre değerleri de artmıştır.

Asenkron motorların sanayi alanında çok fazla kullanılmaları sebebiyle verimlilikte yapılacak küçük bir artış ülke ekonomisine büyük bir katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlarda verimliliği artırmak için, sargı yapısının ve oluklara

yerleştirilen sipir sayısı değerlerinin önemi ortaya konulmuştur. Verimliliği artırmaya yönelik olarak yapılacak ileriki çalışmalara referans olabilecek düzeyde veriler elde edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda, motorların SEY ile analizleri gerçekleştirilebilir. SEY ile elde edilen veriler deneysel yolla elde edilen veriler ile karşılaştırılabilir. Ayrıca çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak en iyi motor performansını verecek sipir sayısı elde edilebilir.

Tez çalışmasının birinci kısmında asenkron motorlar hakkında genel bilgi verilmiş ve literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde ise, asenkron motorların çalışması, kullanılan parçalar, yapılan deneylerin bağlantı şemaları ve formülleri verilmiştir. Tezin üçüncü kısmında ise, asenkron motorlarda kullanılan sarım teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise, deneysel yolla elde edilmiş olan veriler ve analiz sonuçları her bir motor için ayrı ayrı verilmiştir. Beşinci bölümde sonuçlara, tezin son kısmında ise kaynaklara yer verilmiştir.

2. ASENKRON MOTORLAR

Asenkron motor ile ilgili çalışmalar 1820-1831 yılları arasında ortaya atılmıştır. Amper Kanunu 1825 ve Faraday Kanunu 1831 yılında bulunmuştur. Asenkron motorun ilk patenti 1888 yılında Nikola Tesla tarafından alınmıştır. Nikola Tesla iki yıl sonra endüstri tipi asenkron motor yapımını George Westinghouse firmasında başarmıştır (Sarioğlu, 1983: 1).

Asenkron motorlar, uygulanan gerilim ile statorda meydana gelen manyetik alanın etkisiyle rotorda meydana gelen dönme hareketini, mekanik enerjiye çeviren elektrik makineleridir. Stator sargılarında meydana gelen manyetik alan dönüş hızı ile rotor dönüş hızı aynı değildir. Rotorun dönüş hızı daha düşüktür (Çolak, 2008:15-22).

Asenkron motorlar AA motor sınıfına girmektedir. Stator ve rotordan oluşmaktadır. Stator sabit duran kısım ve rotor dönen kısımdır. Statorlarında bulunan bir, iki, üç ve daha çok fazlı sargılara, alternatif gerilimler uygulanır. Bu motorların hızları yük ile çok az değişmektedir. Dönen rotorda bir, üç ya da daha çok fazlı sargılar bulunur. Stator sargılarından geçen akım, endüksiyon yolu ile rotor sargılarında gerilim endükler. Stator ve rotor arasında kalan hava aralığının radyal doğrultudaki boyu sabittir. Dönen rotor, duran statorun içinde bulunmaktadır. Bu nedenle statorun iç çevresi yarıçapı ve rotorunda dış çevresi yarıçapı sabittir (Sarioğlu, 1983:2).

Asenkron motorlar ucuz olması, sağlam, güvenilir ve bakım gereksiniminin az olması sebebiyle endüstride tercih edilmektedir. Asenkron motorlarda çalışma esnasında doğru akım motorlarındaki gibi ark oluşmamaktadır. Asenkron motorların devir sayıları yükte çok az değişir. Bu nedenle sabit devirli motorlar sınıfına girmektedir (Saçkan, 2003:1).

2.1. Asenkron Motor Çeşitleri

Asenkron motorlar rotor yapısına göre sincap kafesli ve rotoru sargılı (bilezikli) olmak üzere ikiye ayrılır (Altunsaçlı ve Alacacı, 1999:4).

2.1.1. Sincap kafesli (kısa devre rotorlu) asenkron motorlar

Rotor sac paketine belirlenen miktarda oluk açılır. Açılan bu oluklara eritilmiş alüminyum dökülür ve presleme işlemi yapılarak rotor tek parça haline getirilir. Rotor çubuklarının iki tarafı alüminyum halkalarla kısa devre edilir. Halkalar üzerinde kanatçıklar bulunur. Bu kanatçıklar motorun soğumasını kolaylaştırır. Bu tip motorlara rotor çubuklarının kısa devre edilmesi sebebiyle sincap kafesli asenkron motor denir (Görkem, 2000:116).

Üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlar az bakıma ihtiyaç duyar. Bu motorların yapımı basittir. Aynı zamanda sincap kafesli asenkron motorlar ucuz ve sağlamdır (Altunsaçlı ve Alacacı, 1999:4).

Asenkron motorların yol alma özellikleri iyi değildir. Yol almasını kolaylaştırmak amacıyla, yüksek çubuklu veya çift kafesli yapılırlar. Ucuz ve basit olmaları nedeniyle en çok kullanılan motorlardır (Güzelbeyoğlu, 2005:43).

Üç fazlı asenkron motorlarda rotorun hareket etmesi ile rotor oluklarından kaynaklı rotorda uğuldama, ısılk çalma vb. değişik sesler meydana gelir. Rotor ve stator dişlerinin statorda bir noktada üst üste gelmesiyle ikisi arasında bir yönlü çekme kuvveti meydana gelir. Bu kuvvetlere sarsıcı kuvvetler denir. Asenkron motorun çalışmasını etkileyen bu sarsıcı kuvvetlerin etkisini en aza indirmek için rotor ve stator olukları eğik ve zikzaklı yapılır (Görkem, 2000:116).

2.1.2. Rotoru sargılı (bilezikli) asenkron motorlar

Rotor üzerine açılan oluklara yalıtılmış sargılar yerleştirilir. Bu sargılar arasında 120° elektriksel faz farkı vardır. Rotor sargıları aralarında yıldız bağlanır ve yıldız noktası dışarıya çıkarılmaz. Çıkış uçları rotor mili üzerindeki üç bileziğe bağlanır. Mil üzerinde bulunan üç bilezik rotor ile birlikte döner. Rotor sargılarına bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımıyla, bir AA kaynağından genliği ya da frekansı değiştirilebilen gerilim uygulanabilir. Ayrıca rotor sargılarına dışarıdan empedansta bağlanabilir. Rotor sargıları genellikle tam kalıp sargılardır (Sarioğlu, 1983:19).

2.1.3. Sincap kafesli ve rotoru sargılı asenkron motorların karşılaştırılması

Sincap kafesli asenkron motorlar rotoru sargılı asenkron motorlara göre daha basit ve ucuzdur. Sincap kafesli asenkron motorlarda rotoru sargılı asenkron motorlara göre daha az bakır kullanılır. Sincap kafesli asenkron motorların tamir ve bakım masrafları düşüktür (Boduroğlu, 1988:11).

Rotoru sargılı asenkron motorların üstünlüğü; rotor hızı dışarıdan ayarlanabilir. Yol alma anında rotor devresine maksimum direnç ilave edilirse, yol alma akımı düşer ve yol alma momenti maksimum olur. Ancak rotoru sargılı asenkron motorların sincap kafesli asenkron motorlara göre maliyeti yüksektir (Altunsaçlı ve Alacacı 1999:5).

2.2. Asenkron Motorların Parçaları

Asenkron motorlar stator, rotor, gövde ve kapaklar, yataklar ve rulmanlar, pervaneden oluşmaktadır.

Asenkron motorlar stator kısmında oluklara yerleştirilen sargılar ve rotor kısmında alüminyum (bakır) veya rotor sargılarından oluşmaktadır. Stator sargılarının görevi manyetik alanı yaratmak, rotor sargılarının görevi ise hareketi sağlayacak olan kuvveti üretmektir. Motorun dönme hareketini yapması için stator ve rotor daire kesitli olarak tasarlanır. Sabit olan kısım stator ile dönme hareketini yapan rotor arasına hava aralığı bırakılır. Hava aralığında sarf edilen amper-sarımın küçük olması gereklidir. Bu nedenle, manyetik direnci demirinkinden büyük olan hava aralığı minimum olacak şekilde tasarlanmalıdır (Mergen ve Zorlu, 2005:37).

Stator ve rotor silindirik olarak yapılır. Statorda yaratılan manyetik alanın tamamının, rotor silindirine girmesi için hava aralığının sabit uzunlukta olması gereklidir. Bu nedenle silindirlerin (paket boyu) uzunlukları birbirlerine eşit olmalıdır (Mergen ve Zorlu, 2005:37).

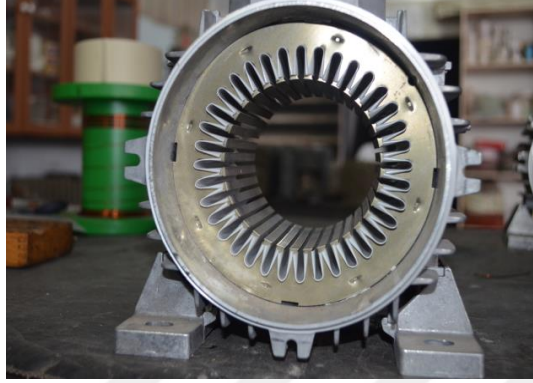
2.2.1. Stator

Asenkron motorun sabit olan parçasıdır. Gerilim uygulandığında döner manyetik alan stator sargılarında meydana gelmektedir. Stator ince silisyum saclardan yapılmaktadır.

Statorun görevi, sargılarda manyetik alanı oluşturmaktır. Bu manyetik alan ile rotorun dönmesi sağlanır. Sargılara üç fazlı AA uygulanmasıyla zamana göre değişen bir manyetik alan meydana gelir. Oluşan bu manyetik alan nüve üzerinde demir kayıplarının meydana gelmesine neden olur. Demir kayıplarının fazla olması durumunda, nüve üzerinde aşırı ısınmaya neden olur. Demir kayıplarının azaltılması için statorda geçirgenliği yüksek ve histerisiz kayıpları küçük olan sacların kullanılması gerekir. Fuko kayıplarını da azaltmak gereklidir. Bunun için kullanılan sacların 0,3 – 0,5 mm kalınlığında silisyum alaşımlı, kilogram başına histerisiz ve fuko kaybı (W/kg) düşük ve geçirgenlik değeri yüksek olması gerekir (Mergen ve Zorlu, 2005:38-39).

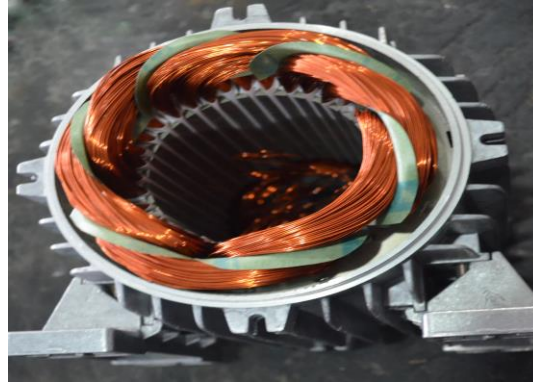
Stator silindir şeklinde olmalıdır. Bunun için saclar motorun iç ve dış çaplarına göre preste kesilirler. Stator oluklarının ve rotorun yerleştirileceği kısımların içleri boşaltılır ve arka arkaya dizilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta, sacın izoleli tarafı ile izolesiz tarafının arka arkaya dizilmesidir. Bu şekilde saclar arasında hava aralığının kalması engellenir. Arka arkaya dizilen bir tarafı yalıtılmış saclar preste sıkıştırılır. Sacların preslenerek

sıkıştırılmasıyla elde edilen bu silindire “stator sac paketi” denir. Sacın miktarı silindirin uzunluğu ve sac kalınlığına göre belirlenir (Mergen ve Zorlu, 2005:39).



Şekil 2.1. 36 oluklu üç fazlı asenkron motorun stator olukları görünümü.

36 oluklu, 4 kutuplu üç fazlı asenkron motor stator olukları görünümü Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.2. 36 oluklu üç fazlı asenkron motorun stator sargıları görünümü.

Sarımları tamamlanmış şekilde 36 oluklu üç fazlı asenkron motor stator sargıları görünümü Şekil 2.2’ de verilmiştir.

Stator sargılarında döner manyetik alan meydana gelir. Meydana gelen döner manyetik alan sinüs formunda değildir. Bu manyetik alan hava aralığından rotora aktarılır. Rotora aktarılan döner manyetik alan rotorun dönmesini sağlar. Kutup ve faz başına oluk sayısını artırarak ve bobinlere uygun kırıleme faktörü (adım kısaltması) uygulayarak, stator sargılarının

meydana getirdiği döner manyetik alanın sinüs dalga şekline yaklaşması sağlanır (Korkmaz, 2005).

2.2.2. Rotor

Asenkron motorun statorunda meydana gelen manyetik alanın etkisiyle dönme hareketini gerçekleştiren kısımdır. Rotor yapısı sincap kafesli ve rotoru sargılı olmak üzere iki çeşittir.

Sincap kafesli (kısa devre) rotor

Kalıpla preste kesilmiş olan silisyumlu demir saclar paket edildikten sonra, rotor kanalları içine alüminyum eritilerek pres dökümlü sincap kafes sargıları meydana getirilir. Rotorun iki tarafında rotor çubuklarını kısa devre eden halkalarda alüminyum döküm yapılırken meydana getirilen küçük kanatçıklar, pervane görevi görerek motorun soğumasını sağlar (Saçkan, 2003:4).

Rotorun gövdesinde de, statorun gövdesinde kullanılan 0,3 - 0,5 mm kalınlığındaki yalıtılmış saclar kullanılır. Yine bu saclar stator sac paketinde olduğu gibi arka arkaya dizilip sıkıştırılır. Rotor sac paketinde stator sac paketinden kalan saclar kullanılabilir (Mergen ve Zorlu, 2005:43).

Rotor sac paketi statordan rotora geçen manyetik akının yolunu oluşturur. Rotor sac paketi üzerinde rotor sargılarını barındırır. (Sarioğlu, 1983:16).



Şekil 2.3. Sincap kafesli rotor.

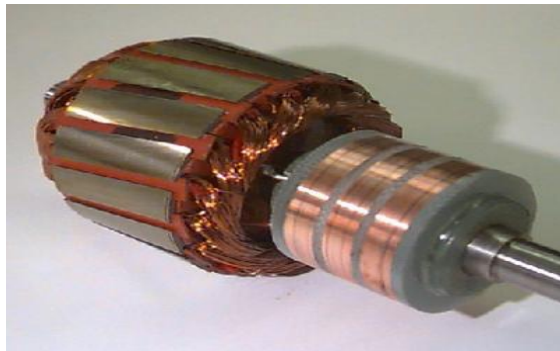
Üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun her iki tarafından kısa devre halkalarıyla preslenerek kısa devre edilmiş rotor görünümü Şekil 2.3’ de verilmiştir. Şekil 2.3’ de görüldüğü üzere rotor olukları eğik olarak yapılmıştır. Eğik olan rotor olukları sincap kafesli asenkron motorlarda da bahsettiğimiz gibi rotorun hareket etmesi ile rotor oluklarından kaynaklı rotorda uğuldama, ısıklık çalma vb. sesleri azaltır. Sarsıcı kuvvetleri en aza indirger (Görkem, 2000:116).

Sincap kafesli asenkron motorlarda kullanılan rotor sargıları (Al-Cu), özellikle yol almada, mekanik ve ısıl zorlanmalara dayanabilecek yapıda olmalıdır. Sargıların ısınmasına karşı soğutması iyi olmalıdır. Sincap kafesli asenkron motorlar rotoru sargılı asenkron motorlara göre dayanıklı, az arıza yapan ve ucuz motorlardır. Sincap kafesli motorların rotor sargısının kutup sayısı, stator kutup sayısına eşittir. Bunun nedeni, stator döner alanın zıt elektromotor kuvvet (emk) etkisidir (Sarioğlu, 1983:18-19).

Sargılı (bilezikli) rotor

Rotoru sargılı asenkron motorların statorunda ve rotorunda ince telli, çok sipir sayısına sahip iletkenler kullanılır. Rotor sargılarında statorun oluşturduğu manyetik alanın hava aralığından geçerek endüklenmesiyle, rotorun dönmesi sağlanır (Mergen ve Zorlu, 2005:43).

Rotoru sargılı asenkron motorların rotorlarında bulunan üç fazlı sargılar statordaki gibi yalıtılmıştır. Yıldız olarak bağlanan üç fazlı rotor sargısının yıldız noktası dışarıya çıkarılmaz. Rotorla birlikte mil üzerine bağlı ve üç fazlı sargının giriş uçlarının bağlandığı, mil üzerinden yalıtılmış üç bilezik döner. Rotor sargı sistemine, dış kaynaktan genliği ya da frekansı değiştirilebilen gerilim uygulanabilir. Bunun için bilezikler üzerinde sabit duran fırçaların yardımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sargılara dışarıdan ilave direnç de bağlanabilir. Genellikle iki tabakalı olan rotor sargıları, normal iletkenlerden ya da çubuk sargılardan oluşur (Sarioğlu, 1983:19).



Şekil 2.4. Sargılı (bilezikli) rotor (Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2011a:56).

Üç fazlı asenkron motora ait olan sargılı (bilezikli) rotor görünümü Şekil 2.4' de verilmiştir.

2.2.3. Gövde ve kapaklar

Asenkron motorun stator ve rotorunu içinde barındırır. Gövde ve kapaklar alüminyum ve demirden yapılmaktadır. Motorun sargılarını dış etkilere koruma görevini yapar.



Şekil 2.5. Asenkron motor gövdesinin yandan görünümü.

36 oluklu üç fazlı sincap kafesli asenkron motor gövdesinin yandan görünümü Şekil 2.5' de verilmiştir. Gövdenin üzerinde bulunan ayaklar ile asenkron motor zemine monte edilebilir. Asenkron motorun gövdesi üzerinde çıkıntılar bulunur. Kanatçık olarak isimlendirilen bu çıkıntılar, gövdenin hava ile temasını artırarak soğumayı kolaylaştırır (Görkem, 2000:117).

Stator ve rotor arasındaki hava aralığının küçük olmasında statorun önüne ve arkasına konan dairesel kapaklarda etkilidir (Mergen ve Zorlu, 2005:42).



Şekil 2.6. Asenkron motor gövdesinin üstten görünümü.

36 oluklu üç fazlı sincap kafesli asenkron motora ait gövdenin üstten görünümü Şekil 2.6’ da verilmiştir.



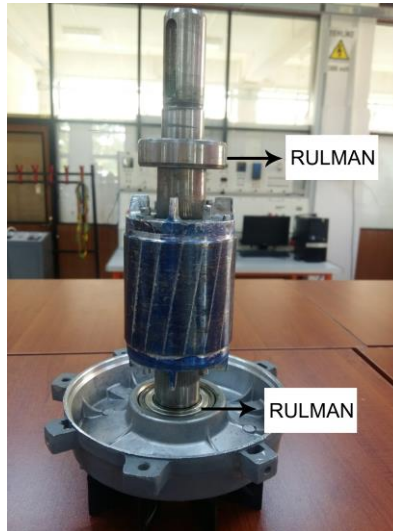
Şekil 2.7. Asenkron motor kapağı.

Üç fazlı sincap kafesli asenkron motora ait olan kapak görünümü Şekil 2.7’ de verilmiştir.

2.2.4. Yataklar ve rulmanlar

Yataklar ve rulmanlar rotorun dönme işleminin gerçekleştirildiği kısımdır. Yataklarda bulunan rulmanlar rotorun dönme hareketini sağlar. Rulmanların montajı kapaklar üzerine yapılır.

Kapakların merkezinden geçen mil ile rulmanda dönme esnasında sürtünme kuvveti meydana gelir. Bu sürtünme kuvvetleri rulmanlar tarafından en aza indirgenir. Kapağa açılan delik rulmanın dış çapına, iç çapı da mile uyumlu olmalıdır. Rulmanlar Şekil 2.8’ de görüldüğü üzere kapağa ve mile iyice sıkıştırılır. Bu şekilde rotor yataklanmış olur (Mergen ve Zorlu, 2005:43).



Şekil 2.8. Rulman görünümü.

Üç fazlı asenkron motorun rotor mili üzerindeki rulman görünümü Şekil 2.8’ de verilmiştir.

2.2.5. Pervane

Asenkron motorlar çalışma esnasında ısınırlar. Asenkron motorların soğutma işlemini sağlayan parçalar pervanelerdir. Plastik veya metalden yapılırlar.

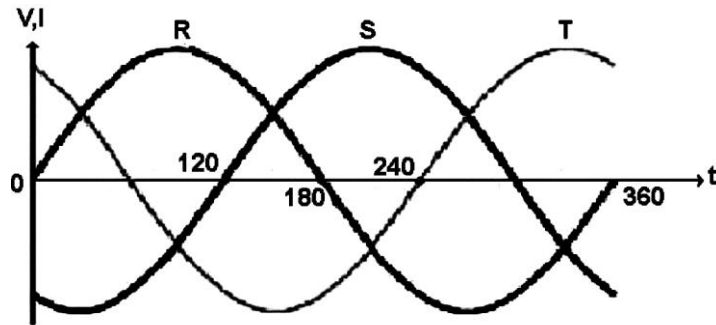


Şekil 2.9. Asenkron motor pervanesi.

Üç fazlı asenkron motoru soğutma görevi bulunan asenkron motor pervanesi Şekil 2.9’ da verilmiştir.

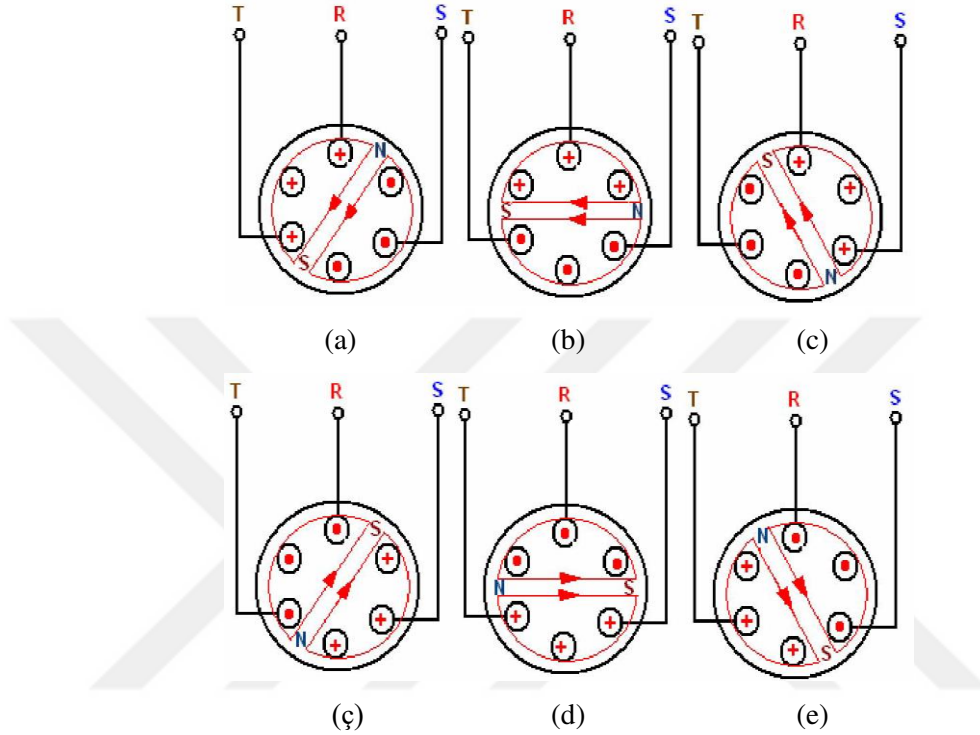
2.3. Asenkron Motorun Çalışması

Üç fazlı asenkron motorun stator sargıları arasında 120° elektriksel faz farkı bulunmaktadır. Yani statora uygulanan R-S-T fazları arasında 120° elektriksel faz farkı vardır. Alternatif gerilimin uygulanmasıyla üç fazlı asenkron motorun stator sargılarında manyetik alan meydana gelir. Stator ve rotor arasındaki hava aralığından geçen manyetik akının etkisiyle rotor üzerinde alternatif gerilim endüklenir. Böylece rotor üzerinde bir manyetik alan oluşur. Rotor üzerinde oluşan manyetik alan etkisiyle bir döndürme kuvveti oluşur. Bu döndürme kuvvetinin etkisiyle rotor döner manyetik alan yönünde senkron hıza yakın bir hızda döner. Rotor hızı senkron hıza göre daha azdır (MEB, 2011a:10).



Şekil 2.10. R-S-T gerilimleri arasındaki 120° elektriksel faz farkı.

Üç fazlı asenkron motorun R-S-T gerilimleri arasındaki 120° elektriksel faz farkı Şekil 2.10’ da verilmiştir.



Şekil 2.11. Üç fazlı döner alan oluşumu (MEB, 2011a:11).

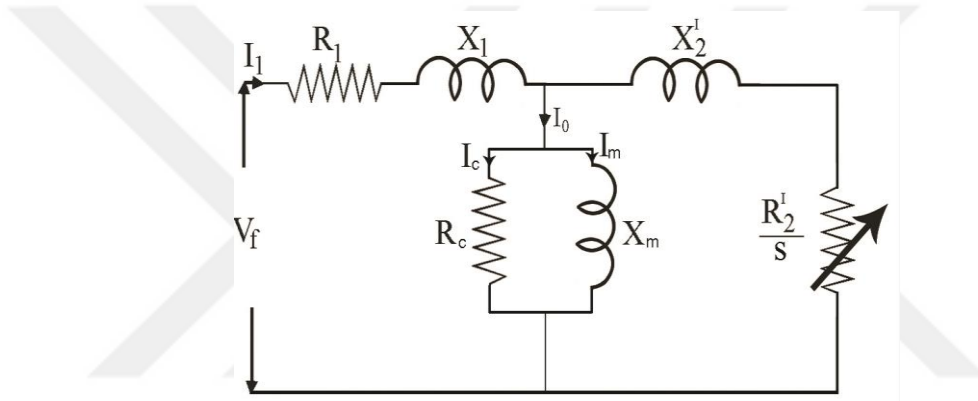
Üç fazlı döner alan oluşumu Şekil 2.11’ de verilmiştir. Stator sargılarına uygulanan alternatif akımlar, N-S kutuplarını oluştururlar. Şekil 2.11 (a) incelendiğinde R ve T fazı pozitif (+), S fazı ise negatif (-) alternansdadır. R ve T fazlarının akım yönü giriş, S fazının akım yönü çıkıştır. Şekil 2.11 (b)’ de R fazının akım yönü giriş, S ve T fazının akım yönü çıkıştır. Şekil 2.11 (c)’ de R ve S fazı akım yönü giriş, T fazının akım yönü çıkıştır. Şekil 2.11 (ç)’ de R ve T fazı akım yönü çıkış, S fazının giriştir. Şekil 2.11 (d)’ de R fazının akım yönü çıkış, S ve T fazının giriştir. Şekil 2.11 (e)’ de ise R ve S fazının akım yönü çıkış, T fazının giriştir. Böylece her harekette saat ibresi yönünde 60° lik, toplamda 360° lik bir dönüş meydana gelir. (MEB, 2011a:10-11).

2.3.1. Asenkron motorun eşdeğer devresi

Asenkron motorlarda transformatörlerdeki gibi iki adet sargı bulunmaktadır. Asenkron motorlarda stator ve rotor, transformatörlerde ise primer ve sekonder sargıları bulunur. Çalışma prensibi olarak transformatörlere benzerler (Mergen ve Zorlu, 2005:71).

Sekonderi kısa devre edilen bir trafo ile, rotoru kilitli bir asenkron motor aynıdır. Şebeke gerilimi uygulandığında primer sargıdan geçen akımın meydana getirdiği manyetik akı sekonder sargıya aktarılır. Aynı asenkron motorun statoruna şebeke gerilimi uygulanmasıyla meydana gelen manyetik akının rotora aktarılması gibidir (Saçkan, 2003:53).

Asenkron motorlarda stator sargılarından akan akımı, momenti, güç katsayısını, kayıpları ve diğer parametreleri hesaplamak için bir faza ait modelleme yapılır. Diğer fazlar için de hesaplamalarda aynı modelleme kullanılır. Bir fazı gösteren elektriksel devreye eşdeğer devre denir (Mergen ve Zorlu, 2005:71).



Şekil 2.12. Asenkron motor T tipi eşdeğer devresi.

Üç fazlı asenkron motorun bir fazına ait olan T tipi eşdeğer devresi Şekil 2.12' de verilmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan hesaplamalarda T tipi eşdeğer devre kullanılmıştır. Burada bir faz gerilimi (V_f), stator akımı (I_1), stator faz direnci (R_1), stator kaçak reaktansı (X_1), boşa çalışma akımı (I_0), demir direnci (R_c), boşa çalışma akımının aktif bileşeni (I_c), mıknatıslanma akımı (I_m), mıknatıslanma reaktansı (X_m), statora indirgenmiş rotor kaçak reaktansı (X_2') ve statora indirgenmiş rotor direnci (R_2') T tipi eşdeğer devre elemanlarıdır.

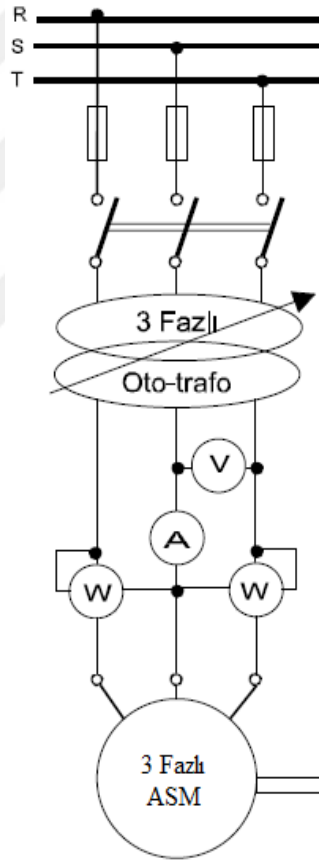
2.3.2. Boşa çalışma deneyi

Asenkron motorun boşa çalışma deneyi, eşdeğer devre parametrelerinin ve demir kayıplarının bulunması için yapılır.

Boşa çalışma deneyinin yapılması için bir oto transformatöre ihtiyaç vardır. Oto transformatör asenkron motor ile şebeke arasına bağlanır. Görevi statora uygulanan gerilimi sıfır ile nominal gerilim arasında ayarlamaktır (Mergen ve Zorlu, 2005:103).

Boşta çalışma deneyinde asenkron motor nominal gerilimde yüksüz olarak çalıştırılır. Yani boşta çalışmada fazlar arası gerilim (V_0) nominal gerilime kadar yükseltilir. Motor üçgen veya yıldız bağlanabilir. Asenkron motorun boşta çalışma deneyinde rotor hızı senkron hıza çok yakındır. Rotor ile stator arasında önemsenmeyecek bir kayma vardır. Bu nedenle motorun kayması sıfıra yakındır (Çolak, 2008:100-101).

Boşta çalışmada şebekeden çekilen güç demir kayıplarını verir. Motor yataklarında meydana gelen sürtünmeden ve pervanenin hava ile sürtünmesinden dolayı sabit bir mekanik kayıp meydana gelir (Saçkan, 2003:60).



Şekil 2.13. Üç fazlı asenkron motorun boşta çalışma bağlantı şeması (Turan vd., 2009).

Üç fazlı asenkron motorun boşta çalışma bağlantı şeması Şekil 2.13' de verilmiştir. Şebekeye bağlanan oto transformatör yardımıyla motorun gerilimi nominal gerilime kadar artırılır. Boşta çalışmadaki değerlerin elde edilmesi için iki adet wattmetre (aron bağlantı), ampermetre ve voltmetre bağlanır.

Boşta çalışma deneyinde; V_0 , I_0 , P_0 ve boşta çalışmada güç katsayısı ($\cos \theta_0$) ölçülür. Ayrıca boşta çalışma devir sayısı (n_0) ölçülebilir. Ölçülen bu değerler ile R_c ve X_m hesaplanır. Yıldız bağlı bir sistemde R_c değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle V_f geriliminin bulunması gerekir. V_f gerilimi;

$$V_f = \frac{V_0}{\sqrt{3}} \quad (2.1)$$

eşitliğinden hesaplanır. P_0 gücü;

$$P_0 = \frac{3.V_f^2}{R_c} \quad (2.2)$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşitlik 2.2' den R_c çekilip, P_0 gücü yerine konulursa,

$$R_c = \frac{3.V_f^2}{P_0} \quad (2.3)$$

eşitliğinden hesaplanır. Boşta çalışma deneyinde ayrıca I_c ve I_m hesaplanır.

$$I_c = \frac{V_f}{R_c} \quad (2.4)$$

eşitliğinden hesaplanır. I_0 ve I_c akımının hesaplanmasıyla I_m ;

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_c^2} \quad (2.5)$$

eşitliğinden elde edilir. Eşdeğer devre parametrelerinden X_m ;

$$X_m = \frac{V_f}{I_m} \quad (2.6)$$

eşitliği ile bulunur. Boşta çalışma deneyinde ölçülen değerler ile boşta çalışmada çekilen görünür güç (S_0) ve boşta çalışmada çekilen reaktif güç (Q_0) hesaplanabilir. S_0 değeri;

$$S_0 = \sqrt{3}.V_0.I_0 \quad (2.7)$$

eşitliği ile, Q_0 ifadesi ise;

$$S_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} \quad (2.8)$$

veya

$$Q_0 = \sqrt{3}.V_0.I_0.\sin \theta_0 \quad (2.9)$$

ile bulunur. Ölçülen P_0 değerini doğrulamak için;

$$P_0 = \sqrt{3}.V_0.I_0.\cos \theta_0 \quad (2.10)$$

eşitliği, $\cos \theta_0$ değerini doğrulamak için;

$$\cos \theta_0 = \frac{P_0}{S_0} \quad (2.11)$$

eşitliği kullanılır.

2.3.3. Kısa devre (kilitli rotor) deneyi

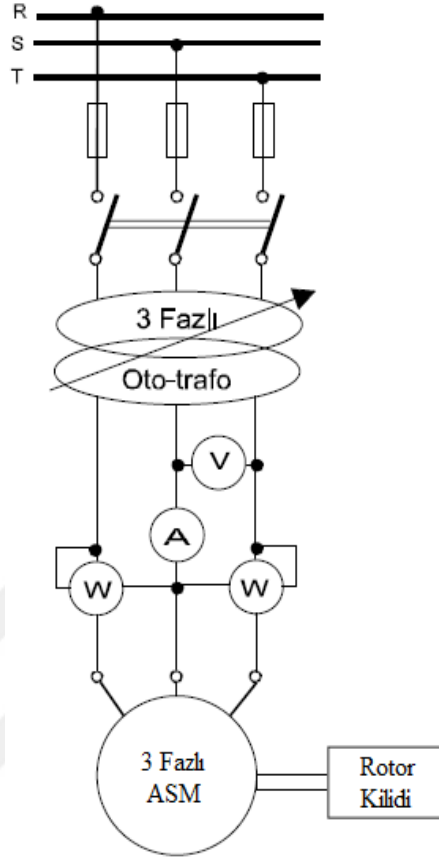
Rotoru kilitli bir asenkron motor sekonderi kısa devre edilmiş bir transformatöre benzer. Bu nedenle, asenkron motorun kısa devre deneyi, transformatörün kısa devre deneyine benzemektedir (Saçkan, 2003:62).

Asenkron motorun kısa devre deneyinde, rotorun dönmesi engellenir. Statora bir oto transformatör yardımıyla genliği küçültülmüş gerilim uygulanır. Stator sargılarından geçen akımın nominal akıma eşit olması sağlanır (Mergen ve Zorlu, 2005:106).

Bu deney esnasında dikkat edilecek en önemli hususlardan birisi, motora başlangıçta sıfır gerilim uygulamaktır. Başlangıçta motora yüksek gerilim uygulanması durumunda stator sargılarından çok büyük miktarda akım geçer. Çünkü rotor kilitli durumdadır. Rotor yol almaya başlarken kayma $(s)=1$ ’ dir. Rotor frekansı stator frekansına eşittir. Etkin motor direnci çok küçüktür (Çolak, 2008:103).

Motorun çektiği akım normal akımın üstüne çıktığında, motor sargılarında aşırı ısınmalar meydana gelir. Bu nedenle ölçü aletlerinden mümkün olduğunca hızlı bir şekilde değerleri alıp deneyi bitirmek gereklidir (Saçkan, 2003:62).

Kısa devre deneyinde asenkron motora uygulanan gerilim, nominal gerilimden 4-7 kat daha küçüktür. Bu nedenle bu sırada meydana gelen demir kayıpları, gerilimin karesi ile azalır. Demir kayıpları nominal gerilimdeki değerinin % 2-4’ üne eşit olduğundan ihmal edilir. Böylece, asenkron motorun kısa devre çalışmada çektiği aktif güç, bakır kayıplarına eşittir (Mergen ve Zorlu, 2005:106).



Şekil 2.14. Üç fazlı asenkron motorun kısa devre çalışma bağlantı şeması (Turan vd., 2009).

Üç fazlı asenkron motorun kısa devre çalışma bağlantı şeması Şekil 2.14’ de verilmiştir. Şebekeye bağlanan oto transformatör yardımıyla nominal akıma ulaşmaya kadar gerilim yükseltilir. Motor çıkışına rotor kilidi uygulanır. Kısa devre çalışmadaki değerlerin elde edilmesi için iki adet wattmetre (aron bağlantı), ampermetre ve voltmetre bağlanır.

Kısa devre çalışma deneyinde; kısa devre gerilimi (V_k), kısa devre akımı (I_k), kısa devre gücü (P_k) ve kısa devre çalışmada güç katsayısı ($\cos \theta_k$) ölçülür. Ayrıca fazlar arası direnç değeri (R_{RS}) ölçülür. Ölçülen bu değerler ile eşdeğer devre parametrelerinden eşdeğer direnç (R_k), R_1 , R_2' , eşdeğer empedans (Z_k), eşdeğer reaktans (X_k), X_1 ve X_2' hesaplanır. R_k ’nın hesaplanabilmesi için;

$$P_k = 3 \cdot I_k^2 \cdot R_k \quad (2.12)$$

eşitliğinden yararlanılır. Buradan R_k çekilirse,

$$R_k = \frac{P_k}{3.I_k^2} \quad (2.13)$$

eşitliği elde edilir ve hesaplanır. R_1 direnci yıldız bağlı sargılar için;

$$R_1 = \frac{R_{RS}}{2} \quad (2.14)$$

ve R_2' direnci ise;

$$R_2' = R_k - R_1 \quad (2.15)$$

eşitliğinden hesaplanır. Z_k empedansının hesaplanabilmesi için öncelikle yıldız bağlı bir motor için V_f bulunmalıdır.

$$V_f = \frac{V_k}{\sqrt{3}} \quad (2.16)$$

ve Z_k empedansı;

$$Z_k = \frac{V_f}{I_k} \quad (2.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. X_k reaktansını hesaplamak için;

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (2.18)$$

eşitliğinden yararlanılır. X_k reaktansı buradan yer değiştirilerek,

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (2.19)$$

eşitliği elde edilir ve hesaplanır. X_1 ve X_2' reaktansı;

$$X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2} \quad (2.20)$$

eşitliğinden hesaplanır. Kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ile devrilme kayması (s_d), kısa devre çalışmada çekilen görünür güç (S_k) ve kısa devre çalışmada çekilen reaktif güç (Q_k) hesaplanabilir. Ayrıca ölçülen değerleri doğrulamak içinde P_k ve $\cos \theta_k$ hesaplanabilir. s_d değeri;

$$s_d = \frac{R_2}{X_k} \quad (2.21)$$

eşitliğinden hesaplanır. S_k ;

$$S_k = \sqrt{3} \cdot V_k \cdot I_k \quad (2.22)$$

eşitliğinden hesaplanır. Q_k hesaplamak için;

$$S_k = \sqrt{P_k^2 + Q_k^2} \quad (2.23)$$

eşitliğinden yararlanılır. Buradan Q_k yer değiştirilerek,

$$Q_k = \sqrt{S_k^2 - P_k^2} \quad (2.24)$$

eşitliğinden hesaplanır. $\cos \theta_k$;

$$\cos \theta_k = \frac{R_k}{Z_k} \quad (2.25)$$

eşitliği kullanılarak bulunur. P_k gücü;

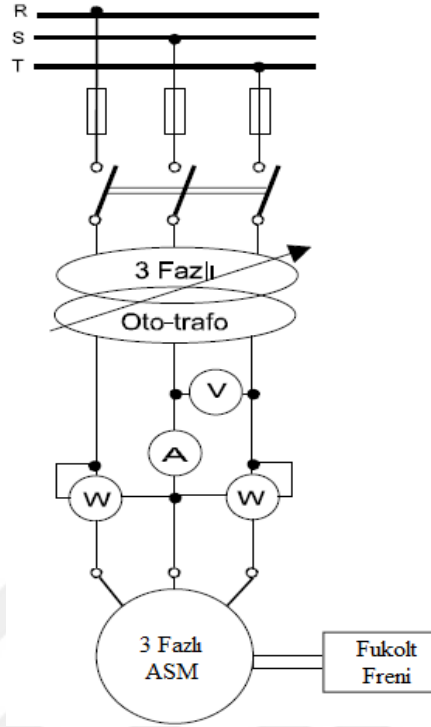
$$P_k = \sqrt{3} \cdot V_k \cdot I_k \cdot \cos \theta_k \quad (2.26)$$

eşitliğinden hesaplanır.

2.3.4. Yüklü çalışma deneyi

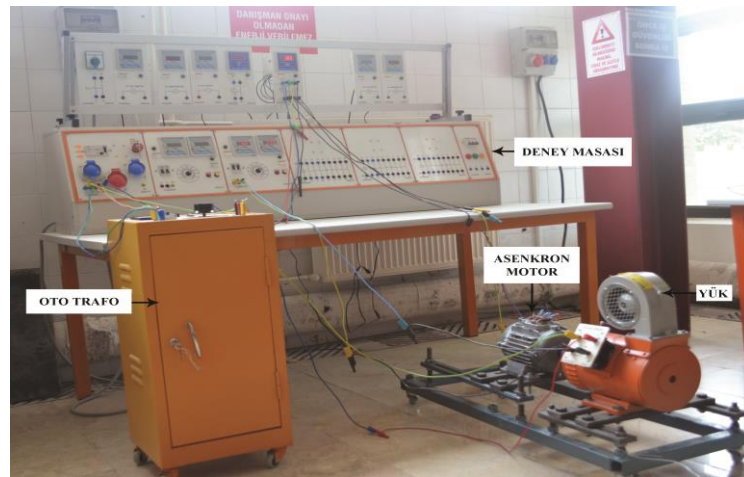
Boşta dönmekte olan asenkron motor mili, bir fukolt fren aracı ile yüklenir. Bu durumda motorun çok küçük olan boşta çalışma akımı döndürme momentini karşılayamaz. Yük artması sonucunda motor kendisinden istenileni yerine getirebilmek için ilk olarak dönen kısımların kinetik enerjisini kullanır. Böylece rotorun hızı düşer. Devir sayısının düşmesi aynı zamanda s değerinin büyümesi demektir (Boduroğlu, 1988:44).

Sincap kafesli veya rotoru sargılı asenkron motor yüklendikçe, faz akımları büyür. Rotor kutuplarının manyetik akısının artması, döner alan kutuplarının meydana getirdiği manyetik akıları daha fazla zayıflatır. Stator sargılarında endüklenen zıt emk küçülür. Böylece motorun şebekeden çektiği akım artar. Kısacası, motorun miline konan yükün artması neticesinde, şebekeden çektiği faz akımları da artar (Saçkan, 2003:57).



Şekil 2.15. Üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma bağlantı şeması (Turan vd., 2009).

Üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma bağlantı şeması Şekil 2.15’ de verilmiştir. Asenkron motorun yüklü çalışma deneyinin yapılabilmesi için şebekeye oto transformatör bağlanır. Asenkron motor ile oto taransformatör arasına iki adet wattmetre, ampermetre ve voltmetre bağlanarak ölçümler yapılır. Yük olarak fukolt freni bağlanmıştır.



Şekil 2.16. Üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma deneyi bağlantı düzeneği.

Şekil 2.16’ da üç fazlı asenkron motorun yüklü çalışma deneyi bağlantı düzeneği verilmiştir.

Yüklü çalışma deneyinde ölçümler asenkron motora nominal akım uygulanarak veya etiket değerindeki devir sayısına kadar yüklenerek yapılır. Bu tez çalışmasında yüklü çalışma deneyi ölçümleri asenkron motorun statoruna nominal akım uygulanarak yapılmıştır.

Yüklü çalışma deneyinde; nominal gerilim (V_1), I_1 , yüklü çalışmada çekilen aktif güç (P_1), yüklü çalışmada çekilen görünür güç (S_1), yüklü çalışmada çekilen reaktif güç (Q_1), yüklü çalışmada güç katsayısı ($\cos \theta_1$) ve yüklü çalışmada devir sayısı (n_r) ölçülür. n_r dijital devir ölçer cihazı ile ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler yardımı ile nominal kayma (s_n) hesaplanır.

$$s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.27)$$

eşitliğinden hesaplanır. Yüzdelik s_n değeri;

$$\%s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100 \quad (2.28)$$

eşitliğinden hesaplanır. $\cos \theta_1$ değerini doğrulamak için;

$$\cos \theta_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (2.29)$$

eşitliğinden yararlanılır.

Ayrıca hesaplanan eşdeğer devre parametreleri ve asenkron motor özelliklerini belirten parametreler yardımıyla nominal moment (M_n) değerini bulmak için;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi \cdot f} \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot \frac{V_f^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (2.30)$$

eşitliği kullanılır. Verim (η) değerini bulmak öncelikle çıkış gücü (P_2) hesaplanmalıdır.

$$M_n = \frac{P_2 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_r} \quad (2.31)$$

eşitliğinden P_2 yer değiştirilerek;

$$P_2 = \frac{M_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_r}{60} \quad (2.32)$$

eşitliğinden hesaplanır. Yüzdelik verim ($\% \eta$) değeri de;

$$\% \eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_k} \cdot 100 \quad (2.33)$$

eşitliğinden hesaplanır.



3. ASENKRON MOTORLARDA SARIM TEKNİKLERİ

Asenkron motorlarda sarım yapılırken kullanılan semboller ve açıklamaları, kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

X = Oluk sayısı

$2p$ = Çift kutup sayısı

C = Bir kutup bölgesinde bir faza düşen oluk sayısı

m = Faz sayısı

Y_x = Oluk adımı

α = Oluk açısı

q = Uzatılacak veya kısaltılacak adım sayısı

$$C = \frac{X}{2p \cdot m} \quad (3.1)$$

$$Y_x = \frac{X}{2p} \quad (\text{Normal adım}) \quad (3.2)$$

$$Y_x = \frac{X}{2p} + q \quad (\text{Uzun adım}) \quad (3.3)$$

$$Y_x = \frac{X}{2p} - q \quad (\text{Kısa adım}) \quad (3.4)$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{X} \quad (3.5)$$

3.1. Tek Tabakalı Sargılar

Tek tabakalı sargıların stator oluklarında bir bobin kenarı bulunmaktadır. El tipi sargılar ve yarım kalıp sargılar olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır (Korkmaz, 2005).

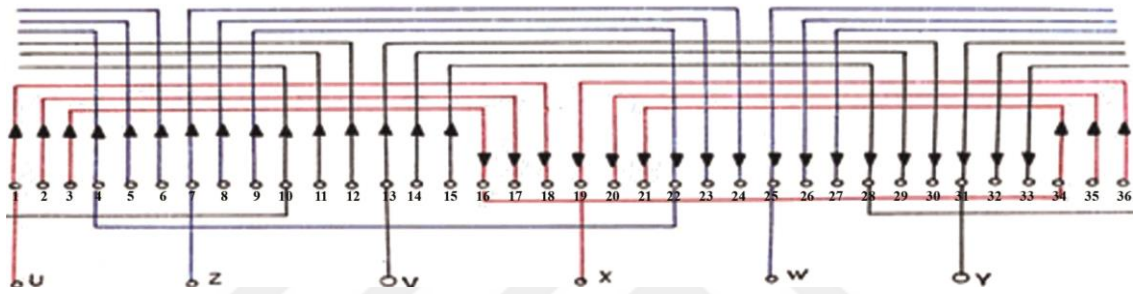
Yarım kalıp sarımda el tipi sarımdaki gibi kat meydana gelmez. Sarım başlanılan noktada kapanır (Gökkaya ve Uğuz, 1974:96).

Tek tabakalı el tipi sargılarda genel olarak iki katlı sarım kullanılır. Ancak, iki kutuplu tek tabakalı sarımda kutup adımı (τ_p) büyük olacağından daha çok üç katlı sarım kullanılır. Böylece, üç katlı sarım uygulaması ile kaçak akılar azaltılır ve sargılar soğutulması bakımından daha iyi bir şekilde sarılır (Korkmaz, 2005).

3.1.1. El tipi sargılar

El tipi sargılar daha çok alçak gerilim için uygundur. Alçak gerilimle yapılan çalışmalarda tercih edilirler (Korkmaz, 2005).

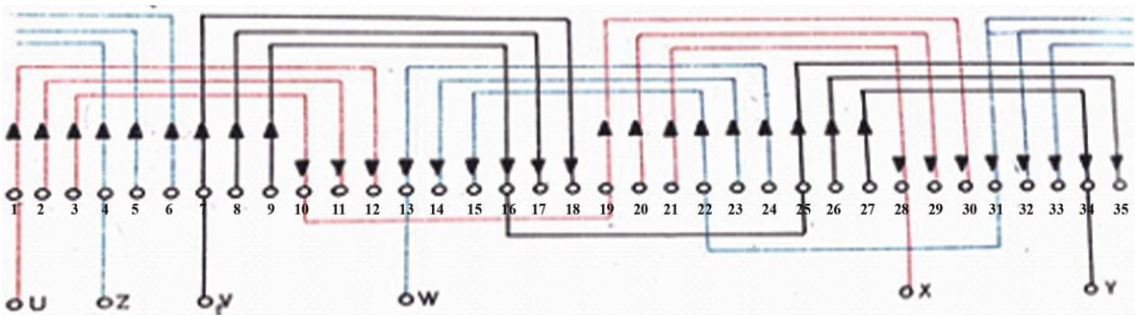
El tipi iki kutuplu sargılar üç katlı olur iken, daha fazla kutuplu (4-6-8-...) sargılar iki katlı olur. İki kutuplu sargılarda her kat bir fazı temsil eder, aynı faza ait bobinlerin çıkışları birbirine bağlanır. Yani çıkış-çıkışa bağlanır (Görkem, 2000:127-132).



Şekil 3.1. $X=36$ $2p=2$ $m=3$ El tipi sarım şeması (Görkem, 2000:130).

36 oluklu, 2 kutuplu ve üç fazlı el tipi sarım şeması Şekil 3.1' de verilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde iki kutuplu el tipi sargının üç kat olduğu görülmektedir.

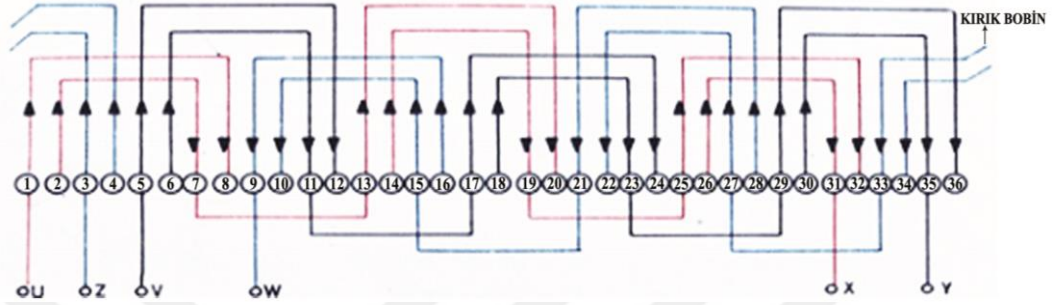
4-6-8 ve daha fazla kutuplu el tipi sargılarda her katta üç fazdan bobin grupları bulunur. Aynı faza ait bobin gruplarının birinin çıkış ucu, diğerinin giriş ucuna bağlanır. Yani iki kutupludan farklı olarak çıkış-girişe bağlanır (Görkem, 2000:131-132).



Şekil 3.2. $X=36$ $2p=4$ $m=3$ El tipi sarım şeması (Görkem, 2000:130).

36 oluklu, 4 kutuplu ve üç fazlı el tipi sarım şeması Şekil 3.2' de verilmiştir. Şekil 3.2 incelendiğinde 4 kutuplu el tipi sargının iki kat olduğu görülmektedir.

6 kutuplu el tipi sarımda bobin grubu sayısı tek sayı (9) olur. Bu durumda, bobin gruplarından bir tanesinin yarısı birinci katta, diğer yarısı ikinci kattadır. Bu bobin grubuna kırık bobin denir (Görkem, 2000:132).



Şekil 3.3. $X=36$ $2p=6$ $m=3$ El tipi sarım şeması (Görkem, 2000:133).

36 oluklu, 6 kutuplu ve üç fazlı el tipi sarım şeması Şekil 3.3’ de verilmiştir. Şekil 3.3 incelendiğinde, altı kutuplu el tipi sargının iki katlı olduğu ve kırık bobin denilen bobin grubuna sahip olduğu görülmektedir.

3.1.2. Yarım kalıp sargılar

Yarım kalıp sargılarda, her olukta tek bobin ve stator oluk sayısının yarı değeri kadar bobin bulunur. Yarım kalıp sargılarda sargı katmanları oluşmaz. Çünkü bobin gruplarının giriş kenarı altta, çıkış kenarı üsttedir (Görkem, 2000:136).

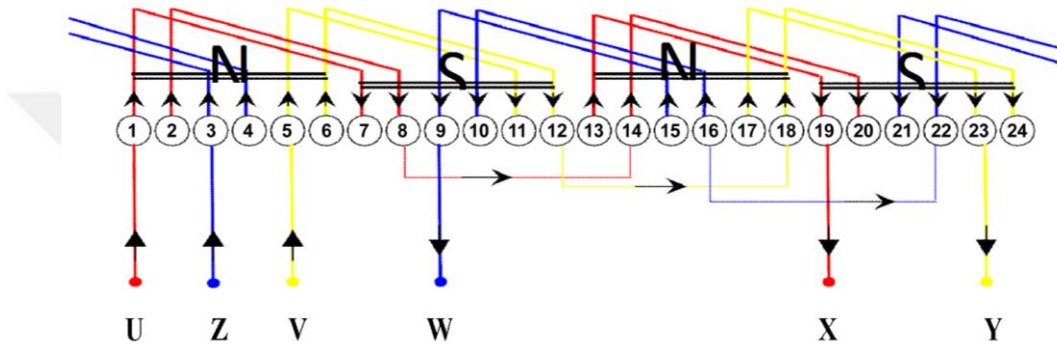
Yarım kalıp sargılar toplu ve dağıtılmış olarak ikiye ayrılır. Toplu yarım kalıp sargılar; eşit ve değişik adımlı yarım kalıp sargılar olmak üzere ikiye ayrılır. Dağıtılmış yarım kalıp sargılar ise; kısa, uzun ve normal adımlı yarım kalıp sargılar olmak üzere üçe ayrılır (Görkem, 2000:137-138; MEB, 2011b:3).

Farklı oluklara giren bobin parçalarına “bobin yanı” denir. Bobin yanları arasındaki bobin genişliği 180° veya bir kutup adımına eşit olabileceği gibi 180° den farklı da olabilir. 180° veya bir kutup adımına eşit sargıya “çap sargısı” ve 180° den farklı sargıya “kirişlenmiş sargı” denir (Mergen ve Zorlu, 2005:50-54).

Yarım kalıp ve tam kalıp sarım metotlarında bobin tam adımlı sarılabildiği gibi kısa adımlı (kirişlenmiş) olarak da sarılabilir. Kısa adımlı sarım uygulaması yarım kalıpta sınırlı olarak yapılırken, tam kalıpta daha fazla oluk sayısında adım kısaltması yapılabilir. Kısa adımlı sargılarda bobin yanları arasındaki açı 180° den farklı olması sebebiyle, ortalama sargı uzunluğu

azalır ve daha az bakır kullanılır. Bakır kayıpları azalır. Bu bobinlerin hava aralığında meydana getirdiği manyetik alan sinüs formuna daha yakındır (Korkmaz, 2005: Sarıoğlu, 1977 ve Boduroğlu'ndan, 1988).

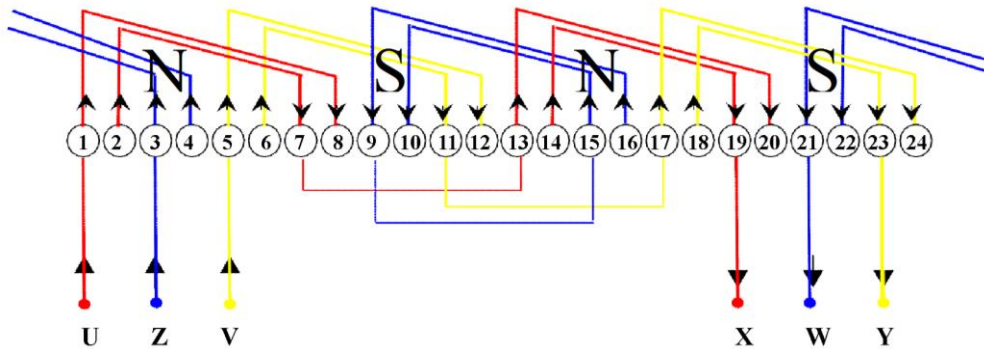
Eşit adımlı yarım kalıp sargılarda, aynı faza ait bobin kenarları birbirine yakındır. Eşit adımlı yarım kalıp sargılarda adından da anlaşılacağı üzere fazlar arasındaki oluk adımları birbirine eşittir (MEB, 2011b:4).



Şekil 3.4. $X=24$ $2p=4$ $m=3$ Eşit adımlı yarım kalıp sarım şeması (MEB, 2011b:27).

24 oluklu, 4 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun eşit adımlı yarım kalıp sarım şeması Şekil 3.4' de verilmiştir.

Değişik adımlı yarım kalıp sargılarda bobinler kademeli kalıplarda hazırlanır. Kademeli kalıplar farklı büyüklüklere sahiptir. Bu tip sargılarda bobin büyüklükleri ve oluk adımları farklıdır. Bu sarım şeklinde bobinler iç içe değildir (MEB, 2011b:4).



Şekil 3.5. $X=24$ $2p=4$ $m=3$ Değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması (MEB, 2011b:30).

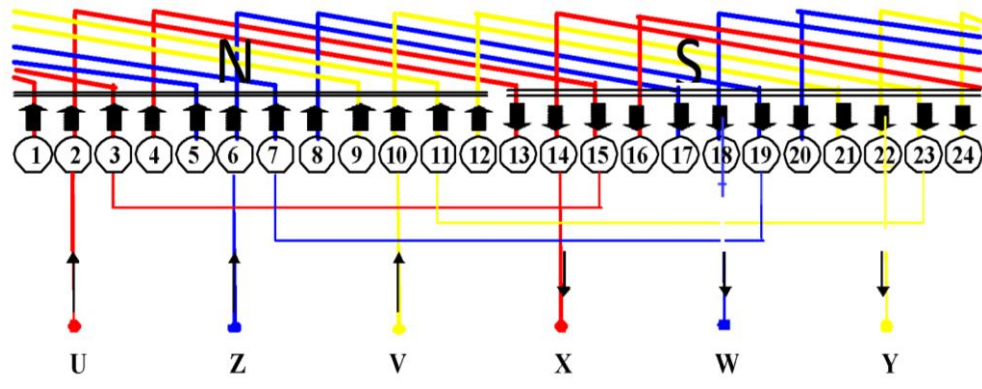
24 oluklu, 4 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması Şekil 3.5’ de verilmiştir.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 incelendiğinde eşit adımlı ve değişken adımlı yarım kalıp sarılmış olan sarımlarda U fazı için ortalama adım değerinin her iki sarımda da 6 oluk çıktığı görülmektedir. Bu iki sarım arasındaki fark sarımların sargı sonu ve toplam bobin uzunluğunun değişmesidir.

Değişik adımlı yarım kalıp sargılar el tipi sargılarda olduğu gibi iç içe sarılmaktadır. El tipi sargılardaki katların oluşmaması için bobinlerin bir tarafı altta, diğer tarafı üstte olacak şekilde oluklara yerleştirilir. Yani değişik adımlı yarım kalıp sargıların el tipi sargılardan farkı, bobinler oluklara yerleştirildiğinde katlar meydana gelmemesidir.

Dağıtılmış yarım kalıp sargılar bobin gruplarının toplu halde bulunmadığı sargı çeşididir. Bu tip sargılarda bobin grupları stator çevresine belirli aralıklarla dağıtılmıştır. Kısa, uzun ve normal adımlı olarak üç sarım çeşidi bulunmaktadır (MEB, 2011b:5).

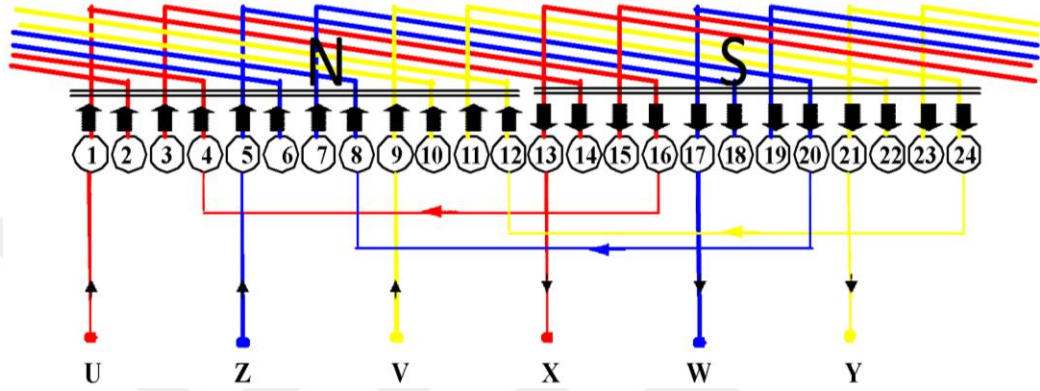
Kısa adımlı dağıtılmış yarım kalıp sargılar; Y_x değeri hesaplama ile bulunan değerinden küçük olan sarımlardır. Örneğin; $Y_x=6$ olarak hesaplanan bir sarım “1-7” olarak sarılması gerekirken, “1-6” olarak sarılırsa $Y_x=5$ alınmış olur. Yani bu sarımı bir adım kısaltmış oluruz. Bobin ölçüsü de “1-7” değil “1-6” olur (Görkem, 2000:137).



Şekil 3.6. $X=24$, $2p=2$, $m=3$ Kısa adımlı yarım kalıp sarım şeması (MEB, 2011b:21).

24 oluklu, 2 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun kısa adımlı yarım kalıp sarım şeması Şekil 3.6’ da verilmiştir. Şekil 3.6’da verilen değerlere göre Eşitlik 3.2’ den $Y_x=12$ olarak bulunur. Bu durumda normal adım sayısına göre “1-13” olarak sarılması gerekir. Ancak Şekil 3.6 incelendiğinde, adım sayısı bir adım kısaltılmış ve “2-13” olarak sarılmıştır.

Uzun adımlı dağıtılmış yarım kalıp sargılar; Y_x değeri hesaplama ile bulunan değerinden büyük olan sargılardır. Örneğin; $Y_x=6$ olarak hesaplanan bir sarım “1-7” olarak sarılması gerekirken, “1-8” olarak sarılırsa $Y_x=7$ alınmış olur. Yani bu sarımı bir adım uzatmış oluruz. Bobin ölçüsü de “1-7” değil “1-8” olur (Görkem, 2011:138).



Şekil 3.7. $X=24$, $2p=2$, $m=3$ Uzun adımlı yarım kalıp sarım şeması (MEB, 2011b:22).

24 oluklu, 2 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun uzun adımlı yarım kalıp sarım şeması Şekil 3.7’ de verilmiştir. Şekil 3.7’de verilen değerlere göre Eşitlik 3.2’ den $Y_x=12$ olarak bulunur. Bu durumda normal adım sayısına göre “1-13” olarak sarılması gerekir. Ancak Şekil 3.7 incelendiğinde adım sayısı bir adım uzatılmış ve “1-14” olarak sarılmıştır.

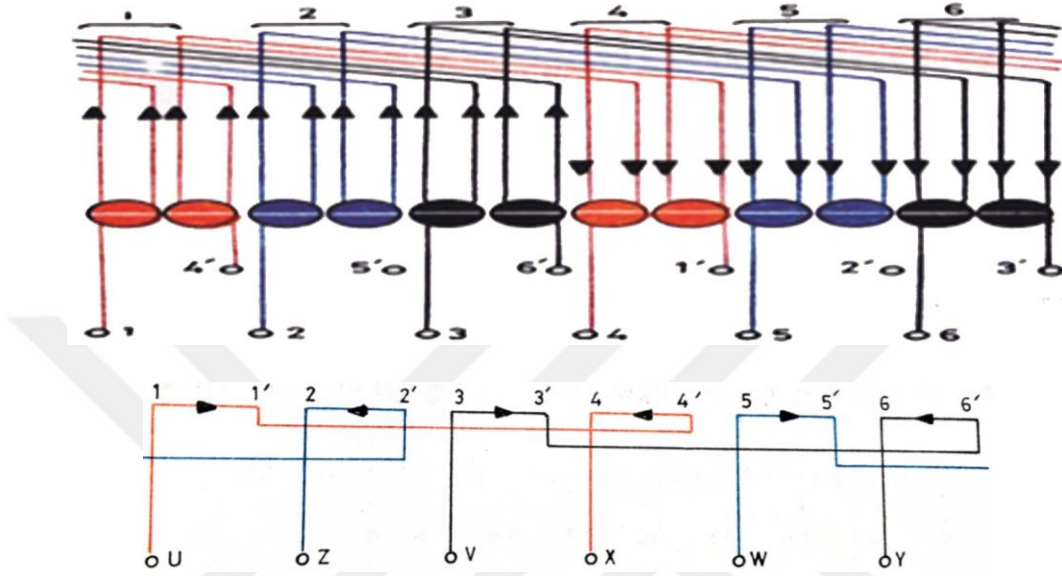
C değeri tek sayı çıktığında kısa veya uzun adımlı sarım yapılamaz. Böyle durumlarda normal adımlı olarak yapılır (Görkem, 2010:138).

3.2. Tam Kalıp (İki Tabakalı) Sargılar

Tam kalıp sargılarda aynı faza ya da farklı faza ait iki bobin kenarı bulunur. Yani bir stator oluğunda bulunan bobin sayısı yarım kalıp sargılardan farklıdır. Tam kalıp sargıların bobin sayısı stator oluk sayısına eşittir. Bobinler stator oluklarına yerleştirilirken giriş uçları üstte, çıkış uçları alttadır (MEB, 2011c:3).

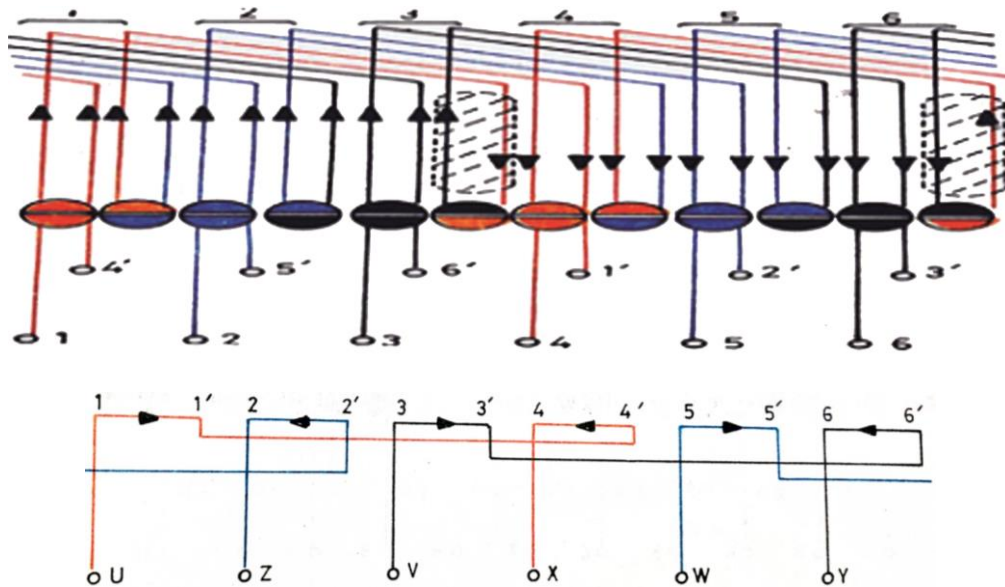
Bu sargı çeşidine tam kalıp veya iki tabakalı sargı denir. Ağzı açık tip oluklara yerleştirilmek için geliştirilmiş bir sarım metodudur. Çalışma gerilimi yüksek olan motorlar için uygun bir sarım şeklidir. Tam kalıp sarımlarda daha fazla adım kısaltması yapılabilir. Adım kısaltması güç katsayısını olumsuz yönde etkiler. Ayrıca tam kalıp sarımın bobin başlarının fazlara göre yalıtımı daha iyidir. Havalandırma bakımından yarım kalıp sarımlara göre daha

elverişlidir. Tam kalıp sargılar statora farklı şekillerde yerleştirilebilmektedir. Böylece değişik yöntemlerle sarılabilmektedir (Korkmaz, 2005).



Şekil 3.8. $X=12$ $2p=2$ $m=3$ Normal adımli tam kalıp sarım şeması (Görkem, 2000:144).

12 oluklu, 2 kutuplu ve üç fazlı normal adımli tam kalıp sarım şeması Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.8' de verilen değerlere göre Eşitlik 3.2' den $Y_x=6$ olarak bulunur. Bu durumda normal adım sayısına göre "1-7" olarak sarılmıştır.



Şekil 3.9. $X=12$ $2p=2$ $m=3$ Kısa adımli tam kalıp sarım şeması (Görkem, 2000:144).

12 oluklu, 2 kutuplu ve üç fazlı kısa adımlı tam kalıp sarım şeması Şekil 3.9’ da verilmiştir. Eşitlik 3.2’ den $Y_x=6$ olarak bulunur. Bu durumda normal adım sayısına göre “1-7” olarak sarılması gerekirken bir adım kısaltılarak “1-6” olarak sarılmıştır.

Şekil 3.9 incelendiğinde bazı bobin kenarlarından geçen akım yönlerinin ters yönde olduğu görülmektedir. Bu durumda manyetik alan yönleri de ters olacağından dolayı, birbirlerini yok ederler. Bu oluklarda manyetik alan oluşmaz. Bu nedenle bu oluklara kör oluk denir (Görkem, 2000:144).

Kör oluk sayısı, kısaltılan veya uzatılan adım sayısı ile çift kutup sayısının çarpımından bulunur. Şekil 3.9’ da kısaltılan adım sayısı 1 ve çift kutup sayısı 2 olduğundan, ikisinin çarpımından 2 kör oluk oluşmuştur. Yani 2 tane olukta zıt yönlü iki manyetik alan vardır. Oluşan bu manyetik alanlar birbirlerini yok ederler. Bunun neticesinde, 12 oluklu bir asenkron motorun 10 oluğunda manyetik alan oluşur.

Sincap kafesli asenkron motorlarda, stator ve rotor sargılarının düzgün sarılamamasından, üretim esnasında hava aralığının her yerde eşit olacak şekilde yapılamamasından ve manyetik doyum gibi nedenlerle yüksek harmonikler meydana gelir. Bu harmonikler birinci (temel bileşen) yanında, 5., 7., 11. ve 13. harmoniklerdir. Harmonikler, yol alma esnasında moment üzerinde negatif etkilere sahiptir (Sarioğlu, 1983:311-312).

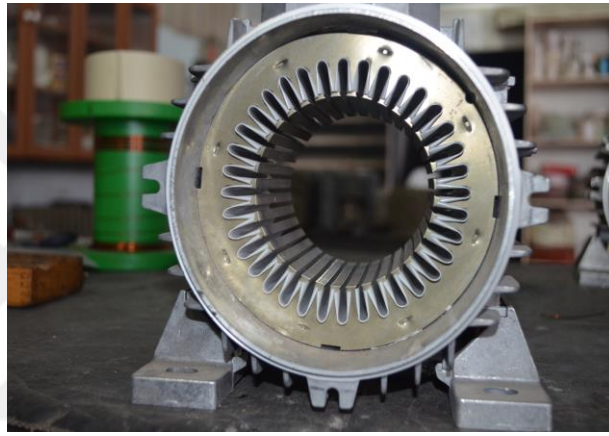
Harmonikler aynı zamanda gürültüye de sebep olur. Moment üzerindeki negatif etkileri yok etmek için, motor sargıları sarılırken adım kısaltması yapılır. Ayrıca yüksek harmoniklere karşı rotor veya stator oluklarının eğik olarak yapılması da çok etkilidir (Boduroğlu, 1988:129-131).

Bobin adımının ara değerleri için adım kısaltması yetersiz kalır. Böyle durumlarda harmoniklerin tam olarak yok edilebilmesi için, yapısal değişikliklerde yapmak gerekir. Yani oluk adımının yanı sıra oluk yapısında da kaydırma yapılır (Çanakoğlu ve Özel, 2018).

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

4.1. Motorlar ve Özellikleri

Bu çalışmada 6 farklı tipte sincap kafesli, eşit güçlü, statoru 36 oluklu, 3 fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Kullanılan motorların 3 tanesi yarım kalıp sarım, diğer 3 tanesi de tam kalıp sarım olarak sarılmıştır. Deneylerde 96, 106 ve 116 sipir olmak üzere 3 farklı sipir sayısı uygulanmıştır.



Şekil 4.1. 36 oluklu asenkron motorun stator oluk yapısı.

36 oluklu asenkron motorun stator oluk yapısı Şekil 4.1’ de verilmiştir. 6 motorun stator sarımında 0,55 mm bakır teller kullanılmıştır. Rotor kısmında herhangi bir işlem yapılmamıştır.



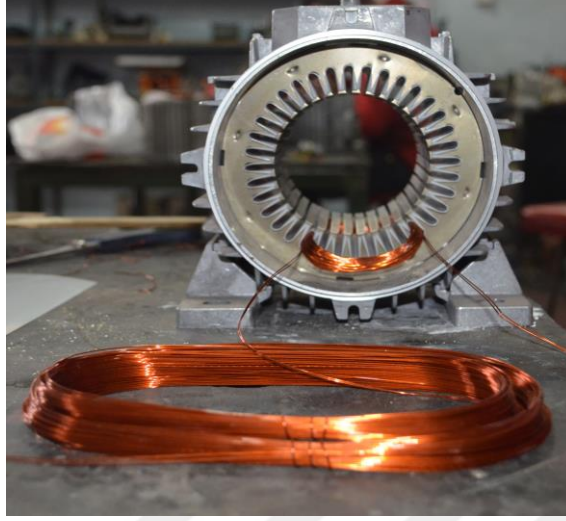
Şekil 4.2. 0,55 mm bakır tel görünümü.

Asenkron motorların stator sargılarında kullanılan 0,55 mm bakır tel görünümü Şekil 4.2’ de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp üç fazlı asenkron motorların fiziksel boyutları ve özellikleri Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

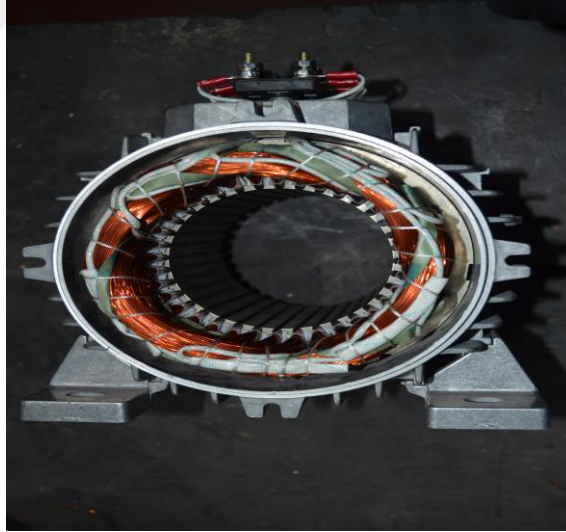
Çizelge 4.1. Asenkron motorların fiziksel boyutları ve özellikleri.

Motor Parametreleri	Değerler (Motor 1’den 6’ ya)	Stator ve rotor oluk parametreleri	Değerler (Motor 1’den 6’ya)
Stator iç çapı	80 mm	Stator oluk sayısı	36
Stator dış çapı	136 mm	Stator oluk yüksekliği	14,8 mm
Rotor iç çapı	24 mm	Stator boyunduruk yüksekliği	12,7 mm
Rotor dış çapı	79,4 mm	Stator oluk üst yüksekliği	5,4 mm
Mil çapı	24 mm	Stator oluk alt yüksekliği	3,7 mm
Hava aralığı uzunluğu	0,3 mm	Stator kama yüksekliği	0,5 mm
Paket boyu	96,3 mm	Stator dış genişliği	3,8 mm
Gerilim (Faz-Faz)	380 V	Rotor oluk sayısı	28
Stator bağlantı tipi	Yıldız	Rotor oluk yüksekliği	14 mm
Kutup sayısı (2p)	4	Rotor boyunduruk yüksekliği	13,7 mm
Faz sayısı (m)	3	Rotor oluk üst yüksekliği	4,5 mm
Frekans	50 Hertz	Rotor oluk alt yüksekliği	2 mm
		Rotor kama yüksekliği	0,5 mm
		Rotor dış genişliği	4,4 mm
		Kısa devre halkası uzunluğu	9 mm
		Kısa devre halkası genişliği	14,5 mm



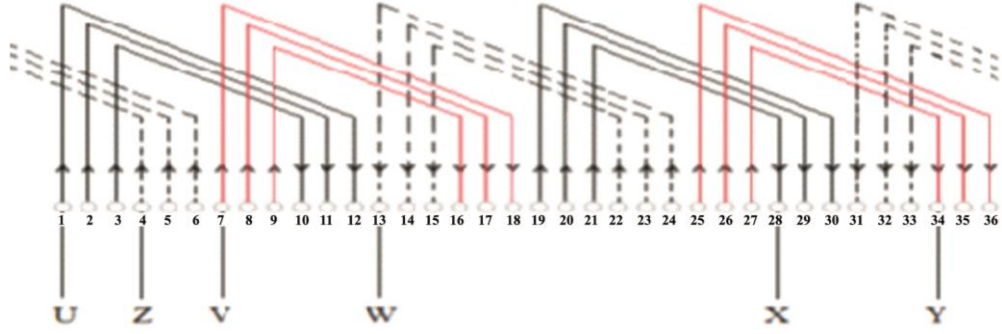
Şekil 4.3. $X=36$ $2p=4$ $m=3$ Asenkron motorun stator sargıları yapılırken görünümü.

36 oluklu 4 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun stator sargılarının sarım işlemi yapılırken görünümü Şekil 4.3' de verilmiştir.



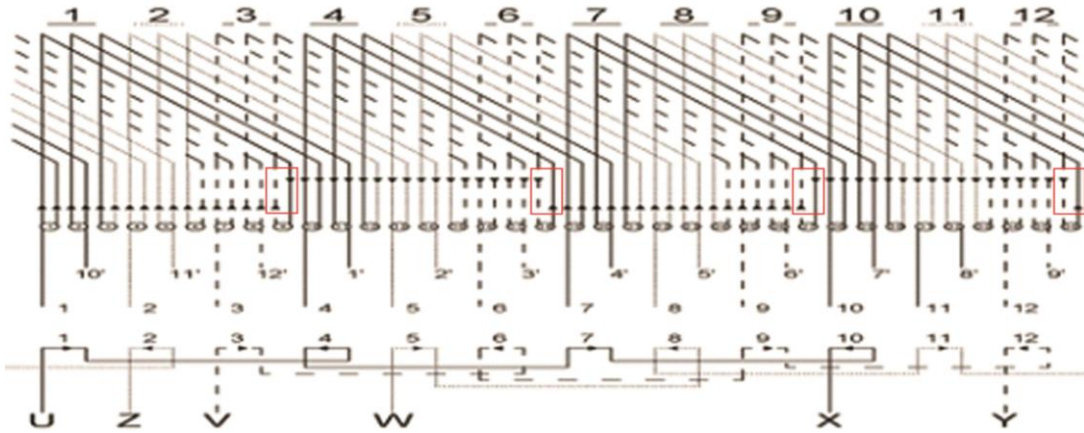
Şekil 4.4. $X=36$ $2p=4$ $m=3$ Asenkron motorun stator sargıları tamamlanmış görünümü.

36 oluklu 4 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorun stator sargıları tamamlanmış görünümü Şekil 4.4' de verilmiştir. Asenkron motorun sargıları arasında 120° elektriksel faz farkı bulunmaktadır. Stator oluklarına yalıtım sağlaması amaçlı oluk yalıtkanları yerleştirilmiştir.



Şekil 4.5. $X=36$ $2p=4$ $m=3$ Değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması.

Tez çalışmasında kullanılan 96, 106 ve 116 sipir, 36 oluklu, 4 kutuplu ve üç fazlı asenkron motorların üç tanesi değişken adımlı yarım kalıp olarak sarılmıştır. Asenkron motorlara ait değişken adımlı yarım kalıp sarım şeması Şekil 4.5' de verilmiştir. Eşitlik 3.1' den yararlanılarak $C=3$ bulunur. Eşitlik 3.2' den $Y_x=9$ ve Eşitlik 3.5' den α açısı 20° bulunur. Y_x değerine göre 1-10 sarılması gerekirken, tez çalışmasında yarım kalıp sarımlar 1-12, 2-11 ve 3-10 gibi değişken adımlı olarak sarılmıştır.



Şekil 4.6. $X=36$ $2p=4$ $m=3$ Kısa adımlı tam kalıp sarım şeması.

Tez çalışmasında kullanılan 96, 106 ve 116 sipir, 36 oluklu, 4 kutuplu ve üç fazlı diğer üç asenkron motor ise kısa adımlı tam kalıp olarak sarılmıştır. Kısa adımlı tam kalıp sarım şeması Şekil 4.6' da verilmiştir. Eşitlik 3.1'den yararlanılarak $C=3$ bulunur. Eşitlik 3.2' den $Y_x=9$ ve Eşitlik 3.5' den α açısı 20° bulunur. Y_x değerine göre 1-10 sarılması gerekirken, tez çalışmasında bir adım kısaltılarak 1-9 kısa adımlı olarak sarılmıştır. Adım kısaltması sonucunda 9., 18., 27. ve 36. oluklarda olmak üzere 4 adet kör oluk meydana gelmiştir.

4.2. Ölçülen Değerler ve Hesaplamalar

Statoru 96, 106 ve 116 sipir sayısında sarılan yarım ve tam kalıp asenkron motorlar için ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden yararlanılarak eşdeğer devre parametreleri ve motor değerleri hesaplanmıştır.

4.2.1. Yarım kalıp sarım sonuçları

Yarım kalıp 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan boşa çalışma deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	1. Motor (96 Sipir)	2. Motor (106 Sipir)	3. Motor (116 Sipir)
V_0 (V)	380	380	380
I_0 (A)	3,525	2,396	1,815
P_0 (W)	535	400	275
$\cos \theta_0$	0,23	0,26	0,23
n_0 (devir/dakika=d/d)	1499	1499	1498

Yarım kalıp 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan kısa devre çalışma deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	1. Motor (96 Sipir)	2. Motor (106 Sipir)	3. Motor (116 Sipir)
V_k (V)	72	80,1	97,5
I_k (A)	3,7	3,7	3,7
P_k (W)	364	401	485
$\cos \theta_k$	0,8	0,78	0,77
R_{RS} (Ω)	7,4	8	9,6

Yarım kalıp 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan yüklü çalışma deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorların yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	1. Motor (96 Sipir)	2. Motor (106 Sipir)	3. Motor (116 Sipir)
V_1 (V)	380	380	380
I_1 (A)	3,7	3,7	3,7
P_1 (W)	1760	2040	2130
S_1 (VA)	2370	2340	2370
Q_1 (VAr)	1540	1160	1010
$\cos \theta_1$	0,75	0,87	0,9
n_r (d/d)	1430	1410	1373

Yarım kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Yarım kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.2' deki yarım kalıp boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1' den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}} \quad V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3' den;

$$R_c = \frac{3 \cdot 220^2}{535} \quad R_c = 271,402 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4' den;

$$I_c = \frac{220}{271,402} \quad I_c = 0,8106 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.5' den;

$$I_m = \sqrt{(3,525)^2 - (0,8106)^2} \quad I_m = 3,4305 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{3,4305}$$

$$X_m = 64,13 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den;

$$S_0 = \sqrt{3} \cdot (380) \cdot (3,525)$$

$$S_0 = 2320 \, \text{VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan;

$$Q_0 = \sqrt{(2320)^2 - (535)^2}$$

$$Q_0 = 2257,471 \, \text{VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan;

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot (3,525) \cdot (0,23)$$

$$P_0 = 533,62 \, \text{W}$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{533,62}{2320}$$

$$\cos \theta_0 = 0,23$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.3' deki yarım kalıp kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{364}{3 \cdot (3,7)^2}$$

$$R_k = 8,863 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{7,4}{2}$$

$$R_1 = 3,7 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 8,863 - 3,7$$

$$R_2' = 5,163 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{72}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 41,569 \, \text{V}$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{41,569}{3,7}$$

$$Z_k = 11,235 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak;

$$X_k = \sqrt{(11,235)^2 - (8,863)^2}$$

$$X_k = 6,905 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2' = \frac{6,905}{2}$$

$$X_1 = X_2' = 3,4525 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{5,163}{6,905}$$

$$s_d = 0,748$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3 \cdot (41,569) \cdot (3,7)$$

$$S_k = 461,416 \, \text{VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak;

$$Q_k = \sqrt{(461,416)^2 - (364)^2}$$

$$Q_k = 283,564 \, \text{VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{8,863}{11,235}$$

$$\cos \theta_k = 0,789$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3} \cdot 72 \cdot (3,7) \cdot (0,789)$$

$$P_k = 364,06 \, \text{W}$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.4' deki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.27 kullanılarak nominal kayma değeri;

$$s_n = \frac{1500 - 1430}{1500}$$

$$s_n = 0,046$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1430}{1500} \cdot 100$$

$$\%s_n = \%4,6$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{1860}{2370}$$

$$\cos \theta_1 = 0,7848$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{5,163}{0,046} \cdot \frac{220^2}{\left(3,7 + \frac{5,163}{0,046}\right)^2 + (3,4525 + 3,4525)^2}$$

$$M_n = 7,7517 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{7,7517 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1430}{60}$$

$$P_2 = 1160,22 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1160,22}{1160,22 + 535 + 364} \cdot 100$$

$$\% \eta = \%56,34$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Yarım kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.2' deki boşta çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1' den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3' den;

$$R_c = \frac{3 \cdot 220^2}{400}$$

$$R_c = 363 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4' den;

$$I_c = \frac{220}{363}$$

$$I_c = 0,606 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.5' den;

$$I_m = \sqrt{(2,396)^2 - (0,606)^2} \quad I_m = 2,318 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{2,318} \quad X_m = 94,909 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den

$$S_0 = \sqrt{3}.380.(2,396) \quad S_0 = 1577 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan;

$$Q_0 = \sqrt{(1577)^2 - (400)^2} \quad Q_0 = 1525,43 \text{ VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan

$$P_0 = \sqrt{3}.380.(2,396).(0,26) \quad P_0 = 410,02 \text{ W}$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{410,02}{1577} \quad \cos \theta_0 = 0,26$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.3' deki kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{401}{3.(3,7)^2} \quad R_k = 9,764 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{8}{2} \quad R_1 = 4 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 9,764 - 4 \quad R_2' = 5,764 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{80,1}{\sqrt{3}} \quad V_f = 46,246 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{46,246}{3,7} \quad Z_k = 12,499 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak;

$$X_k = \sqrt{(12,499)^2 - (9,764)^2} \quad X_k = 7,803 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2' = \frac{7,803}{2} \quad X_1 = X_2' = 3,9015 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{5,764}{7,803} \quad s_d = 0,739$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3 \cdot (46,246) \cdot (3,7) \quad S_k = 513,33 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak;

$$Q_k = \sqrt{(513,33)^2 - (401)^2} \quad Q_k = 320,479 \text{ VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{9,764}{12,499} \quad \cos \theta_k = 0,781$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3} \cdot (80,1) \cdot (3,7) \cdot (0,781) \quad P_k = 400,909 \text{ W}$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.4' deki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak ve Eşitlik 2.27' den;

$$s_n = \frac{1500 - 1410}{1500} \quad s_n = 0,06$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1410}{1500} \cdot 100 \quad \%s_n = \%6$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{2040}{2340} \quad \cos \theta_1 = 0,8717$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{5,764}{0,06} \cdot \frac{220^2}{\left(4 + \frac{5,764}{0,06}\right)^2 + (3,9015 + 3,9015)^2} \quad M_n = 8,7662 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{8,7662 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1410}{60} \quad P_2 = 1293,71 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1293,71}{1293,71 + 400 + 401} \cdot 100 \quad \% \eta = \%61,76$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Yarım kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.2' deki boşta çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1' den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}} \quad V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3' den;

$$R_c = \frac{3.220^2}{275}$$

$$R_c = 528 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4' den;

$$I_c = \frac{220}{528}$$

$$I_c = 0,416 A$$

bulunur. Eşitlik 2.5' den;

$$I_m = \sqrt{(1,815)^2 - (0,416)^2}$$

$$I_m = 1,767 A$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{1,767}$$

$$X_m = 124,505 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den;

$$S_0 = \sqrt{3}.380.(1,815)$$

$$S_0 = 1194,595 VA$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan;

$$Q_0 = \sqrt{(1194,595)^2 - (275)^2}$$

$$Q_0 = 1162,51 VAr$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan;

$$P_0 = \sqrt{3}.380.(1,815).(0,23)$$

$$P_0 = 274,757 W$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{274,757}{1194,595}$$

$$\cos \theta_0 = 0,23$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.3' deki kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{485}{3.(3,7)^2}$$

$$R_k = 11,809 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{9,6}{2}$$

$$R_1 = 4,8 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 11,809 - 4,8$$

$$R_2' = 7,009 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{97,5}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 56,29 \, V$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{56,29}{3,7}$$

$$Z_k = 15,214 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak;

$$X_k = \sqrt{(15,214)^2 - (11,809)^2}$$

$$X_k = 9,592 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2' = \frac{9,592}{2}$$

$$X_1 = X_2' = 4,796 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{7,009}{9,592}$$

$$s_d = 0,730$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3 \cdot (56,29) \cdot (3,7)$$

$$S_k = 624,819 \, VA$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak,

$$Q_k = \sqrt{(624,819)^2 - (485)^2}$$

$$Q_k = 393,921 \, VAr$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{11,809}{15,214}$$

$$\cos \theta_k = 0,776$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3} \cdot (97,5) \cdot (3,7) \cdot (0,776) \quad P_k = 484,874 \text{ W}$$

olarak bulunur.

Yarım kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.4' deki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak ve Eşitlik 2.27' den;

$$s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad s_n = 0,0846$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1373}{1500} \cdot 100 \quad \%s_n = \%8,46$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{2130}{2370} \quad \cos \theta_1 = 0,8987$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{7,009}{0,0846} \cdot \frac{220^2}{\left(4,8 + \frac{7,009}{0,0846}\right)^2 + (4,796 + 4,796)^2} \quad M_n = 9,8032 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{9,8032 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1373}{60} \quad P_2 = 1408,79 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1408,79}{1408,79 + 275 + 485} \cdot 100 \quad \% \eta = \%64,96$$

olarak bulunur.

Elde edilen yarım kalıp sarım değerleri incelendiğinde, her bir motor için deneysel yolla bulunan sonuçların teorik olarak bulunan sonuçları desteklediği görülmektedir. Yarım kalıp sarımlı üç fazlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler.

Parametreler	1. Motor (96 Sipir)	2. Motor (106 Sipir)	3. Motor (116 Sipir)
$R_1 (\Omega)$	3,7	4	4,8
$R_2' (\Omega)$	5,163	5,764	7,009
$X_1 (\Omega)$	3,4525	3,9015	4,796
$X_2' (\Omega)$	3,4525	3,9015	4,796
$R_k (\Omega)$	8,863	9,764	11,809
$X_k (\Omega)$	6,905	7,803	9,592
$Z_k (\Omega)$	11,235	12,499	15,214
$R_c (\Omega)$	271,402	363	528
$X_m (\Omega)$	64,13	94,909	124,505
$I_m (A)$	3,4305	2,318	1,767
$I_c (A)$	0,8106	0,606	0,416
s_d	0,748	0,739	0,730
$\% s_n$	$\% 4,6$	$\% 6$	$\% 8,46$
$S_0 (VA)$	2320	1577	1194,595
$Q_0 (VAr)$	2257,41	1525,43	1162,51
$S_k (VA)$	461,416	513,33	624,819
$Q_k (VAr)$	283,564	320,479	393,921
$P_2 (W)$	1160,22	1293,71	1408,79

Yarım kalıp sarımlı üç fazlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yarım kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri.

Parametreler	1. Motor (96 Sipir)	2. Motor (106 Sipir)	3. Motor (116 Sipir)
$M_n (N.m)$	7,7517	8,7662	9,8032
$\% \eta$	56,34	61,76	64,96

4.2.2. Tam kalıp sarım sonuçları

Tam kalıp 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan boşa çalışma deneyinde Çizelge 4.7’ deki değerler ölçülmüştür.

Çizelge 4.7. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	4. Motor (96 Sipir)	5. Motor (106 Sipir)	6. Motor (116 Sipir)
V_0 (V)	380	380	380
I_0 (A)	2,64	1,94	1,56
P_0 (W)	255	156	151
$\cos \theta_0$	0,15	0,12	0,15
n_0 (d/d)	1499	1499	1499

Tam kalıp 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan kısa devre çalışma deneyinde Çizelge 4.8’ deki değerler ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	4. Motor (96 Sipir)	5. Motor (106 Sipir)	6. Motor (116 Sipir)
V_k (V)	87,6	100,8	116,1
I_k (A)	3,7	3,7	3,7
P_k (W)	408	464	513
$\cos \theta_k$	0,73	0,72	0,69
R_{RS} (Ω)	8,6	9,6	10,5

Tam kalıp motor için 96, 106 ve 116 sipir sarımlı üç farklı asenkron motor için yapılan yüklü çalışma deneyinde Çizelge 4.9’ daki değerler ölçülmüştür.

Çizelge 4.9. Tam kalıp sarımlı asenkron motorların yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler.

Parametreler	4. Motor (96 Sipir)	5. Motor (106 Sipir)	6. Motor (116 Sipir)
V_1 (V)	380	380	380
I_1 (A)	3,7	3,7	3,7
P_1 (W)	1860	2060	2120
S_1 (VA)	2370	2390	2410
Q_1 (VAr)	1500	1240	1164
$\cos \theta_1$	0,77	0,86	0,88
n_r (d/d)	1417,3	1378	1352

Tam kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Tam kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.7’ deki boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1’ den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3’ den;

$$R_c = \frac{3 \cdot (220)^2}{255}$$

$$R_c = 569,41 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4’ den;

$$I_c = \frac{220}{569,41}$$

$$I_c = 0,386 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.5’ den;

$$I_m = \sqrt{(2,64)^2 - (0,386)^2}$$

$$I_m = 2,61 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{2,61}$$

$$X_m = 84,29 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den;

$$S_0 = \sqrt{3} \cdot (380) \cdot (2,64)$$

$$S_0 = 1737,59 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan

$$Q_0 = \sqrt{(1737,59)^2 - (255)^2}$$

$$Q_0 = 1718,777 \text{ VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan;

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot (2,64) \cdot (0,15)$$

$$P_0 = 260,639 \text{ W}$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{260,639}{1737,59}$$

$$\cos \theta_0 = 0,15$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 96 siper sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.8' deki kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{408}{3 \cdot (3,7)^2}$$

$$R_k = 9,934 \text{ W}$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{8,6}{2}$$

$$R_1 = 4,3 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 9,934 - 4,3$$

$$R_2' = 5,634 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{87,6}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 50,576 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{50,576}{3,7}$$

$$Z_k = 13,669 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak,

$$X_k = \sqrt{(13,669)^2 - (9,934)^2}$$

$$X_k = 9,389 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2 = \frac{9,389}{2}$$

$$X_1 = X_2' = 4,6945 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{5,634}{9,389}$$

$$s_d = 0,600$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3.(50,576).(3,7)$$

$$S_k = 561,394 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak,

$$Q_k = \sqrt{(561,394)^2 - (408)^2}$$

$$Q_k = 385,615 \text{ VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{9,934}{13,669}$$

$$\cos \theta_k = 0,727$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3}.(87,6).(3,7).(0,727)$$

$$P_k = 408,13 \text{ W}$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 96 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.9' daki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak ve Eşitlik 2.27' den;

$$s_n = \frac{1500 - 1417,3}{1500}$$

$$s_n = 0,055$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1417,3}{1500} \cdot 100$$

$$\%s_n = \%5,5$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{1860}{2370}$$

$$\cos \theta_1 = 0,7848$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{5,634}{0,055} \cdot \frac{220^2}{\left(4,3 + \frac{5,634}{0,055}\right)^2 + (4,6945 + 4,6945)^2}$$

$$M_n = 8,2202 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{8,2202 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1417,3}{60}$$

$$P_2 = 1219,42 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1219,42}{1219,42 + 255 + 408} \cdot 100$$

$$\% \eta = \%64,78$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Tam kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.7' deki boşta çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1' den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3' den;

$$R_c = \frac{3 \cdot 220^2}{156}$$

$$R_c = 930,769 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4' den;

$$I_c = \frac{220}{930,769}$$

$$I_c = 0,236 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.5' den;

$$I_m = \sqrt{(1,94)^2 - (0,236)^2}$$

$$I_m = 1,926 \text{ A}$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{1,926}$$

$$X_m = 114,23 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den;

$$S_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot (1,94)$$

$$S_0 = 1276,87 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan;

$$Q_0 = \sqrt{(1276,87)^2 - (156)^2}$$

$$Q_0 = 1267,305 \text{ VAr}$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan;

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot (1,94) \cdot (0,12)$$

$$P_0 = 153,204 \text{ W}$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{153,204}{1276,87}$$

$$\cos \theta_0 = 0,1199$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.8' deki kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{464}{3 \cdot (3,7)^2}$$

$$R_k = 11,298 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{9,6}{2}$$

$$R_1 = 4,8 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 11,298 - 4,8$$

$$R_2' = 6,498 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{100,8}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 58,197 \, V$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{58,197}{3,7}$$

$$Z_k = 15,729 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak;

$$X_k = \sqrt{(15,729)^2 - (11,298)^2}$$

$$X_k = 10,943 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2' = \frac{10,943}{2}$$

$$X_1 = X_2' = 5,4715 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{6,498}{10,943}$$

$$s_d = 0,594$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3 \cdot (58,197) \cdot (3,7)$$

$$S_k = 645,99 \, VA$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak,

$$Q_k = \sqrt{(645,99)^2 - (464)^2}$$

$$Q_k = 449,45 \, VAr$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{11,298}{15,729}$$

$$\cos \theta_k = 0,718$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3} \cdot (100,8) \cdot (3,7) \cdot (0,718)$$

$$P_k = 463,82 \, W$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 106 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.9' daki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak ve Eşitlik 2.27' den;

$$s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad s_n = 0,0813$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1378}{1500} \cdot 100 \quad \%s_n = \%8,13$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{2060}{2390} \quad \cos \theta_1 = 0,8619$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{6,498}{0,0813} \cdot \frac{220^2}{\left(4,8 + \frac{6,498}{0,081}\right)^2 + (5,4715 + 5,4715)^2} \quad M_n = 10,0709 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{10,0709 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1378}{60} \quad P_2 = 1452,53 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1452,53}{1452,53 + 156 + 464} \cdot 100 \quad \% \eta = \%70,08$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motorun analiz sonuçları

Tam kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.7' deki boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak Eşitlik 2.1' den;

$$V_f = \frac{380}{\sqrt{3}} \quad V_f = 220 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.2 ve 2.3' den;

$$R_c = \frac{3.220^2}{151} \quad R_c = 961,59 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.4' den;

$$I_c = \frac{220}{961,59} \quad I_c = 0,229 \, A$$

bulunur. Eşitlik 2.5' den;

$$I_m = \sqrt{(1,56)^2 - (0,229)^2} \quad I_m = 1,543 \, A$$

bulunur. Eşitlik 2.6' dan;

$$X_m = \frac{220}{1,543} \quad X_m = 142,579 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.7' den;

$$S_0 = \sqrt{3}.380.(1,56) \quad S_0 = 1026,76 \, VA$$

bulunur. Eşitlik 2.8 ve 2.9' dan;

$$Q_0 = \sqrt{(1026,76)^2 - (151)^2} \quad Q_0 = 1015,6 \, VAR$$

bulunur. Eşitlik 2.10' dan;

$$P_0 = \sqrt{3}.380.(1,56).(0,15) \quad P_0 = 154,01 \, W$$

bulunur. Eşitlik 2.11' den;

$$\cos \theta_0 = \frac{154,01}{1026,76} \quad \cos \theta_0 = 0,1499$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.8' deki kısa devre çalışma deneyinde ölçülen değerler ve Eşitlik 2.12 ve 2.13 kullanılarak;

$$R_k = \frac{513}{3.(3,7)^2} \quad R_k = 12,49 \, \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.14' den;

$$R_1 = \frac{10,5}{2}$$

$$R_1 = 5,25 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.15' den;

$$R_2' = 12,49 - 5,25$$

$$R_2' = 7,24 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.16' dan;

$$V_f = \frac{116,1}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 67,03 \text{ V}$$

bulunur. Eşitlik 2.17' den;

$$Z_k = \frac{67,03}{3,7}$$

$$Z_k = 18,116 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.18 ve 2.19 kullanılarak;

$$X_k = \sqrt{(18,116)^2 - (12,49)^2}$$

$$X_k = 13,12 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.20' den;

$$X_1 = X_2' = \frac{13,12}{2}$$

$$X_1 = X_2' = 6,56 \Omega$$

bulunur. Eşitlik 2.21' den;

$$s_d = \frac{7,24}{13,12}$$

$$s_d = 0,552$$

bulunur. Eşitlik 2.22' den;

$$S_k = 3 \cdot (67,03) \cdot (3,7)$$

$$S_k = 744,033 \text{ VA}$$

bulunur. Eşitlik 2.23 ve 2.24 kullanılarak,

$$Q_k = \sqrt{(744,033)^2 - (513)^2}$$

$$Q_k = 538,90 \text{ VAR}$$

bulunur. Eşitlik 2.25' den;

$$\cos \theta_k = \frac{12,49}{18,116}$$

$$\cos \theta_k = 0,689$$

bulunur. Eşitlik 2.26' dan;

$$P_k = \sqrt{3} \cdot (116,1) \cdot (3,7) \cdot (0,689)$$

$$P_k = 512,64 \text{ W}$$

olarak bulunur.

Tam kalıp 116 sipir sarımlı üç fazlı asenkron motor için Çizelge 4.9' daki yüklü çalışma deneyinde ölçülen değerler kullanılarak ve Eşitlik 2.27' den;

$$s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$s_n = 0,09867$$

bulunur. Eşitlik 2.28' den;

$$\%s_n = \frac{1500 - 1352}{1500} \cdot 100$$

$$\%s_n = \%9,867$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.29' dan;

$$\cos \theta_1 = \frac{2120}{2410}$$

$$\cos \theta_1 = 0,8796$$

Ayrıca Eşitlik 2.30 kullanılarak;

$$M_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{\pi \cdot 50} \cdot \frac{7,24}{0,09867} \cdot \frac{220^2}{\left(5,3 + \frac{7,24}{0,09867}\right)^2 + (6,56 + 6,56)^2}$$

$$M_n = 10,6152 \text{ N.m}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak;

$$P_2 = \frac{10,6152 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1352}{60}$$

$$P_2 = 1502,14 \text{ W}$$

olarak bulunur. Eşitlik 2.33 kullanılarak;

$$\% \eta = \frac{1502,14}{1502,14 + 151 + 513} \cdot 100$$

$$\% \eta = \%69,35$$

olarak bulunur.

Elde edilen tam kalıp sarım değerleri incelendiğinde, her bir motor için deneysel yolla bulunan sonuçların teorik olarak bulunan sonuçları desteklediği görülmektedir. Tam kalıp sarımlı üç fazlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler Çizelge 4.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tam kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen parametreler.

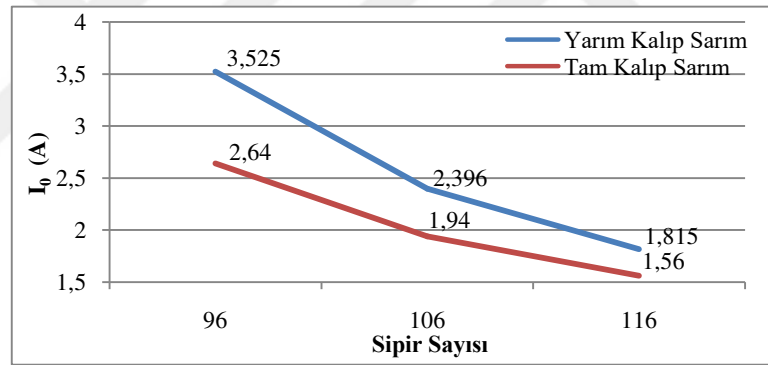
Parametreler	4. Motor (96 Sipir)	5. Motor (106 Sipir)	6. Motor (116 Sipir)
$R_1 (\Omega)$	4,3	4,8	5,25
$R_2' (\Omega)$	5,634	6,498	7,24
$X_1 (\Omega)$	4,6945	5,4715	6,56
$X_2' (\Omega)$	4,6945	5,4715	6,56
$R_k (\Omega)$	9,934	11,298	12,49
$X_k (\Omega)$	9,389	10,943	13,12
$Z_k (\Omega)$	13,669	15,729	18,116
$R_c (\Omega)$	569,41	930,769	961,59
$X_m (\Omega)$	84,29	114,23	142,579
$I_m (A)$	2,61	1,926	1,543
$I_c (A)$	0,386	0,236	0,229
s_d	0,6	0,594	0,552
$\% s_n$	$\% 5,5$	$\% 8,13$	$\% 9,867$
$S_0 (VA)$	1737,59	1276,87	1026,76
$Q_0 (VAr)$	1718,777	1267,305	1015,6
$S_k (VA)$	561,394	645,99	744,033
$Q_k (VAr)$	385,615	449,45	538,9
$P_2 (W)$	1219,42	1452,53	1502,14

Tam kalıp sarımlı üç fazlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Tam kalıp sarımlı asenkron motorlar için hesap edilen nominal moment ve verim değerleri.

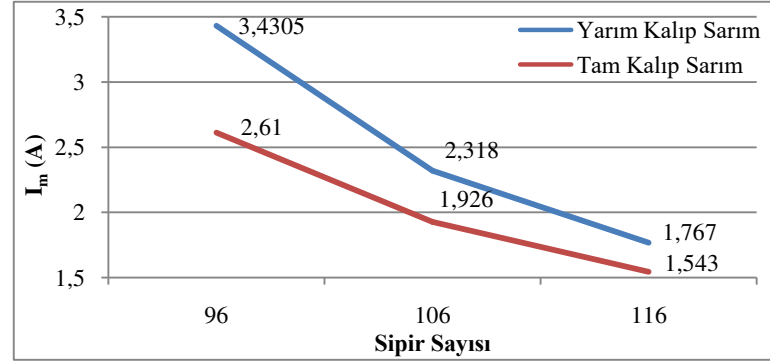
Parametreler	4. Motor (96 Sipir)	5. Motor (106 Sipir)	6. Motor (116 Sipir)
M_n (N.m)	8,2202	10,0709	10,6152
% η	64,78	70,08	69,35

4.3. Sonuçların Grafiksel İncelenmesi



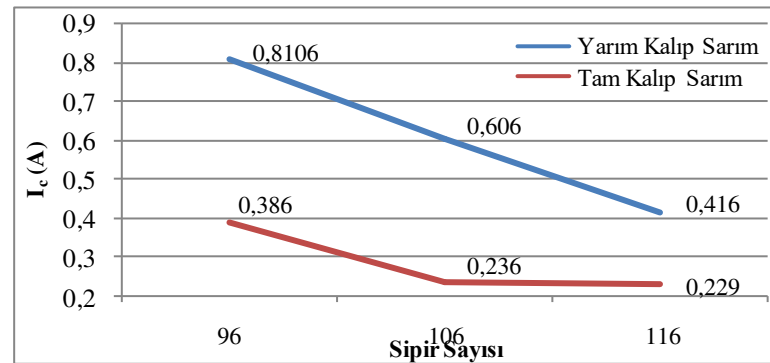
Şekil 4.7. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boшта çalışma akımı değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boшта çalışma akımı değişimi Şekil 4.7’ de verilmiştir. Boшта çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça I_0 değeri azalmaktadır. Yarım kalıpta elde edilen değerler tam kalıba göre daha yüksek çıkmıştır. Sipir sayısı arttıkça yarım ve tam kalıp sarımda elde edilen I_0 değerleri birbirine yaklaşmaktadır. En yüksek değer yarım kalıp 96 sipirde, en düşük değer ise tam kalıp 116 sipirde elde edilmiştir. Boшта çalışmada V_0 değeri bütün motorlar için 380 V’ tur. Bu sebeple direnç değerlerindeki artışa bağlı olarak I_0 akımlarının azalış gösterdiği görülmüştür.



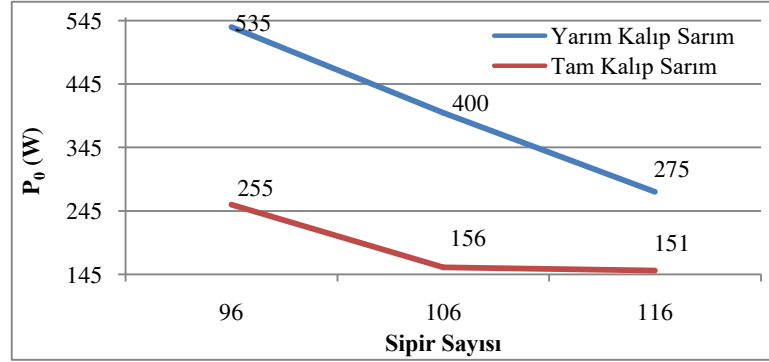
Şekil 4.8. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma akımı değişimi.

96, 106 ve 116 sipirli yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma akımı değişimi Şekil 4.8’ de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça I_m değeri azalmaktadır. Eşitlik 2.5’ e göre; I_m değeri I_0 akımının azalmasına bağlı olarak azalmıştır. En yüksek I_m değeri 96 sipir yarım kalıp, en düşük I_m değeri ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir.



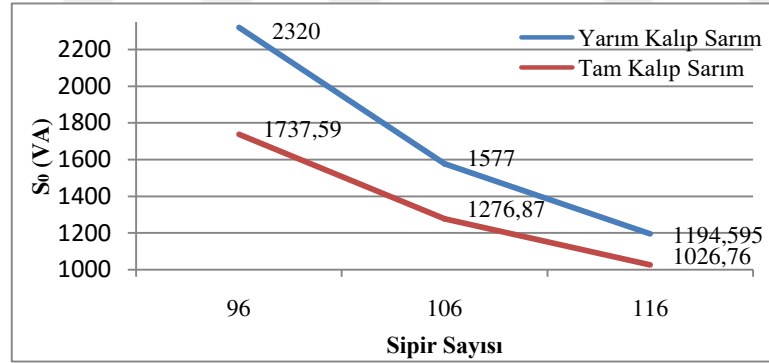
Şekil 4.9. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşa çalışma akımının aktif bileşeni değişimi.

96, 106 ve 116 sipirli yarım ve tam kalıp sarımlı asenkron motorların boşa çalışma akımının aktif bileşeni değişimi Şekil 4.9’ da verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça I_c değeri azalmaktadır. V_0 değerinin 380 V sabit olması sebebiyle, V_f değeride sabittir. Eşitlik 2.4’ e göre; R_c değerinin artmasına bağlı olarak I_c azalmıştır. En yüksek I_c değeri 96 sipir yarım kalıp, en düşük ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir.



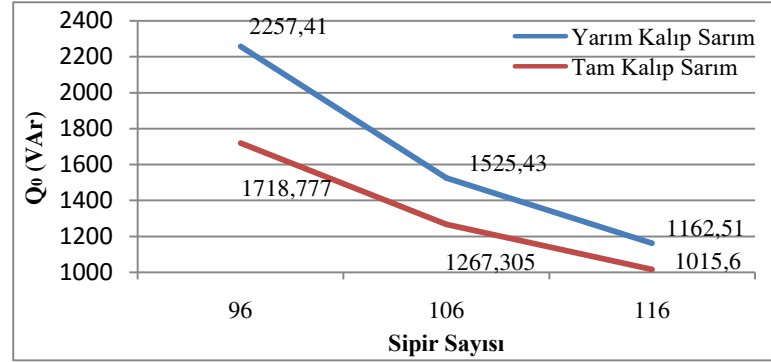
Şekil 4.10. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir kayıpları değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir kayıpları değişimi Şekil 4.10’ da verilmiştir. Boşta çalışmada P_0 değeri incelendiğinde yarım kalıp ve tam kalıp sarımlar için sipir sayısı arttıkça, bir azalma gözlemlenmiştir. Eşitlik 2.10’ a göre; V_0 değeri sabit, $\cos \theta_0$ değerlerinde hemen hemen sabit kalmasından dolayı ve I_0 değerlerindeki azalmaya bağlı olarak P_0 değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur.



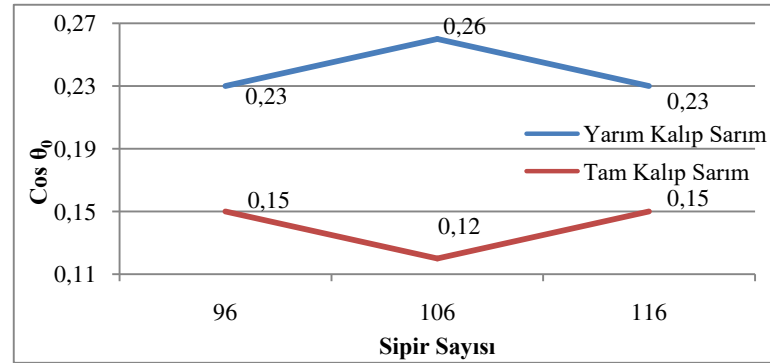
Şekil 4.11. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşta çalışmada çekilen görünür güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boşta çalışmada çekilen görünür güç değişimi Şekil 4.11’ de verilmiştir. Boşta çalışmada S_0 değeri incelendiğinde yarım kalıp ve tam kalıp sarımlar için sipir sayısı arttıkça, bir azalma gözlemlenmiştir. Genel görünür güç formülüne göre ($S = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h$) gerilim değeri sabit olduğundan dolayı, akım değerlerindeki azalmaya bağlı olarak S_0 değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur.



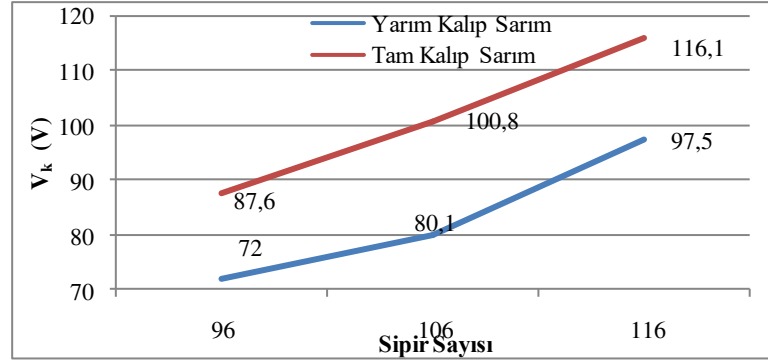
Şekil 4.12. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boştaki çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boştaki çalışmada çekilen görünür güç değişimi Şekil 4.12’ de verilmiştir. Boştaki çalışmada Q_0 değeri incelendiğinde yarım kalıp ve tam kalıp sarımlar için sipir sayısı arttıkça, bir azalma gözlemlenmiştir. Genel reaktif güç formülüne göre ($Q = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h \cdot \sin \theta$) gerilim değeri sabit, $\sin \theta_0$ değerlerinin de önemli bir değişim olmadığından dolayı, akım değerlerindeki azalmaya bağlı olarak Q_0 değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur.



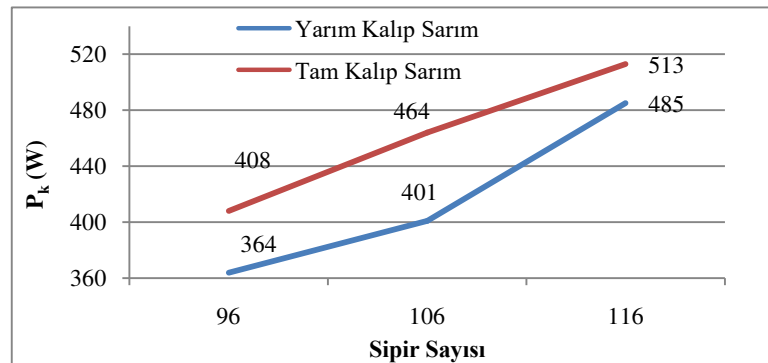
Şekil 4.13. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boştaki çalışmada güç katsayısı değişimi.

96, 106 ve 116 sipirli yarım ve tam kalıp sarımlı motorların boştaki çalışmada güç katsayısı değişimi Şekil 4.13’ de verilmiştir. Eşitlik 2.11’ e göre; elde edilen P_0 ve S_0 değerlerinin her ikisinin birden azalmasına bağlı olarak $\cos \theta_0$ değerlerinde belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.14. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre gerilimi değişimi.

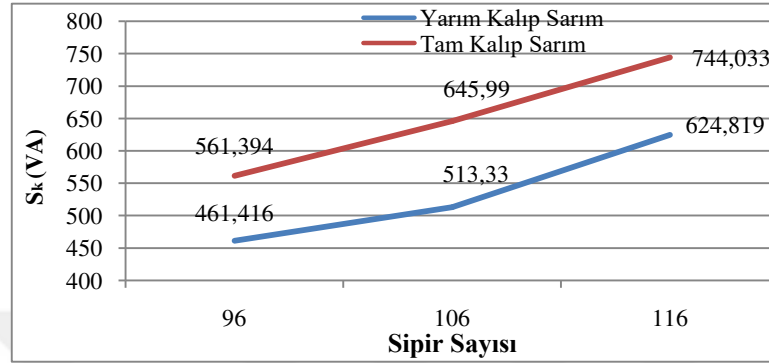
96, 106 ve 116 sipirli yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre gerilimi değişimi Şekil 4.14’ de verilmiştir. Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça V_k değeri artmaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde yarım kalıptaki değerler tam kalıba göre daha düşük çıkmıştır. En düşük V_k değeri 96 sipir yarım kalıpta, en yüksek V_k değeri ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir. Kısa devre çalışmada akım değeri bütün motorlar için 3,7 A’ dir. Bu sebeple direnç değerlerindeki değişime bağlı olarak kısa devre gerilimlerinin bir miktar artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.15. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların bakır kayıpları değişimi.

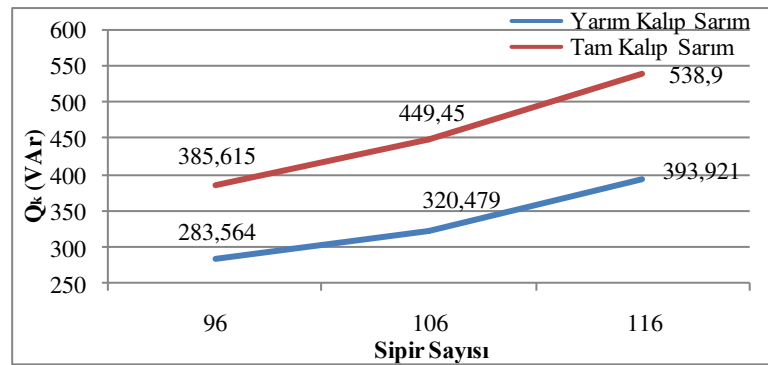
Kısa devre çalışmada 96, 106 ve 116 sipirli yarım ve tam kalıp sarımlı motorların bakır kayıpları değişimi Şekil 4.15’ de verilmiştir. Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça P_k değeri artmaktadır. Tam kalıpta P_k değeri daha fazladır. En düşük P_k değeri 96 sipirli yarım kalıp ve en büyük P_k değeri ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde

edilmiştir. Yarım kalıp ve tam kalıp sarımlı motorların I_k değerinin sabit olmasından dolayı, direnç değerlerindeki artışa bağlı olarak P_k değerinde artış meydana gelmiştir.



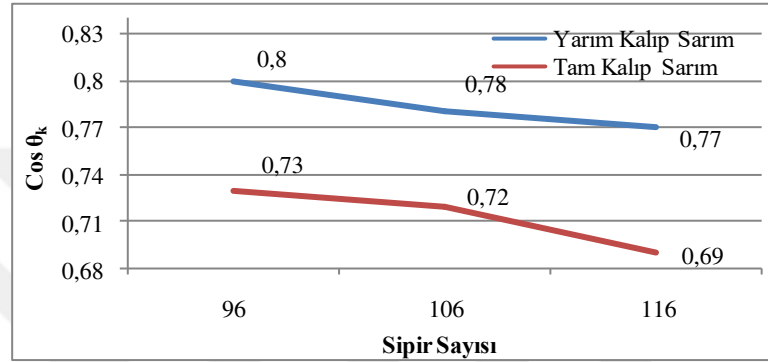
Şekil 4.16. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen görünür güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen görünür güç değişimi Şekil 4.16’ da verilmiştir. Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça S_k değeri artmaktadır. Genel görünür güç formülüne göre ($S = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h$) akım değeri sabit olduğundan dolayı, gerilim değerlerindeki artışa bağlı olarak S_k değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur. En düşük S_k değeri 96 sipirli yarım kalıp ve en büyük S_k değeri ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir.



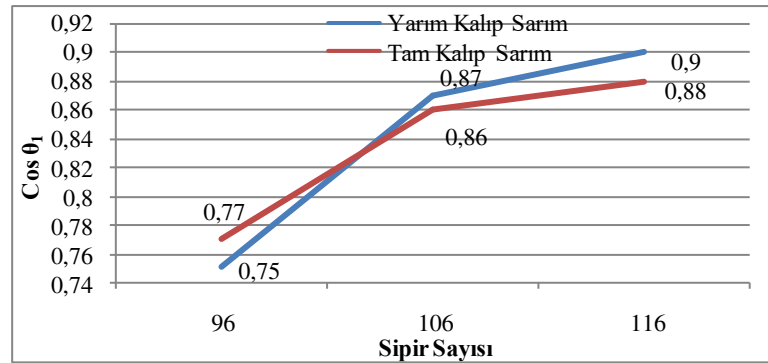
Şekil 4.17. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada çekilen reaktif güç değişimi Şekil 4.17’ de verilmiştir. Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça Q_k değeri artmaktadır. Genel reaktif güç formülüne göre ($Q = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h \cdot \sin \theta$) akım değeri sabit olduğundan ve $\sin \theta$ değerlerinde önemsenecek bir değişim olmadığından dolayı, gerilim değerlerindeki artışa bağlı olarak Q_k değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur.



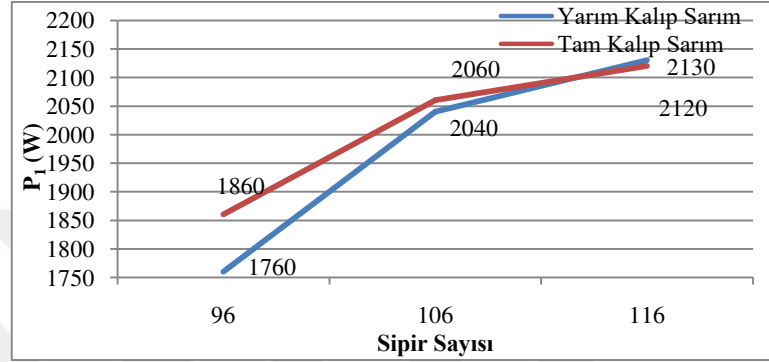
Şekil 4.18. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada güç katsayısı değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların kısa devre çalışmada güç katsayısı değişimi Şekil 4.18’ de verilmiştir. Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça $\cos \theta_k$ azalmaktadır. Yarım kalıp sarımda elde edilen değerler tam kalıp sarıma göre daha yüksektir. Motorların Z_k değerlerindeki artışın R_k değerindeki artıştan fazla olması sebebiyle $\cos \theta_k$ değerinde azalma görülmüştür.



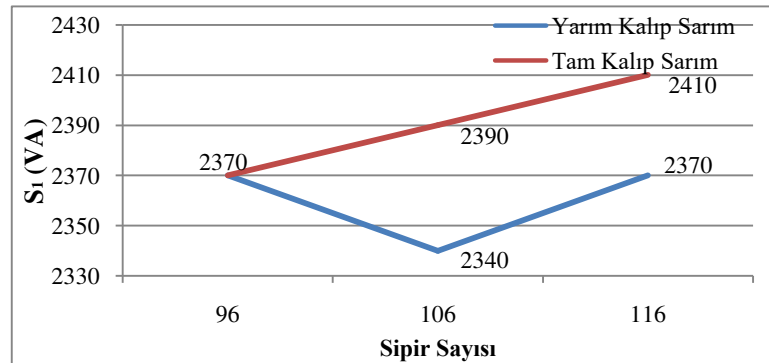
Şekil 4.19. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada güç katsayısı değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada güç katsayısı değişimi Şekil 4.19’ da verilmiştir. Yüklü çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça $\cos \theta_1$ artmaktadır. En düşük değer 96 sipir yarım kalıpta, en yüksek ise yine yarım kalıpta 116 sipirde elde edilmiştir.



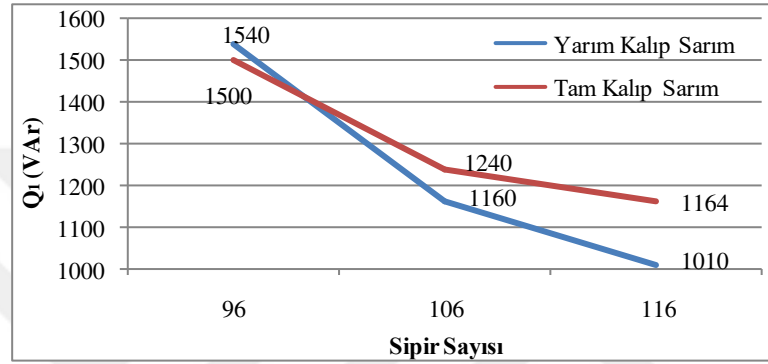
Şekil 4.20. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen aktif güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen aktif güç değişimi Şekil 4.20’ de verilmiştir. Yüklü çalışmada her iki sarımda da sipir sayısı arttıkça P_1 artmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; genel güç ifadesinde ($P = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos \theta$), gerilim ve akım değerlerinin sabit olmasından dolayı P_1 değerini sadece $\cos \theta_1$ değerinin değiştirdiği görülmektedir. Yüklü çalışmada $\cos \theta_1$ değerleri incelendiğinde; sipir sayısının artması ile $\cos \theta_1$ değerinin arttığı, buna bağlı olarak P_1 değerlerinin arttığı görülmektedir.



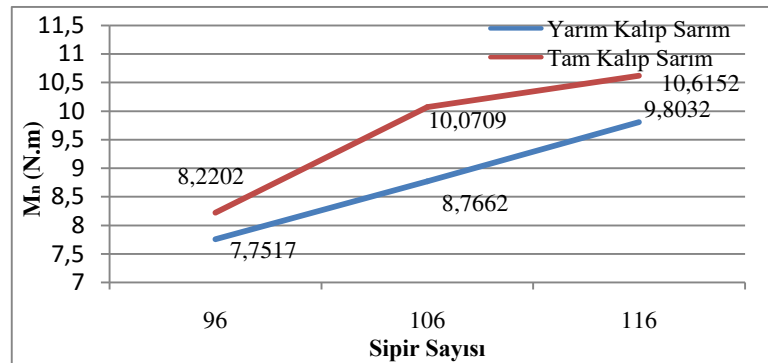
Şekil 4.21. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen görünür güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen görünür güç değişimi Şekil 4.21’ de verilmiştir. Her iki sarımda da yüklü çalışmada S_1 değerinde sipir sayısı arttıkça önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Genel görünür güç formülüne göre ($S = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h$) gerilim ve akım değerlerinin sabit olmasından dolayı, çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.



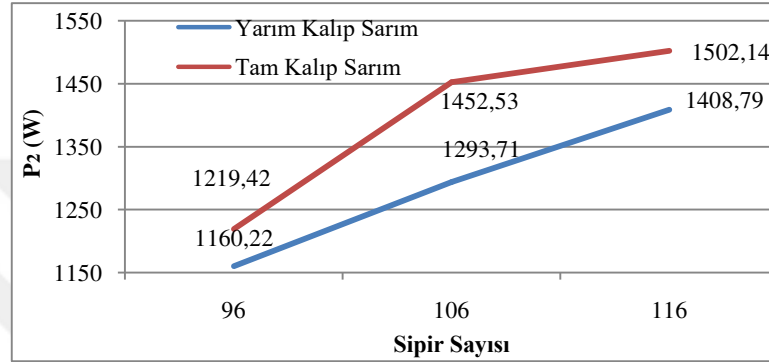
Şekil 4.22. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen reaktif güç değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada çekilen reaktif güç değişimi Şekil 4.22’ de verilmiştir. Yüklü çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça Q_1 ile ters orantılı olarak değişmektedir. Genel reaktif güç ifadesinden ($Q = \sqrt{3} \cdot V_h \cdot I_h \cdot \sin \theta$) yola çıkılarak, $\sin \theta$ değerindeki azalmaya bağlı olarak Q_1 değerinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir.



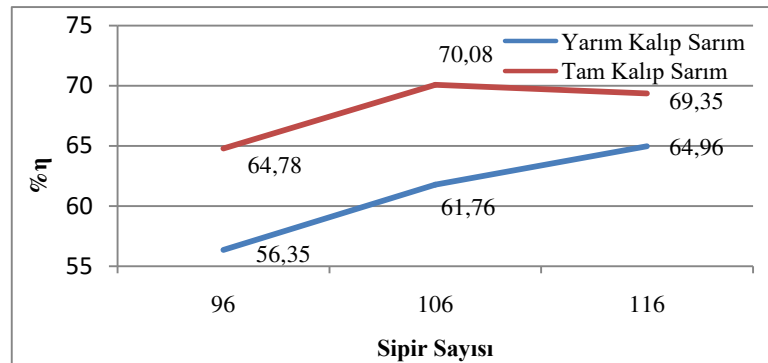
Şekil 4.23. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların nominal moment değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı asenkron motorların nominal moment değişimi Şekil 4.23’ de verilmiştir. Sipir sayısının artmasıyla nominal moment değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Eşitlik 2.29 kullanılarak nominal moment değerleri elde edilmiştir. Elde edilen nominal kayma değerlerindeki ve rotor direncindeki artışa bağlı olarak nominal moment değerleri de artmıştır.



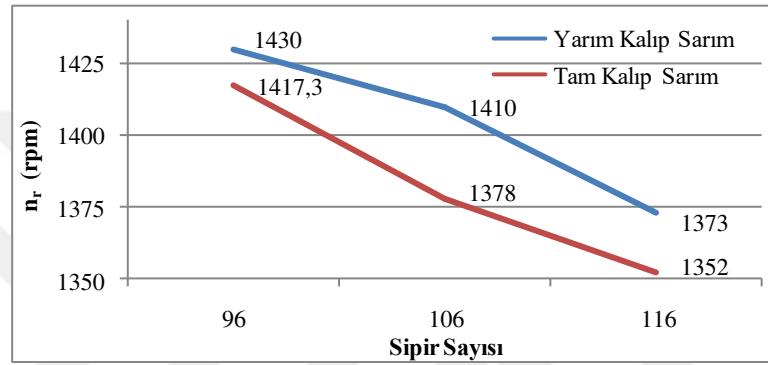
Şekil 4.24. 96,106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların çıkış gücü değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların çıkış gücü değişimi Şekil 4.24’ de verilmiştir. Sipir sayısı arttıkça P_2 değeri de artmaktadır. Sipir sayısı arttıkça nominal moment değerleri artmış, devir sayısı azalmıştır. Ancak nominal moment değerlerindeki artış oranının, devir sayısındaki azalış oranından fazla olması nedeniyle Eşitlik 2.32’ den P_2 değerlerinde de bir artış söz konusu olmuştur.



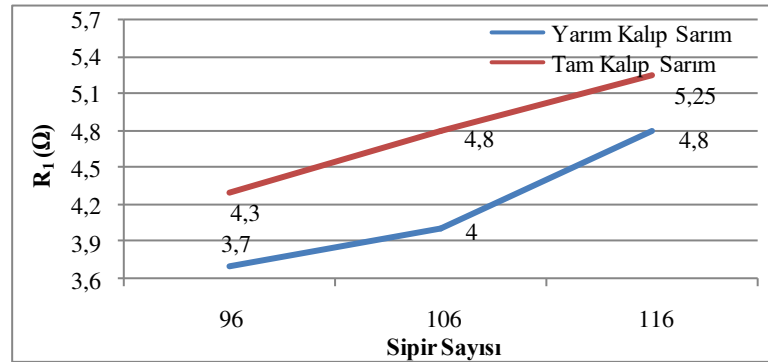
Şekil 4.25. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdelik verim değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdelik verim değişimi Şekil 4.25’ de verilmiştir. Eşitlik 2.31 ve 2.32 kullanılarak P_2 hesaplandıktan sonra, Eşitlik 2.33 kullanılarak verim hesaplanmıştır. Şekil 4.25 incelendiğinde tam ve yarım kalıp motor sarımlarında en düşük verim 96 sipirde elde edilmiştir. Yarım kalıp sarımda en yüksek verim 116 sipirde elde edilirken, tam kalıp motor sarımında ise 106 sipirde elde edilmiştir. 6 asenkron motor içerisinde en iyi verim değeri 106 sipir sarımlı asenkron motorda elde edilmiştir.



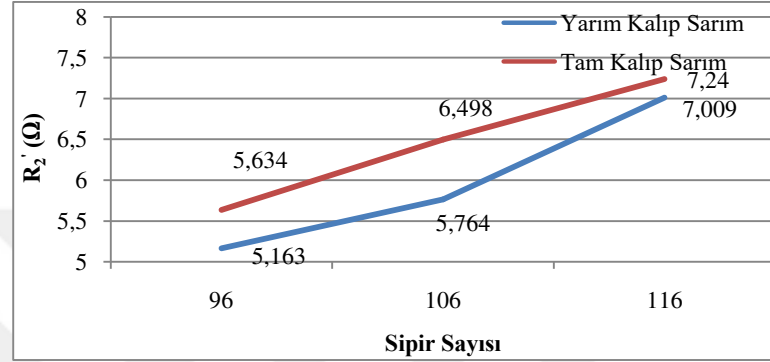
Şekil 4.26. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada devir sayısı değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüklü çalışmada devir sayısı değişimi Şekil 4.26’ da verilmiştir. Yüklü çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı ile devir sayısı ters orantılı olarak değişmektedir. Sipir sayısı arttıkça devir sayısı her iki sarımda da azalmaktadır. En yüksek devir sayısı 96 sipir yarım kalıpta, en düşük ise tam kalıp 116 sipirde elde edilmiştir.



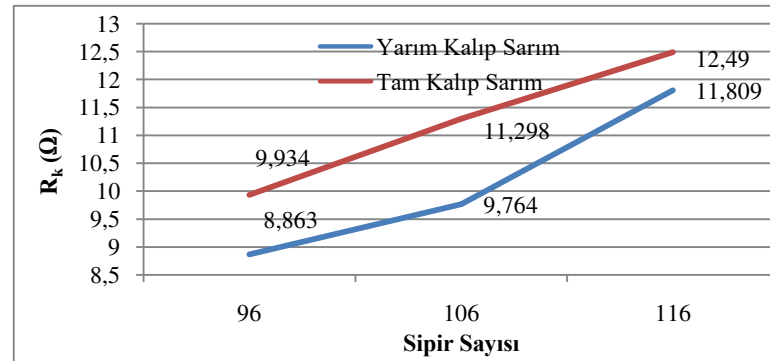
Şekil 4.27. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator faz direnci değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator faz direnci değişimi Şekil 4.27’ de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametrelerinden birisi olan R_1 direncide artmaktadır. En yüksek R_1 direnci 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.28. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor direnci değişimi.

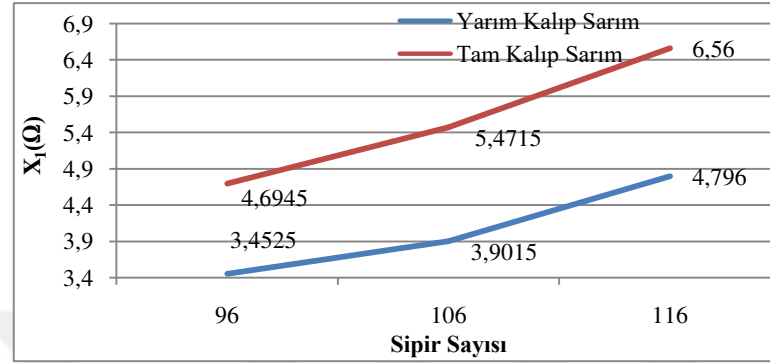
96,106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor direnci değişimi Şekil 4.28’ de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametrelerinden R_2' direncide artmaktadır. En yüksek R_2' direnci 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir. R_k artmasına bağlı olarak rotor direnç değerleride artmıştır.



Şekil 4.29. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer direnç değişimi.

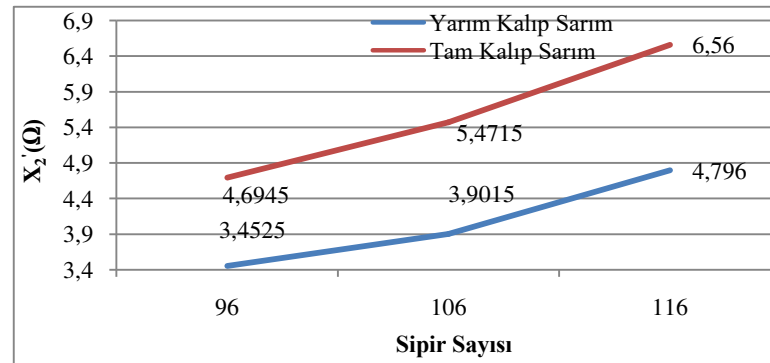
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer direnç değişimi Şekil 4.29’ da verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça stator ve rotor

dirençlerindeki artışlara bağlı olarak R_k direncide artmaktadır. En yüksek R_k direnci 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.30. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator kaçak reaktans değişimi.

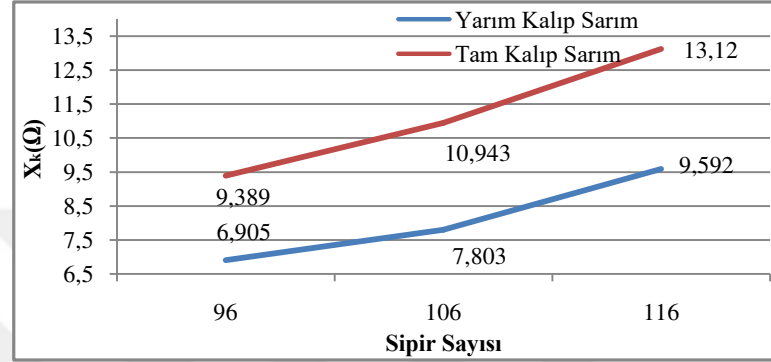
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların stator kaçak reaktans değişimi Şekil 4.30' da verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametrelerinden X_1 reaktansıda artmaktadır. En yüksek X_1 reaktansı 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.31. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor kaçak reaktans değişimi.

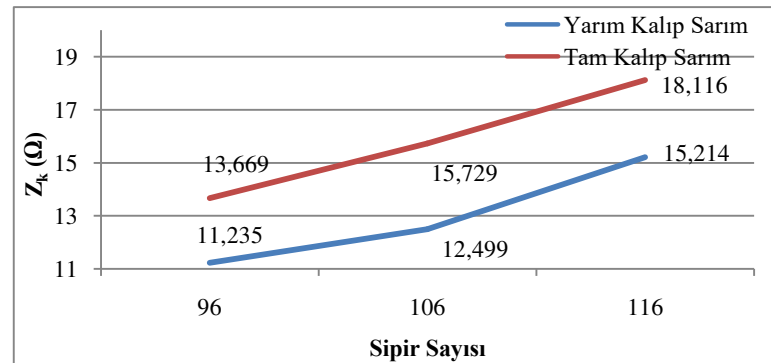
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların statora indirgenmiş rotor kaçak reaktans değişimi Şekil 4.31' de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametrelerinden X_2' reaktansıda artmaktadır. En yüksek X_2' reaktansı 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.

Yarım ve tam kalıp sarımlardan elde edilen X_1 ve X_2 değerlerinin sipir sayısı arttıkça doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise artan sipir sayısı ile birlikte manyetik akı değerlerinde bir artış olduğu düşünülmeyle birlikte, endüktans değerlerindeki artışın sebep olduğu söylenebilir.



Şekil 4.32. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer reaktans değişimi.

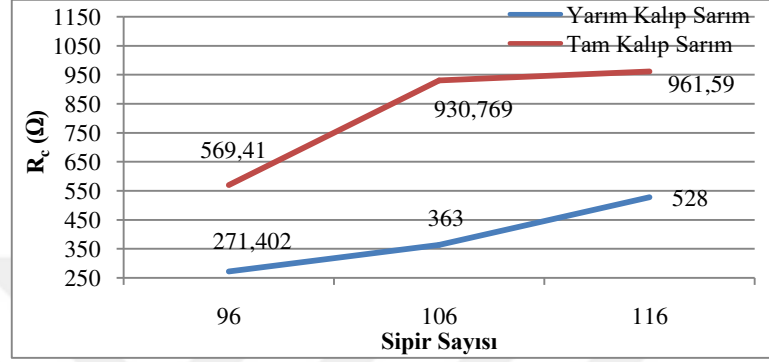
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer reaktans değişimi Şekil 4.32' de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça X_1 ve X_2 değerlerindeki artışa bağlı olarak X_k değeri de artmaktadır. En yüksek X_k reaktansı 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.33. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer empedans değişimi.

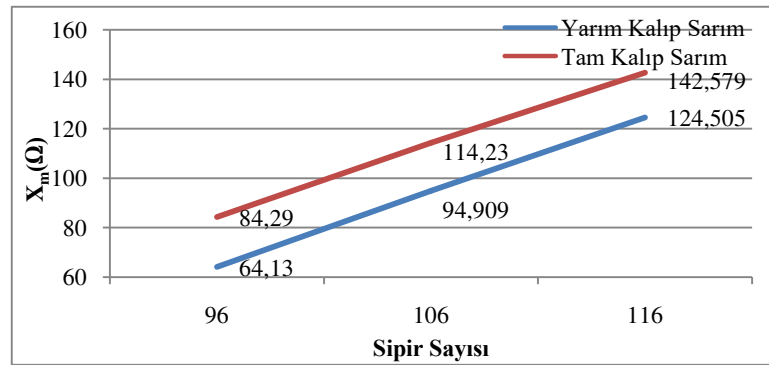
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer empedans değişimi Şekil 4.33' de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça kısa devre akım

değerinin 3,7 A sabit alınmasına bağlı olarak V_k değerlerindeki artış sebebiyle Z_k empedansıda artmaktadır. En yüksek Z_k empedansı 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.34. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir direnci değişimi.

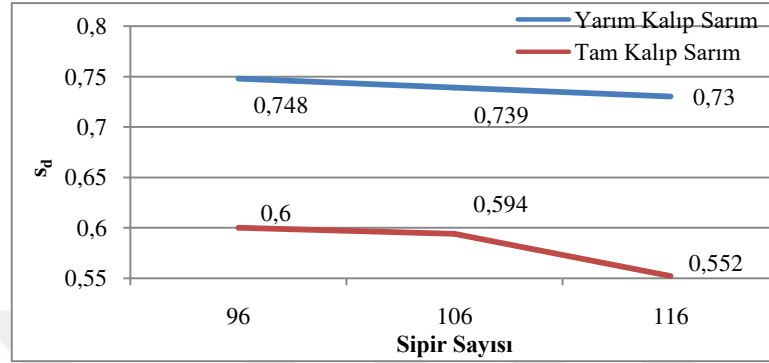
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların demir direnci değişimi Şekil 4.34' de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça V_0 değerinin sabit olması ve Eşitlik 2.3' ten P_0 değerindeki azalma nedeniyle R_c direnci artmaktadır. En yüksek R_c direnci 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.35. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma reaktansı değişimi.

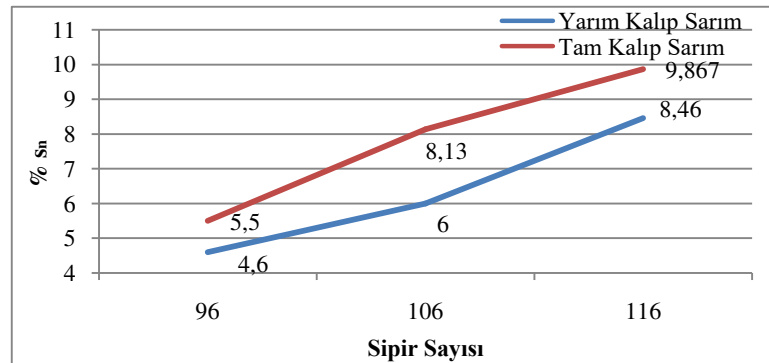
96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların mıknatıslanma reaktansı değişimi Şekil 4.35' de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça I_0 akımındaki azalmaya bağlı olarak I_m akımı azalmıştır. Eşitlik 2.6' ya göre; V_f değerinin sabit olması, I_m

akımının azalmasına bağlı olarak X_m değeri artmıştır. En yüksek X_m değeri 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.36. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların devrilme kayması değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların devrilme kayması değişimi Şekil 4.36’ da verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça R_2' ve X_k değerindeki değişimlere bağlı olarak devrilme kayması azalmaktadır. En yüksek devrilme kayması 96 sipir yarım kalıp, en düşük ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir.



Şekil 4.37. 96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdelik nominal kayma değişimi.

96, 106 ve 116 sipir yarım ve tam kalıp sarımlı motorların yüzdelik nominal kayma değişimi Şekil 4.37’ de verilmiştir. Yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça devir sayısının azalmasına bağlı olarak nominal kayma değeri artmaktadır.

Motor yüklendikçe devir sayısının azaldığı bilinmektedir. Aynı zamanda nominal kayma değeri artmaktadır. Kayma değerinin artması ile birlikte rotordaki sargıları kesen manyetik akı çizgilerinin sayısı da artar. Böylece rotorda endüklenen gerilim ve akım değerlerinde bir artış meydana gelir. Bu artış moment değerinin artması ile sonuçlanır (Korkmaz, 2005).

En yüksek nominal kayma değeri 116 sipir tam kalıp, en düşük ise 96 sipir yarım kalıp sarımında elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun sargı yapısı için yarım kalıp ve tam kalıp sargı tipi kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sargılar üç farklı sipir sayısına sahiptir. Sipir sayıları sırasıyla 96 sipir/oluk, 106 sipir/oluk ve 116 sipir/oluk' dur. 6 adet üç fazlı asenkron motordan üç tanesi yarım kalıp, diğer üç tanesi ise tam kalıp olarak tasarlanmıştır.

Çalışmada sargıların etkisinin görülebilmesi amacıyla her bir motor için boşta çalışma, kısa devre çalışma ve yüklü çalışma deneyleri yapılmıştır. Deneyler esnasında deney masası, güç analizörü, oto trafo, akım probu, yük (fuko freni) ve fluke 43-B dijital güç analizörü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Boşta çalışmada, yarım ve tam kalıp sarımlarda sipir sayısı arttıkça I_0 değeri direnç değerlerindeki artışa bağlı olarak azalmaktadır. Yarım kalıpta elde edilen değerler tam kalıba göre daha yüksek çıkmıştır. Sipir sayısı arttıkça yarım ve tam kalıp sarımda elde edilen I_0 değerleri birbirine yaklaşmaktadır. En yüksek I_0 değeri yarım kalıp 96 sipirde, en düşük I_0 değeri ise tam kalıp 116 sipirde elde edilmiştir.

Boşta çalışma deneyinden elde edilen P_0 değeri incelendiğinde, yarım kalıp ve tam kalıp sarımlar için sipir sayısı arttıkça, bir azalma gözlemlenmiştir. En küçük P_0 değeri 116 sipir tam kalıp, en yüksek P_0 değeri ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir. V_0 değerinin 380 V sabit olmasından ve $\cos \theta_0$ değerlerinin hemen hemen sabit kalmasından dolayı, I_0 değerlerindeki azalmaya bağlı olarak P_0 değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur.

Kısa devre çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça bakır kayıpları artmaktadır. Tam kalıpta P_k daha fazladır. En küçük P_k değeri 96 sipir yarım kalıp, en büyük P_k değeri ise 116 sipir tam kalıp sarımda elde edilmiştir. Yarım kalıp ve tam kalıp sarımlı motorların direnç değerlerindeki artışa bağlı olarak P_k değerinde artış meydana gelmiştir.

Yüklü çalışmada yarım ve tam kalıp sarımın sipir sayısı arttıkça, P_1 değerleri artmaktadır. En yüksek değer 116 sipir, en düşük değer ise 96 sipir yarım kalıp sarımda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, genel güç ifadesinde ($P = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos \theta$), nominal gerilim, akım değerlerinin sabit olmasından dolayı, P_1 değerini sadece $\cos \theta_1$ değerinin değiştirdiği görülmektedir. $\cos \theta_1$ değerleri incelendiğinde, sipir sayısının artması doğru orantılı olarak arttığı, buna bağlı olarak da P_1 değerlerinin arttığı görülmektedir.

Sarımı yapılan motorlardan en iyi verim değeri tam kalıp sarım türünde 106 sipirli motordan % 70,08 olarak elde edilmiştir. Yarım kalıp sarım türünde ise maksimum verim 116 sipirli motordan % 64,96 olarak elde edilmiştir. Her iki sarım türü için en düşük verim değerleri 96 sipirli motorlardan elde edilmiştir.

Yarım kalıp ve tam kalıp sarımlı motorların eşdeğer devre parametreleri sipir sayısı ile doğru orantılı olarak elde edilmiştir. Sipir sayısı arttıkça eşdeğer devre parametrelerinde de artışlar görülmüştür.

Yarım ve tam kalıpta da sipir sayısının artmasıyla devir sayısı azalmaktadır. Devir sayısının azalmasına bağlı olarak nominal kayma değeri artmıştır. Devrilme kayması her iki sarımda da motorlarda R_2' ve X_k değerlerine bağlı olarak azalmıştır.

Bu tez çalışması sonucunda üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlarda sargı yapısının ve oluklara yerleştirilen sipir sayısı değerlerinin önemi ortaya konulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda 96, 106 ve 116 sipir sayısına sahip yarım ve tam kalıp motor modelleri için, sipir sayısının artması ile birlikte direnç değerlerinde büyük artışlar meydana geldiği görülmüştür. Nümerik yöntemler kullanılarak en iyi performans değerini verecek olan sipir sayısının tespit edilmesi, hem performans hem de maliyet açısından faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

İleride yapılacak çalışmalar için, motorların SEY ile analizleri gerçekleştirilip, deneysel yolla elde edilen veriler ile karşılaştırması yapılabilir. Ayrıca çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak en iyi motor performansını verecek sipir sayısının elde edilmesi de mümkündür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altunsaçlı, A., Alacacı, M. (1999). Alternatif Akım Elektrik Makinaları ve Laboratuvarı, 4-5.
- Boduroğlu, T. (1988). *Elektrik Makinaları Dersleri (Teori, Hesap ve Konstrüksiyon) Cilt II Kısım 2 Asenkron Makinalar (Teorik Bilgi) (2.Baskı)*. İstanbul: Beta Yayınevi, 1-131.
- Buksnaitis, J. (2015). Investigation and comparison of three-phase and six-phase cage motor energy parameters. *Electronika Ir Electrotechnika*, ISSN 1392-1215, 21(21), 3-16.
- Chen, J.Y., Chen C.Z. (1998). Investigation of a new AC electrical machine winding. *IEE Proc.- Electr Power Appl.* 145(2), 125-131.
- Coşkun, I., Korkmaz, Y. (2007). Effects of the structure of asynchronous motor winding on the performance of 3 phase motor fed by public supply. *JFac Eng Archit Gazi Univ.* 22(4), 927-932.
- Çanakoğlu, A.İ., Özel, U. (2018). Asenkron Motorlarda Uzay Harmoniklerin Yok Edilmesi için Yeni Bir Stator Oluk Tasarımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD)* 18 (2018) 01520, 921-931.
- Çolak, İ. (2008). *Asenkron Motorlar (2.Baskı)*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 15-103.
- Ge, B., Sun, D., Wu, W. Peng, F.Z. (2013). Winding design modeling and control for pole-phase modulation Induction motors. *IEEE Trans Magn*; 49(2), 898-911.
- Gief, M.V., Hameyer, K. (2007). Optimization of Induction Motor with pole-changing winding by finite element models. In: International Compumag Society, Newsletter, s.1-7.
- Gökkaya, M., Uğuz, N. (1974). *Alternatif Akım Makineleri*. Ankara: Şenyuva Basım Sanayii, 96.
- Görkem, A. (2000). *Elektrik Makinalarında Bobinaj*. Ankara: Özkan Matbaacılık Sanayi, 113-144.
- Grop, H. (2010). Investigation of AC Electrical Machine stators with fractional conductor windings, Licentiate Thesis, Stockholm Sweden, 130s.
- Güzelbeyoğlu, N. (2005). *Elektrik Makinaları I-II Teori- Çözümlü Problemler*. İstanbul: Birsan Yayınevi, 43.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hadziselimovic, M., Marcic, T., Stumberger, B., Zagradisnik, I. (2011). Winding type influence on efficiency of an induction motor. *Przeglad Electrotechniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, R.87 NR 3/2011, 61-64.
- Ionescu, R.M., Scutaru, G., Peter, I., Motoasca, S., Negoita, A., Plesa, O., Nistor, C., (2012). The influence of the winding type on the noise level of two-speed three-phase induction motors. In: 13th International Conference on IEEE Optimization of Electrical and Electronic Equipment 24-26 May 2012; Brasov, Romania New York, NY, USA: IEEE, s.698-705.
- Korkmaz, Y. (2005). İntvertörle Beslemenin Değişik Sargılı Asenkron Motorların Performansına Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 255s.
- Korkmaz, Y. (2008). PWM invertörden beslenen asenkron motorların stator sargı yapısının motor performansına etkileri. *Politeknik dergisi Cilt 11 Sayı 2*, 123-128.
- Kundrotas, B. Petrovas, A., Rinkeviciene, R., Smilgevicius, A. (2014). Research of six-phase induction motor windings. *Electron Electr Eng (Elektronika ir Elektrotechnika)* 2014; 20(1), 15-18.
- Mergen, A.F., Zorlu, S. (2005). *Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 37-106.
- Saçkan, A.H. (2003). *Asenkron Motorlar (Yenilenmiş 2.Baskı)*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-62.
- Saravanan, C., Azarudeen, A.M., Selvakumar, S. (2012). Performance of three phase induction motor using modified stator winding. *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering* 12(5), s.1.
- Sarıoğlu, K. (1983). *Elektrik Makinalarının Temelleri Asenkron Motorlar (2.Baskı)*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 1-312.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2011a). Elektrik-Elektronik Teknolojisi Kollektörsüz Motor Elektrik Arıza Tespiti. 522EE0055, 10.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2011b). Elektrik-Elektronik Teknolojisi Yarım Kalıp Sarım 522EE0058, 3-30.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2011c). Elektrik-Elektronik Teknolojisi Tam Kalıp Sarım 522EE0059,3.

Toliyat, H.A., Lipo, T.A., White, J.C. (1991). Analysis of a Concentrated winding induction machine for adjustable speed drive applications Part 1 (Motor Analysis). IEEE Transactions on Energy Conversion 6(4), 679-683.

Turan, M., Cevher , B., Tabak, B., Yetgin, A.G. (2009). Elektrik Makinaları ve Tasarım Laboratuvarı Deney Föyü, Sakarya Üniversitesi, 1-56.

Yahaya, E.A. (2013). Single layer winding of three phase induction motor. The International Journal of Engineering and Science (IJES) 2(4), ISSN(e): 2319-1813 ISSN(P): 2319-1805, 8-13.

Zhang, L., Huang, Y., Dong, J., Guo, B., Zhou, T. (2014). Stator winding design of induction motors for high efficiency. 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Oct, 22-25, Hangzhou, China, 130-134.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : İMRE Murat
Doğum tarihi ve yeri : 08.12.1980 ESKİŞEHİR
e-mail : emirefeimre@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi	2019
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi	2012
Lise	İzmir Bornova Mimar Sinan Teknik Lisesi	1998
Ortaokul	İzmir Karşıyaka Havva Özişbakan Lisesi	1994
İlkokul	Örnekköy İlkokulu	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-2004	8.Ana Jet Üs K.lığı / DİYARBAKIR	Astsubay
2004-2016	Hava Er Eğitim Tugay K.lığı / KÜTAHYA	Telli Sis. Öğ.
2016-2019	Hava Teknik Okullar K.lığı / İZMİR	Astsubay
2019-	MSÜ Hava Astsubay MYO / İZMİR	Öğr.Gör.

Yabancı Dil

İngilizce