

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: Gerilim Değişimlerinin Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motoru Üzerindeki Etkileri

YAZAR ADI: İbrahim EVREN

Bir fazlı asenkron motorlar ucuz ve basit yapılı olmaları sebebi ile gerek endüstriyel sahada gerekse evlerimizde birçok sistem ve düzenek içerisinde yoğun olarak kullanılmaktadırlar.

Şebekelerimizde kısa devre arızaları ve diğer büyük güçlü alıcıların devreye girmesi ile meydana birçok güç kalitesi bozucu hadise meydana gelmektedir. Örneğin, gerilim düşmesi ve şişmesi hadiselerinin bu cihazların mekanik karakteristiklerini olumsuz etkilemesi beklenmektedir. Bu çalışmada genel güç kalitesi kavramı ve bozulmaların sebepleri incelenerek, gerilim değişimlerinin bir fazlı daimi kondansatörlü motorlarda nasıl bir etkiye yol açtığı incelenmiştir.

İlk iki bölümünde kısa süreli değişmelerin genlik ve zaman olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Önemli bir güç kalitesi bozucu olan gerilim düşmesi detaylı olarak incelenmiştir. Ardından bir fazlı asenkron motor eşdeğer devresi incelenerek, daha önceden parametreleri tespit edilmiş bir motorun farklı bir yaklaşımla parametreleri tekrar hesaplanmıştır. Bulduğumuz parametreler önceki parametreler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonrasında yeni bulunan parametreleri kullanarak motor modelinin gerilim değişimlerine cevabı incelenmiştir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: Effect of Voltage Variations on Run Capacitor Single Phase Induction Machine

AUTHOR: İbrahim EVREN

Because of cheap and basic design, single phase induction motors are extensively used both industrial and domestic area in several electro-mechanical systems. Most of the power quality problems occur at the network due to the short circuit faults and starting large motor, loads it is expected, voltage sag and swell events affect the mechanical characteristic of induction motors. Power Quality concept and causes of the voltage fluctuation is analyzed in this thesis and result of voltage variations for a run capacitor induction machine is analyzed.

Effect of voltage variations on the single phase induction machine is the main subject of the thesis. In the first part general information on voltage variation where is provided analyzed and classified by using two distinctive features as time and duration of the thesis. Voltage sag which is an important power quality problem is analyzed. Then equivalent circuit models of single phase induction motor are analyzed. Using new model parameters, response of single phase induction motor is analyzed under voltage variations conditions.

A particular method, for determination of single phase induction machine parameters given in the literature, is extensively analyzed. Parameters of single phase induction machine are estimated by a new optimization procedure. Results show good agreement with existing procedure.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Eğitimime başladığımdan bu yana, anlayış ve hoşgörüsüyle yardımlarını benden esirgemeyen, hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU'na

Bu tezin hazırlanmasında bana destek olan değerli arkadaşlarım Arş. Görevlisi Özgür KARACASU, Arş. Görevlisi Murat Erhan BALCI ve çalışmanın son bölümlerinde iteratif çözüm sisteminin oluşturulmasında büyük emeği geçen Arş. Görevlisi Tuba GÖZEL'e,

Yüksek Lisans yapmam için beni teşvik eden, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve destekleyen babam Ömer EVREN, annem Nurten EVREN ve sevgili kardeşim Kamer EVREN'E teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XV
TABLolar DİZİNİ	XVII
TABLolar DİZİNİ	XVII
1 GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Tezin Sınırları	4
1.3 Tezin İçeriği	4
2 GÜÇ KALİTESİ	6
2.1 Geçici Darbeler	7
2.2 Osilasyon Şeklindeki Anlık Bozulmalar	7
2.3 Gerilim Düşmeleri ve Yükselmeleri	7
2.3.1 Gerilim Düşmesi	7
2.3.2 Gerilim Yükselmesi	8
2.4 Kesintiler	8
2.5 Düşük ve Yüksek Gerilim	9
2.5.1 Düşük Gerilim	9
2.5.2 Yüksek Gerilim	9
2.6 Kırpışmalar	9
2.7 Harmonikler	9
2.8 Bilgi Teknolojileri Endüstrisi Eğrisi (CBEMA Eğrisi)	10

2.8.1	Kalıcı Durum Toleransı	12
2.8.2	Hat Gerilimi Yükselmesi	12
2.8.3	Alçak Frekanslı Salınımlar	12
2.8.4	Yüksek Frekanslı Salınım ve Darbeler	12
2.8.5	Gerilim Düşmesi	13
2.8.6	Kesilmeler	13
2.8.7	Tehlikesiz Bölge	13
2.8.8	Yasak Bölge	13
3	GERİLİM DÜŞMESİ	14
3.1	Gerilim Düşmesinin Teorik Hesabı	14
3.2	Kritik Mesafe Hesabı	16
3.3	Örnek Çalışma	17
3.4	Sonuç	19
4	BİR FAZLI ASENKRON MOTOR EŞDEĞER DEVRESİ	20
4.1	Bir Fazlı Asenkron Motor Test Prosedürü	24
4.1.1	Kilitli Rotor Karakteristiği	24
4.1.2	Boş Çalışma Karakteristiği	26
4.1.3	Eylemsizlik Karakteristiği	28
4.1.4	Yüklü Çalışma Karakteristiği	29
4.2	Sonuç ve Özet	33
5	MOTOR PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ	34
5.1	Modelin Özellikleri	35
5.2	Çekirdek Kayıplarının İhmal Edildiği Eşdeğer	36
5.3	Çekirdek Kayıplarının İhmal Edilmediği Eşdeğer	42
5.4	Parametrelerin Belirlenmesi	47
5.5	Parametre Belirleme Tekniği	48
5.5.1	Ana ve Yardımcı Sargı Hava Boşluğu Bileşeni Endüktansları	50
5.5.2	Rotor Sargı Direnci	50
5.5.3	Rotor Öz Endüktansı	52
5.5.4	Ana ve Yardımcı Sargı Öz Endüktansları	53

5.6	Farklı Bir İteratif Yöntemle Literatürde Verilen Bir Motorunun Modellenmesi	53
5.7	Gerçek Bir Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motorun Modellenmesi	64
5.7.1	Modellemede Kullanılan Motor	64
5.8	Sonuç ve Değerlendirme	68
6	GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ	70
6.1	Kalıcı Durumda Literatürde Verilen Bir Motorun Gerilim Değişimlerine Cevabı	70
6.2	Sabit Tork Altında Motor Uç Gerilimi Değişimlerinin İncelenmesi	80
6.3	Sonuç	86
7	SONUÇLAR	88
	KAYNAKLAR	91
	ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\frac{dn}{dt}$	Yavaşlama Oranı
λ_{main}	Ana Sargı Halkalanma Akısı (Weber)
λ_{aux}	Yardımcı Sargı Halkalanma Akısı (Weber)
λ_1	Rotor 1. Faz Halkalanma Akısı (Weber)
λ_2	Rotor 2. Faz Halkalanma Akısı (Weber)
θ	Stator Ana Sargısı Ve Rotor 1. Fazı Arasındaki Açık (Radyan)
ϕ, φ	Faz Açısı (Radyan)
λ_M, λ_A	Ana Ve Yardımcı Sargı Eksenindeki Çekirdek Kayıpları Halkalanma Akısı (Weber)
ω	Kaynağın Elektriksel Frekansı (rad/s)
σ_{bar}	Rotor Çubukları İletkenliği (Siemens)
μ_0	Boşluğun Manyetik Geçirgenliği (H/m)
A_{bar}	Rotor Çubukları Kesiti (m ²)
$\cos \alpha_{ba}$	Kilitli Rotor Deneyi Güç Katsayısı (Ana Sargı Açık Devre iken)
$\cos \alpha_{bm}$	Kilitli Rotor Deneyi Güç Katsayısı (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
$\cos \alpha_{nla}$	Boş Çalışma Deneyi Güç Katsayısı (Ana Sargı Açık Devre iken)
$\cos \alpha_{nlm}$	Boş Çalışma Deneyi Güç Katsayısı (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
E	Arıza Öncesi Gerilim (Volt)
EGG	Şebekede Bir Birleşim Noktası
G	Hava Boşluğu Uzunluğu (m)
i_1	Rotor 1. Faz Halkalanma Akımı (Amper)
i_2	Rotor 2. Faz Halkalanma Akımı (Amper)
i_{main}	Ana Sargı Halkalanma Akımı (Amper)
i_{aux}	Yardımcı Sargı Halkalanma Akımı (Amper)
Ibm	Kilitli Rotor Deneyi Hat Akımı (Amper) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
Iba	Kilitli Rotor Deneyi Hat Akımı (Amper) (Ana Sargı Açık Devre iken)

Inlm iken)	Boş Çalışma Deneyi Hat Akımı (Amper) (Yardımcı Sargı Açık Devre
Inla I	Boş Çalışma Deneyi Hat Akımı (Amper) (Ana Sargı Açık Devre iken) Etkin Akım Genliği (Amper)
i_M, i_A (Amper)	Ana Ve Yardımcı Sargı Eksenindeki Çekirdek Kayıpları Sargı Akımı (Amper)
$\hat{I}_{main}$	Ana Sargı Akımı (Genlik Ve Açık Olarak) (Amper)
$\hat{I}_{aux}$	Yardımcı Sargı Akımı (Genlik Ve Açık Olarak) (Amper)
I_{bar}	Etkin Rotor Çubuk Akımı (Amper)
J	Eylemsizlik Momenti (kg.m ²)
K	Eylemsizlik Birimine Bağlı Olarak Verilen Katsayı
$k_{\omega_{main}}$	Ana Sargı Sarım Faktörü
$k_{\omega_{aux}}$	Yardımcı Sargı Sarım Faktörü
$K(\theta)$	Rotor Yüzey Akımının Temel Bileşeni (Amper/m)
K_1	Rotor Yüzey Akımının Temel Bileşen Genliği (Amper/m)
L	Arıza Noktasının Mesafesi (km)
Lc	Kritik Mesafe (km)
L_{main}	Ana Sargı Endüktansı (Henry)
L_{mainR}	Ana Sargı Ve Rotor Karşılıklı Endüktansı (Henry)
L_{aux}	Yardımcı Sargı Endüktansı (Henry)
L_{auxR}	Yardımcı Sargı Ve Rotor Karşılıklı Endüktansı (Henry)
L_R	Rotor 1. Ve 2. Faz Endüktansı (Henry)
$L_{main_{ag}}, L_{aux_{ag}}$	Ana Ve Yardımcı Sargı Hava Boşluğu Bileşeni Endüktansı (Henry)
L_M, L_A (Henry)	Ana Ve Yardımcı Sargı Eksen Çekirdek Kaybı Sargı Öz Endütansı (Henry)
L_{M_l}	Ana Sargı Eksen Çekirdek Kaybı Sargı Kaçak Reaktansı (Henry)
L_{A_l} (Henry)	Yardımcı Sargı Eksen Çekirdek Kaybı Sargı Kaçak Reaktansı (Henry)
L	Aktif Uzunluk (m)
N	Devir Sayısı

N_{main}	Ana Sargı Sarım Sayısı/Faz
N_{aux}	Yardımcı Sargı Sarım Sayısı/Faz
N_R	Rotor Çubuk Sayısı
P_{ba}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Aktif Güç (W) (Ana Sargı Açık Devre iken)
P_{bm}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Aktif Güç (W) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
PEN	Şebekede Bir Birleşim Noktası
P_{nla}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Aktif Güç (W) (Ana Sargı Açık Devre iken)
P_{nlm}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Aktif Güç (W) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
P_v	Sürtünme Ve Vantilasyon Kayıpları (W)
PCC	Point of Common Coupling
P_{total}	Toplam Güç (W)
P_{in}	Elektriksel Giriş Gücü (W)
P_{main}	Ana Sargı Kayıp Gücü (W)
P_{aux}	Yardımcı Sargı Kayıp Gücü (W)
P_{rotor}	Rotor Kayıp Gücü (W)
P_{zmain}	Ana Sargı Dış Empedansı Kayıp Gücü (W)
P_{zaux}	Yardımcı Sargı Dış Empedansı Kayıp Gücü (W)
P_{core}	Tahmin Edilen Çekirdek Kaybı (W)
P_{rot}	Tahmin Edilen Vantilasyon Kaybı (W)
P	Çift Kutup Sayısı
Q_{ba}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Reaktif Güç (Var) (Ana Sargı Açık Devre iken)
Q_{bm}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Reaktif Güç (Var) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
Q_{nla}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Reaktif Güç (Var) (Ana Sargı Açık Devre iken)
Q_{nlm}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Reaktif Güç (Var) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
R_1	Stator Direnci (Ω)

R_2	Rotor Direnci (Ω)
R_{ba}	Kilitli Rotor Deneyi Direnci (Ω) (Ana Sargı Açık Devre iken)
R_{bm}	Kilitli Rotor Deneyi Direnci (Ω) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
R_{nla}	Boş Çalışma Deneyi Direnci (Ω) (Ana Sargı Açık Devre iken)
R_{nlm}	Boş Çalışma Deneyi Direnci (Ω) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
R_{main}	Ana Sargı Direnci (Ω)
R_{aux}	Yardımcı Sargı Direnci (Ω)
R_R	Rotor Sargı Direnci (Ω)
R_M	Ana Sargı Ekseni Çekirdek Kaybı Direnci (Ω)
R_A	Yardımcı Sargı Ekseni Çekirdek Kaybı Direnci (Ω)
R	Hava Boşluğu Merkezinin Yarıçapı
S_{ba}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Görünür Güç (VA) (Ana Sargı Açık Devre iken)
S_{bm}	Kilitli Rotor Deneyi Çekilen Görünür Güç (VA) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
S_{nla}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Görünür Güç (VA) (Ana Sargı Açık Devre iken)
S_{nlm}	Boş Çalışma Deneyi Çekilen Görünür Güç (VA) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
S	Kayma
T	Tork (Nm)
$Telec$	Elektriksel Tork (Nm)
T_{out}	Çıkış Torku (Nm)
T_{rot}	Rotor Mil Torku (Nm)
T_{shaft}	Şaft Torku (Nm)
V_{ba}	Kilitli Rotor Deneyi Hat Gerilimi (Volt) (Ana Sargı Açık Devre iken)
V_{bm}	Kilitli Rotor Deneyi Hat Gerilimi (Volt) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
V_{nla}	Boş Çalışma Deneyi Hat Gerilimi (Volt) (Ana Sargı Açık Devre iken)
V_{nlm}	Boş Çalışma Deneyi Hat Gerilimi (Volt) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
V_{sag}	Gerilim Düşmesi Değeri
v_{main}	Ana Sargı Gerilimi (Volt)

v_{aux}	Yardımcı Sargı Gerilimi (Volt)
v_1	Rotor 1. Fazı Gerilimi (Volt)
v_2	Rotor 2. Fazı Gerilimi (Volt)
V	Etkin Gerilim Genliği (Volt)
V_0	Kaynak Gerilimi (Volt)
W	Wattmetre
W'	Co Enerji
X1	Srator Reaktansı (Ω)
X2	Rotor Reaktansı (Ω)
Xba	Kilitli Rotor Deneyi Reaktansı (Ω) (Ana Sargı Açık Devre iken)
Xbm	Kilitli Rotor Deneyi Reaktansı (Ω) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
Xm	Mıknatıslanma Reaktansı (Ω)
Xma	Ana Sargı Ve Yardımcı Sargı Karşılıklı Mıknatıslanma Reaktansı (Ω)
Xmm	Ana Sargı Öz Mıknatıslanma Reaktansı (Ω)
Xnla	Boş Çalışma Deneyi Reaktansı (Ω) (Ana Sargı Açık Devre iken)
Xnlm	Boş çalışma deneyi reaktansı (Ω) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
Zba	Kilitli rotor deneyi empedansı (Ω) (Ana Sargı Açık Devre iken)
Zbm	Kilitli rotor deneyi empedansı (Ω) (Yardımcı Sargı Açık Devre iken)
ZF	Arıza Empedansı (Ω)
Znla	Boş çalışma deneyi empedansı (Ana Sargı Açık Devre iken) (Ω)
Znlm	Boş çalışma deneyi empedansı (Yardımcı Sargı Açık Devre iken) (Ω)
ZS	Kaynak Empedansı (Ω)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2-1: CBEMA Eğrisi	11
3-1: Gerilim Bölücü Eşdeğer Devre	15
3-2: Tuzla Trafo Merkezi Tek Hat Bağlantı Şeması	18
3-3: PCC Noktası için Gerilim Değişimi	19
4-1: Bir Fazlı Asenkron Motor Dönmezkenki Eşdeğer Devresi	22
4-2: Bir Fazlı Asenkron Motorun Herhangi bir Kayma ile Dönerkenki Eşdeğer Devresi	23
4-3: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Deney Bağlantı Şeması	25
4-4: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Durumu Eşdeğer Devresi	26
4-5: Fazlı Asenkron Motor Boş Çalışma Deney Bağlantı Şeması	27
4-6: Bir Fazlı Asenkron Motor Boş Çalışma Eşdeğer Devresi	28
4-7: Yüklü Çalışma Deneyi	30
4-8: Yüklü Çalışma Deneyi Tork – Devir Değişim Eğrisi	32
4-9: Yüklü Çalışma Deneyi Tork – Kayma Değişim Eğrisi	32
4-10: Yüklü Çalışma Deneyi Bir Fazlı Asenkron Motor Ana Sargı, Yardımcı Sargı ve Hat Akımı Değişimi	33
5-1: Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motor Sargı Bağlantı Şeması	34
5-2: D Umans' ın Tork – Devir Deney ve Simülasyon Sonuçları [2]	54
5-3: Parametre Belirleme Yöntem Akış Diyagramı	56
5-4: (a) Analiz 1 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 1 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	58
5-5: (a) Analiz 2 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 2 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	59
5-6: (a) Analiz 3 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 3 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	60
5-7: (a) Analiz 4 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 4 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	61
5-8: (a) Analiz 5 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 5 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	62
5-9: (a) Analiz 6 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 6 için $abs(Akim_main)+abs(Akim_aux)$ - Devir Eğrisi	63

5-10: (a) Analiz 1 ve 2 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 1 ve 2 için abs(Akim_main)+abs(Akim_aux) - Devir Eğrisi	65
5-11: (a) Analiz 3 ve 4 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 3 ve 4 için abs(Akim_main)+abs(Akim_aux) - Devir Eğrisi	66
5-12: (a) Analiz 5 ve 6 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 5 ve 6 için abs(Akim_main)+abs(Akim_aux) - Devir Eğrisi	67
6-1: Gerilimin 290 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	70
6-2: Gerilimin 280 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	71
6-3: Gerilimin 270 V.' A Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	71
6-4: Gerilimin 260 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	72
6-5: Gerilimin 250 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	72
6-6: Gerilimin 240 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi	73
6-7: Gerilimin 220 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	73
6-8: Gerilimin 210 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	74
6-9: Gerilimin 200 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	74
6-10: Gerilimin 190 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	75
6-11: Gerilimin 180 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	75
6-12: Gerilimin 170 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	76
6-13: Gerilimin 160 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	76
6-14: Gerilimin 150 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	77
6-15: Gerilimin 140 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	77
6-16: Gerilimin 130 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	78
6-17: Gerilimin 120 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	78
6-18: Gerilimin 110 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi	79
6-19: Sabit Tork Altında Kayma ve Çalışma Durumlarının Belirlenmesinde Kullanılan Akış Diyagramı	82
6-20: Sabit Tork Altında Gerilim Değişimlerinin Oluşturduğu Tork – Devir Karakteristiği	84
6-21: Sabit Tork Altında Gerilim Değişimlerinin Oluşturduğu Akım – Devir Karakteristiği	85

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3-1: Şebeke Parametreleri	17
4-1: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Durumu Deneyi	25
4-2: Bir Fazlı Asenkron Motor Boşta Çalışma Deneyi	27
4-3: Test Motoru Yüklü Çalışma Deneyi	31
5-1: D. Umans ın Test Motoru Tork - Kayma Grafik Değerleri	54
5-2: Analizlerin Parametre Sonuçları	57

1 GİRİŞ

Bir fazlı asenkron motorlar ucuz ve basit yapılı olmaları sebebiyle gerek endüstriyel sahada gerekse evlerimizde birçok sistem ve düzenek içerisinde yoğun olarak kullanım alanı bulmuş motorlardır. Şebekelerimizde meydana gelecek her türlü arıza veya diğer alıcıların etkisi ile meydana gelebilecek güç kalitesi bozulmaları, örneğin gerilim düşmesi hadisesinin bu cihazların mekanik karakteristiklerini etkilemesi beklenmektedir.

Alexander Domijan ve Yin Yuexin nin 1994 de yaptıkları çalışmada EMTP programında örnek bir motoru modelleyerek tork için deney sonuçlarını ve modelleme sonuçlarını karşılaştırmışlardır [1]. 1996 da D. Umans tarafından yapılan çalışmada da (Steady-State, Lumped-Parameter Model for Capacitor-Run, Single-Phase Induction Motors) bir fazlı asenkron motorların bilgisayar ortamında modellenmesi, motor genel denklemlerinin yazılarak tork ifadesi elde edilmesi ve ardından yazılan denklemlerin iteratif bir yolla eşzamanlı çözülmesi sonucu torkun zamanla değişimi elde edilmiştir fakat iki çalışmada da güç kalitesi bozucu etkilere motor un cevabı incelenmemiştir [2].

Yapılan literatür araştırmalarında gerilim dalgalanmalarının bir çok elektrik makinesi ve sisteme etkisi incelenmektedir. Örneğin; 2002 yılında yapılan bir çalışmada küçük güçte üç fazlı bir motorun gerilim düşmesi ve kısa süreli kesintilerden etkilenmesi incelenmiştir. Gerilim düşmesi öncesi ve sonrası çekilen akımın genlik ve süre açısından kalkış akımı süre ve genliği ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada gerilim düşmesinin başladığı ve bittiği anlarda çekilen hat akımının motor kalkış akımından daha üst seviyelere ulaştığı ortaya konmuştur. Özellikle gerilim düşmesi başlangıç sürecinin artmasına sebep olmaktadır. Motor kalkış sürecinde gerilimin artış süresinin iki katı uzunlukta olması dikkat çekmektedir [3].

Bir başka çalışmada gerilim düşmesi ve kısa süreli kesilmelerin asenkron makineler üzerindeki etkileri yavaş model adı altında bir modelle incelenmiştir. Modelde statik ve dinamik olarak iki bileşen söz konusudur. Burada dinamik bileşen olarak bir tüketim mahallinde gruplanmış asenkron motorlar modellenmektedir.

EMTP programında yapılan modelleme ile yapılan ölçümler karşılaştırılarak çok sayıda asenkron makineden oluşan alıcı gruplarının bulunduğu dağıtım hatlarında oluşan gerilim düşmesi ve kısa süreli kesilmelere, grupların verdiği cevap incelenmiştir. Çalışmada uzun süreli bozucu etkiler için, birden fazla motor sadece bir adet test motoru ile başarı ile modellenmiştir [4].

1998 yılında M. H. J. Bollen gerilim düşmesi etkisini EMTP ortamında birçok alıcı, dağıtım ve üretim elemanı için incelemiştir. Bunun yanı sıra büyük güçlü motorlarda kısa devre arızaları nedeni ile oluşan gerilim çökmeleri esnasında motor devrinin düşmesi ve arızanın kendiliğinden ortadan kalkması ile tekrar hızlanma sürecini de modelleyerek incelemiştir [5].

2006 yılında yapılan bir çalışmada üç fazlı asenkron motorların gerilim çökmeleri altında çalışmaları incelenmiş ve EMTP de modellenmiştir. İncelemede gerilim düşmesinin süresinin ve derinliğinin oldukça önem kazandığı görülmektedir. Gerilim düşmesinin genliği ve süresinin dışında motor koruma elemanlarının doğru programlanmasının da motorun sürekli çalışmasına etkide bulunduğu ortaya konmuştur [6].

2004 te yapılan bir çalışmada da üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun dengesiz gerilim altında ekonomik analizi yapılmıştır. Dengesiz gerilim altında çekilen güç ile dengeli durumdaki kıyaslanmış istatistiksel olarak kayıplardaki artış ortaya konmuştur. Dengesiz gerilim altında motor verimi dengeli gerilim şartlarındaki verime nazaran daha düşük olmaktadır [7].

2005 te yapılan bir çalışmada gerilim düşmesi hadisesinin enerji dağıtım ve iletim sistemine etkilerinin yanı sıra yıllık gerilim bozucu olayların indekslerinin çıkarılması ve bu indekslerin gerilim dalgalanmalarına karşı hassas alıcı ve ekipmanların değişimlerden ne kadar sayıda etkileneceğinin ortaya çıkarılması incelenmiştir. Ayrıca genlik ve süreç gibi iki önemli özelliği olan bu bozucu etkilerin giderilmesinde ne gibi sistemlerin kullanılabileceği, arıza noktasına alıcının uzaklığının gerilim dalgalanması etkisini nasıl etkileyeceği ortaya konmuştur [8].

2005 te yapılan bir başka çalışmada da A.C. Ayarlanabilir Hız Sürücülerinin gerilim düşmesi ve kısa süreli kesilmeler altındaki testlerini incelemiştir. Gerilimin genliğinin yanı sıra dalga şeklindeki değişmelerinde etkileri de ortaya konmuştur. Gerilim düşmesinin genlik ve süre aralığının, gerilim düşmesinin tipine ve sürücünün/motorun çalışma durumuna bağlı olduğu ortaya konmuştur [9].

Sakarya Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada da senkron jeneratörün kısa süreli gerilim çökmelerinden etkilenmeleri, armatür gerilimi, akımı, torku, rotor açısı ve uyarım akımı değişimleri bakımından deneysel olarak incelenmiştir. Çeşitli arıza tipleri için incelemeler yapılmıştır. Senkron makineye paralel bağlı kondansatörün gerilim düşmesinin, uç gerilimi, tork, alan sargısı akımı ve uyarım akımına yaptığı bozucu etkiyi azalttığı ortaya konmuştur [10].

2003 te yapılan bir başka çalışmada da 2.2 den 7.5 kW lık güçlere kadar asenkron makineleri süren ayarlanabilir hız sürücülerinin gerilim düşmesi ve çeşitlerinden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Gerilim tolerans eğrileri ve en uygun koruma cihazları seçimi ve set edilmesinin yanı sıra dalgalanmayı geçiştirme süreçleri de incelenmiştir. Motordan talep edilecek tork değeri düşünülerek sürücünün ve motor düzeneğinin seçilmesi, motorun gerilim düşmesi nedenli performans yetersizliğinin önüne geçilmesini sağlayacağı ortaya konmuştur [11].

Kullanım alanı daha yaygın olan üç fazlı asenkron motorlar için güç kalitesi bozulmalarının mekanik etkileri yukarıda belirtilen birçok çalışmada incelenmiş ve çeşitli deneysel ve teorik yöntemlerle modellenmiştir. Buna karşın bir fazlı motorlarla ilgili sıra dışı çalışma durumları için motor davranışları incelenmemiş detaylı bir geçici cevap çalışmasına, ulaşılan literatürde rastlanmamıştır.

1.1 Tezin Amacı

Yaptığımız bu çalışmada gerilim düşmesi karşısında nasıl etkileneceğini merak ettiğimiz bir fazlı motorun bilgisayar ortamında modellenerek mekanik karakteristiğinin makine deneyleri ile elde ettiğimiz kalıcı durum sonuçları ile

karşılaştırılması ve en az hata ile mükemmele yakın bir bir fazlı motor modellenmesi amaçlanmıştır.

İletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen gerilim değişimlerinin sınıflandırarak, bu gerilim değişimlerinin bir fazlı asenkron motorun bilgisayar ortamındaki modeli üzerinde etkilerini incelenmektedir.

1.2 Tezin Sınırları

Tez içerisinde incelenilen konular ve bu konularla alakalı analizlerde:

- Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor dışındaki cihazlar için gerilim değişim etkileri incelenmeyecektir.
- Daimi kondansatörlü asenkron motor modellemesi kalıcı durum için yapılacaktır. Etkiler de bu kapsam içinde incelenecektir.

1.3 Tezin İçeriği

Çalışmamızın ilk bölümünde genel olarak güç kalitesi kavramına değinilmiştir. Gerilim dalgalanmalarının genlik ve zaman olarak sınıflandırılması yapılmıştır.

Çalışmamızın ikinci bölümünde ise; önemli bir güç kalitesi bozucusu olan gerilim düşmesi detaylı olarak incelenmiştir.

Üçüncü bölümde gerçek bir iletim ve dağıtım hattı şebeke parçasının, belirlenen bir noktaya için gerilim düşmesi - kritik mesafe ilişkisi ortaya konmuştur.

Dördüncü bölümde bir fazlı asenkron motor eşdeğer devresi incelenmiştir. Motor parametrelerinin tespit edilmesi için yapılan deneyler bu bölümde yer almaktadır.

Beş ve altıncı bölümde; daha önceden parametreleri tespit edilmiş bir motorun farklı bir yaklaşımla parametreleri tekrar hesaplanmıştır. Bulunan parametreler önceki parametre sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızın son bölümünde başka bir çalışmada kullanılan bir test motoru için yeni bulunan parametreleri kullanarak motor modelinin kalıcı gerilim değişimlerine cevabı incelenmiştir. Benzer başka bir inceleme de değişen gerilim seviyeleri için sabit tork değerlerinde makineyi yüklemekte olan yükün modellenip motor tork devir ve akım değerlerinin incelenmesi için de tekrarlanmıştır.

2 GÜÇ KALİTESİ

Güç kalitesi kavramı çeşitli disiplinlerde farklı anlamda algılanabilmektedir. Bir gruba göre bir ürün ifade eden bu kavram bir başka kesime göre çözülmesi gereken bir problem zinciri olarak görülmektedir.

Bir elektrik mühendisi, bir kalite uzmanı bu kavramı çözülmesi gereken bir problem, bir ekonomist, bir satış uzmanı ise ürünün önemli bir parçası olarak nitelendirmektedir [12].

Güç kalitesini problem olarak değerlendiren ve önlenmesi gerektiğini öne süren yaklaşımın ana nedenleri;

- Güç kalitesine duyarlı ekipmanların artışı
- Güç kalitesi bozucu etkisi bulunan elemanların artması
- Güç sisteminin enterkonnekte bir yapıya bürünmesi
- Denge bozucu alıcılardan oluşan endüstriyelleşme

Tüm bu faktörler enerji tüketmekte olan müşterileri olumsuz etkilemektedirler. Genelde araçlar güç kalitesi problemleri üretmeyecek şekilde dizayn edilmeye çalışılsa da mevcut birçok sistem çeşitli nedenlerden dolayı problemlere yol açabilmektedir.

Son yıllarda güç kalitesi dendiğinde akla ilk gelen ölçüt gerilim kalitesi olmakta ve oluşan bozulmalar bu konu içerisinde incelenmektedir. En önemli gerilim problemleri;

- Geçici darbeler
- Osilasyon şeklindeki anlık bozulmalar
- Gerilim düşmesi ve yükselmesi

- Kesintiler
- Düşük gerilim ve yüksek gerilim
- Harmonik bozulmalar
- Gerilim Kırışmalarıdır.

Yukarıda sayılan tüm bozulmalar sisteme ve alıcılara çeşitli boyutlarda zararlar vermektedirler [12].

2.1 Geçici Darbeler

Yıldırım, elektrostatik deşarj, ani yük ve kapasite değişimleri ve anahtarlama bu tür problemlere yol açabilmektedirler. Bu tür hadiseler özellikle bilgisayarlara ve televizyonlara oldukça zarar vermektedirler. İzolasyon trafoları, filtreler ile önleme ve zararı en aza indirme sağlanmaya çalışılmaktadır.

2.2 Osilasyon Şeklindeki Anlık Bozulmalar

Uzun hat ve kablo sistemlerinin, yük veya kapasitörlerin devreye alınması ve çıkarılması esnasında meydana gelmektedirler. Özellikle bilgisayar sistemleri ve televizyonlarda olumsuz etkiler göstermektedirler.

2.3 Gerilim Düşmeleri ve Yükselmeleri

2.3.1 Gerilim Düşmesi

Kısa süreli gerilim değişimleridir. Sekiz milisaniye (0,5 periyot) ile bir dakika arasında meydana gelmektedirler. Gerilim düşmesi, verilen süre zarfı içerisinde gerilimin rms değerinin %10 - %90 arasında seyretmesi hadisesidir.

Transformatör arızaları, güç sistemi üzerindeki herhangi bir arıza bu duruma neden olabilmektedir. Bunun yanında çok yüksek güçlü motorların devreye alınması gerilim çökmelerine neden olabilmektedir.

2.3.2 Gerilim Yükselmesi

Gerilim yükselmeleri çökmelere nazaran daha az rastlanan hadiselerdir. Tanım olarak gerilim çökme tanımında geçen aynı süre zarfı içerisinde gerilim rms değerinin %110 ile %180 arasında seyretmesi hadisesidir. Tek faz kısa devresi, hatta yıldırım düşmesi, canlı hattın ağaca teması ve ağacın hat üzerine devrilmesi gibi hadiseler bu tür problemlere yol açmaktadırlar.

Çökme ve yükselmeler diğer arıza çeşitleri ile kıyaslandığında sisteme daha az zarar verdikleri zannedilse de çok sık yaşandıklarından ciddi birer güç kalitesi problemi olarak göze çarpmaktadırlar.

Çökme ve yükselmelere çözüm olarak, sabit gerilim trafosu, dinamik voltaj sabitleyicileri, Flywheel (motor-generator sistem) ve kesintisiz güç kaynakları kullanılabilir.

2.4 Kesintiler

Kesintiler gerilimin tamamen kaybolması durumudur. Daha doğru bir ifade ile gerilimin rms değerinin %10 unun altında seyretmesi kesilme olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda hatta hiç enerji olmaması ile %10 un altında olmasının farkı yokmuş gibi düşünülmektedir. Kesilmeler anlık geçici ve uzun süreli kesilmeler olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Anlık kesilmeler; sekiz milisaniye ile üç saniye arasında gerçekleşen, geçici kesilmeler; üç saniye ile bir dakika arası gerçekleşen, uzun süreli kesilmeler ise; bir dakikadan uzun süren kesilmelerdir.

Ürün kaybı firmalara maliyet artışı olarak yansımaktadır. Herhangi bir kesilmede direk veya dolaylı olarak ürün kaybına neden olacağından istenmeyen ve maliyete olumsuz etki eden bir hadisedir. Çoğu zaman kaybedilen ürünün sistemden temizlenmesi gerekebileceğinde birçok sektörde zaman kaybına da yol açmaktadır.

2.5 Düşük ve Yüksek Gerilim

2.5.1 Düşük Gerilim

Düşük gerilim, gerilimin rms değerinin 1 dakikadan uzun bir süre için %90 lık bir seviyede seyretmesi hadisesidir. Aydınlatmada azalma ve motorlarda devir azalması şeklinde kendini göstermektedirler.

Sisteme aşırı yüklenme, çok soğuk ve sıcak hava koşulları veya ana iletim hatlarından bir veya birkaçının devre dışı kalması düşük gerilime neden olabilir.

Düşük gerilim sonucu bilgisayar sistemleri ve televizyonlar olumsuz etkilenirler. Yerel generatör ve ilave iletim hatları ile düşük gerilim önlenebilmektedir.

2.5.2 Yüksek Gerilim

Uzun süreli yüksek gerilim, gerilim yükselmelerine çok benzemektedir. Bir dakikadan fazla bir süre zarfı için gerilimin rms değerinin %110 un üzerinde seyretmesi hadisesidir.

2.6 Kırpışmalar

Gerilimin rms değerinin müsaade edilen bandının %95 ile %105 arasındaki hızlı değişimleri olarak tanımlanırlar.

Elektrik ark fırınları, yük akımındaki hızlı değişimler, voltaj kırpışmalarına neden olmaktadır. Bu hadise aydınlatmada özellikle akkor telli lambalarda ortaya çıkan fliker olayının da ana nedenidir.

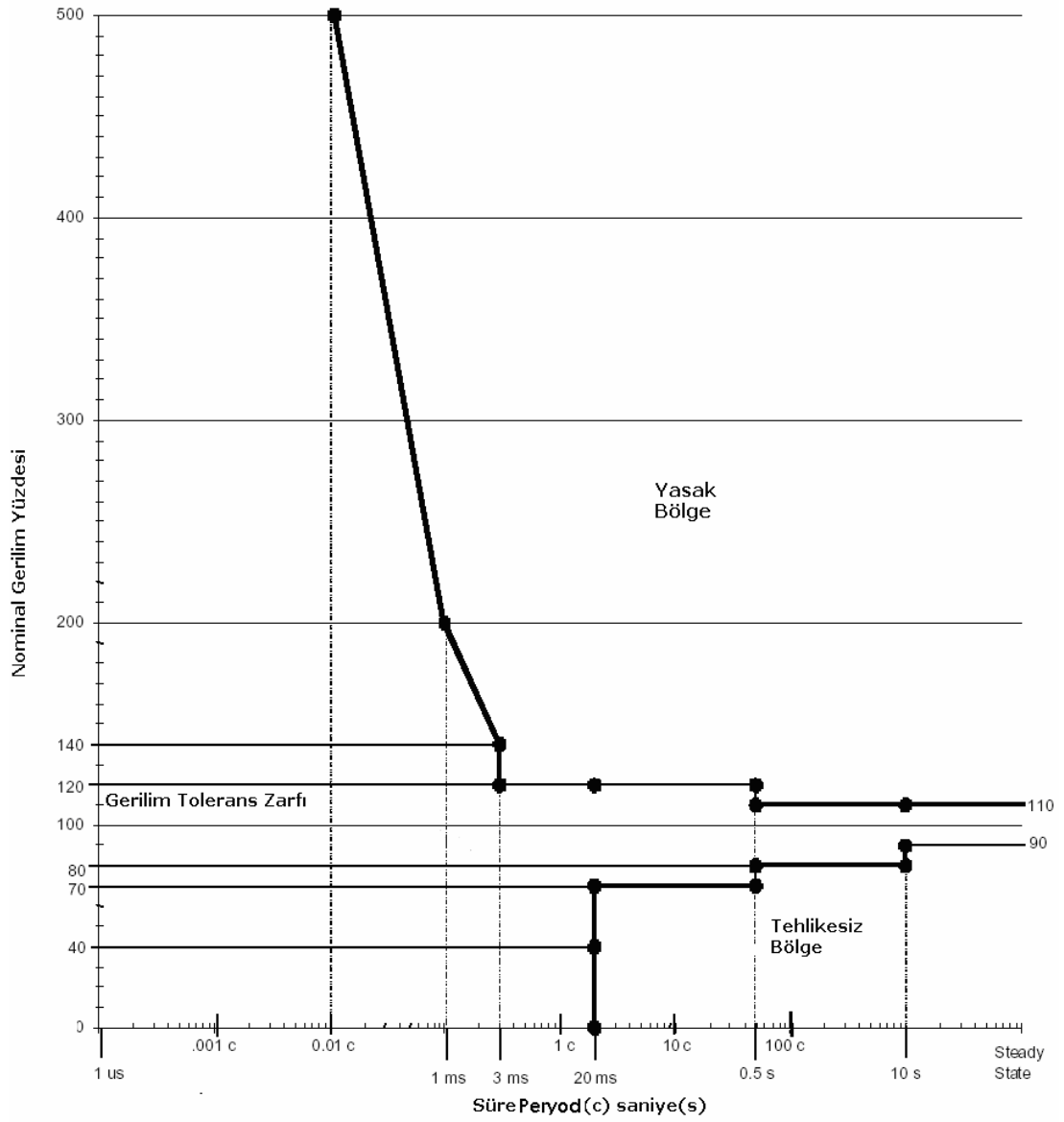
2.7 Harmonikler

Harmonikler dalga şekli bozukluklarının en büyük kaynağıdır. Lineer olmayan alıcıların sayılarının çoğalması harmonik problemlerinin yaygın olarak

görülmesine neden olmaktadır. Harmonik akımlarına genellikle lineer olmayan yükler, ayarlanabilir hız sürücü devreleri, elektronik balastlar, bilgisayarlardaki anahtarlama modüllü güç kaynakları, sabit upslar, elektronik ve tıbbi test ekipmanları filtreler ve elektrikli ofis makineleri neden olmaktadır [10].

2.8 Bilgi Teknolojileri Endüstrisi Eğrisi (CBEMA Eğrisi)

2000 yılında son gözden geçirmesini tamamlayan Bilgi Teknolojileri Enstitüsü 3. Teknik Komite tarafından oluşturulan CBEMA (Computer & Business Equipment Manufacturers Association) eğrisi, esas itibari ile bilgisayar güç kaynağı üreticilerinin gerilimin genliğinde meydana gelen dalgalanmalara karşı güç kaynaklarının tavrını belirli tanımlar içinde çizmeyi amaçlamaktadır. . Şekil 2-1 de verilen CBEMA Eğrisi 3 ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 2-1: CBEMA Eğrisi

Bu bölgeler [13];

- Kesintinin Yaşanmadığı Aykırı Bölge
- Zararsız Bölge
- Yasak Bölge dir.

Eğri esas itibari ile dünyada bir çok bölgede kullanılan fakat ülkemizde tercih edilmeyen 120 faz nötr gerilim ve 60 Hz şebeke frekansına sahip çalışma koşulları

için oluşturulmuştur. Bu nedenle tariflerde geçen nominal değerlerden kasıt, 120 V. ve 60 Hz lik çalışma koşuludur.

Bu bileşik eğride 8 adet bölge tanımlanmaktadır.

2.8.1 Kalıcı Durum Toleransı

Kalıcı durum aralığı gerilimin nominal değerinin sabit kaldığı veya çok yavaş olarak belirli bir aralıkta değiştiği durumdur. Bu zarf nominal gerilim değerinin +/- %10 Bu durum sistemi normal yük ve kayıplı çalışma durumudur.

2.8.2 Hat Gerilimi Yükselmesi

Bu durum 0.5 saniyelik süre zarfı içerisinde gerilimin rms değerinin nominal geriliminin %120 sinden daha yüksek bir seviyede ilerlediği durumdur.

Bu durum büyük yüklerin devre dışı kalması nedeni ile oluşabilmektedir.

2.8.3 Alçak Frekanslı Salınımlar

Bu durum genelde AC sistemlerde güç katsayısını düzeltme amaçlı kondansatörlerin devreye alınması ile yaşanmaktadır. Bu durumda bu geçiciliğin frekansı rezonans frekansına bağlı olarak 200 Hz ile 5 kHz arasında değişim göstermektedir. Alçak frekans geçiciliklerinde gerilimin genliği 200 Hz de %140'lara 5 kHz'de de %200'lere çıkabilmektedir.

2.8.4 Yüksek Frekanslı Salınım ve Darbeler

Bu tür bozucular genelde yıldırım düşmesi ile meydana gelmektedirler. Bu bölüm hem genlik hem de süre olarak incelenmektedir. Bu da etkinin rms gerilimi yerine enerjisini ön plana çıkarmaktadır.

2.8.5 Gerilim Düşmesi

Bu eğride iki ayrı çökme durumu tanımlanmaktadır. Genellikler büyük güçlü yüklerin devreye alınması ve kısa devreler sonucu oluşmaktadırlar. on saniyeye kadar gerilimin rms değerinin nominal değerinin % 80'ine, beş saniye süre ile de gerilimin rms değerinin nominal değerinin % 70'ine düşmesi gerilim düşmesinin iki versiyonu olarak tanımlanmaktadırlar.

2.8.6 Kesilmeler

Bir kesilme hem ciddi bir gerilim düşmesi hem de bir devre dışı kalma içermektedir. Bu durumu ani bir nominal gerilim yükselme süreci izlemektedir, bunun nedeni çoğu kez kısa devre arızalarının meydana geldikten kısa bir süre sonra ortadan kalkmasıdır. Kesilmeler 20 ms kadar sürebilmektedirler.

2.8.7 Tehlikesiz Bölge

Bu durum sistemde oluşan gerilim çökmelerin ve kesilmelerin kalıcı durumda kendini toparlıyabilen durumdur.

2.8.8 Yasak Bölge

Sistemde oluşan gerilim yükselmeleri ve şişmelerinin müsaade edilemez seviyelerde yaşandığı bir bölgedir.

3 GERİLİM DÜŞMESİ

Gerilim düşmesi gerilimin rms değerindeki kısa devre, aşırı yükleme ve yüksek güçlü motorların çalıştırılması nedeni ile oluşan kısa süreli düşmelerdir. Gerilim düşmesi ile ilgilenilmesinin ana nedeni ayarlanabilir motor sürücüleri, bilgisayarlar ve diğer süreç kontrol elemanlarının çalışmalarında birçok probleme yol açmasıdır. Bir çok ekipman gerilimi iki peryottan uzun bir süre nominal çalışma geriliminin 90% ına düştüğünde kapanmaktadır.

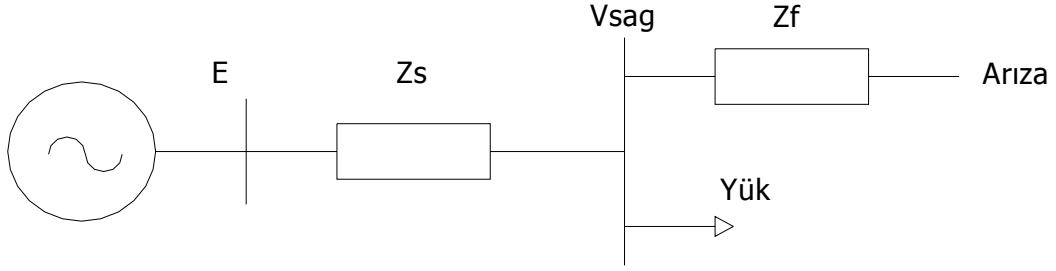
Bu da özellikle üretim gerçekleştiren sanayi bölgelerinde ürün ve zaman zayıyatı olarak rahatsız edici bir etken olmaktadır. Örneğin kağıt endüstrisi, iletken, cam ve enjeksiyon sektörü bu nedenle sıklıkla hatalı ürünler elde etmektedir. Tabi ki gerilim çökmeleri endüstriyi uzun süreli kesilmeler kadar olay bazında etkilememektedir fakat bir yıllık süreç göz önüne alındığında gerilim çökmeleri sisteme kesintilere nazaran daha fazla zarar verir gözükmektedirler [14].

Gerilim düşmesinin ana karakteristiği genliği olarak gözükmektedir. Buna mukabil gerilim düşme süresi de cihazların etkilenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çalışmamızda gerilim düşmesi genliği olarak verilen tüm ifadeler literatürde ağırlıklı olarak kullanıldığı gibi, çökme miktarının yüzdesi değil, çökmeyi sağlayan etkiden sonra sistemde mevcut kalan gerilimin genliğini ifade edecektir. Yani gerilim düşmesinin düşük genlikli olması ciddi bir çökmeyi yüksek olması itibari olarak daha basit bir çökmeyi ifade edecektir.

Birçok araştırmacı gerilim çökmelerinin gerçek ve ağırlıklı nedeni olarak sadece kısa devre arızaları sebep gösterse de indüksiyon motorların kalkınma akımları da gerilim çökmelerine neden olan önemli bir etkidir.

3.1 Gerilim Düşmesinin Teorik Hesabı

Radyal bir sistemde gerilim düşmesinin genliğini hesaplamada kullanılan gerilim bölücü model aşağıda yer almaktadır.



Şekil 3-1: Gerilim Bölücü Eşdeğer Devre

Şekil 3-1 den görüleceği üzere Z_S ve Z_F olarak iki empedans yer almaktadır. Z_S PCC (Point Common Coupling) noktası için kaynak empedansını temsil ederken Z_F te PCC noktası ile arıza noktası arası empedansı simgelemektedir. Adı geçen PCC noktası ise arızanın ve yükün beslendiği noktadır. Gerilim bölücü devrede arızadan önceki yük akımı ile PCC ve yük arasında gerilim düşümü arıza süresi boyunca ihmal edilmektedir. PCC noktasındaki gerilim ve tabii ki ekipman terminallerindeki gerilim[14];

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} E \quad (3.1)$$

V_{sag} : PCC noktasındaki gerilim

Arıza öncesindeki gerilimin 1 pu olduğu kabul edilirse ($E=1$ pu.)

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} \quad (3.2)$$

Arıza yeri empedansı da eğer hesaplara katılmak istenirse Z_F olarak gösterilen ifadeye eklenmelidir.

Basit oransal ifadelerden açıkça görüleceği üzere arıza noktası ne kadar alıcımıza yakın olursa yani Z_F küçülecek olursa diğer taraftan da Z_S büyüyecek olursa, bu da PCC noktasının kısa devre gücünün büyük olması anlamına gelir, gerilim düşmesinin genliği o kadar küçülmektedir.

Şekil 3-1' den ve basit oransal ifadeden de gözleneceği gibi arıza noktası ile PCC arasındaki empedans mesafenin bir fonksiyonudur.

$$Z_F = z.L \quad (3.3)$$

z : Birim uzunluktaki iletkenin empedansı (Ω/km)

L : Arıza noktası ile PCC arasındaki mesafe (km)

Böylece gerilim bölücü ifade;

$$V_{sag} = \frac{z.L}{Z_s + z.L} \quad (3.4)$$

bu çalışmamızda mesafeye bağlı olarak gerilim düşmesinin değişimi ile ilgili bir uygulamada yer almaktadır.

3.2 Kritik Mesafe Hesabı

Denklem (3.4) ten L_C yi çekerek denklem (3.5) elde edilir ki;

$$L_C = \frac{Z_s}{z} \frac{V}{1-V} \quad (3.5)$$

L_C : Kritik mesafe (km)

Z_s : Kaynak Empedansı (Ω)

z : Birim uzunluktaki iletkenin empedansı (Ω/km)

V : Kritik kabul edilen gerilim değeri (birim olarak)

Burada müsaade edilecek azami gerilim düşümü genliği V olarak yazılırsa bu durumda modellenen sistem için oluşabilecek arıza noktasının PCC noktasına en yakın ne kadar uzaklıkta olabileceği hesaplanmış olacaktır. Bu mesafeden daha yakın oluşan arızalar korunmak istenen aygıtlarda olumsuz etkilerde bulunacaktır.

3.3 Örnek Çalışma

Burada gerilim düşmesi ve kritik mesafe kavramlarının daha net ortaya konmasını sağlamak amacı ile bir örnek yer almaktadır. Örneğimizde de Tuzla bölgesinde yer alan bir şebeke parçası ele alınarak, özel bir alıcı için hattın her hangi başka yerinde oluşacak gerilim düşmesinin özel alıcıyı ne yönde etkilediği incelenmektedir.

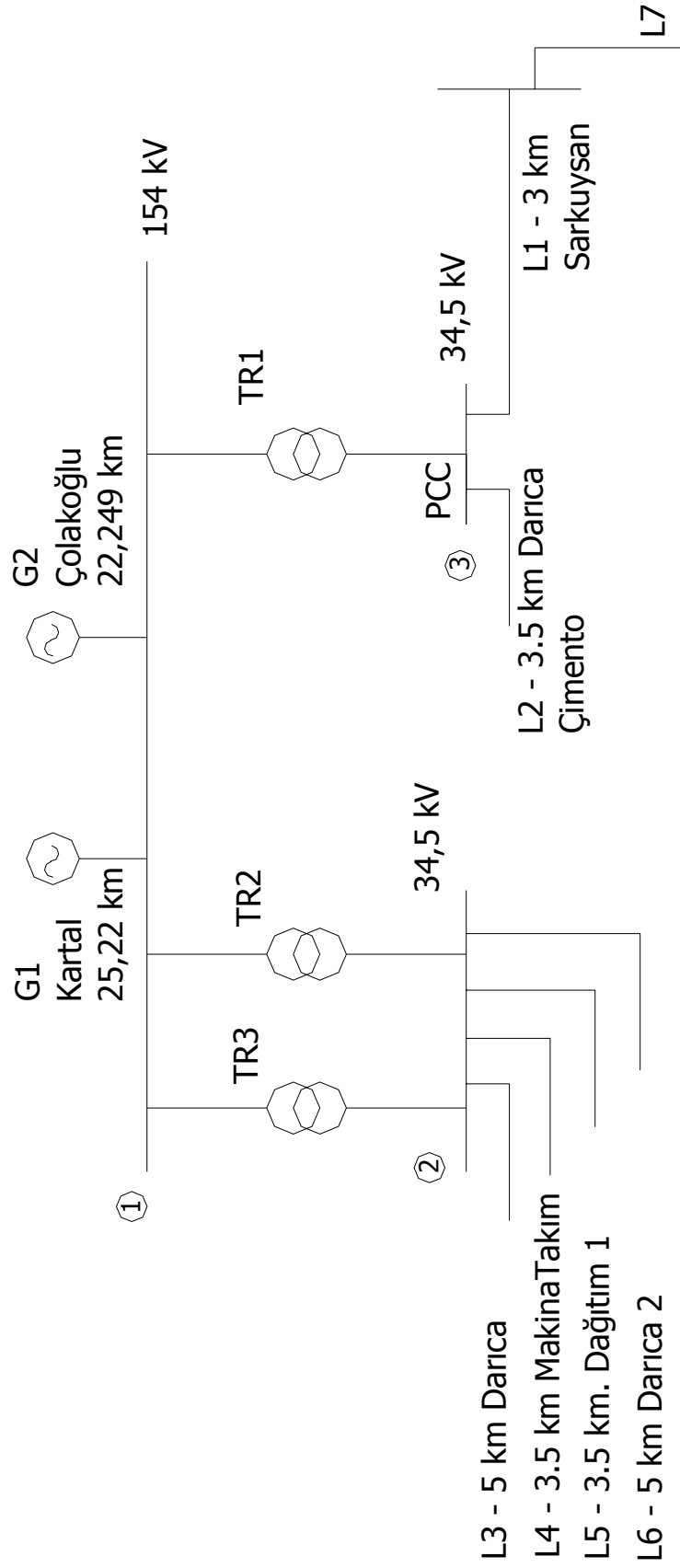
Tuzla Trafo Merkezi ve bu merkeze bağlı iletim ve dağıtım hatlarının bulunduğu bir şebeke parçası kısa devre nedenli gerilim çökmelerinin seçilen bir baranın gerilimini ne şekilde etkilediği incelenmiştir. 154 kV luk iki hat tarafından beslenen merkez yakın çevresindeki birçok endüstriyel alıcının yanında 3 ila 5 km uzaklıklardaki orta mesafeli dağıtım hatları ile büyük güçlü alıcıları da beslemektedir. Trafo merkezinde biri yedekte bekletilmek üzere 3 adet 50 MVA 34,5 / 154 kV' luk trafo hizmet vermektedir.

Şekil 3-2' deki sistemde kısa devre hadisesine yanıtını inceleyeceğimiz bara 3 numaralı baradır. L1 hattı üzerinde oluşacak 3 faz simetrik kısa devresinin 3 numaralı baradaki oluşturduğu gerilim düşmesi ve hatta oluşan arızanın baraya olan uzaklığına göre bara geriliminin değişimi incelenmiştir.

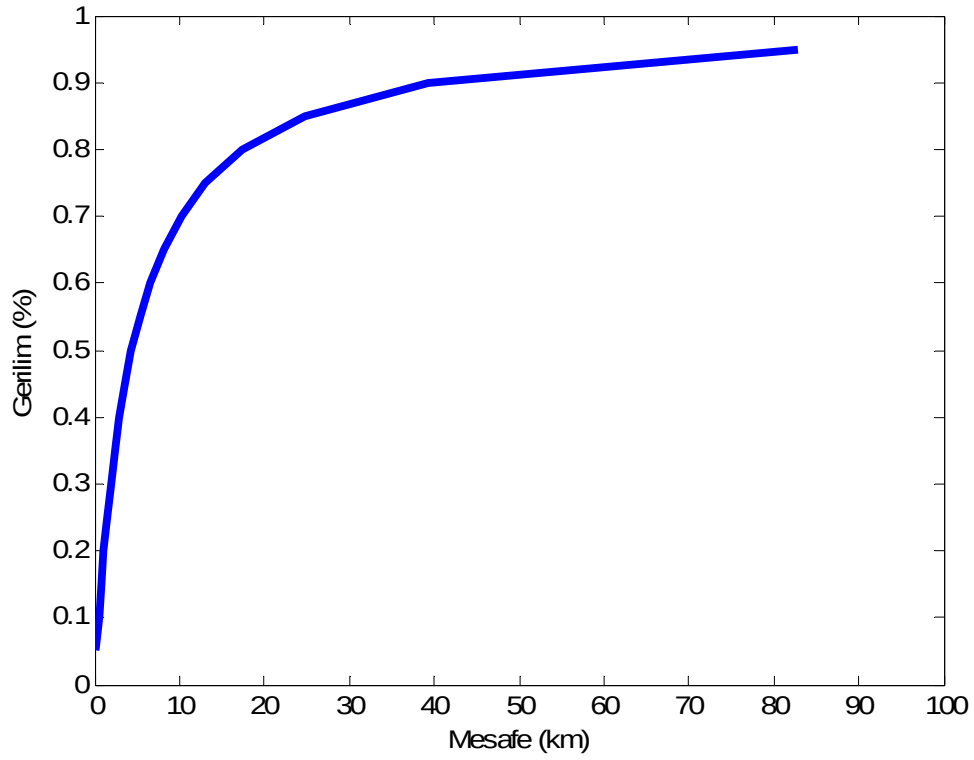
Kritik mesafe için gerekli olan hat empedansları EMTP ATP programında direklerin modellenmesi ile elde edilen empedans matrisindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Trafoların ve hatların parametreleri Tablo 3-1' te verilmiştir.

Tablo 3-1: Şebeke Parametreleri

İletim Hattı Empedansı (Ω)	Dağıtım Hattı Empedansı (Ω)	Trafo Reaktansları (Ω)	Kartal Hattı Uzunluğu (km)	Çolakoğlu Hattı Uzunluğu (km)
0,119+0,715i	0,116+0,731i	0,117	25,22	22,449



Şekil 3-2: Tuzla Trafo Merkezi Tek Hat Bağlantı Şeması



Şekil 3-3: PCC Noktası için Gerilim Değişimi

Şekil 3-3 da seçilen PCC noktasından uzaklaştıkça gerilim düşümü etkisinin azaldığı görülmektedir.

3.4 Sonuç

İncelemelerde kısa devre arızasının PCC olarak seçilen noktaya pozisyonuna göre, PCC noktasının gerilimini etkileme seviyesi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kısa devre arızasının PCC noktasına uzak olması, yakın olmasından daha büyük genlikli gerilim düşmesine neden olmaktadır. Yapılan her incelemede gerilim düşmesinin genliği ile kritik mesafe olarak anılan, arıza noktası-PCC arası mesafe eğrisi elde edilmiştir.

4 BİR FAZLI ASENKRON MOTOR EŞDEĞER DEVRESİ

Bir fazlı asenkron motorlar ucuz ve basit yapılı olmaları sebebi ile gerek endüstriyel sahada gerekse evlerimizde birçok sistem ve düzenek içerisinde yoğun olarak kullanılırlar.

Genel yapıları itibari ile, bir fazlı asenkron motor stator sargısında birbirine faz farklı olarak sarılmış iki sargı ve kısa devre rotorlu olarak tasarlanmıştır [15]. Stator sargılarından biri ana sargı olarak diğeri yardımcı sargı olarak adlandırılmıştır. Kalkış torkunu artırmak amaçlı yardımcı sargıya seri olarak bir de kondansatör bulunmaktadır. Yapılan incelemelerimizde bir fazlı asenkron motor olarak; daimi kondansatörlü tipte bir fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Motor karteksi ve teknik özellikleri “Yüklü Çalışma Karakteristiği” başlığı altında ileride verilecektir.

Motor modeli kapsamında verilen tüm eşdeğer devreler motorun durmakta olduğu ya da sabit hızda döndüğü kabul edilerek çıkarılmıştır. Motor kalkış, hızlanma ve yavaşlama durumları burada incelenmemiştir. Bu çalışma durumları motorun, eylemsizliği ve diğer mekanik karakteristik özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır ve oldukça karmaşık yapıda hesaplanmaktadır.

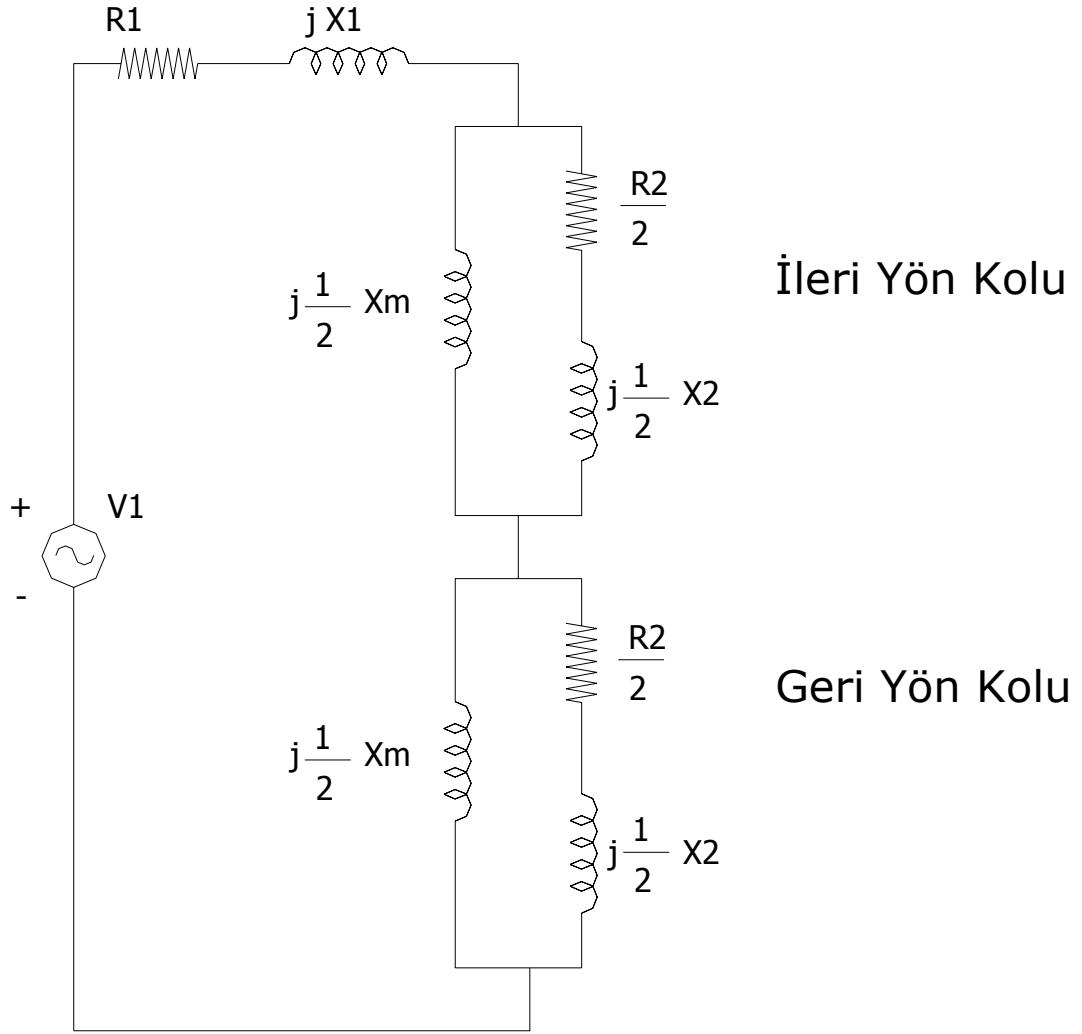
Bu kabul doğrultusunda, bir motorun kendi kendine kalkış yapabilmesi için en az iki faz sargısının bulunması gerekmektedir. Bu kural motor tasarımında önemli rol oynamaktadır. Motora enerji verildiğinde dönmesini sağlayan torkun oluşumu “Çift Döner Alan Teorisi” ile tarif edilmektedir. Teoriye göre, rotor durağan halde iken motorda üretilen manyetik alan, zamanla değişmektedir ve manyetik alanın herhangi bir andaki genliği;

$$B = B_m \cdot \cos \omega t \quad (4.1)$$

B_m Motordaki en yüksek manyetik alan yoğunluğudur. B manyetik alan yoğunluğu B_1 ve B_2 gibi genlikleri birbirine eşit iki bileşene ayrılabilir. Böylece,

$B_1 = B_2 = 0,5.B$ şeklinde ifade edilebilir. B_1 'in saat yönünde döndüğü kabul edilirse, B_2 saat yönünün tersi yönünde dönecektir. Rotorda indüklenen gerilimi de bu iki zıt manyetik alan yoğunluğu meydana getirmektedir. Aynı manyetik alanlarda olduğu gibi gerilimlerde birbirine zıt polaritede indüklenmektedir ve rotor akımları da kendilerini oluşturan zıt polariteli gerilimler gibi yine zıt yönde akmaktadırlar. Motor durağan halde iken, kayma iki yön içinde aynı iken kaymaya bağlı olarak rotor empedansları da aynı olmaktadır. Bu nedenle kalkış akımları da birbirlerine eşit ve ters yöndedir. Başka bir deyişle kalkış torkları da birbirine eşit ve ters yöndedir. Bu nedenle net tork sıfırdır. Bu durumda Çift Döner Alan Teorisine dayanarak, bir fazlı asenkron motoru aynı stator alan sargısına sahip ve birbirine ters yönde dönen iki rotoru bulan bir motormuş gibi düşünebiliriz. Bu durumda motor durağan halde iken iki rotor içinde, birbirine zıt ve eşit genlikte torklar üretilecek ve net tork sıfır olacaktır.

Şekil 4-1' de gösterilen eş değer devrede $R1$ ve $jX1$ stator direnç ve reaktansı, iki parça olarak verilen X_m mıknatıslanma reaktansı ve $R2$ ve $X2$ terimleri de rotorda birbirine zıt yönde bir manyeto motor kuvvet oluşturduğu varsayılan rotor sargılarının direnç ve reaktanslarını simgelemektedir. İki parçaya ayrılan rotor eşdeğerinin ilk bölümü “İleri Yön Kolu” iken diğeri “Geri Yön Kolu” olarak adlandırılır.



Şekil 4-1: Bir Fazlı Asenkron Motor Dönmezkenki Eşdeğer Devresi

Motorun saat yönü ile aynı yönde N_m devir sayısı ile döndüğünü kabul edelim. Saat yönü ile aynı yönde dönen manyetik alan N_s senkron devrine sahip olsun. Saat yönünün tersinde dönmekte olan alanın senkron devri ise $-N_s$ olacaktır. Bu durumda saat yönü ile aynı yöndeki birim kayma;

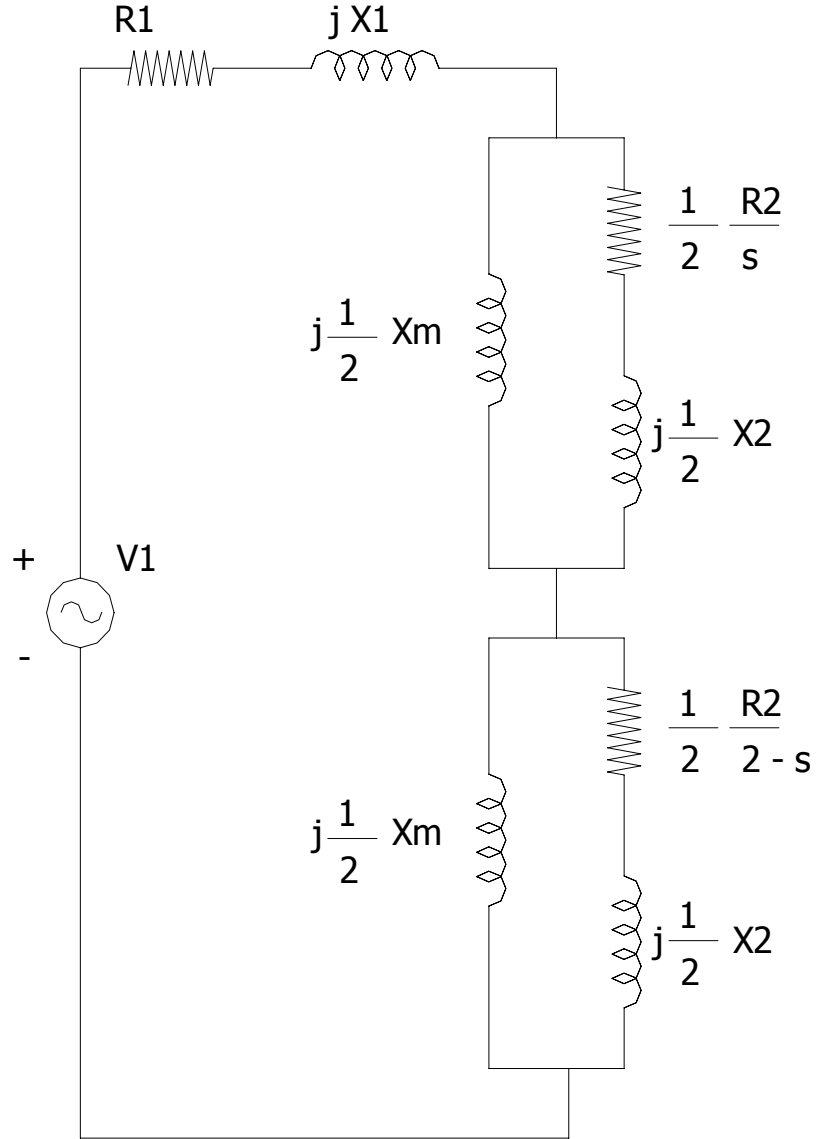
$$s = \frac{N_s - N_m}{N_s} = 1 - \frac{N_m}{N_s} \quad (4.2)$$

Olacaktır.

Saat yönünün tersi yöndeki birim kayma ise;

$$s = \frac{-N_s - N_m}{-N_s} = 1 + \frac{N_m}{N_s} = 2 - s \quad (4.3)$$

Olacaktır.



Şekil 4-2: Bir Fazlı Asenkron Motorun Herhangi bir Kayma ile Dönerkenki Eşdeğer Devresi

Şekil 4-2’de tekrar düzenlenmiş olarak herhangi bir kayma ile dönmekte olan bir fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi verilmektedir.

İfadelerden görüleceği gibi rotora ait iki bileşenin empedans değerleri kaymaya bağlı olarak değişmekte ve artık ters yönde oluşan torklar birbirine eşit olmamaktadır. Burada net tork oluşan iki torkun farkı ile bulunmaktadır. Bu fark yükün dönmesi için ihtiyaç duyulan torktan büyük olduğu sürece motor dönmeye devam edecektir.

4.1 Bir Fazlı Asenkron Motor Test Prosedürü

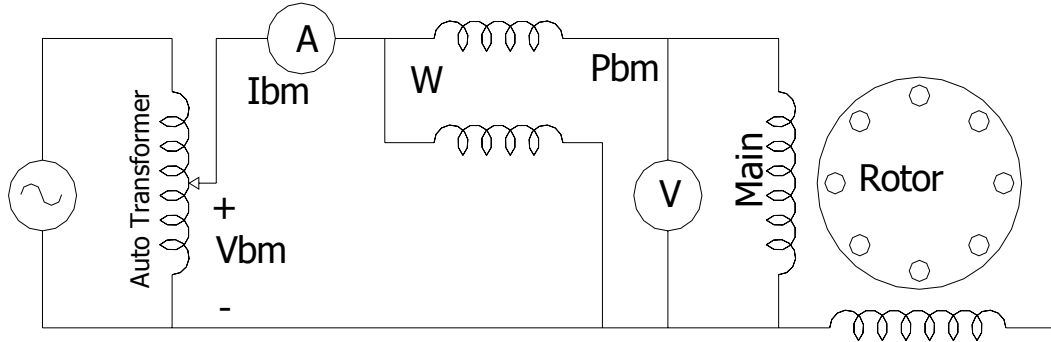
Çalışmamızda yapacağımız deneysel incelemelerde ulaştığımız sonuçları bilgisayar ortamında da doğrulamak amacı ile bilgisayar ortamında da sistemimiz oluşturularak kalıcı durumda incelemiştir. Bilgisayar ortamında modellemeler ATP ve Matlab ile yapılması planlanmıştır. Modellerken eşdeğer devrede yer alan devre parametrelerinin belirlenmesi ve ATP programının motor modeli için ihtiyaç duyduğu parametreleri belirlemek amacı ile motor bazı deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler ile motor karakteristiği çıkarılarak belirli besleme değeri ve yük karakteristikleri için motor cevabı incelenmiştir.

Daha önceden de değinildiği gibi burada oluşturulan modeller motorun durağan haldeki ve herhangi bir kayma ile sabit hızda dönerkenki modelleridir. ATP programı ise motorun kalkış yavaşlama ve hızlanma durumlarını da modellemektedir. Ancak böyle kapsamlı bir modelleme için motorun mekanik modelinin de oluşturulması gerekmektedir. Elimizde mevcut olan dokümanlar bu konuda son derece sınırlı olduğundan ve bu programda mekanik modelin oluşturulması ile ilgili yeterli bilgiye ulaşamadığımızdan mekanik model oluşturulmamış ve ATP modellemesi yapılamamıştır.

4.1.1 Kilitli Rotor Karakteristiği

Kilitli rotor karakteristiği makine rotoru dönmez iken uç gerilim, akım anma değerine gelene kadar artırılarak Şekil 4-3' de verilen deney şeması kapsamında V_{bm} , I_{bm} ve P_{bm} değerleri ölçülerek çıkarılmıştır. Tablo 4-1' de yapılan kilitli rotor deneyi kapsamında alınan ölçümler yer almaktadır. Alınan bu ölçümler yardımı ile kilitli rotor durumu için eşdeğer devre empedans ve reaktans değeri hesaplanarak gerçek eşdeğer devre parametrelerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Kilitli rotor

deneyi hem ana sargı için hem de yardımcı sargı için ayrı ayrı açık devre işlemi gerçekleştirilerek yapılmaktadır.

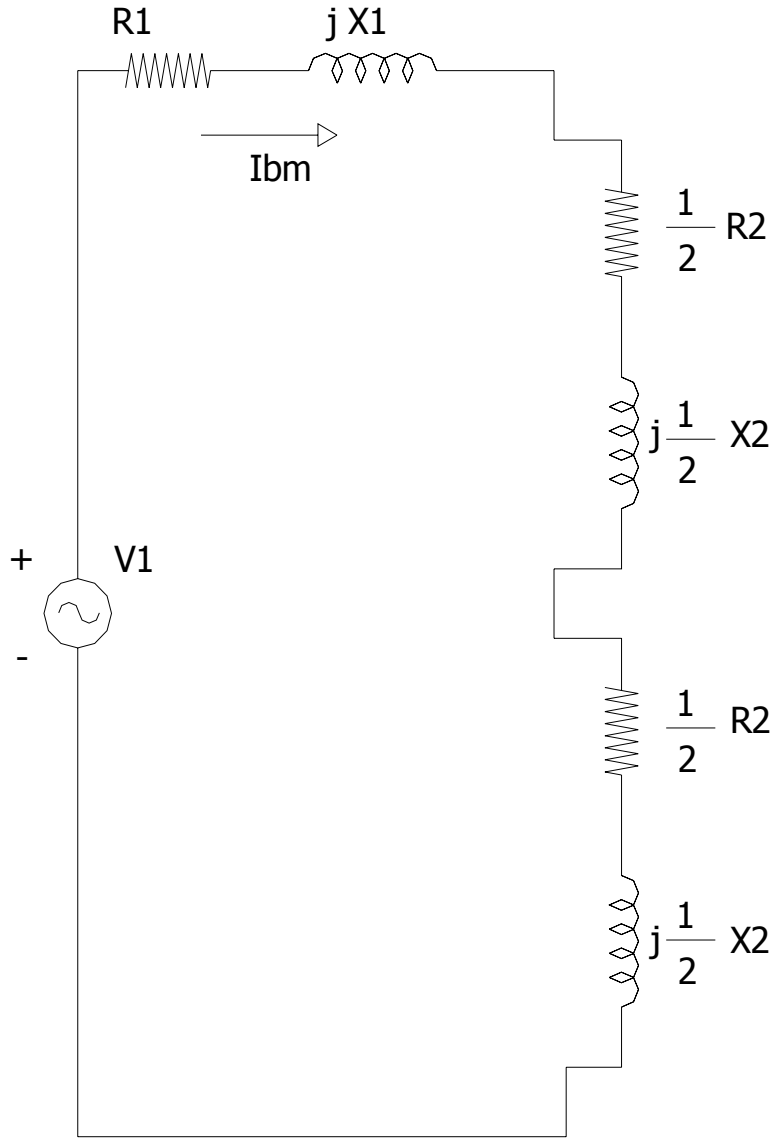


Şekil 4-3: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Deney Bağlantı Şeması

Tablo 4-1: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Durumu Deneyi

Yardımcı Sargı Açık Devre		Ana Sargı Açık Devre	
Vbm	79,2 V.	Vba	50,04 V.
Ibm	2.5 A.	Iba	0,7 A.
Pbm	155 W	Pba	29,4 W
Qbm	119 VAr	Qba	19 VAr
Sbm	195 VA	Sba	35 VA
cosabm	0.81	cosaba	0,86

Bir fazlı asenkron motor dönmez iken kayma 1 olmaktadır ve bu durumda eş değer devre Şekil 4-4' teki gibi oluşmaktadır. Kilitli rotor deneyinde uç gerilimi çok düşüktür bu koşul altında mıknatıslanma reaktansının ihmal edilmesi çok büyük bir hataya neden olmayacağından eşdeğer devrede açık devre olarak gösterilmiştir.

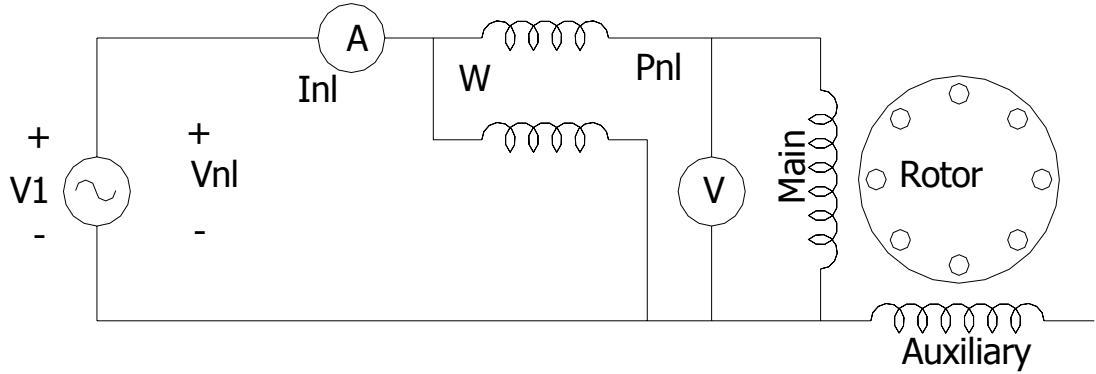


Şekil 4-4: Bir Fazlı Asenkron Motor Kilitli Rotor Durumu Eşdeğer Devresi

4.1.2 Boş Çalışma Karakteristiği

Boş çalışma karakteristiği; makine nominal uç geriliminde beslenmesi durumunda Şekil 4-5' de verilen deney şeması kapsamında V_{nl} , I_{nl} ve P_{nl} ölçümleri yapılarak çıkarılmıştır. Tablo 4-2' de yapılan boş çalışma deneyi kapsamında yapılan ölçümler yer almaktadır. Kilitli rotor durumu deneyinde olduğu gibi boş çalışma durumu için de eşdeğer devre empedans ve reaktans değeri hesaplanarak gerçek eşdeğer devre parametrelerine ulaşmak mümkün olmaktadır.

Sürtünme ve vantilasyon kayıpları mıknatıslanma reaktansı gibi parametreler boş çalışma deneyi ile belirlenmektedir.

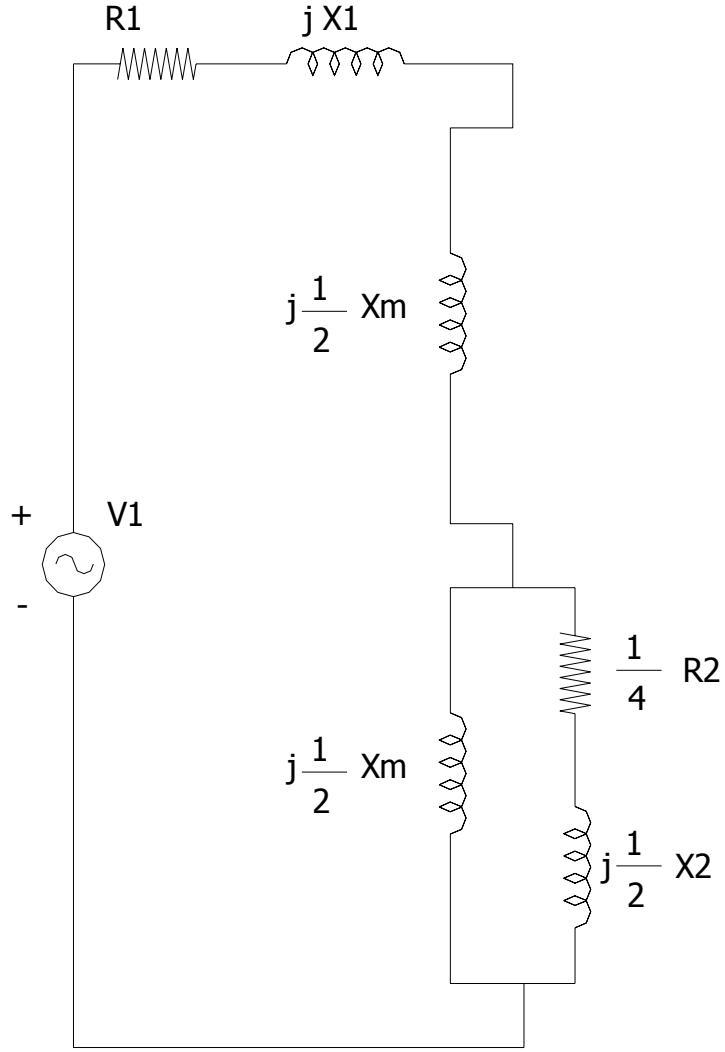


Şekil 4-5: Fazlı Asenkron Motor Boş Çalışma Deney Bağlantı Şeması

Tablo 4-2: Bir Fazlı Asenkron Motor Boşta Çalışma Deneyi

Yardımcı Sargı Açık Devre		Ana Sargı, Yardımcı Sargı Kondansatör Paralel	
Vnlm	220 V.	Vnla	220 V.
Inlm	2.465 A.	Inla	1.385 A.
Pnlm	180 W	Pnla	166 W
Qnlm	511 Var	Qnla	251 Var
Snlm	542 VA	Snla	300 VA
cos ϕ nlm	0.33	cos ϕ anla	0,57

Boş çalışma esnasında makine senkron devrine çok yakın bir hızla dönmekte olduğundan kaymayı 0 (sıfır) kabul etmek çok büyük bir hata olmayacağından eşdeğer devre Şekil 4-6' de verilmiştir.



Şekil 4-6: Bir Fazlı Asenkron Motor Boş Çalışma Eşdeğer Devresi

4.1.3 Eylemsizlik Karakteristiği

IEEE' nin bir fazlı asenkron motor test prosedürüne göre; sürtünme vantilasyon kayıpları motor eylemsizliğine bağlı olarak denklem (4.4) elde edilmektedir [16].

$$P_v = k \cdot J \cdot n \cdot \frac{dn}{dt} \quad (4.4)$$

P_v : sürtünme ve vantilasyon kayıpları

J : eylemsizlik momenti

n : devir sayısı

$\frac{dn}{dt}$: yavaşlama oranı

k : eylemsizlik birimine bağlı olarak verilen katsayı

$k=4,621.10^{-4}$ (J; lb.ft² cinsinden verilmişse)

$k=109,7.10^{-4}$ (J; kgm² cinsinden verilmişse)

Yapılan boş çalışma deneyinde şebekeden çekilen aktif gücü kullanarak sürtünme ve vantilasyon kayıplarının bulabilmekteyiz. İfade (4.4) kullanılarak motorun yavaşlama karakteristiği ile J eylemsizlik momenti ifadesinin belirlenmesi mümkündür. Bu amaçla motor nominal devri kaydedilir ve enerjisi motor nominal devrinde dönüyor iken kesilerek motor durma süresi tespit edilir.

4.1.4 Yüklü Çalışma Karakteristiği

Motor yük değişimini incelemek amacı ile motorumuz bir DC jeneratör-motor ile akuple edilerek yüklenmiştir. Deney düzeneği Şekil 4-7 da verilmiştir. Bilindiği üzere DC jeneratörde üretilen güç ile açısal hızın oranı makine torkunu vermektedir. Bu özellikten yola çıkarak; DC makine vantilasyon kayıpları ve bakır kayıpları DC makine alıcısının çektiği güce eklendiğinde çok yaklaşık bir sonuçla makine mekanik gücüne ulaşılmış olunacağından faydalananak makinenin çeşitli yük değerleri için tork değerlerini elde etmiş olduk. DC makineyi yüklemek için makine bir reosta ile yüklenmiştir.



Şekil 4-7: Yüklü Çalışma Deneyi

$$P_{total} = P_{vandc} + P_{cudc} + P_{yükdc} \quad (4.5)$$

$$T = \frac{P_{total}}{\omega} \quad (4.6)$$

P_{total} : AC makinenin ürettiği toplam mekanik güç (W.)

P_{vandc} : DC makine toplam sürtünme ve vantilsyon kaybı (DC makine boş çalışma deneyi ile tespit edilmektedir.) (W.)

P_{cudc} : DC makine bakır kayıpları(W.)

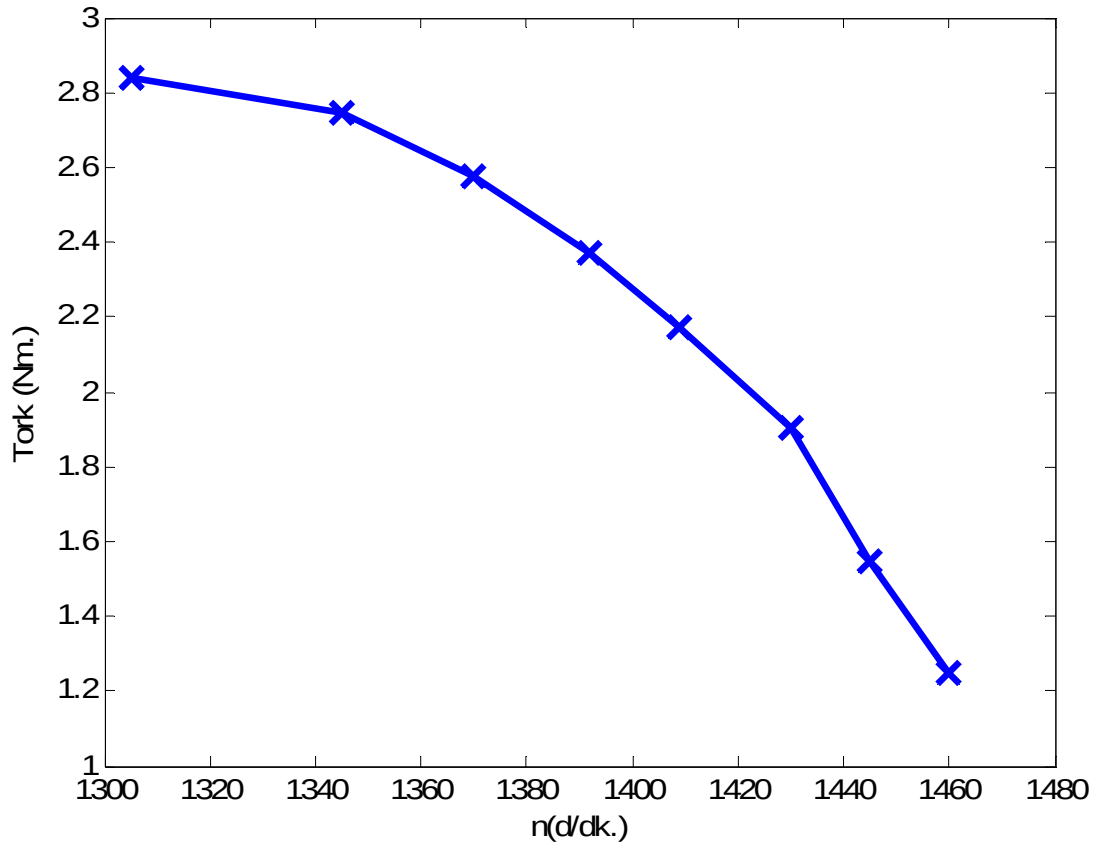
$P_{yükdc}$: DC makine yüke aktarılan güç (W.)

Tablo 4-3' de bazı yükleme değerleri için makinenin hesaplanan tork değerleri verilmiştir. AC makine DC makine üzerinden çeşitli yük değerleri için yüklenmiştir.

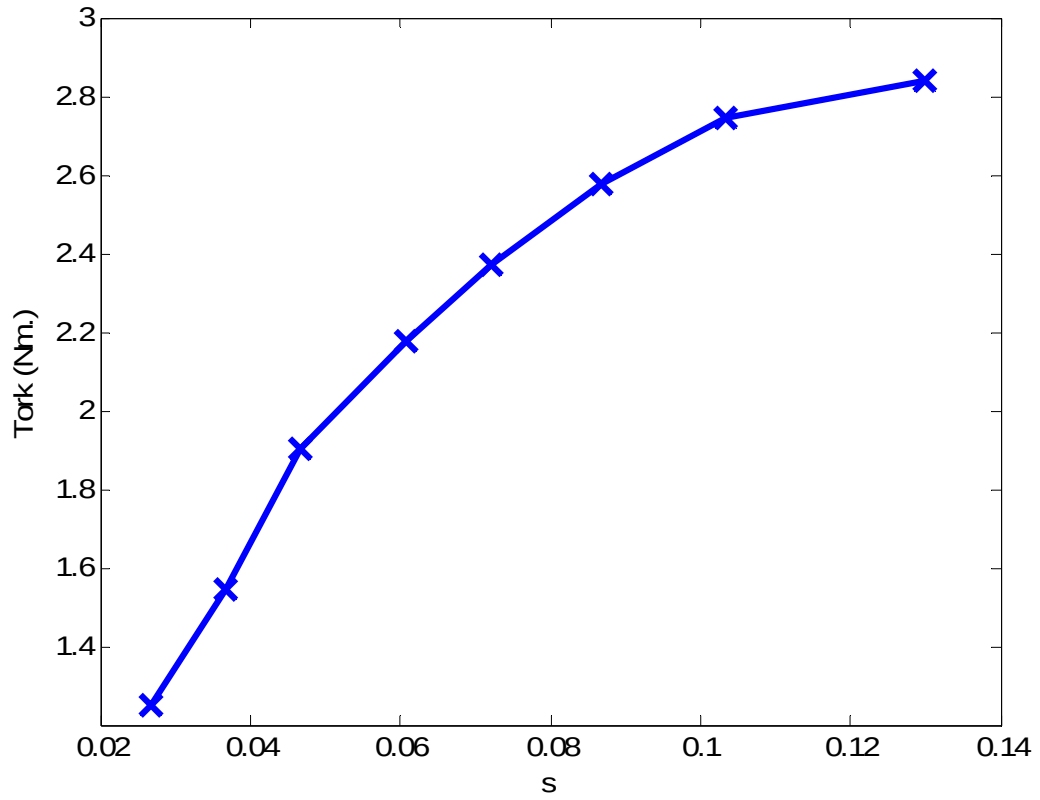
Tablo 4-3: Test Motoru Yüklü Çalışma Deneyi

YÜKLEME DENEYLERİ	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4	Yük 5	Yük 6	Yük 7	Yük 8
V_{dc} (V)	166,2	159,23	152,02	145	139	133	127	121
I_{dc} (A)	0,75	1,02	1,35	1,61	1,81	2,01	2,18	2,27
I_{ach} (A)	1,86	2	2,3	2,5	2,75	3	3,25	3,55
Devir (d/dk)	1460	1445	1430	1409	1392	1370	1345	1305
Tork (Nm)	1,2513	1,5461	1,9017	2,1747	2,3737	2,576	2,7432	2,8413

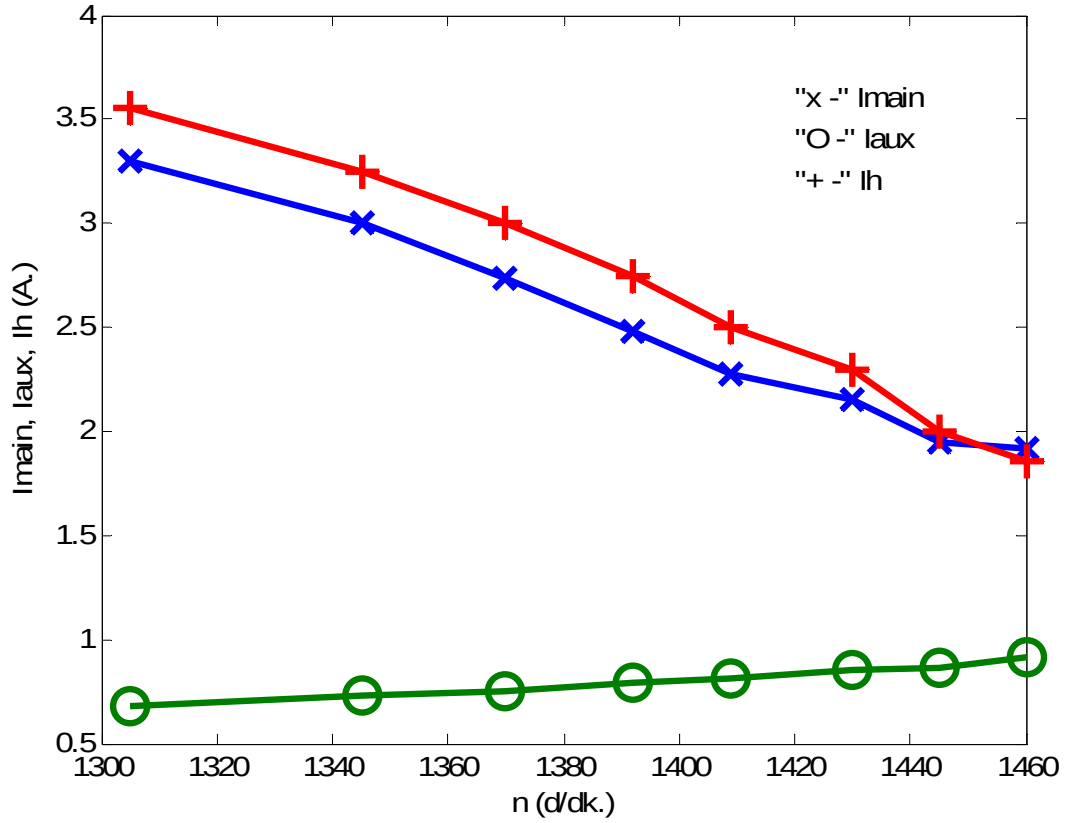
Şekil 4-8, Şekil 4-9 ve Şekil 4-10 da yüklü çalışma deneyi sonuçları grafiklerle gösterilmektedir. Burada motorumuz yüklendikçe torkun ve kaymanın arttığı, devrin ise düştüğü gözlenmektedir. Şekil 4-10 da ise sargı akımları ve hat akımlarının yükleme deneyi ile değişimi verilmiştir.



Şekil 4-8: Yüklü Çalışma Deneyi Tork – Devir Değişim Eğrisi



Şekil 4-9: Yüklü Çalışma Deneyi Tork – Kayma Değişim Eğrisi



Şekil 4-10:Yüklü Çalışma Deneyi Bir Fazlı Asenkron Motor Ana Sargı, Yardımcı Sargı ve Hat Akımı Değişimi

4.2 Sonuç ve Özet

Bu bölümde bir fazlı asenkron motorun özel çalışma durumlarına ve deneylerine değinilerek çalışma eşdeğer şemaları, test bağlantı şemaları ve test akışı özetlenmiştir. Yüklü çalışma karakteristiği çıkartılarak bir fazlı asenkron makinemizin parametre belirleme rutininde kullandığımız tork ve kayma karakteristiği elde edilmiştir.

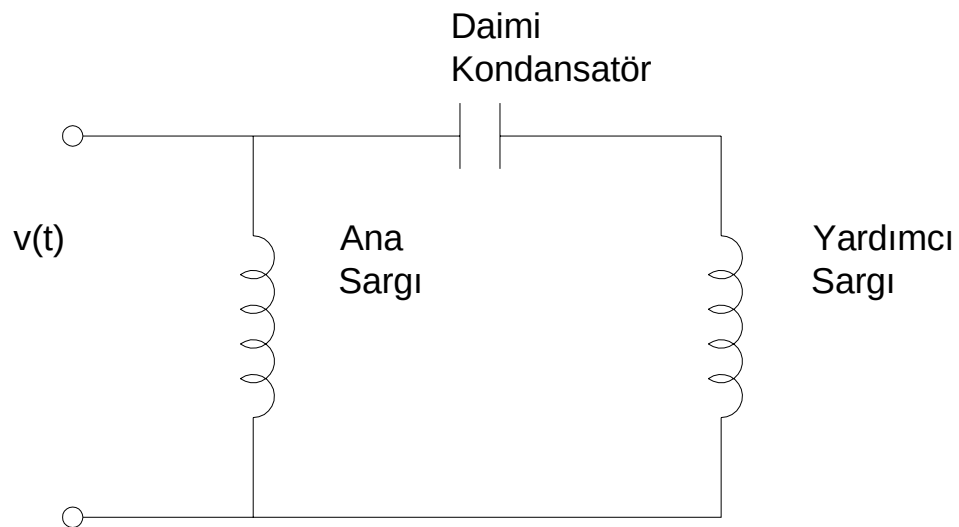
5 MOTOR PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ

İncelememizde yer alan bir fazlı asenkron makine parametrelerinin tespiti için Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Motorlar için Kalıcı Durum, Tümlşik – Parametre Modeli kullanılmıştır. Bu model esas olarak makinenin genel halkalanma akıları ifadesine dayanmaktadır [2].

Bu model sayesinde motorun performans bilgilerini sunan tork, kayıplar ve verim gibi parametrelerinin, motora uygulanan gerilim, motor devri ve sargı sıcaklıklarının bir fonksiyonu olarak ifade edilmesi ve değışimlerinin saptanması mümkün olmaktadır. Model bir fazlı motora ait ana ve yardımcı sargı eşdeğerini içerdğı gibi çekirdek ve vantilasyon kayıplarını da hesaba katmaktadır.

Burada motor parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Parametrelerin elde edilmesi ile hesaplanan tork değeri ile deneysel olarak saptanan tork değeri karşılaştırılması mümkün olacaktır.

Şekil 5-1’ de daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun sargı bağlantı şeması yer almaktadır.



Şekil 5-1: Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motor Sargı Bağlantı Şeması

5.1 Modelin Özellikleri

Kullandığımız modelde şu kabuller yapılmıştır;

- Rotor ve stator hava boşluğunda sadece temel harmonikte salınan halkalanma akısından söz edilmektedir.

- Manyetik doyum, sadece modelde, makine endüktanslarının hava boşluğu bileşenini azaltmak için kullanılan, doyum faktörü için hesaba katılmıştır.

- Çekirdek kayıpları, hava boşluğundaki dalgalanma akısı ile birbirine manyetik olarak bağlı kabul edilen bir direnç ile temsil edilecektir.

- Kaçak yük kayıpları deneysel olarak düzeltme faktörü ile hesaba katılacaktır.

- Birçok çalışma durumunda motorun düşük kayma da çalışması ve rotor akımlarının değişmesine karşılık manyetik difüzyon etkisindeki değişimin çok az olmasından dolayı manyetik difüzyon (derin rotor çubuklarındaki) ihmal edilecektir. Bu varsayım sadece küçük güçlü motorlar için geçerlidir.

- Sıcaklık etkisi, direnç-sıcaklık karakteristiğine göre değişmekte olan stator sargı ve rotor çubuk dirençleri ile modellenenecektir.

- Sürtünme ve vantilasyon kayıpları motorun hesaplanan elektromekanik torkuna deneysel olarak belirlenen bir katsayı ile dahil edilecektir.

Bir fazlı motorların daimi kondansatörlü tipleri aslında iki fazlı motorlar olduğundan, iki fazlı stator ve rotor sargısına sahip olarak modellenmektedirler.

Bunun dışında stator ve rotor sargılarının manyetik eksenlerinin dik olması nedeni ile sargıların eşdeğerlerinin birbirinden etkilenmemesi modelin en faydalı özelliğidir. Bazı sargı oluklarının her iki sargının da kenarlarını içermesinden dolayı çok küçük değerlerde kaçak akılar oluşsa da bunlar hemen hemen tüm çalışmalarda ihmal edilmektedir.

Metot kapsamında çekirdek kayıplarının hesaba katıldığı ve ihmal edildiği iki farklı uygulama yapılabilmektedir.

5.2 Çekirdek Kayıplarının İhmal Edildiği Eşdeğer

Hesaplamalardaki matematiksel karmaşıklığı önlemek amacı ile çekirdek kayıpları ihmal edilerek eşdeğer oluşturulabilmektedir. Bu durumda bir fazlı asenkron makinenin birbirine manyetik bağlı 4 sargısının kaçak akıları ve sargı akımları arasındaki ilişki aşağıda verildiği gibi olmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \lambda_{main} \\ \lambda_{aux} \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{main} & 0 & L_{mainR} \cdot \cos(\theta) & L_{mainR} \cdot \sin(\theta) \\ 0 & L_{aux} & L_{auxR} \cdot \sin(\theta) & L_{auxR} \cdot \cos(\theta) \\ L_{mainR} \cdot \cos(\theta) & L_{auxR} \cdot \sin(\theta) & L_R & 0 \\ L_{mainR} \cdot \sin(\theta) & L_{auxR} \cdot \cos(\theta) & 0 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{main} \\ i_{aux} \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Motor ana sargısının manyetik eksenini ile yardımcı sargı manyetik eksenini rotor dönüş yönüne göre ileri ya da geri pozisyonda olabilmektedir. Formüllerde geçen $\pm$ yada $\mp$ işaretlerinde, tüm formüllerde üstteki işaret kullanıldığında motorun ileri yönde döndüğü, alttaki işaret kullanıldığında motorun geri yönde döndüğü kabul edilmiş olacaktır.

Bunu dışında ana ve yardımcı sargılar farklı kesit, spir sayılarına sahip olduklarından ve dağıtılmış sargılardan oluştuğundan sargılar farklı öz ve karşılıklı endüktanslara sahiptirler.

Rotorun sargılı olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle olduğu varsayılan bu sargılar aynı reaktans, direnç ve karşılıklı endüktans değerlerine sahiptirler.

Makine gerilimleri;

$$v_{main} = R_{main} \cdot i_{main} + \frac{d\lambda_{main}}{dt} \quad (5.2)$$

$$v_{aux} = R_{aux} \cdot i_{aux} + \frac{d\lambda_{aux}}{dt} \quad (5.3)$$

$$v_1 = 0 = R_R \cdot i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (5.4)$$

$$v_2 = 0 = R_R \cdot i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} \quad (5.5)$$

Formül (5.4) ve (5.5) te rotor sargısı kısa devre yapıda (sincap kafesli) olduğundan, gerilim değerleri sıfır olarak yazılmıştır.

Kalıcı çalışma durum için stator gerilim ve akımları aşağıdaki gibi yazılabilmektedir;

$$v_{main} = \sqrt{2} \cdot V_{main} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{main}) = \text{Re}[\sqrt{2} \cdot \hat{V}_{main} \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}] \quad (5.6)$$

$$v_{aux} = \sqrt{2} \cdot V_{aux} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{aux}) = \text{Re}[\sqrt{2} \cdot \hat{V}_{aux} \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}] \quad (5.7)$$

$$i_{main} = \sqrt{2} \cdot I_{main} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{main}) = \text{Re}[\sqrt{2} \cdot \hat{I}_{main} \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}] \quad (5.8)$$

$$i_{aux} = \sqrt{2} \cdot I_{aux} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{aux}) = \text{Re}[\sqrt{2} \cdot \hat{I}_{aux} \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}] \quad (5.9)$$

rotor elektriksel açısı;

$$\theta = P \cdot \omega_m \cdot t \quad (5.10)$$

Denklem (5.8) ve (5.10), denklem (5.1) de yerine konarak;

$$\begin{aligned} \lambda_1 = L_R \cdot i_1 + \text{Re}[(\frac{L_{mainR} \cdot \hat{I}_{main}}{\sqrt{2}} \mp \frac{L_{auxR} \cdot \hat{I}_{aux}}{\sqrt{2}}) \cdot e^{j \cdot s \cdot \omega \cdot t} \\ + \text{Re}[(\frac{L_{mainR} \cdot \hat{I}_{main}}{\sqrt{2}} \pm \frac{L_{auxR} \cdot \hat{I}_{aux}}{\sqrt{2}}) \cdot e^{j \cdot (2-s) \cdot \omega \cdot t}] \end{aligned} \quad (5.11)$$

Elde edilmektedir.

Burada s rotor kaymasıdır ve aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$s = \frac{\omega - P \cdot \omega_m}{\omega} \quad (5.12)$$

Denklem (5.11) de verilen i_1 akımı denklem (5.13) deki gibi yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned}
i_1 &= \sqrt{2}.I_1^+ .\cos(s.\omega.t + \phi_1^+) + \sqrt{2}.I_1^- .\cos((2-s).\omega.t + \phi_1^-) \\
&= \text{Re}[\sqrt{2}.I_1^+ .e^{j.s.\omega.t}] + \text{Re}[\sqrt{2}.I_1^- .e^{j.(2-s).\omega.t}]
\end{aligned} \tag{5.13}$$

I_1^+ ve I_1^- (5.13) ve (5.11) ifadelerinde faydalanarak bulunabilir;

$$I_1^+ = \frac{-j.s.\omega.[L_{mainR}.\hat{I}_{main} \mp j.L_{auxR}.\hat{I}_{aux}]}{2(R_R + j.s.\omega.L_R)} \tag{5.14}$$

$$I_1^- = \frac{-j.(2-s).\omega.[L_{mainR}.\hat{I}_{main} \pm j.L_{auxR}.\hat{I}_{aux}]}{2(R_R + j.(2-s).\omega.L_R)} \tag{5.15}$$

Yukarıdaki işlemlere benzer şekilde i_2 değeri denklem (5.16) da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
i_2 &= \sqrt{2}.I_2^+ .\cos(s.\omega.t + \phi_2^+) + \sqrt{2}.I_2^- .\cos((2-s).\omega.t + \phi_2^-) \\
&= \text{Re}[\sqrt{2}.I_2^+ .e^{j.s.\omega.t}] + \text{Re}[\sqrt{2}.I_2^- .e^{j.(2-s).\omega.t}]
\end{aligned} \tag{5.16}$$

ve I_2^+ ile I_2^- de aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$I_2^+ = \pm j.I_1^+ \tag{5.17}$$

$$I_2^- = \mp j.I_1^- \tag{5.18}$$

Daha önceden tanımlanan I_1^+ ve I_1^- ifadelerinden faydalanarak (5.14) ve (5.15) ifadeleri tekrar yazıldığında;

$$I_1^+ = \mp j.I_2^+ = -j.\hat{K}^+ .[L_{mainR}.\hat{I}_{main} \mp j.L_{auxR}.\hat{I}_{aux}] \tag{5.19}$$

ve

$$I_1^- = \pm j.I_2^- = -j.\hat{K}^- .[L_{mainR}.\hat{I}_{main} \pm j.L_{auxR}.\hat{I}_{aux}] \tag{5.20}$$

İfadeleri elde edilmektedir. Burada K^+ ve K^- denklem (5.21) ve (5.22) de gösterilmektedir.

$$K^+ = \frac{s.\omega}{2(R_R + j.s.\omega.L_R)} \tag{5.21}$$

$$K^- = \frac{(2-s).\omega}{2(R_R + j.(2-s).\omega.L_R)} \quad (5.22)$$

Bu noktada (5.19) ve (5.20) denklemleri denklem (5.13) ve (5.16) da yerine konarak rotor akımlarını ana sargı ve yardımcı sargı akımları cinsinden ifade edilmiştir. Böylece kaçak halkalanma akıları – akım ilişkisini rotor akımlarından bağımsız olarak ifade etmek mümkün olmaktadır. Örneğin; uygun trigonometrik tanımları kullanarak λ_{main} denklem (5.23)’de ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \lambda_{main} = & L_{main} \cdot \hat{i}_{main} + \frac{L_{mainR} \cdot I_1^+}{\sqrt{2}} [\cos(\omega.t + \phi_1^+) + \cos((2.s-1)\omega.t + \phi_1^+)] \\ & + \frac{L_{mainR} \cdot I_1^-}{\sqrt{2}} [\cos((3-2.s)\omega.t + \phi_1^-) + \cos(\omega.t + \phi_1^-)] \\ & - \frac{L_{mainR} \cdot I_2^+}{\sqrt{2}} [\cos(\omega.t + \phi_2^+) - \sin((2.s-1)\omega.t + \phi_2^+)] \\ & - \frac{L_{mainR} \cdot I_2^-}{\sqrt{2}} [\cos((3-2.s)\omega.t + \phi_2^-) - \sin(\omega.t + \phi_2^-)] \end{aligned} \quad (5.23)$$

Denklem (5.19) ve (5.20) yi kullanarak uygun sadeleştirmeler ile $((2s-1)\omega$ ve $(3-2.s)\omega$ frekans bileşenlerinin ihmal edilmesi ile) λ_{main} ;

$$\lambda_{main} = \text{Re}[\hat{\lambda}_{main} \cdot e^{j.\omega.t}] \quad (5.24)$$

ve

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{main} = & L_{main} \cdot \hat{I}_{main} + L_{mainR} \cdot (I_1^+ + I_1^-) \\ = & [L_{main} - j.L_{mainR}^2 (\hat{K}^+ + \hat{K}^-)] \cdot \hat{I}_{main} \mp L_{mainR} \cdot L_{auxR} \cdot (\hat{K}^+ - \hat{K}^-) \cdot \hat{I}_{aux} \end{aligned} \quad (5.25)$$

λ_{main} nin hesabına paralel yapılan hesaplarla da λ_{aux} ;

$$\lambda_{aux} = \text{Re}[\hat{\lambda}_{aux} \cdot e^{j.\omega.t}] \quad (5.26)$$

ve

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{aux} = & L_{aux} \cdot \hat{I}_{aux} - L_{auxR} \cdot (I_1^+ - I_1^-) \\ = & [L_{aux} - j.L_{auxR}^2 (\hat{K}^+ + \hat{K}^-)] \cdot \hat{I}_{aux} \pm L_{mainR} \cdot L_{auxR} \cdot (\hat{K}^+ - \hat{K}^-) \cdot \hat{I}_{main} \end{aligned} \quad (5.27)$$

Şeklinde yazılabilmektedir.

Bir fazlı asenkron motor da her iki sargıda aynı gerilim kaynağına bağlıdır ve zamana bağlı gerilim ifadesi;

$$v_{main}(t) = v_{aux}(t) = v(t) = \sqrt{2}.V_0.\cos(\omega.t) = \text{Re}[\sqrt{2}.V_0.e^{j.\omega.t}] \quad (5.28)$$

Burada V_0 kaynak geriliminin etkin değeridir.

Genelde ana sargı bu gerilim kaynağına doğrudan bağlanırken, yardımcı sargı bir empedans üzerinden seri bağlanmaktadır. Bu daimi kondansatörlü motorda yardımcı sargıya seri bir kondansatördür.

Genellemeyi bozmamak amaçlı hem ana sargıya hem de yardımcı sargıya seri iki empedanstan bahsedilecektir $\hat{Z}_{main}$ ve $\hat{Z}_{aux}$. Böylece sargı terminal gerilimleri aşağıdaki şekilde belirlenebilecektir.

$$\hat{V}_{main} = V_0 - \hat{Z}_{main}.\hat{I}_{main} = R_{main}.\hat{I}_{main} + j.\omega.\hat{\lambda}_{main} \quad (5.29)$$

ve

$$\hat{V}_{aux} = V_0 - \hat{Z}_{aux}.\hat{I}_{aux} = R_{aux}.\hat{I}_{aux} + j.\omega.\hat{\lambda}_{aux} \quad (5.30)$$

Denklem (5.29) ve (5.30) de denklem (5.25) ve (5.27) yerine konacak olursa V_0 kaynak gerilimi ifadesi;

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{main} + R_{main} + j.\omega.(L_{main} - j.L_{mainR}^2(\hat{K}^+ + \hat{K}^-)) \\ \pm j.\omega.L_{mainR}.L_{auxR}(\hat{K}^+ - \hat{K}^-) \\ \mp j.\omega.L_{mainR}.L_{auxR}(\hat{K}^+ - \hat{K}^-) \\ \hat{Z}_{aux} + R_{aux} + j.\omega.(L_{aux} - j.L_{auxR}^2(\hat{K}^+ + \hat{K}^-)) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{main} \\ I_{aux} \end{bmatrix} \quad (5.31)$$

Elektromekanik tork T_{elec} co-enerji ifadesinden hesaplanabilir. Denklem (5.1) deki halkalanma akısı/akım ilişkisinin co-enerji ifadesi [17];

$$\begin{aligned}
W' = & \frac{1}{2} L_{mainR} \cdot i_{main}^2 + \frac{1}{2} L_{auxR} \cdot i_{aux}^2 + \frac{1}{2} L_R \cdot (i_1^2 + i_2^2) \\
& + i_{main} \cdot L_{mainR} \cdot [i_1 \cdot \cos(\theta) \pm i_2 \cdot \sin(\theta)] \\
& + i_{aux} \cdot L_{auxR} \cdot [\mp i_1 \cdot \sin(\theta) + i_2 \cdot \cos(\theta)]
\end{aligned} \tag{5.32}$$

Ve tork aşağıdaki şekilde bulunabilmektedir.

$$\begin{aligned}
T_{elec} = & \frac{\partial W'}{\partial \theta_m} = \frac{\partial W'}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \theta_m} \\
= & P \cdot [-i_{main} \cdot L_{mainR} \cdot (i_1 \cdot \sin(\theta) \mp i_2 \cdot \cos(\theta)) + i_{aux} \cdot L_{auxR} \cdot (\mp i_1 \cos(\theta) - i_2 \cdot \sin(\theta))]
\end{aligned} \tag{5.33}$$

Bu ifadelerden faydalanarak zamana göre ortalama tork;

$$\begin{aligned}
\langle T_{elec} \rangle = & \text{Re} \left[P \left\{ (\hat{K}^{+*} - \hat{K}^{-*}) \cdot (L_{mainR}^2 \cdot |\hat{I}_{main}|^2 + L_{auxR}^2 \cdot |\hat{I}_{aux}|^2) \right. \right. \\
& \left. \left. \mp j \cdot (\hat{K}^{+*} + \hat{K}^{-*}) \cdot L_{mainR} \cdot L_{auxR} \cdot (\hat{I}_{main}^* \cdot \hat{I}_{aux} - \hat{I}_{main} \cdot \hat{I}_{aux}^*) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{5.34}$$

Şafttaki çıkış torku ise;

$$T_{out} = T_{elec} - T_{rot} \tag{5.35}$$

Şaft çıkış gücü;

$$P_{out} = \omega_m \cdot T_{out} \tag{5.36}$$

Motor elektriksel giriş gücü;

$$P_{in} = \text{Re}[V_0 \cdot (\hat{I}_{main}^* + \hat{I}_{aux}^*)] \tag{5.37}$$

Motorun verimi;

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{5.38}$$

Bunların dışında farklı kayıp bileşenler de;

Ana Sargı

$$P_{main} = R_{main} \cdot |\hat{I}_{main}|^2 \quad (5.39)$$

Yardımcı Sargı

$$P_{aux} = R_{aux} \cdot |\hat{I}_{aux}|^2 \quad (5.40)$$

Rotor

$$P_{rotor} = R_R (|\hat{I}_1^+|^2 + |\hat{I}_1^-|^2 + |\hat{I}_2^+|^2 + |\hat{I}_2^-|^2) \quad (5.41)$$

Ana Sargı Dış Empedansı Kaybı

$$P_{Z_{main}} = |I_{main}|^2 \cdot \text{Re}[Z_{main}] \quad (5.42)$$

Yardımcı Sargı Dış Empedansı Kaybı

$$P_{Z_{aux}} = |I_{aux}|^2 \cdot \text{Re}[Z_{aux}] \quad (5.43)$$

5.3 Çekirdek Kayıplarının İhmal Edilmediği Eşdeğer

Hava boşluğundaki halkalanma akısı ile çekirdek kayıplarının stator manyetik nüvesindeki halkalanma yoğunluğunun genliği ile birlikte artması stator halkalanma akısını etkilemektedir. Bu genellikle transformatör ve indüksiyon motorlarında mıknatıslanma reaktansına paralel bağlı nonlinear bir dirençle omik kayıp olarak sembolize edilmektedir. Hava boşluğu halkalanma akısı yoğunluğu sabit uç gerilimi altında neredeyse hiç değişmemektedir. Bu durumda halkalanma akısından kaynaklanan çekirdek kayıplarının karesel değişime sahip olmaması nedeni ile bu kabul ciddi bir hata teşkil etmemektedir.

Bu kayıplar aşağıda ifadeye ana ve yardımcı sargının halkalanma yoluna eklenmiş iki yeni sargı şeklinde ifade edilmektedir.

İfade (5.1) deki gösterime iki yeni sargı eklenerek;

$$\begin{bmatrix} \lambda_{main} \\ \lambda_{aux} \\ \lambda_M \\ \lambda_A \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{main} & 0 & L_{main_{ag}} \\ 0 & L_{aux} & 0 \\ L_{main_{ag}} & 0 & L_M \\ 0 & L_{aux_{ag}} & 0 \\ L_{mainR} \cdot \cos(\theta) & \mp L_{auxR} \cdot \sin(\theta) & L_{mainR} \cdot \cos(\theta) \\ \pm L_{mainR} \cdot \sin(\theta) & L_{auxR} \cdot \cos(\theta) & \pm L_{mainR} \cdot \sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ L_{aux_{ag}} \\ 0 \\ L_A \\ \mp L_{auxR} \cdot \sin(\theta) \\ L_{auxR} \cdot \cos(\theta) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{mainR} \cdot \cos(\theta) & \pm L_{mainR} \cdot \sin(\theta) \\ \mp L_{auxR} \cdot \sin(\theta) & L_{auxR} \cdot \cos(\theta) \\ L_{mainR} \cdot \cos(\theta) & \pm L_{mainR} \cdot \sin(\theta) \\ \mp L_{auxR} \cdot \sin(\theta) & L_{auxR} \cdot \cos(\theta) \\ L_R & 0 \\ 0 & L_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{main} \\ i_{aux} \\ i_M \\ i_A \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (5.44)$$

Her bir çekirdek kaybı sargısı ile bunlara karşılık gelen stator sargıları arasındaki karşılıklı endüktans, stator sargısının öz endüktansının hava boşluğu bileşenine eşittir. Her iki çekirdek kayıp sargısı ile bu sargılara karşılık gelen stator sargısı arasındaki bağlantıyı hesaba katmak için, öz endüktanslarına küçük bir kaçak bileşen eklenerek;

$$L_M = L_{main_{ag}} + L_{M_l} \quad (5.45)$$

$$L_A = L_{aux_{ag}} + L_{A_l} \quad (5.46)$$

Sıfır kaçak, çekirdek kayıp sargısı ile buna karşılık gelen stator sargısı arasında mükemmel bir bağlantı anlamına gelmektedir. Bu çekirdek kayıp sargısının öz endüktansının statorla karşılıklı endüktansına eşit olduğu anlamına gelir.

Her iki çekirdek kayıp sargısı arasındaki bağlantı katsayısı, karşılıklı stator ve rotor sargıları için pozitif olmalıdır. Böylece meydana gelen model fiziksel olarak mantıklı olmaktadır. Bununla birlikte; rotor sargıları arası bağlantı aşağıdaki gibidir;

$$L_R \cdot L_M \geq L_{mainR}^2 \quad (5.47)$$

$$L_R . L_A \geq L_{auxR}^2 \quad (5.48)$$

İfade (5.45) ve (5.46) kullanılarak, bu denklemler, denklem (5.49) ve (5.50) da farklı bir şekilde yazılmıştır;

$$L_{M_l} \geq \frac{L_{mainR}^2}{L_R} - L_{main_{ag}} \quad (5.49)$$

$$L_{A_l} \geq \frac{L_{auxR}^2}{L_R} - L_{aux_{ag}} \quad (5.50)$$

Kural olarak burada verilen modelde ana eksen çekirdek kaybı sargısı kaçak endüktansı denklem (5.51) ye göre belirlenmektedir.

$$L_{M_l} = 1.05. \left(\frac{L_{mainR}^2}{L_R} - L_{main_{ag}} \right) \quad (5.51)$$

Eğer bu hesaplama negatif değer alırsa L_{M_l} sıfır olarak kabul edilir.

Benzer şekilde;

$$L_{A_l} = 1.05. \left(\frac{L_{auxR}^2}{L_R} - L_{aux_{ag}} \right) \quad (5.52)$$

Yine L_{A_l} değeri de negatif değer alırsa sıfır olarak kabul edilir.

Buna ek olarak halkalanma akısı/akım ilişkisi tam gösterimi denklem (5.2) ve (5.5) de yer alan iki ek gerilim denklemi içermek zorundadır.

$$v_M = 0 = R_M . i_M + \frac{d\lambda_M}{dt} \quad (5.53)$$

$$v_A = 0 = R_A . i_A + \frac{d\lambda_A}{dt} \quad (5.54)$$

Bu noktada, model önceki bölümde kullanılan modelle oldukça benzer şekil almaktadır. Eklenen iki sargı cebirsel hesaplamaları oldukça karmaşık hale getirirse de model temel olarak önceki bölümdeki hesaplamadan farklı değildir. Sonuç olarak detaylı olarak farklılıkları incelemek yerine en belirgin farklılıklardan bahsedilmiştir.

Çekirdek kaybı sargısı akımı ve halkalanma akısı etkin kompleks genlik olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$i_M = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_M \cdot e^{j\omega t}] \quad (5.55)$$

$$i_A = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_A \cdot e^{j\omega t}] \quad (5.56)$$

$$\lambda_M = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{\lambda}_M \cdot e^{j\omega t}] \quad (5.57)$$

$$\lambda_A = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{\lambda}_A \cdot e^{j\omega t}] \quad (5.58)$$

i_1 ve i_2 akımları da denklem (5.59) ve (5.60) formunda gösterilebilirler.

$$i_1 = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_1^+ \cdot e^{j.s.\omega t}] + \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_1^- \cdot e^{j.(2-s).\omega t}] \quad (5.59)$$

ve

$$i_2 = \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_2^+ \cdot e^{j.s.\omega t}] + \text{Re}[\sqrt{2}\hat{I}_2^- \cdot e^{j.(2-s).\omega t}] \quad (5.60)$$

Burada;

$$I_1^+ = \mp j.I_2^+ = -j.\hat{K}^+.[L_{mainR} \cdot (\hat{I}_{main} + \hat{I}_M) \mp j.L_{auxR} \cdot (\hat{I}_{aux} + \hat{I}_A)] \quad (5.61)$$

ve

$$I_1^- = \pm j.I_2^- = -j.\hat{K}^-.[L_{mainR} \cdot (\hat{I}_{main} + \hat{I}_M) \pm j.L_{auxR} \cdot (\hat{I}_{aux} + \hat{I}_A)] \quad (5.62)$$

K^+ ve K^- daha önce denklem (5.21) ve (5.22) verilmiştir.

Aşağıdaki matris denklem takımını çözerek de $\hat{I}_{main}, \hat{I}_{aux}, \hat{I}_M, \hat{I}_A$ elde edilecektir.

$$[\hat{V}] = ([R] + [\hat{Z}] + j.\omega.[L]).[\hat{I}] \quad (5.63)$$

Burada V ve I vektörü;

$$[\hat{V}] = \begin{bmatrix} V_0 \\ -V_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

$$[\hat{I}] = \begin{bmatrix} \hat{I}_{main} \\ \hat{I}_{aux} \\ \hat{I}_M \\ \hat{I}_A \end{bmatrix} \quad (5.65)$$

Şeklinde R, Z ve L matrisleri ise;

$$[R] = \begin{bmatrix} R_{main} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{aux} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_A \end{bmatrix} \quad (5.66)$$

$$[\hat{Z}] = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{main} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{Z}_{aux} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_A \end{bmatrix} \quad (5.67)$$

$$[\hat{L}] = \begin{bmatrix} L_{main} - j.L_{mainR}^2.\hat{K}_S & \mp L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D \\ \pm L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D & L_{aux} - j.L_{auxR}^2.\hat{K}_S \\ L_{main_{ag}} - j.L_{mainR}^2.\hat{K}_S & \mp L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D \\ \pm L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D & L_{aux_{ag}} - j.L_{auxR}^2.\hat{K}_S \end{bmatrix} \quad (5.68)$$

$$\begin{bmatrix} L_{main_{ag}} - j.L_{mainR}^2.\hat{K}_S & \mp L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D \\ \pm L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D & L_{aux_{ag}} - j.L_{auxR}^2.\hat{K}_S \\ L_M - j.L_{mainR}^2.\hat{K}_S & \mp L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D \\ \pm L_{mainR}.L_{auxR}.\hat{K}_D & L_A - j.L_{auxR}^2.\hat{K}_S \end{bmatrix}$$

Şeklinde R, Z ve L matrisleri ise;

L matrisinde yer alan $\hat{K}_s$ ve $\hat{K}_D$ ise;

$$\hat{K}_s = \hat{K}^+ + \hat{K}^- \quad (5.69)$$

$$\hat{K}_D = \hat{K}^+ - \hat{K}^- \quad (5.70)$$

Şeklinde belirlenebilmektedir.

Öncelikle denklem (5.63) ün çözümünden sargı akımları bulunur ardından ortalama elektromanyetik tork denklem (5.71) de olduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \langle T_{elec} \rangle = \text{Re}[P \{ & (\hat{K}^{+*} - \hat{K}^{-*}) \cdot (L_{mainR}^2 \cdot |\hat{I}_{main} + \hat{I}_M|^2 + L_{auxR}^2 \cdot |\hat{I}_{aux} + \hat{I}_A|^2) \\ & \mp j \cdot L_{mainR} \cdot L_{auxR} \cdot (\hat{K}^{+*} + \hat{K}^{-*}) \cdot ((\hat{I}_{main} + \hat{I}_M)^* \cdot (\hat{I}_{aux} + \hat{I}_A) - (\hat{I}_{main} + \hat{I}_M) \cdot (\hat{I}_{aux} + \hat{I}_A)^*) \}] \end{aligned} \quad (5.71)$$

Bu analiz sonrası denklem (5.35) ve (5.43) ü kullanarak tork, güç kayıplar ve verim hesaplanabilmektedir.

5.4 Parametrelerin Belirlenmesi

Önceki bölümlerde geliştirilen modellerde yer alan parametrelerin belirlenmesi için farklı birçok yaklaşım uygulanabilmektedir. Eğer motorun hiçbir test sonucu elde mevcut değilse; ilk olarak manyetik ve elektriksel analiz uygulanmaktadır. Mümkün olduğunca yakın sonuç elde edebilmek için oldukça karışık ve ikinci derece etki içeren bir analiz gerektirmesine rağmen, belirlenen parametreler motor performansının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bir diğer seçenek ise parametrelerin, mevcut motorun ölçülen performansı ile belirlenebilmesidir. Bazı parametreler direk olarak ölçülebilir. (ana ve yardımcı sargı dirençleri, ana ve yardımcı sargıdaki dış empedans ve uygulanan voltaj)

Yukarıda bahsedilen parametreler dışında kalan parametreler ise önceki bölümde verilen non lineer model denklem takımının çözümü ile saptanabilir.

5.5 Parametre Belirleme Tekniği

Kesin ve tamamen doğru bir sonuç vermemesine rağmen, gerekli motor parametrelerinin belirlenmesinde aşağıda verilenler başarılı şekilde kullanılmaktadır.

Adım 1:

Sargı dirençleri 25°C de ölçülmedi ise;

$$R(T) = R(25^0C).(1 + \alpha.(T - 25)) \quad (5.72)$$

Burada $R(T)$ T °C deki sargı direncidir. Bakır iletkenli sargılar için; $\alpha = 3.85 \times 10^{-3}$ dir.

Adım 2:

Sargı gerilimleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\hat{V}_{main} = V_0 - \hat{Z}_{main}.\hat{I}_{main} \quad (5.73)$$

$$\hat{V}_{aux} = V_0 - \hat{Z}_{aux}.\hat{I}_{aux} \quad (5.74)$$

Çekirdek kayıplarının rotor sargı eksenlerinde iki eşit parçaya bölünmesi ve stator direnç ve kaçak reaktansları üzerinde düşen geriliminden nispeten küçük olması ışığında çekirdek kaybına tekabül eden direnç aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$R_M = \frac{2 \cdot |V_{main}|^2}{P_{core}} \quad (5.75)$$

$$R_A = \frac{2 \cdot |V_{aux}|^2}{P_{core}} \quad (5.76)$$

Adım 3:

Sıradaki işlemde aşağıda verilen parametreler için, parametre tahmin yöntemi ile en uygun sonucu veren parametre takımının seçilmesidir.

- $L_{main_{ag}}$
- $L_{aux_{ag}}$
- R_R
- L_R
- L_{main}
- L_{aux}

Her tahmin adımında aşağıdaki oran eşitliği bu parametreler için sağlandıktan sonra diğer parametreler belirlenir.

$$\frac{L_{mainR}}{L_{auxR}} = \frac{k_{\omega_{main}} \cdot N_{main}}{k_{\omega_{aux}} \cdot N_{aux}} \quad (5.77)$$

Bu denklemden de görüleceği gibi L_{mainR} ve L_{auxR} gelişi güzel seçilmesine rağmen ana ve yardımcı sargı sarım sayıları arasındaki oran kesin olarak bellidir. Bu endüktansların değerleri için şu düzenleme yapılabilir;

$$L_{mainR} = \frac{L_{main_{ag}}}{k_{\omega_{main}} \cdot N_{main}} \quad (5.78)$$

ve

$$L_{auxR} = \frac{L_{aux_{ag}}}{k_{\omega_{aux}} \cdot N_{aux}} \quad (5.79)$$

Parametrelerin tahmin çalışması hesaplanan tork değerinin ölçülen tork, verim ve ana ve yardımcı sargı akım genliği değerine en yakın olduğu set bulunan kadar belli bir hata değeri için devam eder.

Genelde yapılacak bu tahmin çalışması iyi bir başlangıç değeri olmaksızın mantıklı sonuçlar veremez. Bu nedenle parametrelerin saptanmasında kullanılacak başlangıç değerlerinin hesaplanma şekli takip eden bölümde açıklanacaktır.

5.5.1 Ana ve Yardımcı Sargı Hava Boşluğu Bileşeni Endüktansları

$$L_{main_{ag}} = \frac{4 \cdot \mu_0 \cdot l \cdot R \cdot (k_{\omega_{main}} \cdot N_{main})^2}{\pi \cdot g \cdot P^2} \quad (5.80)$$

Bu formüle paralel olarak;

$$L_{aux_{ag}} = \frac{4 \cdot \mu_0 \cdot l \cdot R \cdot (k_{\omega_{aux}} \cdot N_{aux})^2}{\pi \cdot g \cdot P^2} \quad (5.81)$$

Elde edilmektedir.

5.5.2 Rotor Sargı Direnci

Rotor sargı direnci rotor çubuklarının dirençlerini kullanarak hesaplanmaktadır. Rotorun n inci rotor çubuğundaki akımın;

$$i_{bar}(n, t) = \sqrt{2} \cdot I_{bar} \cdot \cos(\omega_\tau \cdot t + \frac{2 \cdot \pi \cdot P(n-1)}{N_R}) \quad (5.82)$$

$$= \text{Re} \left[\sqrt{2} \cdot \hat{I}_{bar} \cdot e^{j \cdot \omega_\tau \cdot t} \right]$$

$$\hat{I}_{bar} = I_{bar} \cdot e^{j \frac{2 \cdot \pi \cdot P(n-1)}{N_R}} \quad (5.83)$$

dir. Ortalama rotor güç kaybı ise;

$$P_{rotor} = N_R \cdot I_{bar}^2 \cdot R_{bar} \quad (5.84)$$

$$|\hat{I}_1| = |\hat{I}_2| \text{ İçin rotor güç kaybı;}$$

$$P_{rotor} = |\hat{I}_1|^2 \cdot R_R + |\hat{I}_2|^2 \cdot R_R = 2 \cdot |\hat{I}_1|^2 \cdot R_R \quad (5.85)$$

Denklem (5.84) ve (5.85) deki R_R rotor çubuk direnci cinsinden;

$$R_R = \frac{N_R}{2} \left[\frac{I_{bar}}{\hat{I}_1} \right] \cdot R_{bar} \quad (5.86)$$

Şeklinde yazılabilir.

Bu denklemlerde $|\hat{I}_2| = |\hat{I}_1|$ ve I_{bar} aynı rotor çalışma koşuluna karşılık gelmektedir. Bundan dolayı bu akımlar aynı değerdeki manyeto motor kuvvete

karşılık gelmektedir. Rotorun manyeto motor kuvvetini $|\hat{I}_1|$ ve I_{bar} cinsinden hesaplayıp, Her iki akım ve denklem sonuçları için ana sargının halkalanma kaçak akısını hesaplayarak $\frac{I_{bar}}{\hat{I}_1}$ oranı bulunabilmektedir.

Her bir rotor çubuğunu darbe akımı olarak gösterip, denklem (5.82) deki rotor akımı dağılımını boşluğun temel bileşeni olan homojen bir yüzey olarak aşağıdaki şekilde gösterebiliriz;

$$K(\theta) = K_1 \cdot \cos(P \cdot \theta) \quad (5.87)$$

Burada

$$K_1 = \frac{N_R}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R} \cdot I_{bar} \quad (5.88)$$

dir.

Amper yasası kullanılarak, hava boşluğu manyetik halkalanma yoğunluğunun, temel bileşeninin, tepe değerini üreten yüzey akımı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$B_{peak} = \frac{\mu_0 \cdot N_R}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot P \cdot g} \cdot I_{bar} \quad (5.89)$$

Hava boşluğu halkalanma akısından dolayı oluşan ana sargı kaçak halkalanma akısı tepe değeri;

$$\begin{aligned} \lambda_{peak} &= \frac{2 \cdot k_{\omega_{main}} \cdot N_{main} \cdot l \cdot R}{P} \cdot B_{peak} \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot \mu_0 \cdot k_{\omega_{main}} \cdot N_{main} \cdot l \cdot R \cdot N_R}{\pi \cdot P^2 \cdot g} \cdot I_{bar} \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot L_{main_{ag}} \cdot N_R}{k_{\omega_{main}} \cdot N_{main}} \cdot I_{bar} \end{aligned} \quad (5.90)$$

$|\hat{I}_1|$ Akımından kaynaklanan ana sargı kaçak halkalanma akısı tepe değeri;

$$\lambda_{peak} = \sqrt{2} \cdot L_{mainR} \cdot |\hat{I}_1| \quad (5.91)$$

Denklem (5.90) ve (5.91) dan;

$$\frac{I_{bar}}{|\hat{I}_1|} = \left(\frac{4 \cdot k_{\omega_{main}} \cdot N_{main}}{N_R} \right) \cdot \left(\frac{L_{mainR}}{L_{main_{ag}}} \right) \quad (5.92)$$

Denklem (5.78) denklem (5.92) de yerine konulduğunda;

$$\frac{I_{bar}}{|\hat{I}_1|} = \frac{4}{N_R} \quad (5.93)$$

ve denklem (5.93) de denklem (5.86) da yerine konulduğunda;

$$R_R = \frac{8}{N_R} \cdot R_{bar} \quad (5.94)$$

Elde edilir. Son olarak rotor çubuklarında homojen bir dağılım olduğu varsayıldığında R_{bar} ;

$$R_{bar} = \frac{l}{A_{bar} \cdot \sigma_{bar}} \quad (5.95)$$

ve böylece;

$$R_R = \frac{8 \cdot l}{N_R \cdot A_{bar} \cdot \sigma_{bar}} \quad (5.96)$$

Elde edilmiş olur.

5.5.3 Rotor Öz Endüktansı

Rotor endüktansının başlangıç değeri hesabı eşdeğer rotor sargılarının kaçak endüktansa sahip olmadığı varsayılarak yapılacaktır. Bu nedenle, rotor endüktansının başlangıç değeri hava boşluğu bileşenine eşit olarak verilebilir;

$$L_R = L_{R_{ag}} = L_{main_{ag}} \cdot \left(\frac{L_{mainR}}{L_{main_{ag}}} \right)^2 = \frac{L_{main_{ag}}}{(k_{\phi_{main}} \cdot N_{main})^2} \quad (5.97)$$

5.5.4 Ana ve Yardımcı Sargı Öz Endüktansları

L_R 'nin hesaplanışına çok benzer bir yolla L_{main} ve L_{aux} 'un başlangıç değerleri bu parametrelerin hava boşluğu bileşenlerine eşittir.

$$L_{main} = L_{main_{ag}} \quad (5.98)$$

ve

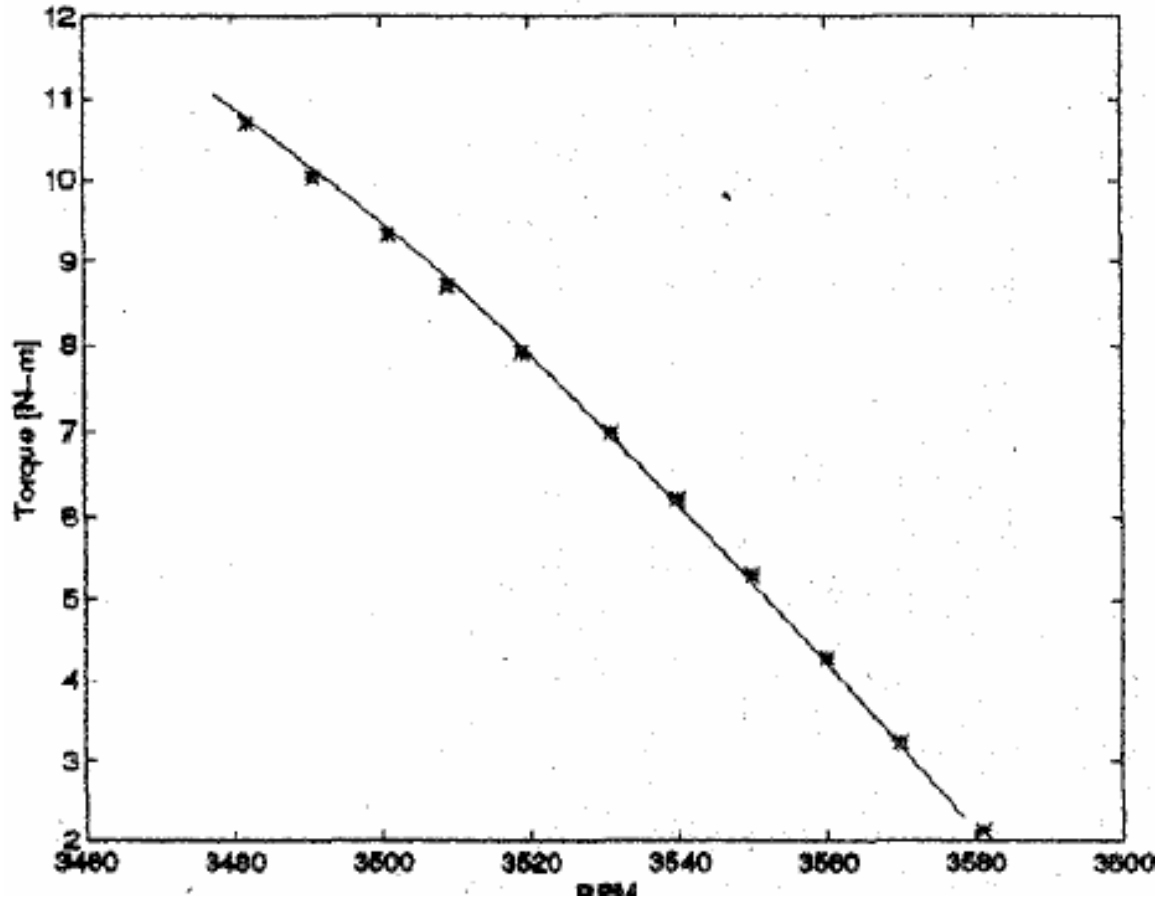
$$L_{aux} = L_{aux_{ag}} \quad (5.99)$$

dir.

5.6 Farklı Bir İteratif Yöntemle Literatürde Verilen Bir Motorunun Modellenmesi

Bu çalışmada (5.68) ifadesinde yer alan karakteristik parametreler, makinenin sabit gerilim altında ölçülen bir dizi (bizim çalışmamızda 8 adet değer alınmıştır) tork değerlerini sağlayan parametrelerdir. Burada uygulanabilecek birkaç yöntem bulunmaktadır. Esas olarak her bir tork noktası için parametreler sürekli değiştirilerek denklem çözülür ve hesaplanan tork sonucu ölçülen gerçek tork ile karşılaştırılır. Şekil 5-2 de Literatürde yer alan bir motorun tork-devir eğrisi ile model sonucu oluşturduğu tork-devir eğrisi görülmektedir. Sürekli çizgi ile belirtilen noktalar modelleme sonucu tespit edilmiştir. Yıldız ile verilen noktalar ise motor testleri sonucu oluşturulmuştur [2].

Tablo 5-1 de ise Şekil 5-2 de verilen motor test eğrisinden elde edeceğimiz tork noktaları ve o noktalara denk gelen kayma değerleri verilmektedir.



Şekil 5-2: D Umans' ın Tork – Devir Deney ve Simülasyon Sonuçları [2]

Tablo 5-1: D. Umans ın Test Motoru Tork - Kayma Grafik Değerleri

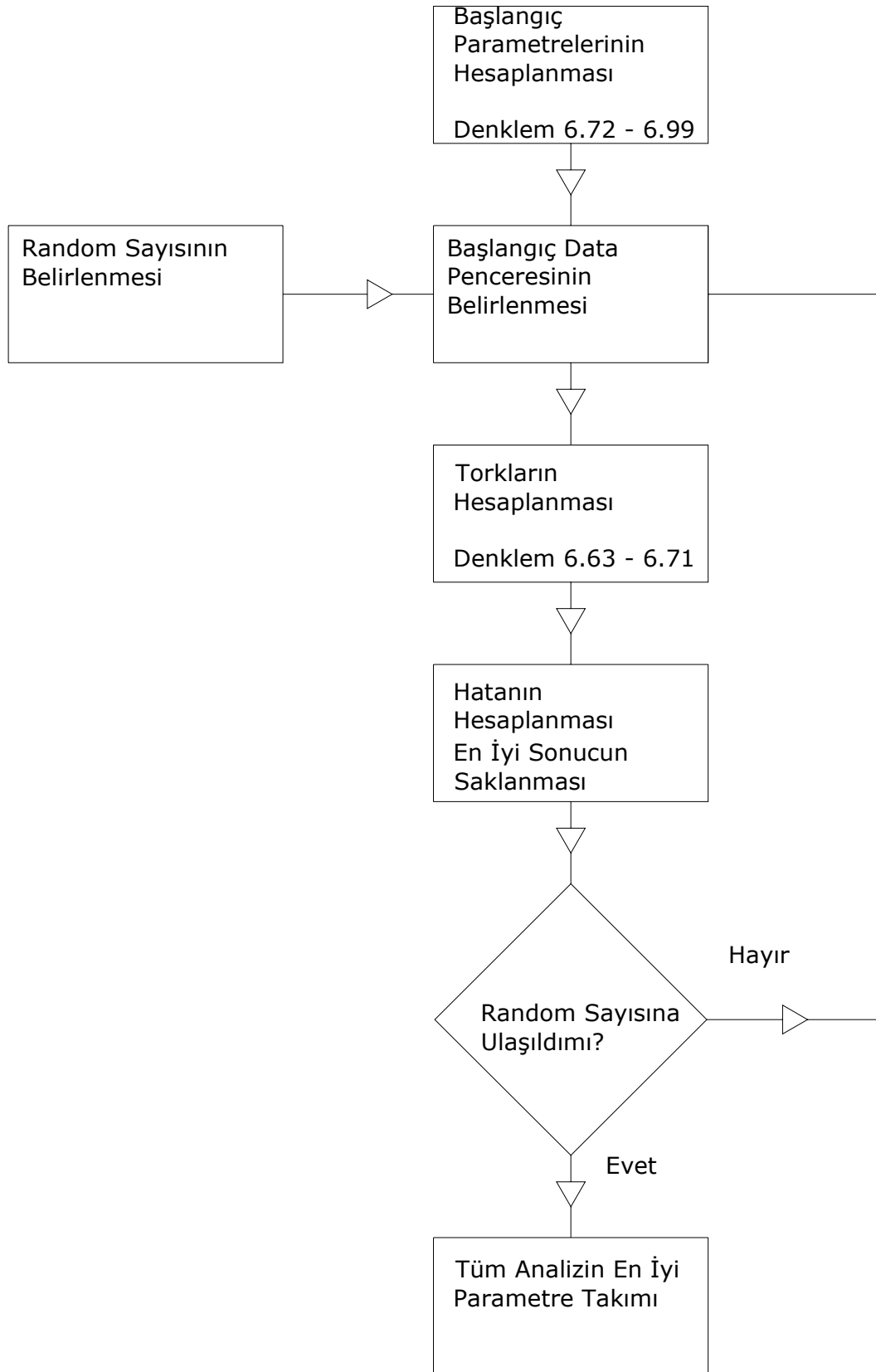
Tork (Nm.)	10	9	8	7	6	5	4	3
Kayma	0.03	0.026	0.023	0.02	0.016	0.013	0.011	0.00798

Bu çalışma hesaplanan tork değerleri, ölçülen tork değerleri ile örtüşene ya da kabul edilebilir bir hata değerinde yaklaşıp kadar hesaplamaya devam edilir. Ya da, parametre olarak atanabilecek tüm ihtimaller yine iteratif bir yolla denenerek tam örtüşme yakalanıp parametreler belirlenebilir. (Grid Search) İkinci yöntem oldukça zaman alıcıdır ve çözümler bilgisayar sistemleri ile yapıldığından uzun süre bu işlemleri yapabilecek bir bilgisayar sistemi ve yeterince zamana ihtiyaç göstermektedir. Yaptığımız analizlerde iki haftalık bir süre zarfı için de denklemimiz

sonuç vermemiş ve hesap yapmakta olan makinelerde sistemin düşmesi ile hesaplamalar son bulmuştur. Bu hesaplamanın süresi öngörülemediğinden, parametre olarak başlangıç değerleri temel alınarak belli bir aralıkta parametreler rasgele ve otomatik olarak üretilip, saptanan hatayı ifadesini minimize edecek parametre takımı elde edilmiştir. Hata ifadesi;

$$\begin{aligned} \text{hata} = & \text{hata} + [(\text{Ölçülen Tork Değerleri} - \text{Hesaplanan Tork Değerleri}) / \text{Ölçülen} \\ & \text{Tork Değerlerinin Karesi}] + [(\text{Ölçülen Ana Sargı Akımının Mutlak Değeri} - \\ & \text{Hesaplanan Ana Sargı Akımının Mutlak Değeri}) / \text{Ölçülen Ana Sargı Akımının} \\ & \text{Mutlak Değerinin Karesi}] + [(\text{Ölçülen Yardımcı Sargı Akımının Mutlak Değeri} - \\ & \text{Hesaplanan Yardımcı Sargı Akımının Mutlak Değeri}) / \text{Ölçülen Yardımcı Sargı} \\ & \text{Akımının Mutlak Değerinin Karesi}] \end{aligned} \quad (5.100)$$

şeklindedir.



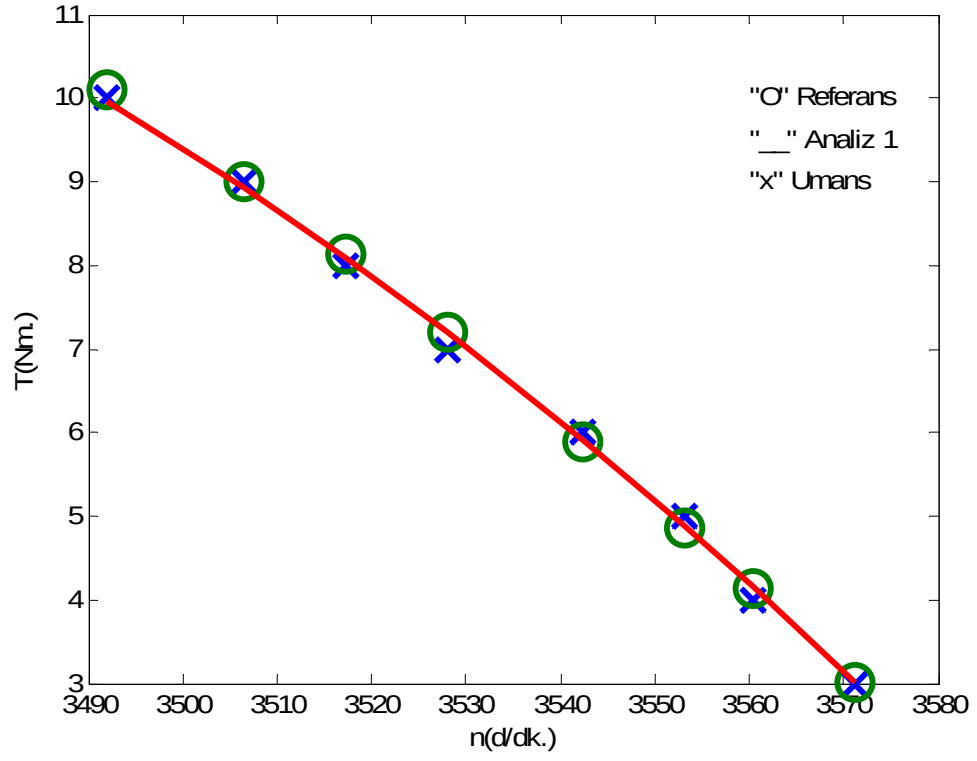
Şekil 5-3: Parametre Belirleme Yöntem Akış Diyagramı

Yapılan analizlerde elde edilen parametreler Tablo 5-2’ de olduğu gibidir.

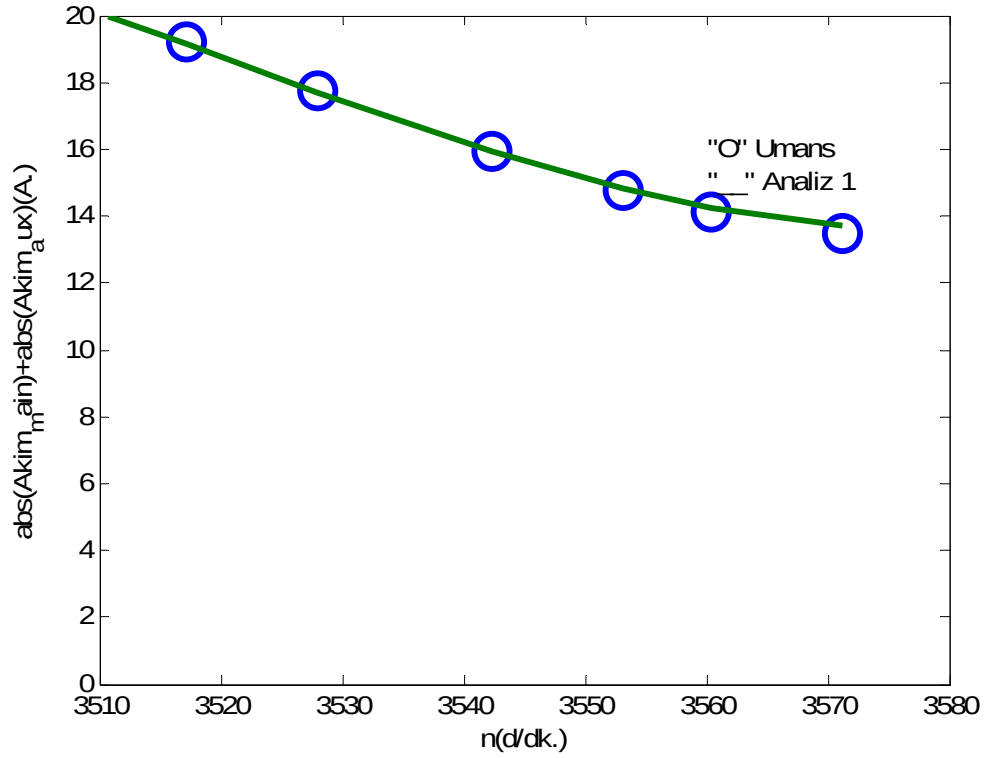
Tablo 5-2: Analizlerin Parametre Sonuçları

Parametre ve Diğer Veriler	D.Umans'ın Analiz Sonuçları	Analiz 1 20.000 Random	Analiz 1 50.000 Random	Analiz 3 100.000 Random	Analiz 4 150.000 Random	Analiz 5 250.000 Random	Analiz 6 350.000 Random
L_{main}	0,0806	0,051214	0,039051	0,068653	0,073815	0,054796	0.039362
$L_{main_{ag}}$	0,0695	0,035385	0,023991	0,060817	0,056947	0,044118	0.033657
L_{aux}	0,196	0,31966	0,46826	0,22991	0,21499	0,30373	0.47752
$L_{aux_{ag}}$	0,166	0,033611	0,18331	0,14016	0,18809	0,27225	0.17767
R_R	3,76E-05	2,66E-07	7,07E-07	9,90E-07	9,90E-07	1,87E-07	7.9819e-007
L_R	4,70E-06	2,05E-08	3,90E-08	1,06E-07	1,14E-07	1,54E-08	4.4314e-008
L_{main_R}	0,000588	2,96E-05	3,49E-05	8,00E-05	8,66E-05	2,68E-05	3.7118e-005
L_{aux_R}	0,000909	9,54E-05	0,00017148	0,00016161	0,00015481	7,84E-05	0.00018541
L_M	0,00429	0,00026334	0,00043529	0,001	0,001	0,00074928	0.00040665
L_A	0,0102	0,00074399	0,00041672	1,00E-05	0,001	0,00029607	0.00084981
Hata (Akım ve Tork Değerleri Tümüleşik)	0,15317	0,20633	0,17854	0,16288	0,13036	0,14683	0,12212

Şekil 5-4 ve Şekil 5-9 arasında yer alan şekillerde yapılan analizlerde bulunan ve Uman tarafından yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. Burada Tork ve Akım değerleri karşılaştırılmıştır. Akım karşılaştırılması yapılırken hata değerini en aza indirmek için sargı akımlarının genliklerinin mutlak değerlerinin toplamaları karşılaştırılmıştır.

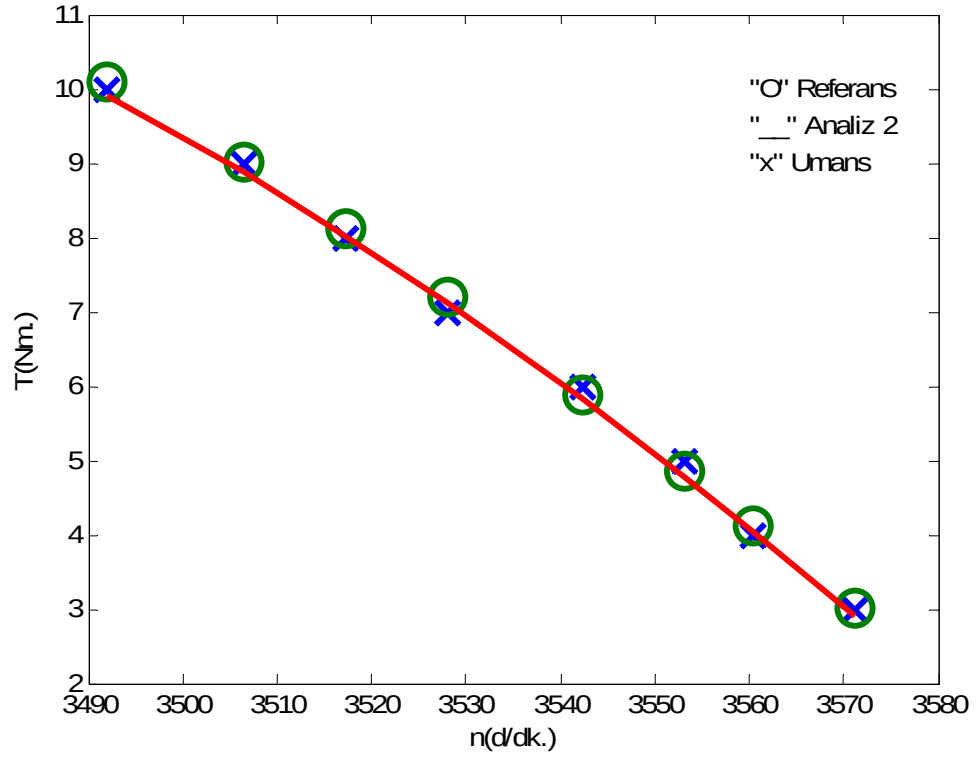


(a)

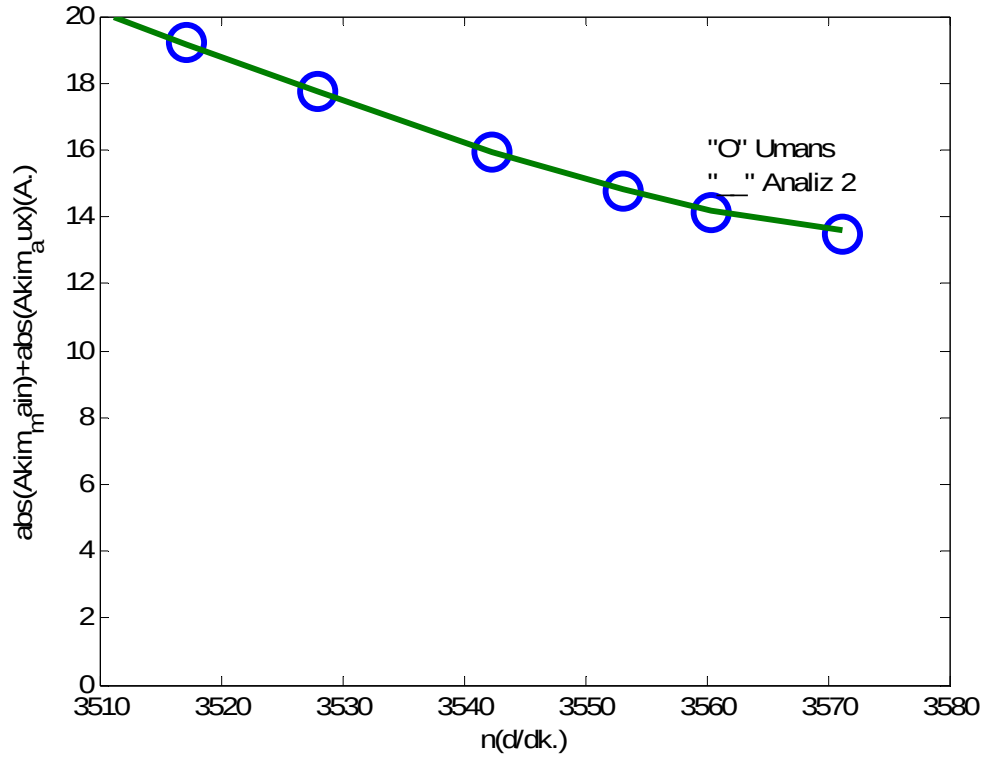


(b)

Şekil 5-4: (a) Analiz 1 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 1 için $abs(Akim_{main})+abs(Akim_{aux})$ - Devir Eğrisi

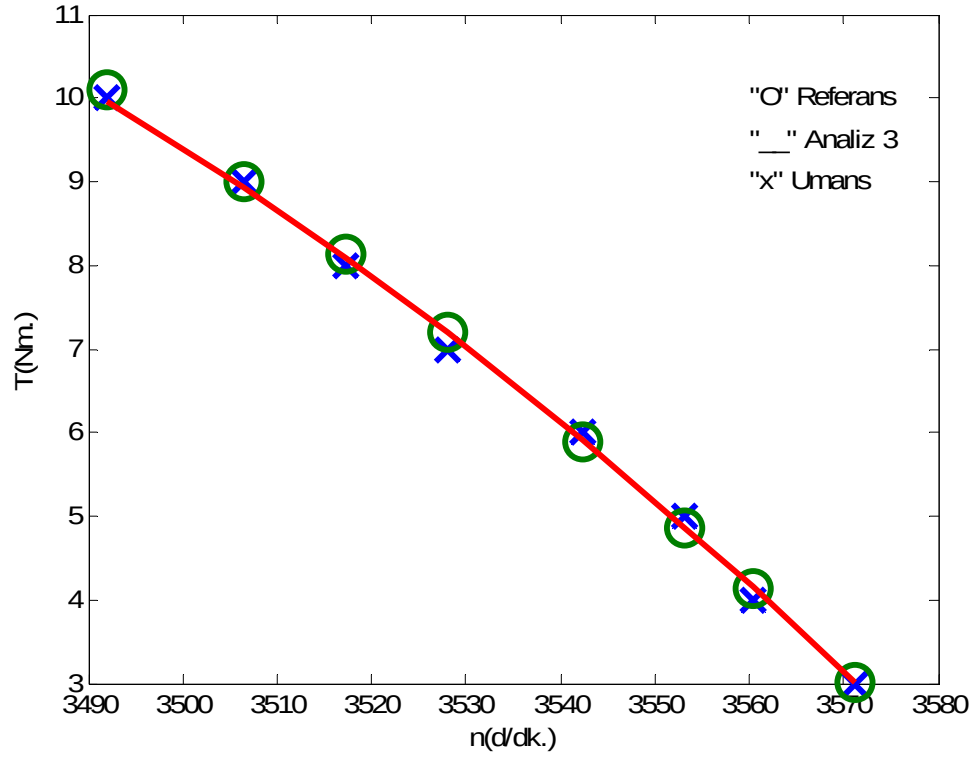


(a)

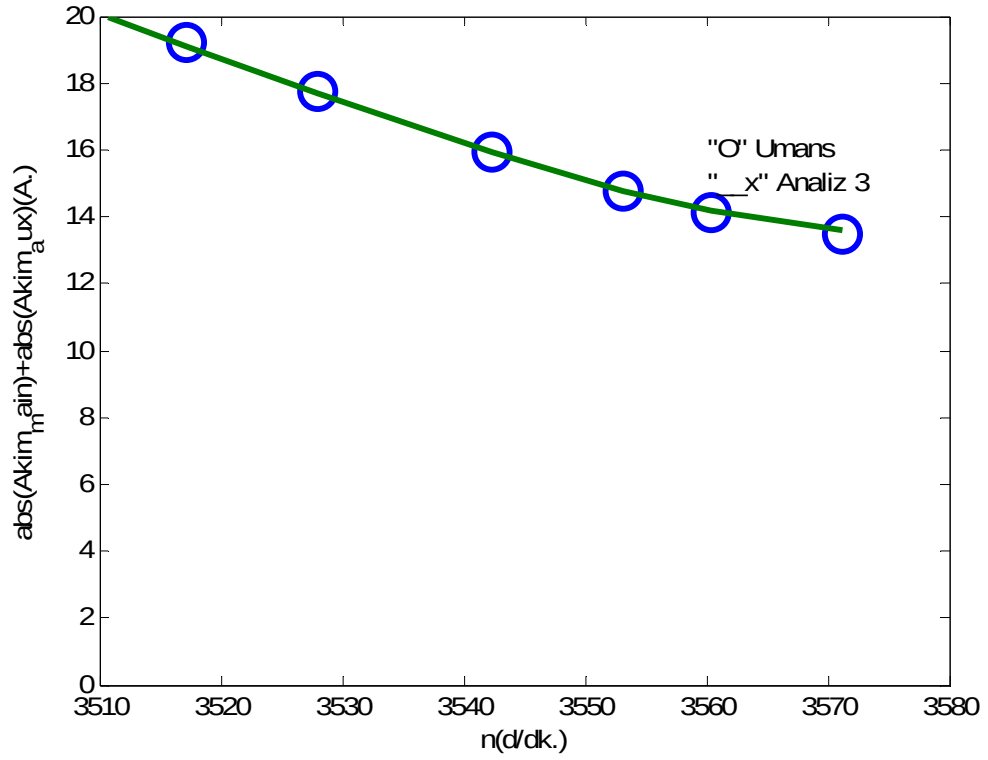


(b)

Şekil 5-5: (a) Analiz 2 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 2 için $\text{abs}(\text{Akim}_{\text{main}}) + \text{abs}(\text{Akim}_{\text{aux}})$ - Devir Eğrisi

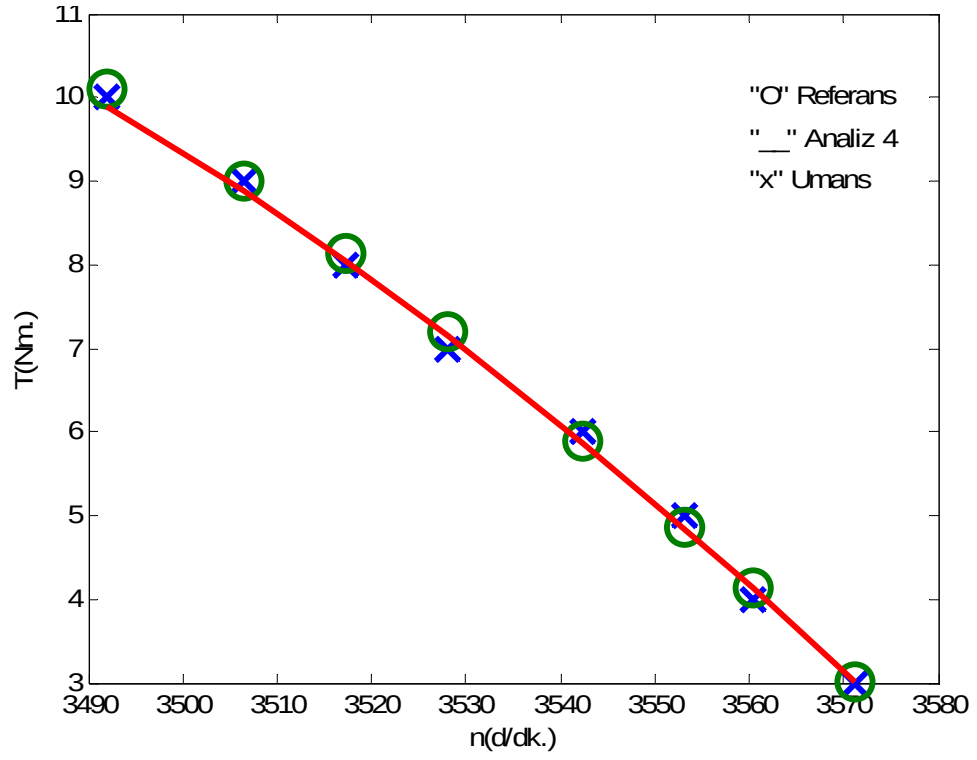


(a)

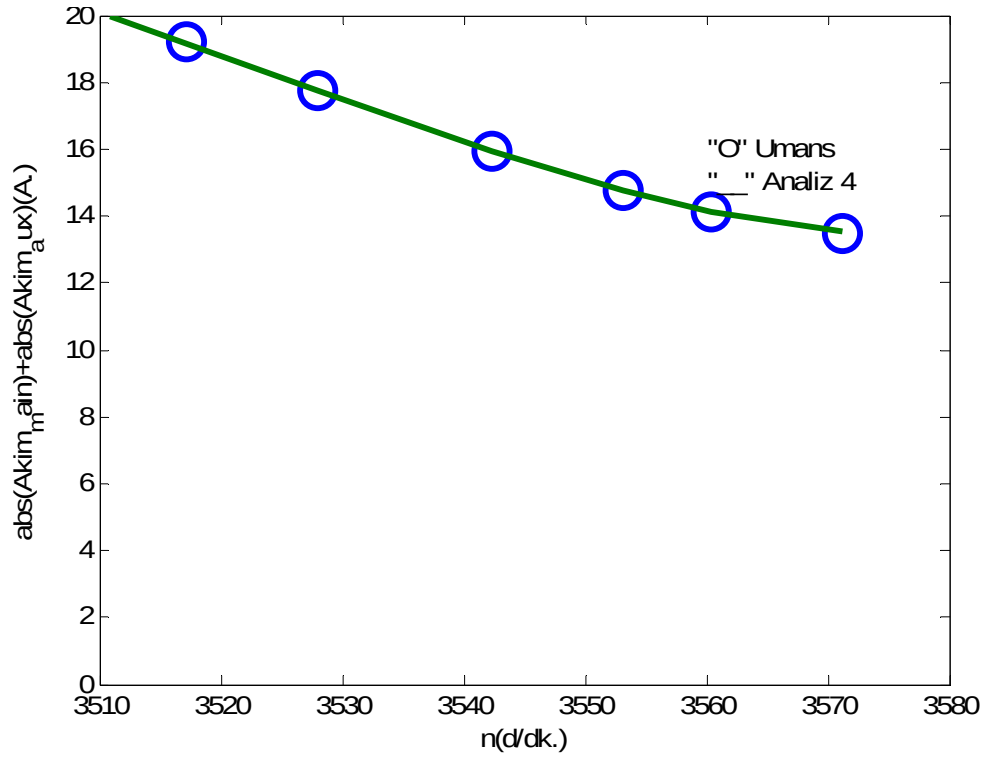


(b)

Şekil 5-6: (a) Analiz 3 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 3 için $\text{abs}(\text{Akim}_{\text{main}}) + \text{abs}(\text{Akim}_{\text{aux}})$ - Devir Eğrisi

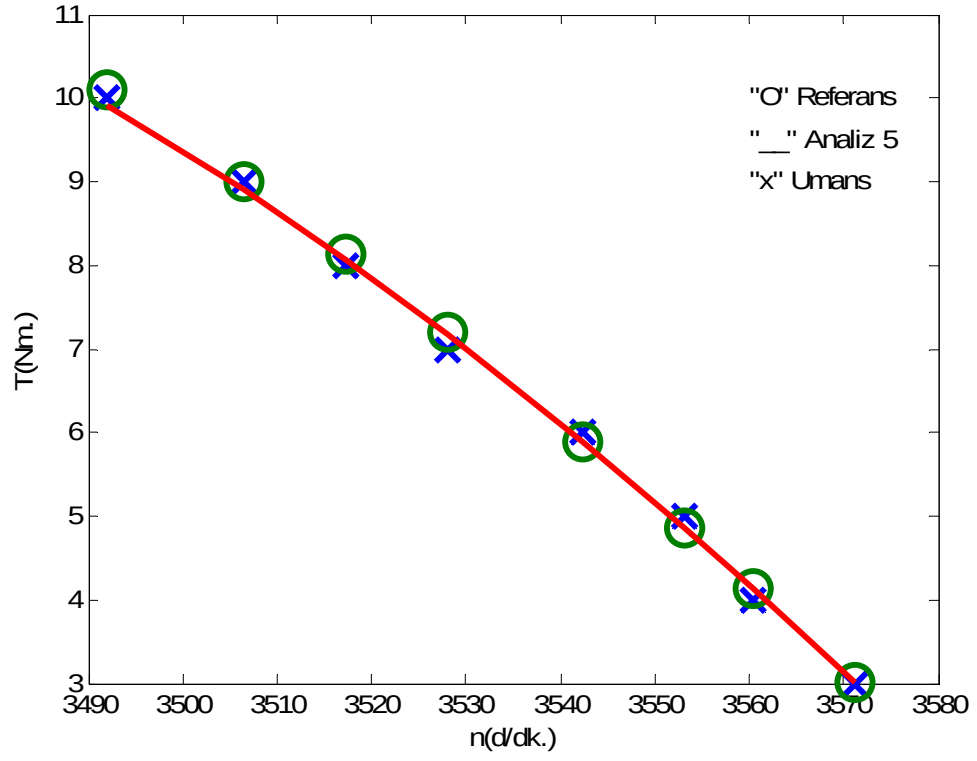


(a)

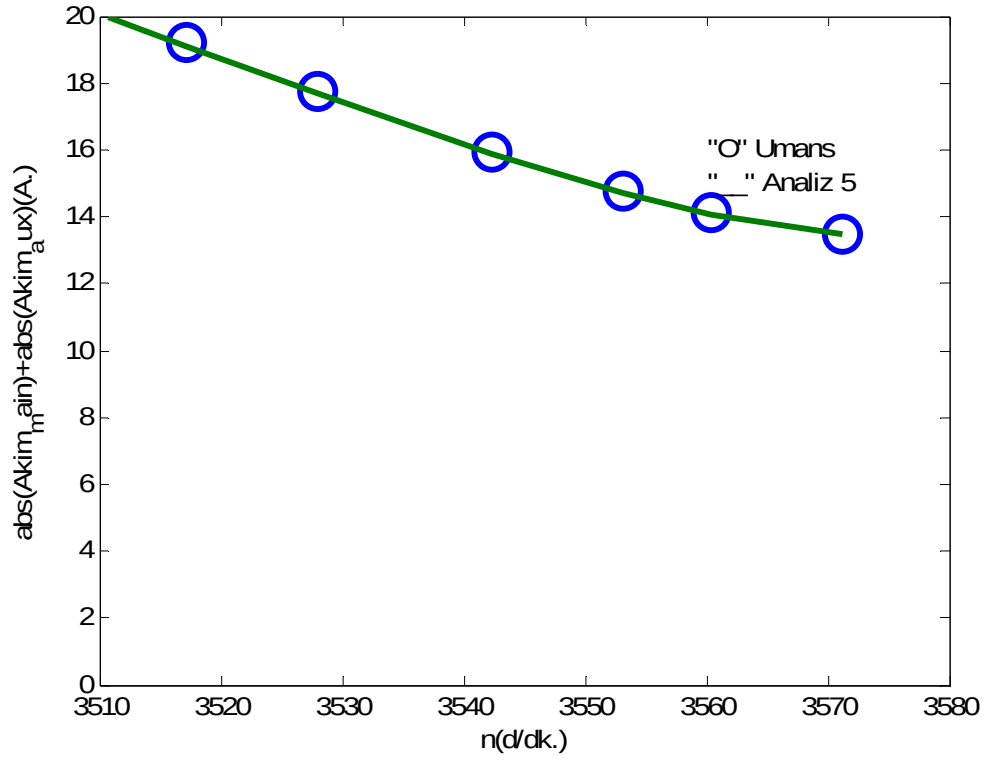


(b)

Şekil 5-7: (a) Analiz 4 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 4 için $\text{abs}(\text{Akim}_{\text{main}}) + \text{abs}(\text{Akim}_{\text{aux}})$ - Devir Eğrisi

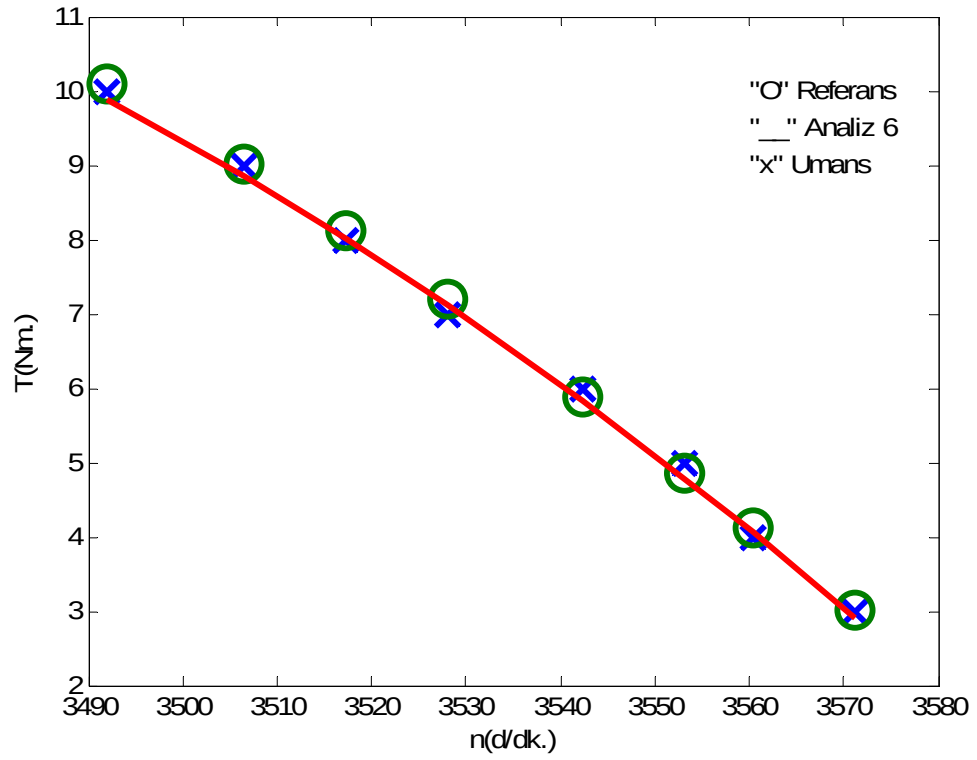


(a)

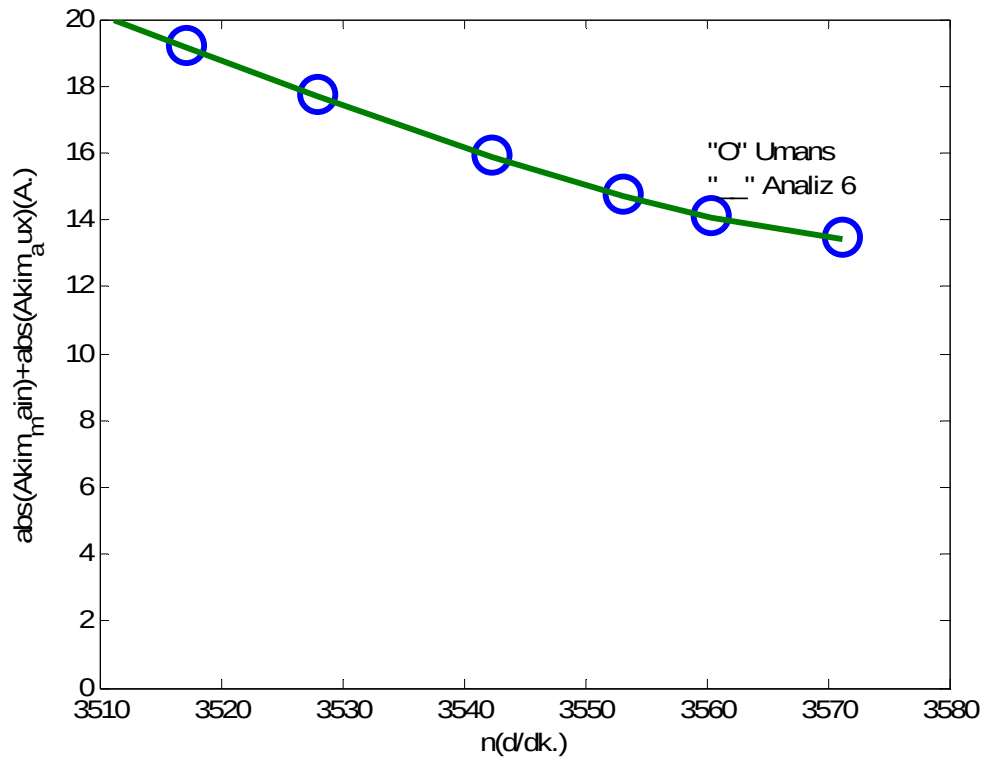


(b)

Şekil 5-8: (a) Analiz 5 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 5 için $\text{abs}(\text{Akim}_{\text{main}}) + \text{abs}(\text{Akim}_{\text{aux}})$ - Devir Eğrisi



(a)



(b)

Şekil 5-9: (a) Analiz 6 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 6 için $\text{abs}(\text{Akim}_{\text{main}}) + \text{abs}(\text{Akim}_{\text{aux}})$ - Devir Eğrisi

Elde edilen parametre sonuçlarından hata değeri en düşük olan 6. analiz parametreleri gerilim değişim incelemelerinde motor parametreleri olarak kullanılacaktır. Elde edilen parametreler önceki çalışmada elde edilen hata değerinden daha küçük hata değeri ile motor modelini oluşturabilmektedir.

5.7 Gerçek Bir Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motorun Modellenmesi

Bu bölümde laboratuvarımızda bulunan farklı bir daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor modellemesi yapılmıştır.

5.7.1 Modellemede Kullanılan Motor

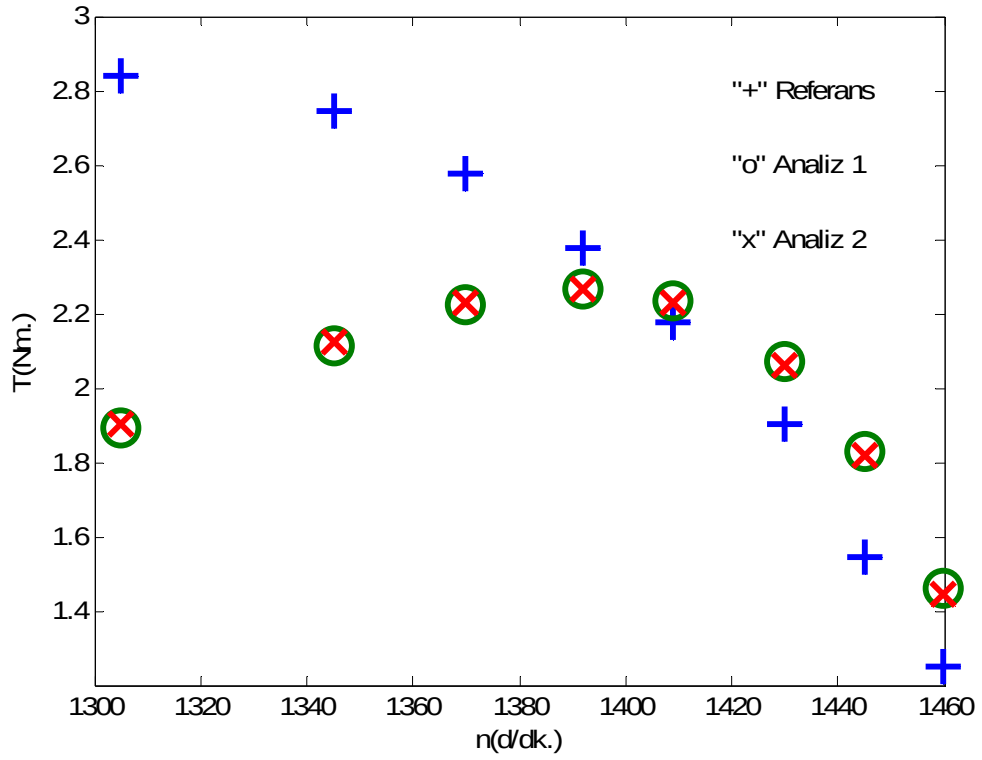
- TEE Elektrik
- Model No: 5 KC77C014–05
- 220 Volt, 2,5 Amper
- Tip B3
- T.S. 4239
- Yalıtım Sınıfı B
- Gövde No:71
- Koruma Tipi IP44

Deney kapsamında kalkış kondansatörlü (santrifüj anahtarlı) imal edilmiş olan motorumuza daha düşük kapasiteli farklı bir kondansatör bağlanarak daimi kondansatörlü çalıştırılmıştır. Çalışma düzeneği Şekil 4-7 da gösterilmektedir.

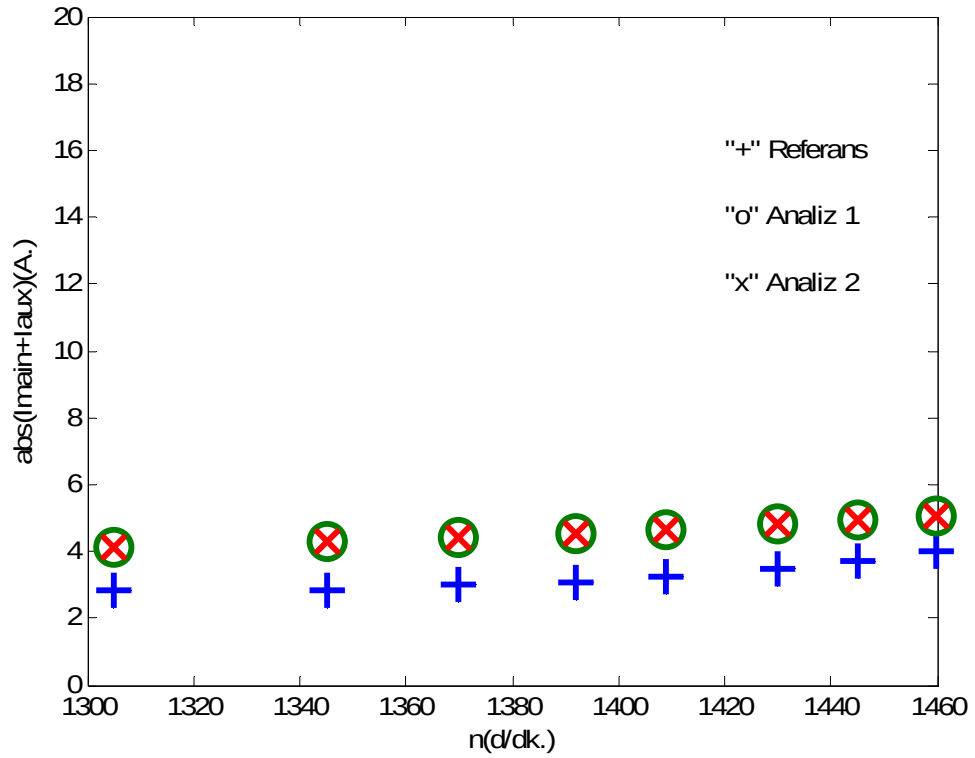
Motor laboratuvar imkânlarında gerekli deneylere tabi tutulmuştur. Motorumuzun yüklü çalışma karakteristiği Şekil 4-8, Şekil 4-9 ve AC **makine DC makine üzerinden çeşitli yük değerleri için yüklenmiştir.**

Tablo 4-3 de verilmiştir. Aynen önceki çalışmamızda olduğu gibi bu motorumuz içinde başlangıç parametreleri tespit edilmiştir ve aynı akış diyagramına sahip iteratif hesaplama metodu ile motor parametreleri belirlenmiştir.

Şekil 5-10, Şekil 5-11 ve Şekil 5-12 de yapılan analizler Tork – Devir ve Sargı Akımları – Devir bakımından karşılaştırılmıştır.

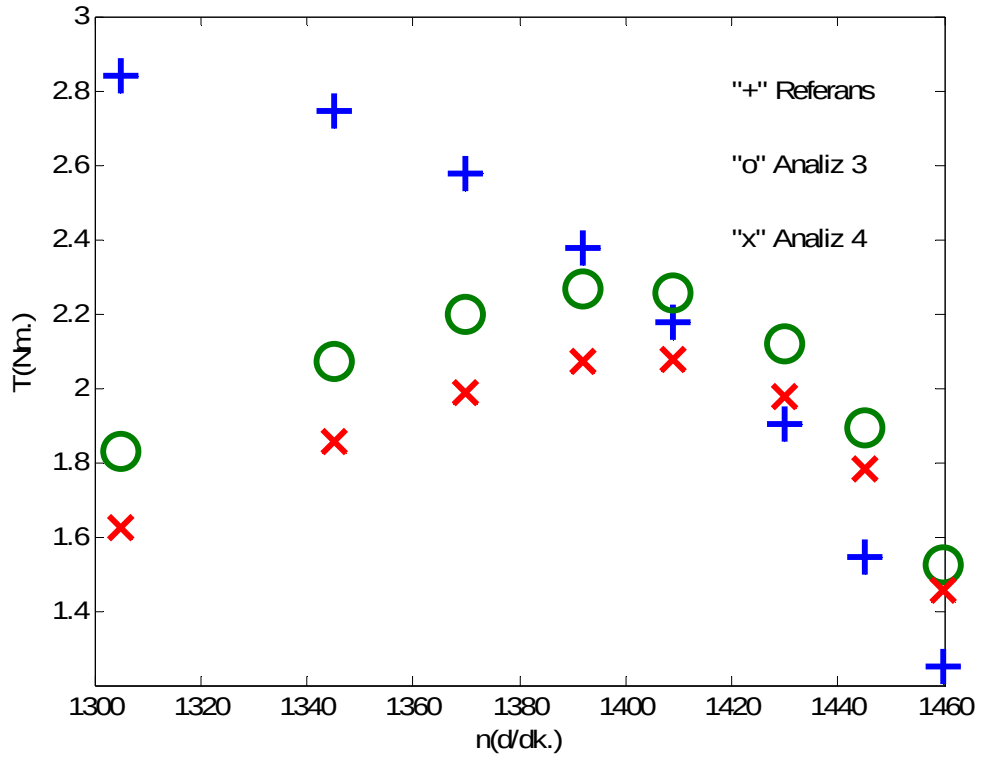


(a)

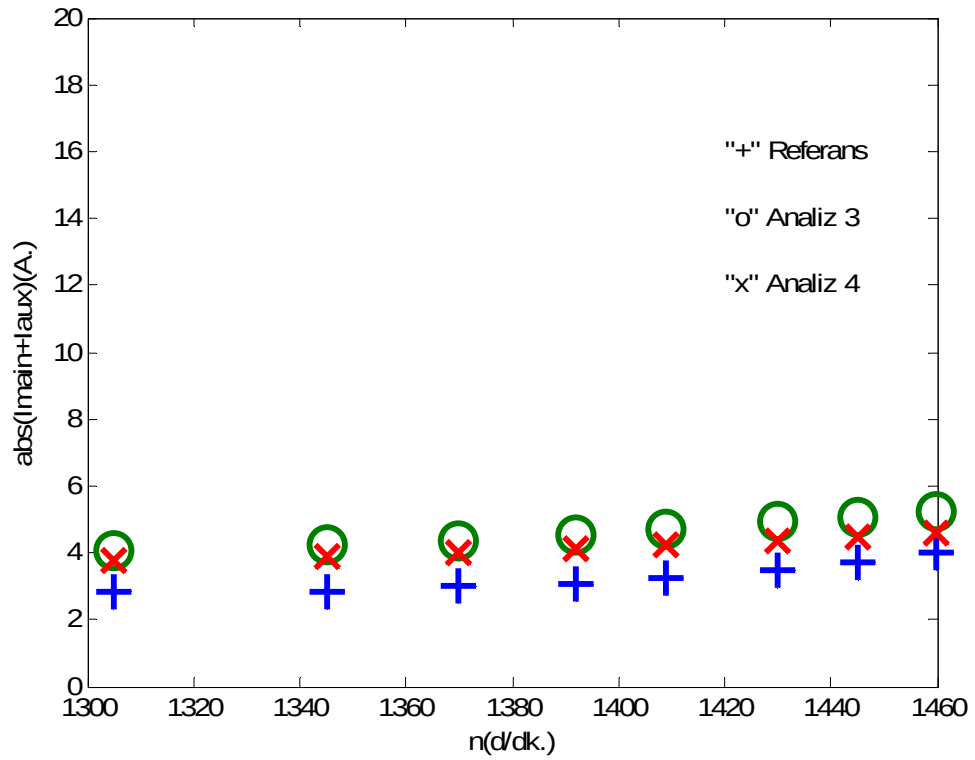


(b)

Şekil 5-10: (a) Analiz 1 ve 2 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 1 ve 2 için $\text{abs}(\text{Akim_main}) + \text{abs}(\text{Akim_aux})$ - Devir Eğrisi

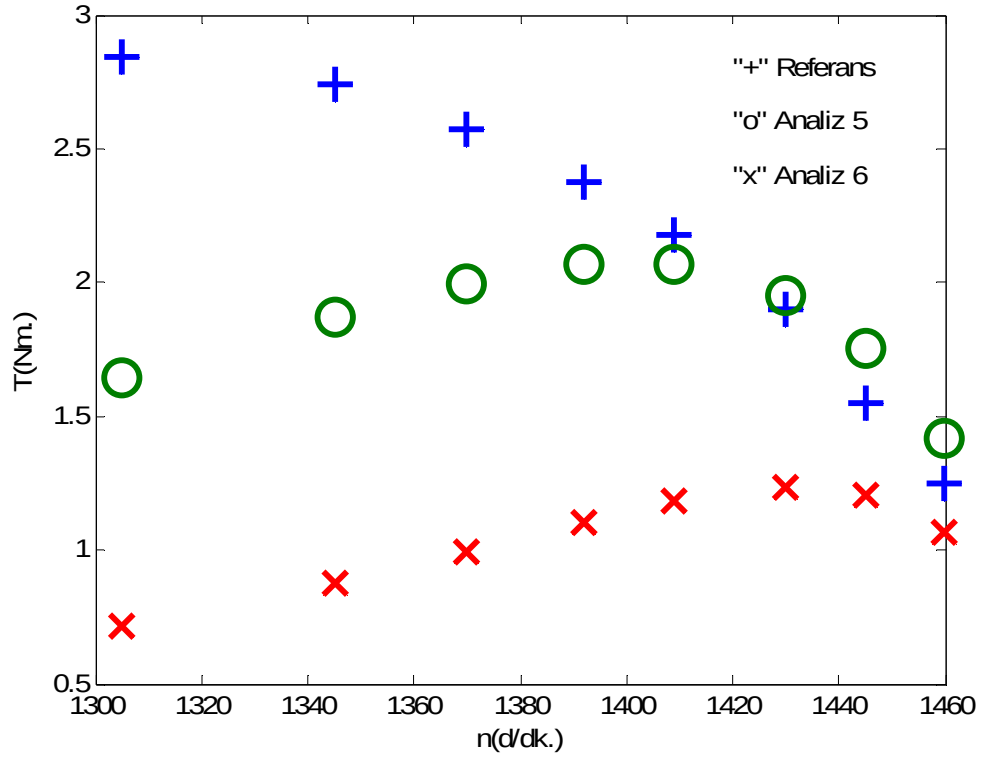


(a)

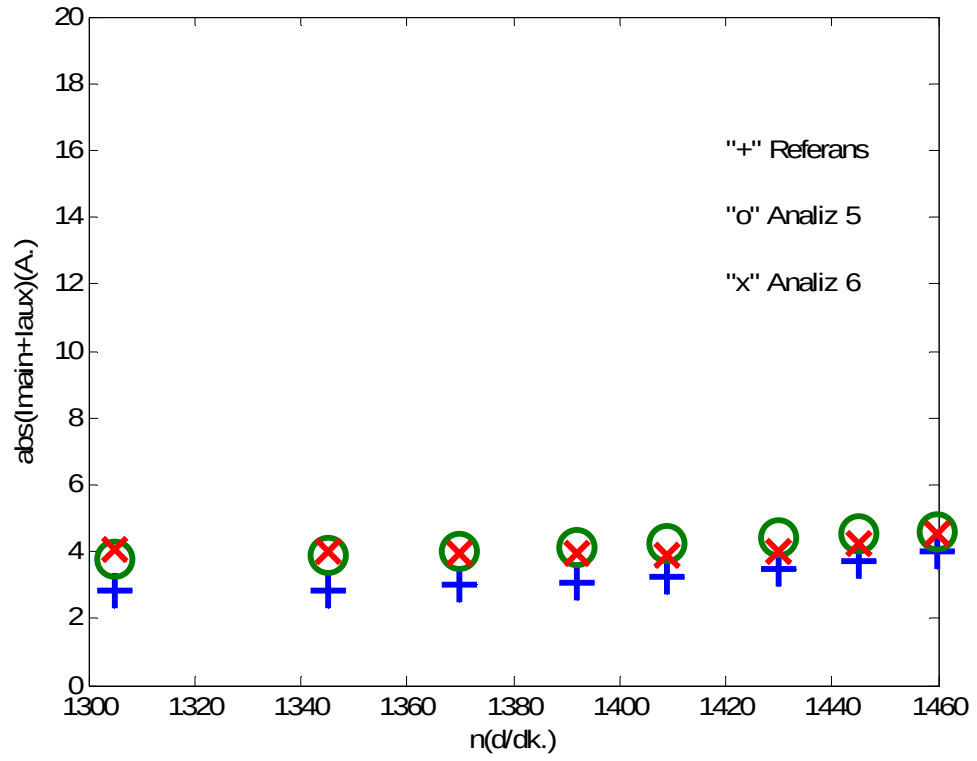


(b)

Şekil 5-11: (a) Analiz 3 ve 4 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 3 ve 4 için $\text{abs}(\text{Akim_main}) + \text{abs}(\text{Akim_aux})$ - Devir Eğrisi



(a)



(b)

Şekil 5-12: (a) Analiz 5 ve 6 için Tork - Devir Eğrisi, (b) Analiz 5 ve 6 için $\text{abs}(\text{Akim_main}) + \text{abs}(\text{Akim_aux})$ - Devir Eğrisi

Analiz sonuçlarından da görüleceği gibi deneysel olarak belirlenen, motor yüklü çalışma karakteristiğine en yakın karakteristik ikinci analizde elde edilen parametreler ile sağlanmaktadır.

5.8 Sonuç ve Değerlendirme

Bu bölümde daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun bilgisayar ortamında kalıcı durum dağıtılmış parametre metodu ile modellenmesi anlatılmıştır. Çekirdek kayıplarının hesaba katıldığı ve katılmadığı iki durum içinde model oluşturulabilmektedir.

Model her daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor için uygulanabileceği gibi santrifüj anahtarlı bir motor içinde kullanılabilmektedir. Motor modeli; daha önceden yapılan yüklü çalışma deneyi tork değerlerinin, iteratif bir yöntemle denklem (5.63) ile denklem (5.71) arasında yer alan denklemleri sağlayan motor parametrelerinin bulunmasından oluşmaktadır. İteratif yöntemin başlangıç değerleri yine model kapsamında verilen parametre tespit ifadeleri ile belirlenebilmektedir. Bu sayede motor parametreleri için hızlı ve mantıklı çözüm aralığı sağlanmaktadır.

Motor parametrelerinin elde edilmesi ile takip eden bölümlerde motor uç gerilimi değişiminin mil torkuna etkileri incelenmiştir.

Ardından literatürde verilen bir motorun parametreleri, kalıcı durum dağıtılmış parametreleri metodu ile farklı bir iteratif yaklaşımda bulunarak, model parametreleri hesaplanmıştır. Çözüm sistemi olarak çalışmalarımıza konu olan literatürde incelenmiş olan motor için yapılan çalışmaların aksine “Grid Search” yöntemi ile değil de Matlab programının minimizasyon özellikli optimizasyon komutları kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemi sonuca ulaşma zamanını oldukça etkilemektedir. Analizlerimizde öncelikle “Grid Search” denenmiştir. Fakat bu analiz için kullanılan bilgisayarların belli bir süre sonrasında (2 Hafta) sınırsız çalışmadan ötürü donduğu gözlenmiştir. Oysaki denklemler, Tablo 5-2’ de gösterilen kabul edilebilir hata

değerleri ile belli başlangıç değerleri ve aralıkta seçilen rasgele parametreler yardımı ile çok daha hızlı bir şekilde sağlanmıştır.

İlk yapılan çalışmada, literatürde yer alan motor özellikleri ve başlangıç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan parametreler ve veriler oldukça doğru sonuçlarla motorun modellenmesini sağlamıştır.

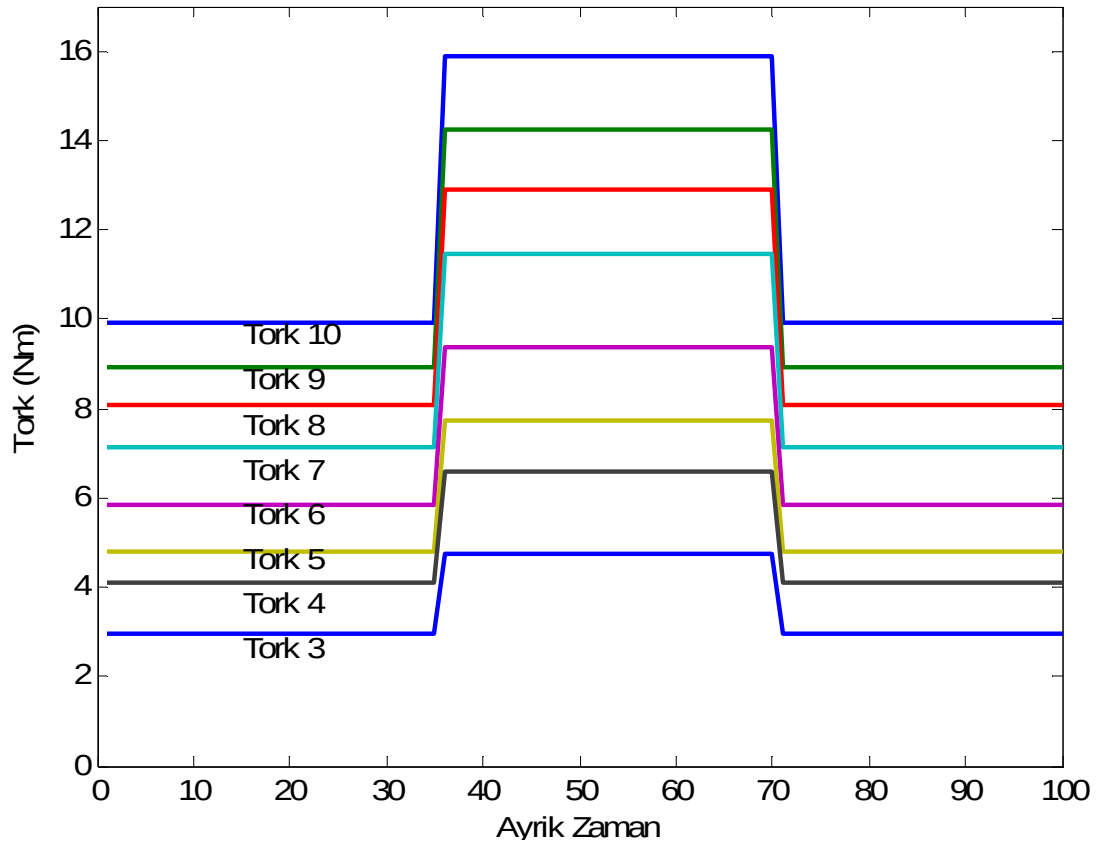
Buna mukabil kendi test sistemimiz için, fabrikasyon nitelikte isabetli parametreler elimizde bulunmamaktadır. Bu verileri tüm araştırmalarımıza rağmen ilk elden elde edemediğimiz için hatırı sayılır miktarda kabul yaparak, yaklaşık değerlerle motor modelimizi oluşturmak zorunda kaldık. Analiz sonuçlarında çıkan tork karakteristiğinin, deney sonucu ile elde ettiğimiz tork karakteristiği ile yeterince örtüşmemesinin nedeninin bu parametrelerden bir veya birkaçının isabetsiz tahmin edilmesi nedeni olduğu düşünülmektedir.

6 GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

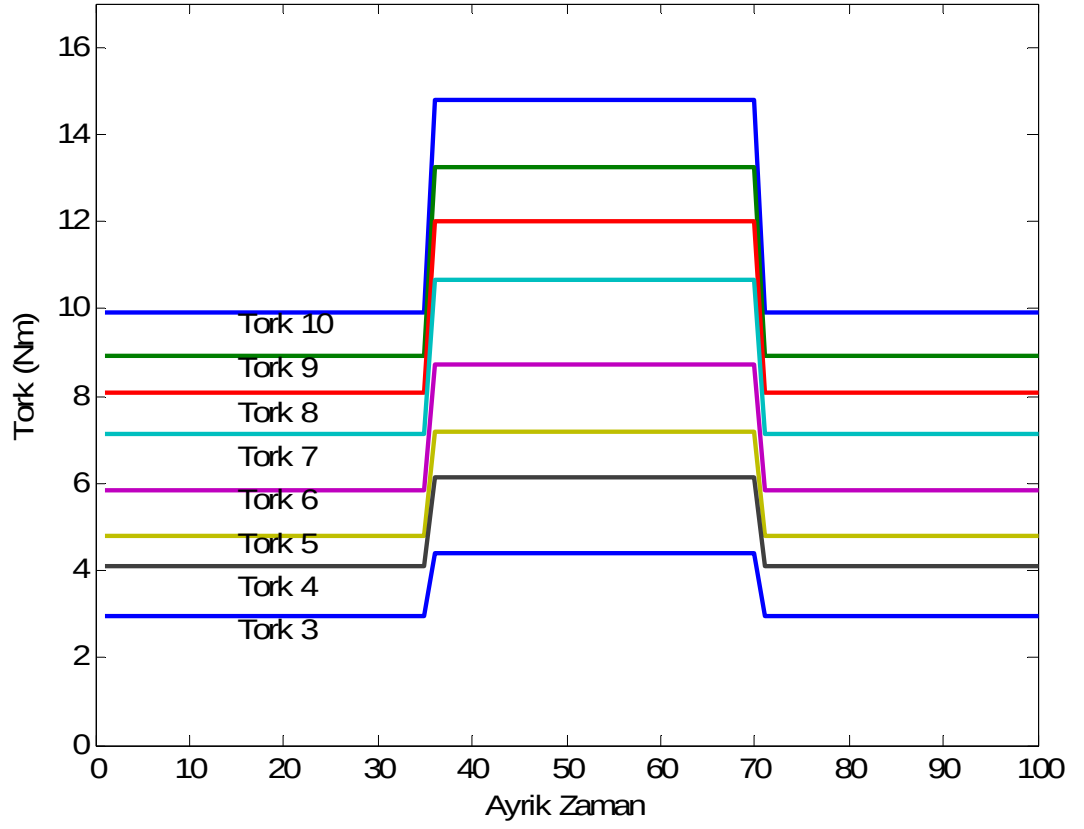
6.1 Kalıcı Durumda Literatürde Verilen Bir Motorun Gerilim Değişimlerine Cevabı

Bu bölümde, önceki bölümde parametrelerini farklı bir iteratif metodla belirlediğimiz bir fazlı asenkron motorumuzun kalıcı durumda gerçekleşen gerilim değişimlerine model kapsamındaki cevabı incelenmiştir.

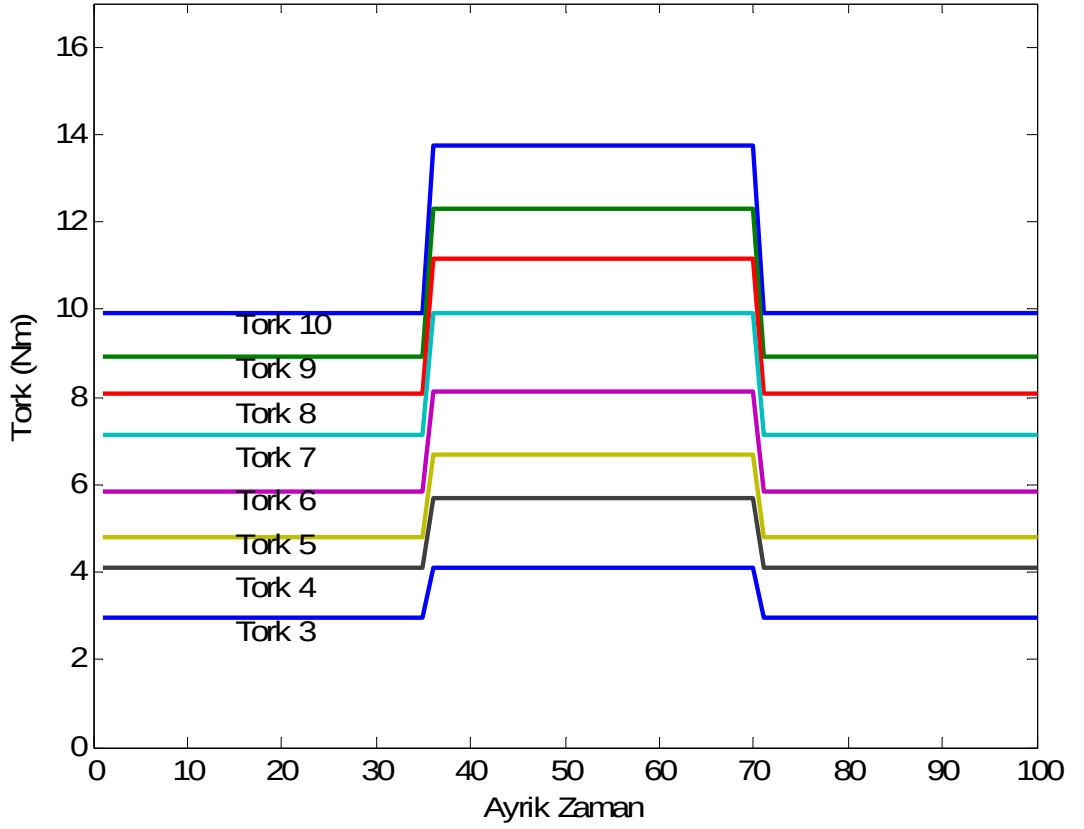
Gerilim değişimi aralığı olarak 110 V. ile 290 V. arasında 10 V. luk artış için her bir gerilim seviyesindeki tork değerleri denklem (5.71) den hesaplanmıştır. Şekil 6-1 den başlayan ve Şekil 6-18 e kadar verilen grafiklerde modelimizde, bulduğumuz parametreleri kullanarak, motor uç geriliminde kalıcı olarak oluşacak gerilim değişimlerinin, her bir gerilim kademesi için motor torkunu nasıl değiştirdiği görülmektedir.



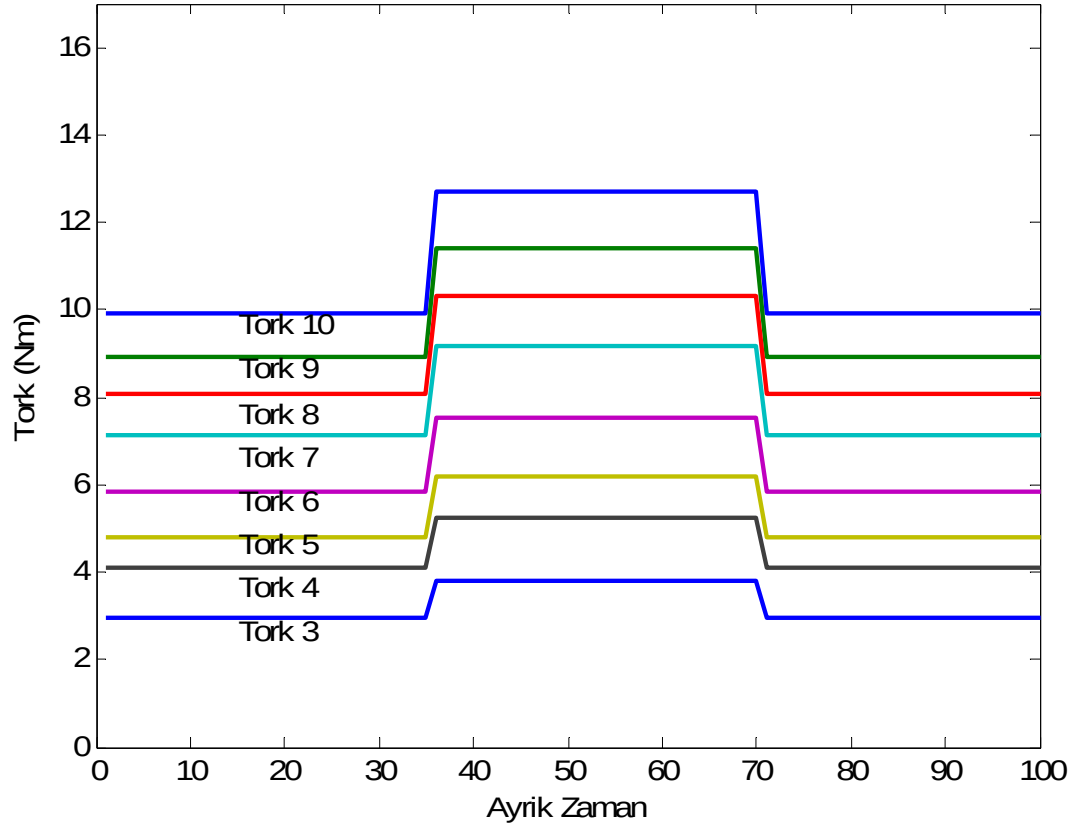
Şekil 6-1: Gerilimin 290 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



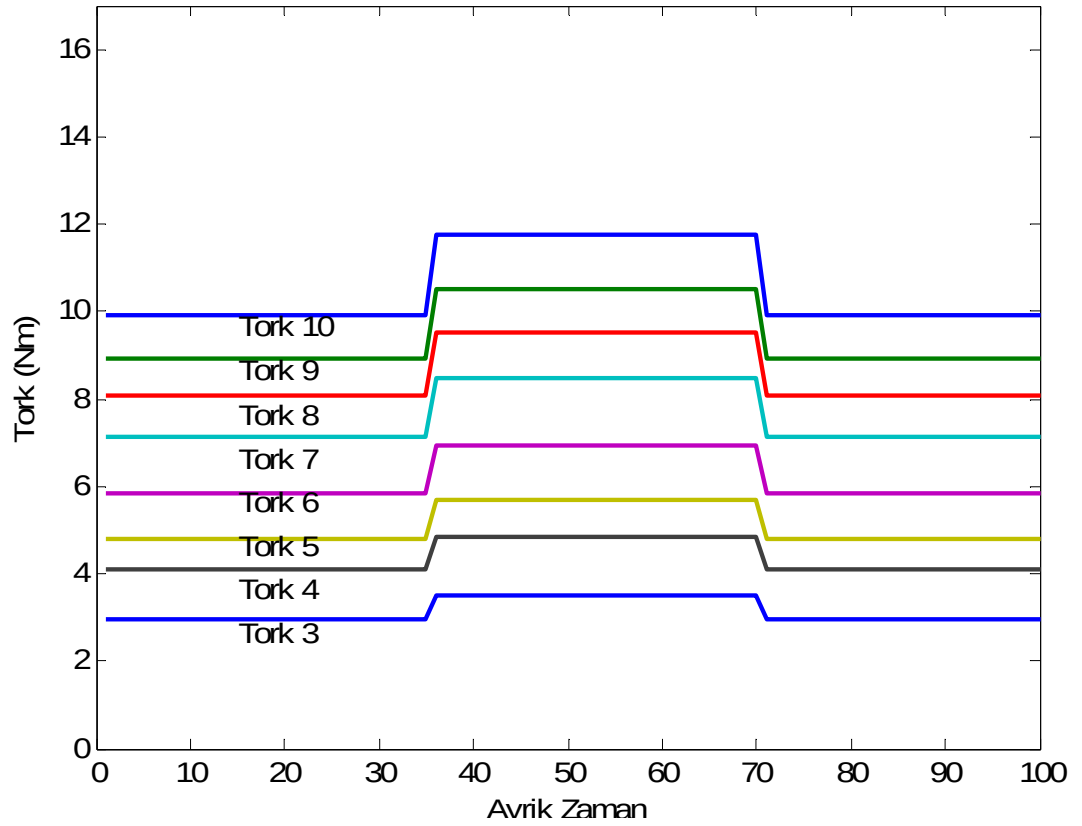
Şekil 6-2: Gerilimin 280 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



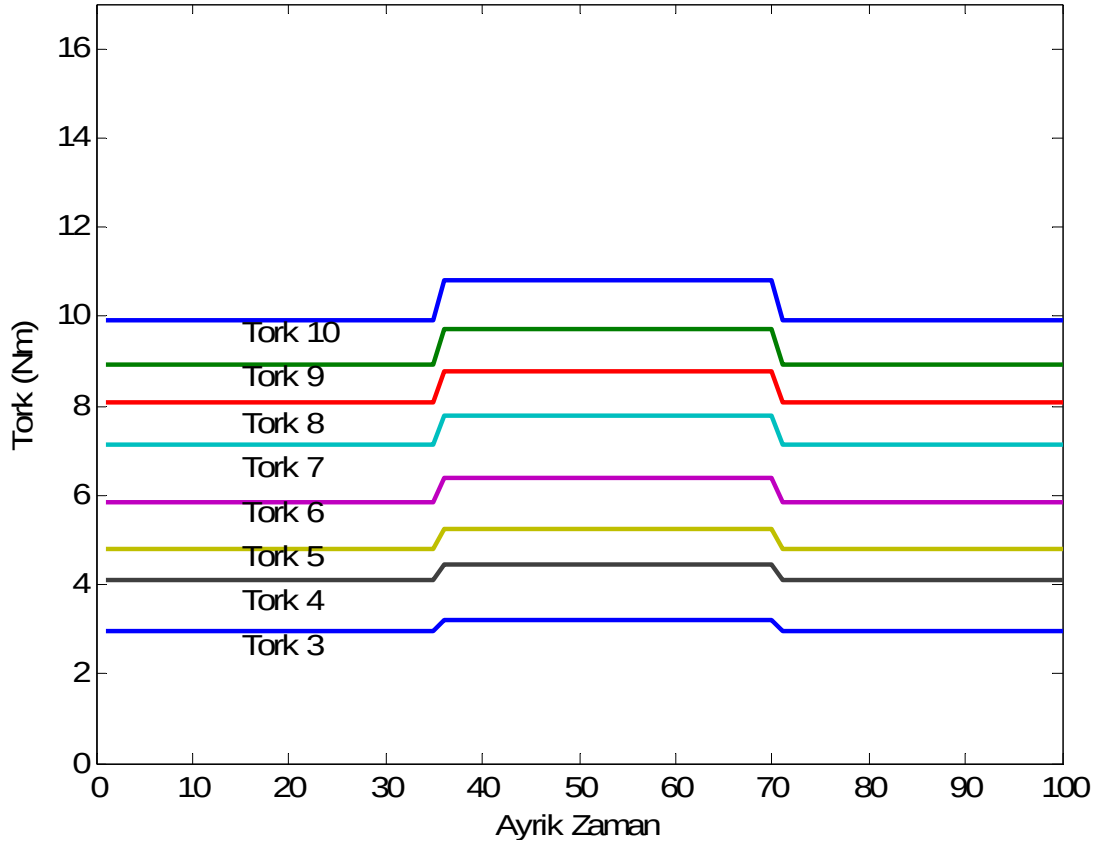
Şekil 6-3: Gerilimin 270 V.' A Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



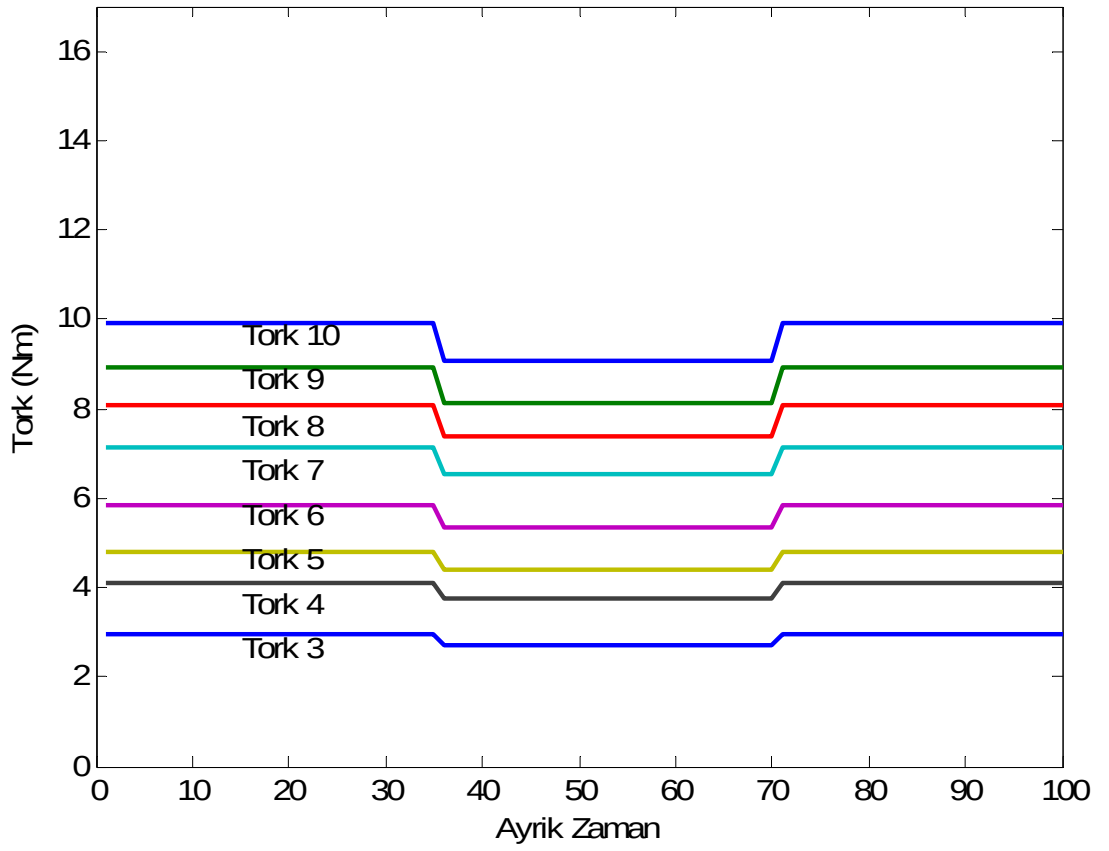
Şekil 6-4: Gerilimin 260 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



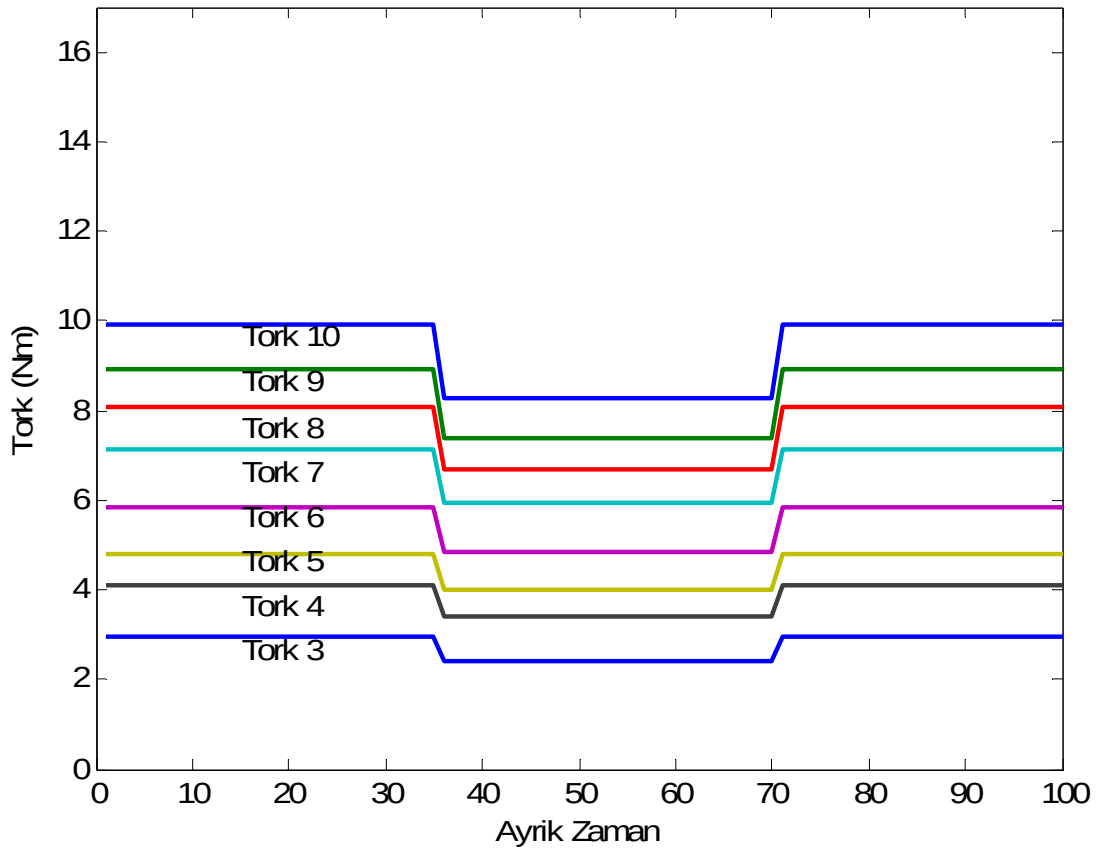
Şekil 6-5: Gerilimin 250 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



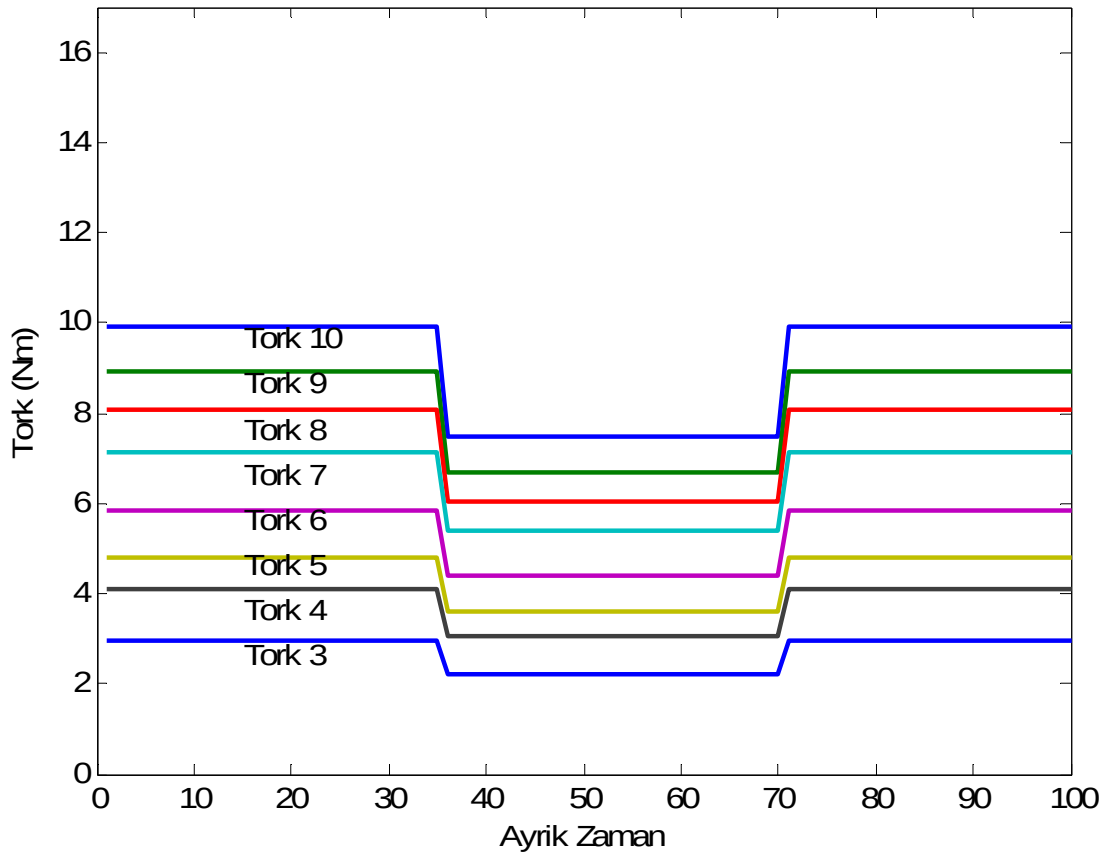
Şekil 6-6: Gerilimin 240 V.' a Yükselmesi Sonucu Torkun Değişimi



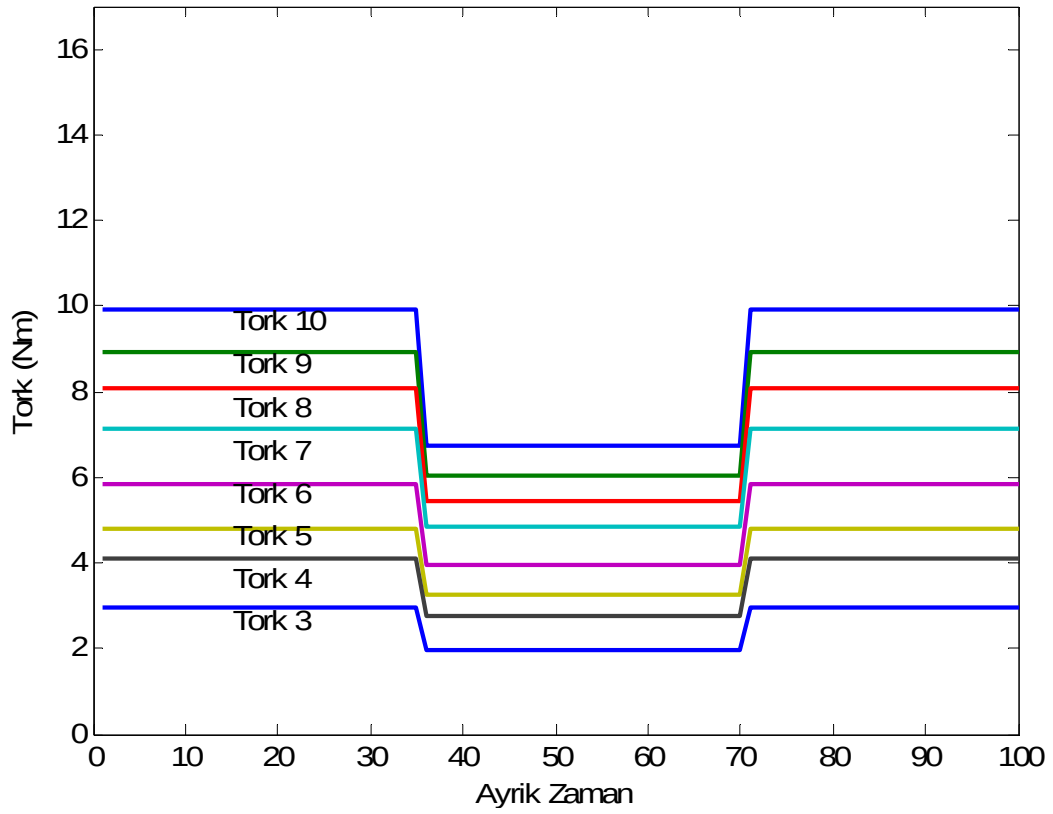
Şekil 6-7: Gerilimin 220 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



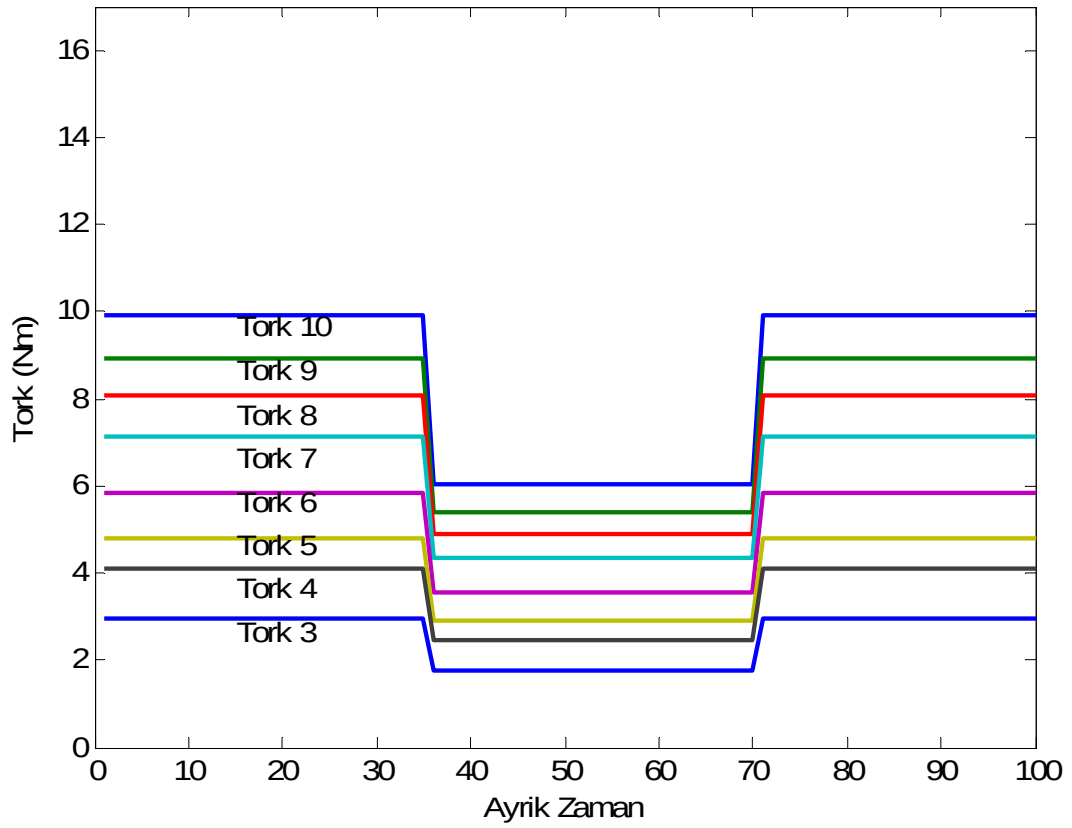
Şekil 6-8: Gerilimin 210 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



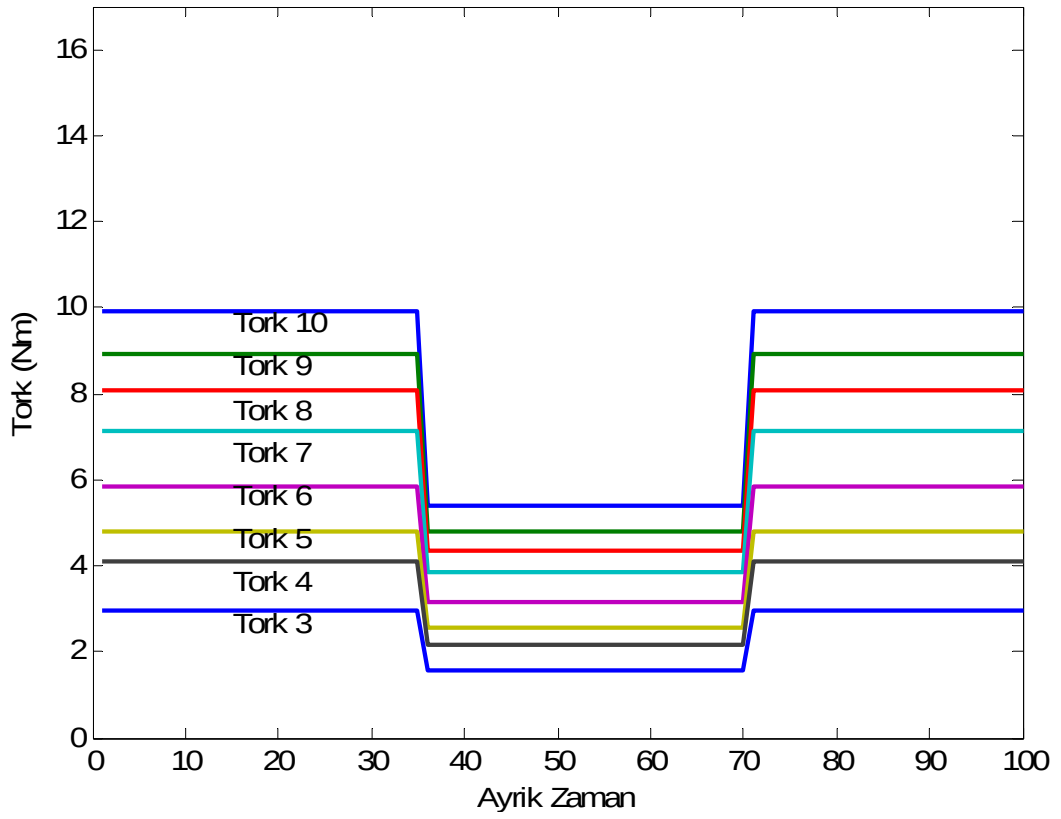
Şekil 6-9: Gerilimin 200 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



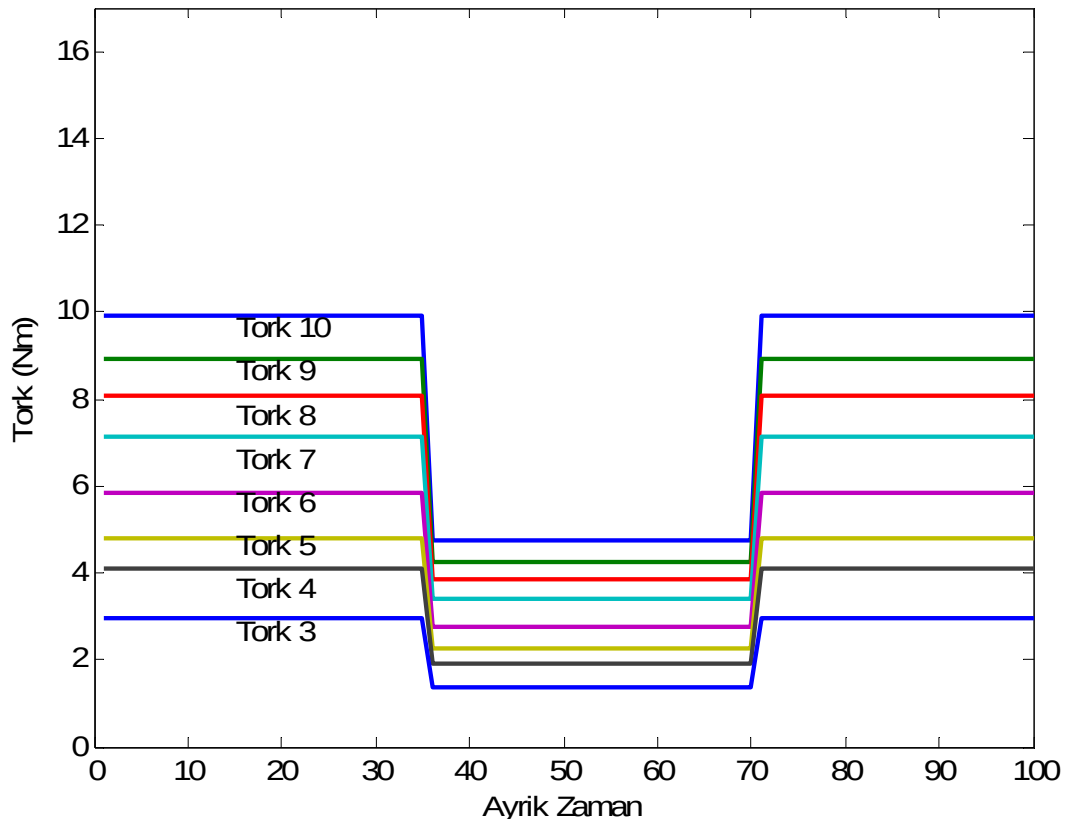
Şekil 6-10: Gerilimin 190 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



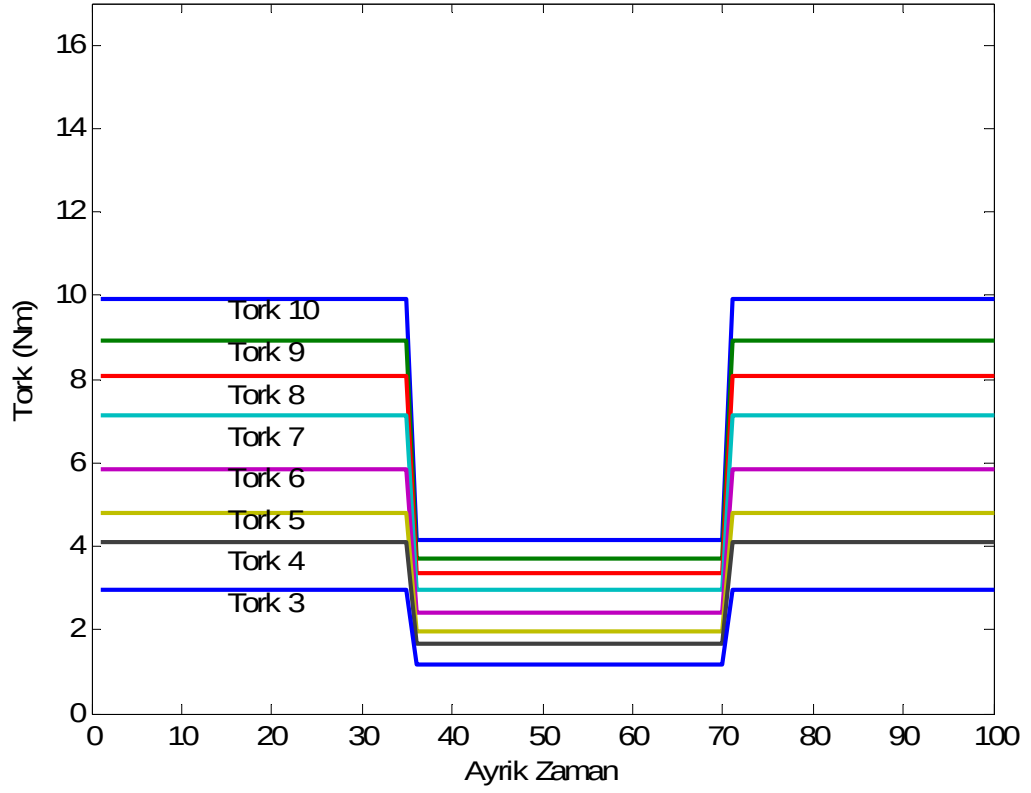
Şekil 6-11: Gerilimin 180 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



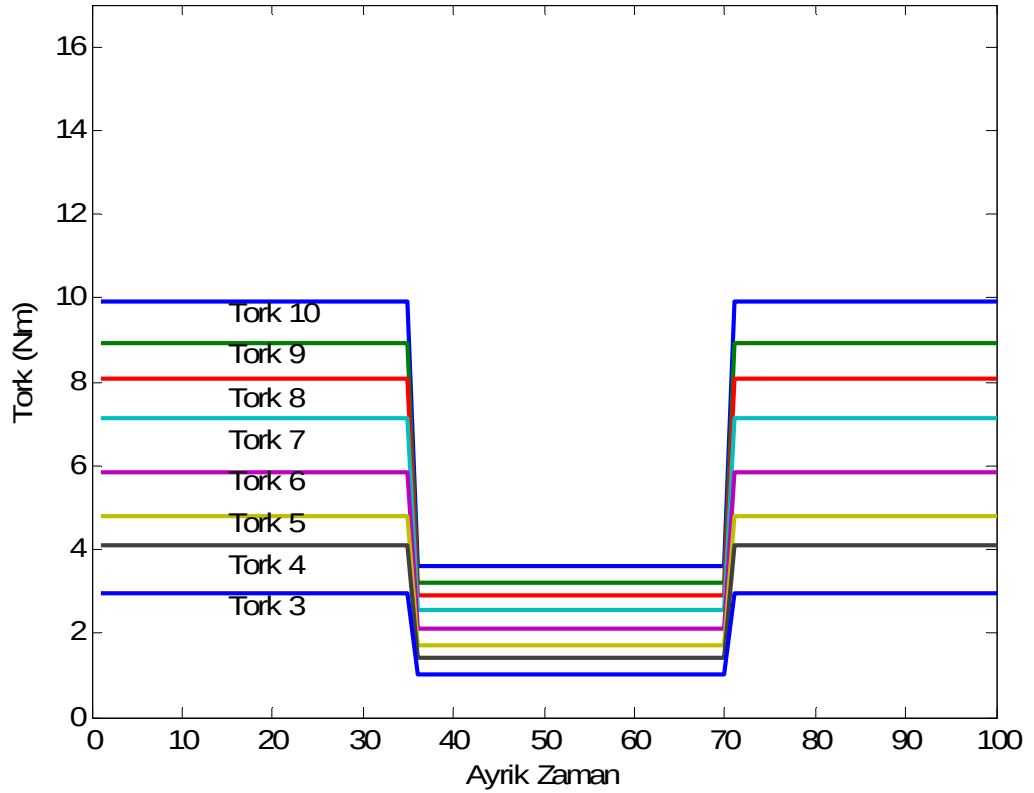
Şekil 6-12: Gerilimin 170 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



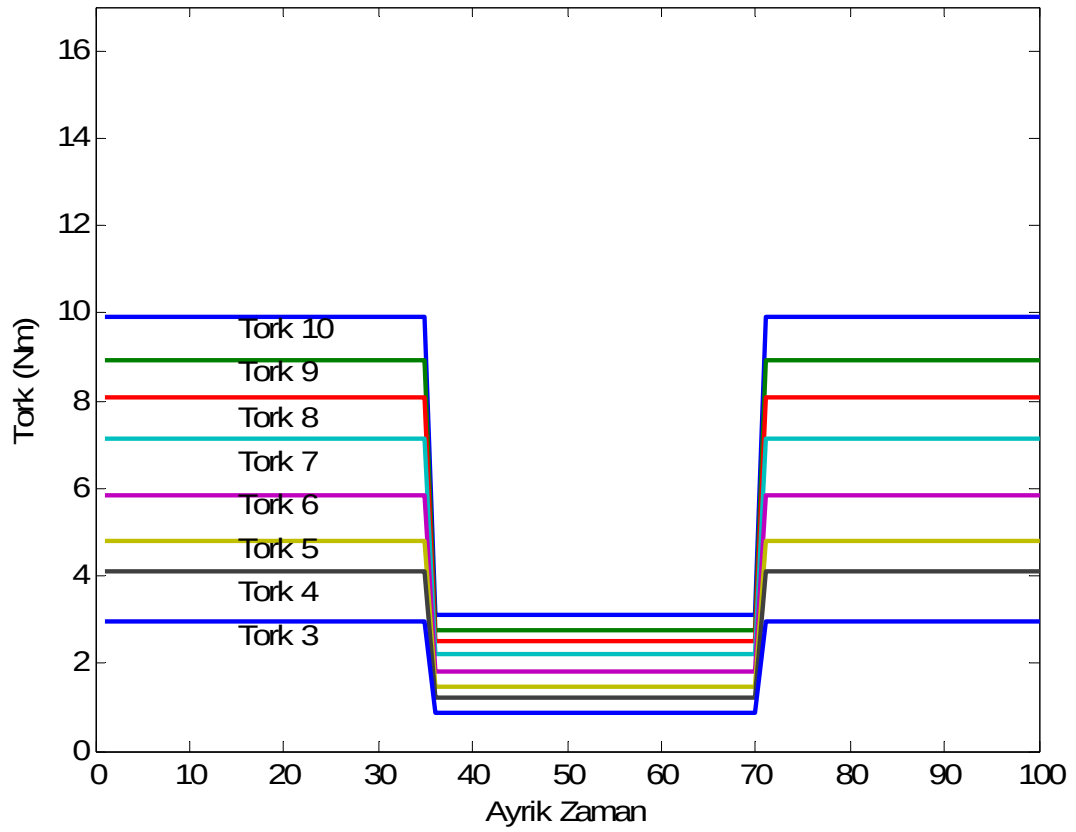
Şekil 6-13: Gerilimin 160 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



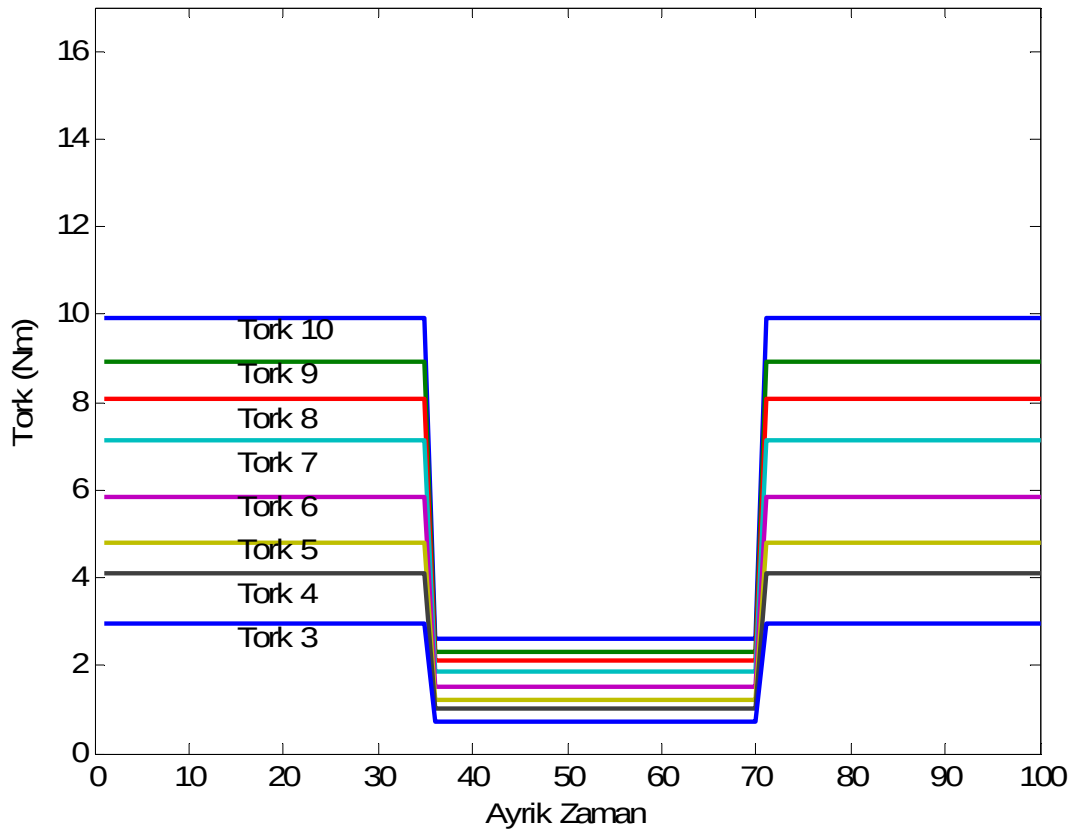
Şekil 6-14: Gerilimin 150 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



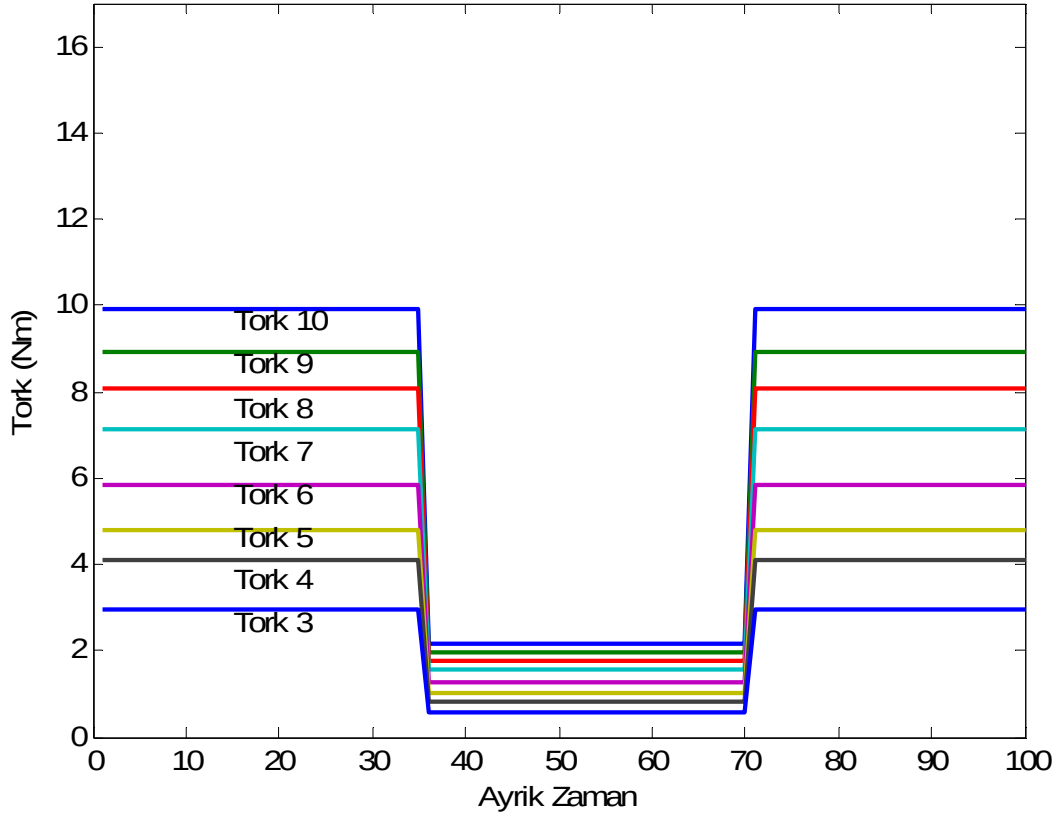
Şekil 6-15: Gerilimin 140 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



Şekil 6-16: Gerilimin 130 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



Şekil 6-17: Gerilimin 120 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi



Şekil 6-18: Gerilimin 110 V.' a Düşmesi Sonucu Torkun Değişimi

Şekil 6-1 ve Şekil 6-18 arasındaki şekillerde uç gerilimdeki değişimlerin kalıcı durumdaki tork değerlerini nasıl değiştirdiği görülmektedir. Örneğin 10 Nm. Tork ile yükü döndürmekte olan motorumuz gerilimin 120 V. a düşmesi ile mil torkunu 3 Nm. seviyelerine düşürmektedir. Mildeki net torkun, yük torkunun altına düşmesi durumunda motor mili duracaktır. Bir fazlı motorların kullanıldığı birçok uygulamada, örneğin tekstil sektöründe, üretim hattında yer alan dokuma makinesinde kullanılan bir motorun istem dışı durmasına tahammül yoktur. Yaşanan her kesilme üretim hattında hammaddenin atıl kalması anlamına gelmektedir.

6.2 Sabit Tork Altında Motor Uç Gerilimi Değişimlerinin İncelenmesi

Bu bölümde sabit tork çekebilen bir yük ile yüklenmiş olan bir fazlı asenkron motorumuzun uç geriliminde meydana gelen değişimlere tork hat akımı ve kayma kapsamında cevabı incelenmiştir.

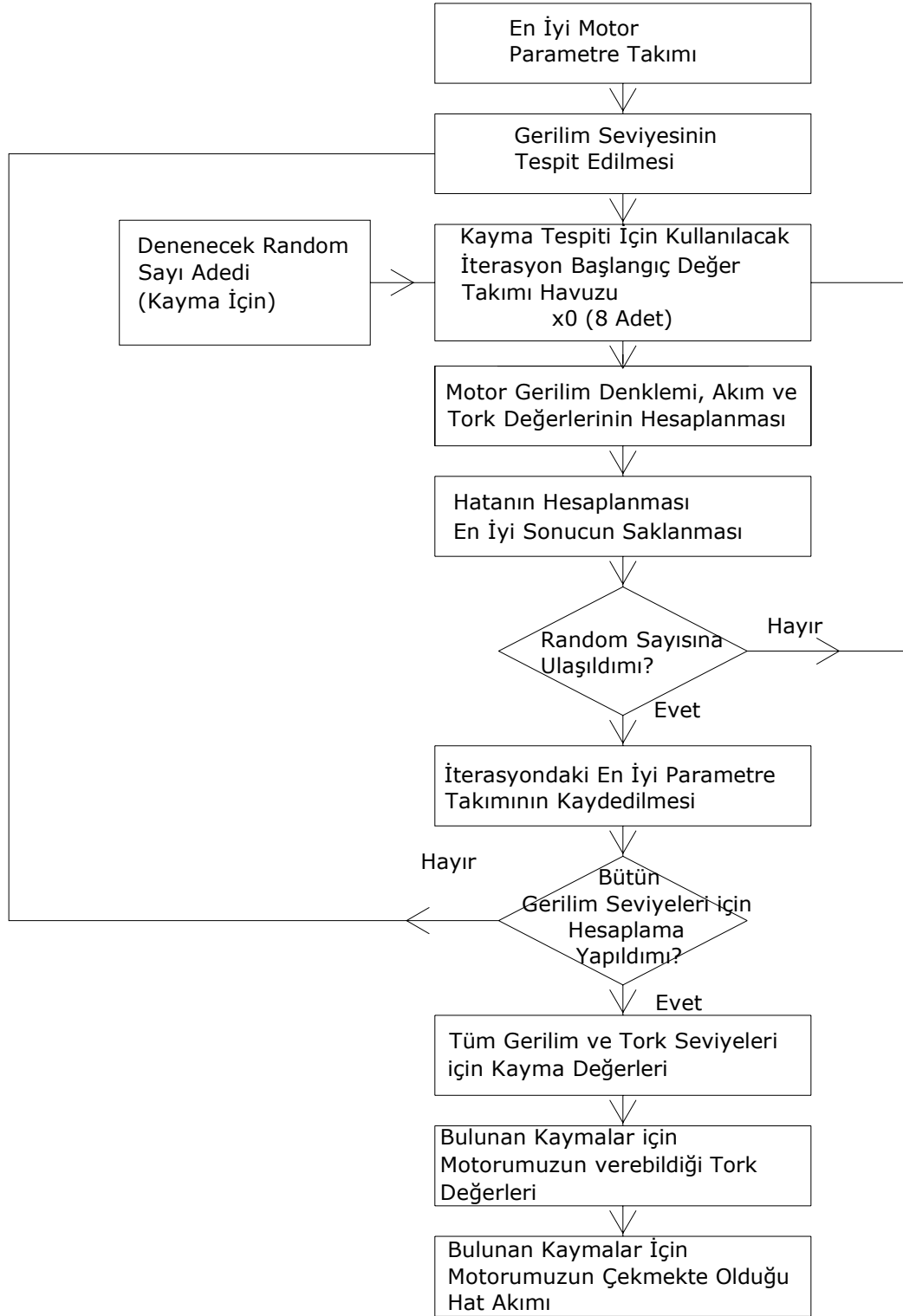
Yüklerin çoğu sabit torklu olarak düşünülebilir. Tipik sabit torklu yüklere örnek olarak konveyörler, kompresörler ve pozitif yer değiştirmeli pompalar verilebilir [18]. Örneğin konveyörler, üretim hatlarında belirli bir sistematik ve zamanlama içinde ürünleri taşıyan sistemlerdir. Bu sistemlerde meydana gelebilecek arızalar, istem dışı devre dışı kalmalar üretim sürecine olumsuz etkide bunacaktırlar.

Şekil 6-20 motorumuzu her bir gerilim kademesinde sırası ile 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 ve 3 Nm. lik torklar çeken yükümüze motorun aktarabildiği torku göstermektedir.

Şekil 6-19 da her bir çalışma durumu için kayma değerlerinin belirlenmesi için gerekli akış diyagramı yer almaktadır.

Bu çalışmada kayma değerlerinin hesaplanması sırasında, başlangıç değerlerinin tespiti amacı ile başlangıç değer havuzu oluşturulurken öncelikle 230 V. luk referans çalışma durumu göz önüne alınmaktadır ve 230 V. un üzerinde ve altında bulunan gerilim seviyeli çalışma durumları için sıra ile kayma değerleri hesaplanmaktadır. Diğer bir değişle düşük gerilim seviyeleri için aynı tork değerinde daha büyük bir değerde kayma elde edilmesi gerektiğinden havuz da bu doğrultuda sınırlandırılmıştır. Örneğin; tespit edilecek kayma değeri için havuzun üst sınırı bir yüksek gerilim seviyesinde aynı tork değerinde elde edilen kayma değeri olmaktadır. Bunun yanı sıra aynı gerilim seviyesi için de ilk olarak 10 Nm. Lik tork için kayma değerleri hesaplanmış ve aynı gerilim seviyelerindeki düşük tork çalışma durumları için de kayma değerinin düşeceği ön görülerek, başlangıç değer havuzunun en büyük değeri olarak; 10 Nm. için hesaplanan tork değeri alınmıştır. Benzer şekilde yüksek gerilimli çalışma durumları için de örneğin, 240 V. ta 10 Nm. lik tork değerli çalışma noktası için, 230 V. taki 10 Nm. de elde edilen kaymadan daha küçük bir kayma beklenerek başlangıç değer havuzu belirlenmiştir. 250 V. taki referans ise 240 V. taki

10 Nm. lik çalışma durumundaki kayma değeri olmaktadır. Aynı gerilim seviyesindeki çalışma durumları için de talep edilen torkun düşmesi kayma değerinin düşmesine neden olacağından bir üst seviyedeki çalışma noktasındaki tork değerine ait kayma değerinin altında bir kayma değeri oluşacaktır. Böylece düşük tork değerli yeni çalışma durumu için başlangıç değer havuzunun en büyük değeri bir önceki seviyede elde edilen kayma değeri olacaktır.



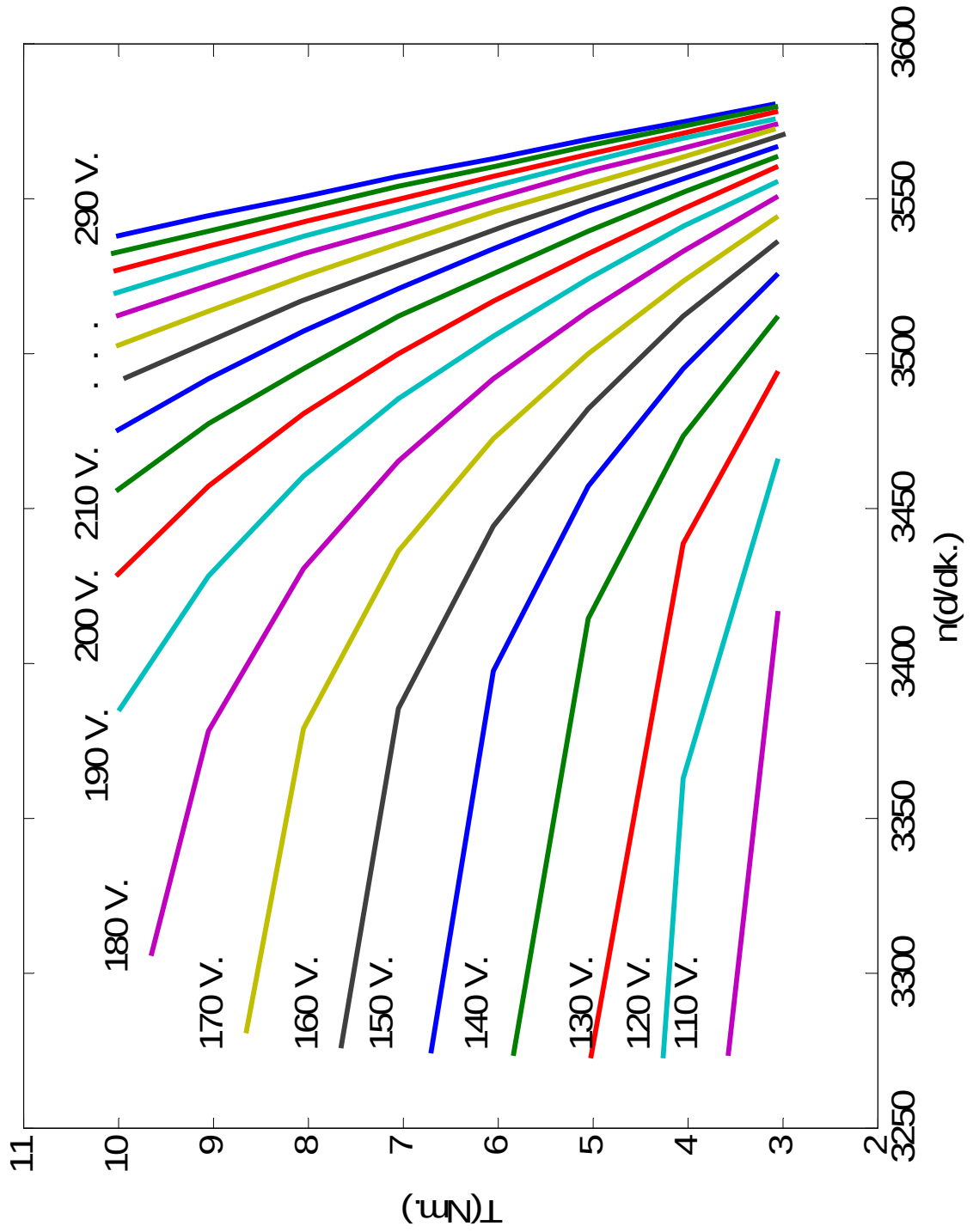
Şekil 6-19: Sabit Tork Altında Kayma ve Çalışma Durumlarının Belirlenmesinde Kullanılan Akış Diyagramı

Şekil 6-20 den görüleceği gibi 190 V. un altındaki gerilim kademelerinde motorun çekilen torku verebilme kabiliyeti kaybolmaya başlamaktadır. Örneğin; 170 V. ta 10 Nm. tork talep eden yükümüze, motorumuz 8,6449 Nm. lik performans gösterebilmektedir. Bu durumda motor devri 3281 d/dk. dır ve bu çalışma durumunun sağlanması için 28,083 A lik bir hat akımı hesaplanmıştır.

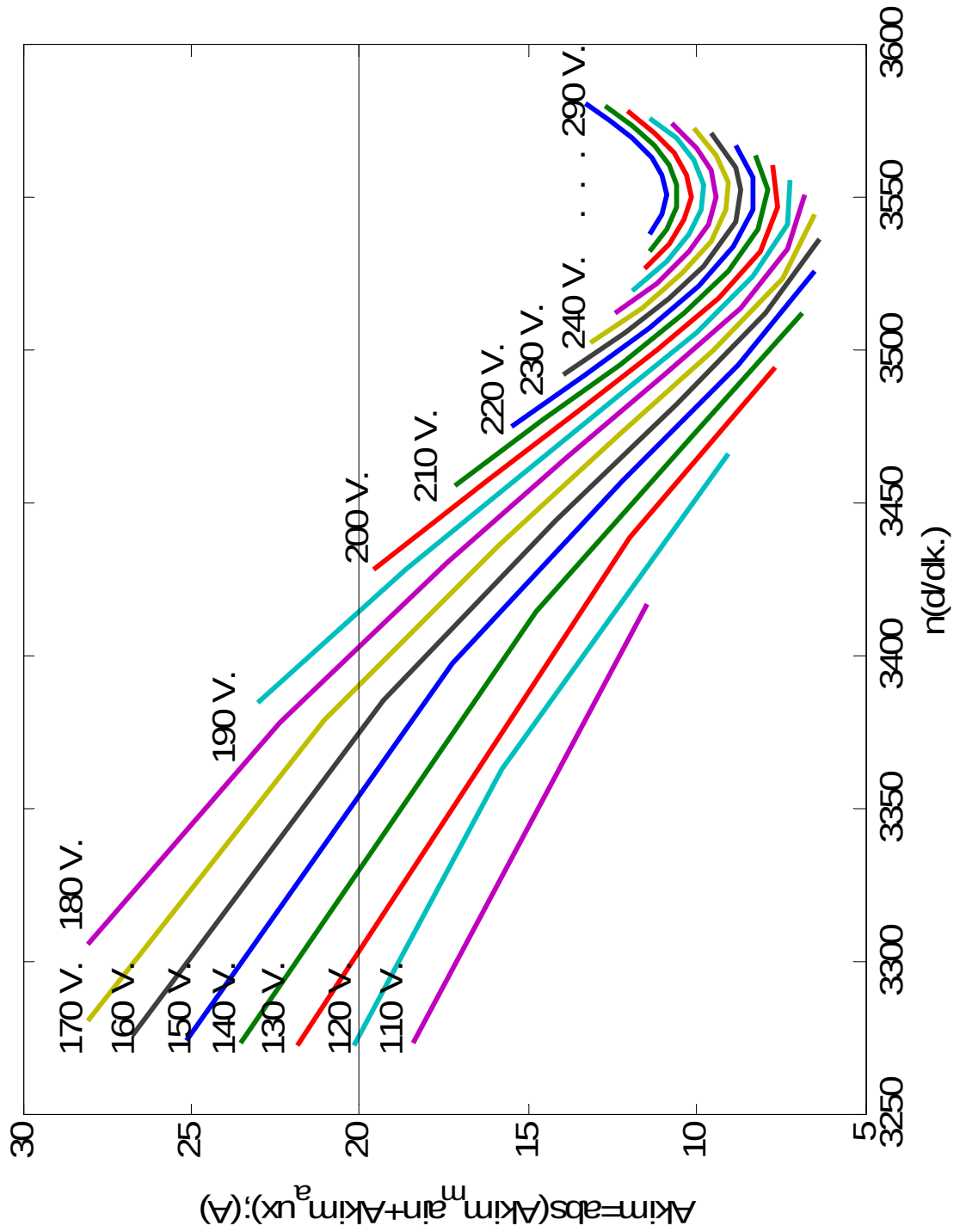
Şekil 6-19, Şekil 6-20, Şekil 6-21 te verilen sonuçlar tamamen bilgisayar da yapılan teorik hesaplamalara dayanmaktadır. Gerçekte bu torkların sağlanıp sağlanamayacağı makinenin akım ve ısı dayanımı gibi başka parametrelerine de bağlıdır. Daha önce parametre hesabında yaptığımız karşılaştırmalara dayanarak, makine hat akımının 14 ila 20 A. arasında değiştiğini bilmekteyiz. Bu durumda bu akımın üzerinde akım çektiğimiz çalışma durumları makineye kalıcı durum için zarar verecektir. Hatta bazı yüksek akım değerleri için devrede bulunan, makine ve devre koruma elemanlarının devreye girerek motoru enerjisiz bırakması söz konusu olacaktır.

Bu durumda 170 V. uç gerilimi altında örnekte verdiğimiz çalışma durumu bilgisayar ortamında gerçekleşse de 28,083 A lik akım değeri nedeni ile pratikte sürekli bir çalışma olarak kabul edilemeyecektir. Bu çalışma noktasında motor aşırı akım çektiğinden giderek ısınacağından motor koruma elemanları devreye girerek motoru bir süre sonra devreden çıkaracaktır. Motorun devreden çıkış süresi çekmekte olduğu akım ile ters orantılıdır. Şekil 6-21' de 20 A. seviyesinde yer alan çizginin üst tarafı bilgisayar ortamında sonuç olarak verilen fakat gerçek çalışma durumunda motorun devre dışı kalacağı bölgeyi göstermektedir.

Şekil 6-20 ve Şekil 6-21 de sırası ile Tork – Devir ve Hat Akımı – Devir Karakteristiği her bir gerilim seviyesi bir eğriyi temsil edecek şekilde verilmiştir.



Şekil 6-20: Sabit Tork Altında Gerilim Değişimlerinin Oluşturduğu Tork – Devir Karakteristiği



Şekil 6-21: Sabit Tork Altında Gerilim Değişimlerinin Oluşturduğu Akım – Devir Karakteristiği

Şekil 6-20 da düşük gerilim seviyelerinde talep edilen bazı tork değerlerinin karşılanamadığı görülmektedir. Gerilim arttıkça devir kaybı yaşanmadan talep edilen tork karşılanabilmektedir. Ancak bu durumda motor nominal akım değerlerinin üzerinde akım çekerek çalışmaktadır ve motor, çekilen akım arttıkça ısınmaktadır. Isınma termik koruma sınırlarının üzerine çıktığında motor devreden çıkacaktır. Bu nedenle bu çalışma bölgesi tamamen sürekli çalışma bölgesi olarak kabul edilemez.

Şekil 6-21 de düşük gerilim değerlerinde motorun talep edilen torku vermek için daha yüksek akımlar çekme zorunda kaldığı görülmektedir. Nominal gerilim seviyelerinde motor istenen tork değerlerini aşırı akımlar çekmeden sağlamaktadır. Ancak uç gerilimdeki artışında aşırı akımların çekilmesine yol açacağı özellikle 290 V. seviyesi için verilen eğriden anlaşılmaktadır. Gerilim kademesinin her artışında eğrilerin sağ kenarı üst akım seviyelerine doğru kıvrılmaktadır.

6.3 Sonuç

Literatürde daha önce incelenmiş olan motor düzeneği için kalıcı durumda oluşan gerilim değişimleri motor milinde kalıcı tork değişikliğine neden olmaktadır. Bölümümüzün ilk kısmında bu motor için bu durum grafiklerle verilmiştir. Bu grafikler bilgisayar ortamında teorik olarak motor verebileceği tork değerlerini göstermektedir. Gerçek çalışma durumunda bazı gerilim seviyeleri için bu mil torku değerleri mümkün olmayacaktır.

Sabit tork çeken bir yük ile yükleme çalışmamız motor gerilim değişimlerinin motor hat akımını artırdığını ortaya koymaktadır. Özellikle düşük gerilim seviyelerinde motor mekanik olarak istenen performansı da sergileyememektedir. Akımın yükseldiği seviyelerde motorun zarar görmesi ya da devreden çıkarak içinde bulunduğu imalat bandı akışına zarar vereceği aşîkârdır. Düşük gerilim seviyeleri kadar aşırı gerilim artışları da çekilen akımı artıracığından benzer şekilde motor ya da imalat sürecine zarar verecektir.

Çalışma sürekliliği son derece hassas kabul edilen, enjeksiyon, tekstil ve elektronik imalat vb. sektörlerde kullanılan bir fazlı asenkron motorların bu tarz incelemelere tabi tutularak, gerilim değişmelerine ne şekilde cevap verdikleri ortaya

konulmuş olacaktır. Böylece çalışma süreliliğinin önemli olduğu işletmelerin satın alması gereken enerjinin kalitesine karar vermesi mümkün olacaktır. İşletmenin satın aldığı enerji kalitesini değiştirememesi durumunda ise gerilim dalgalanmalarını belirli bir seviyede tutacak, çözümler araması gerekecektir.

7 SONUÇLAR

Güç kalitesi kavramı, yeni teknolojinin ve günden güne artan alıcı sayısının etkisi ile oldukça önem kazanan bir kavram halinde gelmiştir. Gerilimin dalga şeklini bozan güç kalitesi bozucu etkenlerin yanı sıra gerilimin genliğini de etkileyen güç kalitesi bozucu hadiseler yıllık çalışma periyodu içerisinde gittikçe artmaktadır.

Gerilimin genliği ile ilgili oluşan bozulmalar özellikle bilgisayar, plastik ve demir döküm sanayisini, tekstil sanayisini ve cam sanayisini oldukça olumsuz etkilemektedir. Bu konuda bilgisayar güç kaynağı üretici firmaları, güç kaynağı kalitesini standardize etmek ve tüketicileri bilgilendirmek adına bir endeks oluşturmuş ve yayınlamıştır. Bu tarz endekslerin her sektör için yaygınlaşarak ortaya konması enerji kalitesi standardize etmekte ve alıcıları kategorize etmekte oldukça faydalı olacaktır.

Gerilim düşmesi incelemelerinde kısa devre arızasının PCC olarak seçilen noktaya pozisyonuna göre, PCC noktasının gerilimini etkileme seviyesi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kısa devre arızasının PCC noktasına uzak olması, yakın olmasından daha büyük genlikli gerilim düşmesine neden olmaktadır. Yapılan her incelemede gerilim düşmesinin genliği ile kritik mesafe olarak anılan, arıza noktası-PCC arası mesafe eğrisi elde edilmiştir. Bu eğriler dağıtım ve iletim hatlarında arızalara açık olan bölümlerde meydana gelebilecek arızaların diğer alıcıları ne şekilde etkileyeceğini ön görmekte oldukça faydalı kullanılabilmektedir.

Tezde literatürde verilen bir motorun parametreleri, kalıcı durum dağıtılmış parametreleri metodu ile farklı bir iteratif yaklaşımda bulunarak, model parametreleri hesaplanmıştır. Çözüm sistemi olarak çalışmalarımıza konu olan literatürde incelenmiş olan motor için yapılan çalışmaların aksine “Grid Search” yöntemi ile değil de Matlab programının minimizasyon özellikli optimizasyon komutları kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemi sonuca ulaşma zamanını oldukça etkilemektedir. Analizlerimizde öncelikle “Grid Search” denenmiştir. Fakat bu analiz için kullanılan bilgisayarların belli bir süre sonrasında (2 Hafta) sınırsız çalışmadan ötürü donduğu gözlenmiştir. Oysaki denklemler, kabul edilebilir hata değerleri ile belli başlangıç değerleri ve aralıkta seçilen rasgele parametreler yardımı ile çok daha hızlı bir

şekilde sağlanmıştır. Bu çalışmada, literatürde yer alan motor özellikleri ve başlangıç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan parametreler ve veriler oldukça doğru sonuçlarla motorun modellenmesini sağlamıştır. Buna mukabil kendi test sistemimiz için, fabrikasyon nitelikte isabetli parametreler elimizde bulunmamaktadır. Bu verileri tüm araştırmalarımıza rağmen ilk elden elde edemediğimiz için hatırı sayılır miktarda kabul yaparak, yaklaşık değerlerle motor modelimizi oluşturmak zorunda kaldık. Analiz sonuçlarında çıkan tork karakteristiğinin, deney sonucu ile elde ettiğimiz tork karakteristiği ile yeterince örtüşmemesinin nedeninin bu parametrelerden bir veya birkaçının isabetsiz tahmin edilmesi nedeni olduğu düşünülmektedir. Bir fazlı asenkron motorların güç kalitesi bozucu gerilim değişimlerinden ne yönde etkileneceğini ortaya koyacağı bu çalışma üreticiler tarafından uygulanacaktır. Bu nedenle bizim tespit etmekte zorlandığımız parametrelerin imalatçı ve tasarımcılar tarafından kolayca belirlenmesi mümkündür. Bu durum modelin pratikte kullanılmasını kolaylaştıracaktır.

Literatürde daha önce incelenmiş olan motor düzeneği için kalıcı durumda oluşan gerilim değişimleri motor milinde kalıcı tork değişikliğine neden olmaktadır. Son bölümün ilk kısmında bu durum grafiklerle verilmiştir. Bu grafikler bilgisayar ortamında teorik olarak motor verebileceği tork değerlerini göstermektedir. Gerçek çalışma durumunda bazı gerilim seviyeleri için bu mil torku değerleri mümkün olmayacaktır.

Sabit tork çeken bir yükte yükleme çalışmamız motor gerilim değişimlerinin motor hat akımını artırdığını ortaya koymaktadır. Özellikle düşük gerilim seviyelerinde motor mekanik olarak istenen performansı da sergileyememektedir. Akımın yükseldiği seviyelerde motorun zarar görmesi ya da devreden çıkarak içinde bulunduğu imalat bandı akışına zarar vereceği aşîkârdır. Düşük gerilim seviyeleri kadar aşırı gerilim artışları da çekilen akımı artıracığından benzer şekilde motor ya da imalat sürecine zarar verecektir.

Çalışma ile sürekliliği son derece hassas kabul edilen, enjeksiyon, tekstil ve elektronik eşya imalat vb. sektörlerde kullanılan bir fazlı asenkron motorların bu tarz incelemelere tabi tutularak, gerilim değişimlerine ne şekilde cevap verdikleri ortaya konulmuş olacaktır. Böylece çalışma sürekliliğinin önemli olduğu işletmelerin satın

alması gereken enerjinin kalitesine karar vermesi mümkün olacaktır. İşletmenin satın aldığı enerji kalitesini değiştirememesi durumunda ise gerilim dalgalanmalarını belirli bir seviyede tutacak, çözümler araması gerekecektir.

Yapılan gerilim değişim analizinde elde edilen torklardaki hesaplanan akım değerleri için, makine ve devre koruma elemanlarının devreye girerek motoru enerjisiz bırakması söz konusu olacaktır. Bu çalışmayı takiben motorların istem dışı devreden çıkmalarına yol açan bu gerilim dalgalanmalarının endüstride ve imalat yapan sektörlerde ne gibi ekonomik kayıplara yol açacağı da çalışmayı takip edebilecek konular içindedir. Bunun dışında özellikle geçici sürelerde meydana gelen gerilim düşmesi ve şişmesi için bu motorların geçici cevap mekanik karakteristiği analizi, çalışmamızı takip edecek bir diğer konudur.

KAYNAKLAR

- [1] Domijan Alexander Jr. and Yuexin Yin, “Single/Phase Induction Machine Simulation Using the Electromagnetic Transient Program: Theory and Test Cases”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.9, No: 3, pp.535-542, September 1994.

- [2] D. Umans Stephen, Steady – “State, Lumped –Parameter Model for Capacitor – Run, Single-Phase Induction Motors”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, No:1, pp.169-179, January /February 1996.

- [3] Juan C. Gomez, Medhat M. Morcos, Claudio A. Reineri, and Gabriel N. Campetelli, “Behavior Of Induction Motor Due To Voltage Sags And Short Interruptions”, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 17, No:2, pp.434-440 April 2002.

- [4] Blanes Jorge and Quijano Alfredo, “Simulation of Induction Motors Behaviour during Voltage Disturbances Using an Aggregated Model”, 97 EEUG Meeting, Spain, 1997.

- [5] Bollen Math H. J., Yalçinkaya G. and Hazza G., “The Use of Electromagnetic Transient Programs for Voltage Sag Analysis”, 8’th International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP’ 98 organized by IEEE/PES and NTUA, Athens, Greece, October 14-16, 1998

- [6] Leiria Andreia, Nunes Pedro, Morched Atef and Barros M. Teresa Correia de, “Induction Motor Response to Voltage Dips”, Department of Studies and Development, LABELEC – EDP Group, pp.1-5 Portugal, 2006

- [7] Faiz Jawad, Ebrahimpour H. and Pillay P., “Influence Of Unbalanced Voltage Supply on Efficiency of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor and Economic Analysis”, Energy Conversion and Management 47,pp. 289-302, 2006

- [8] Wang J. and Chen S., “System Voltage Sag Performance Estimation”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No.2, pp.1738-1747, April 2005.

- [9] Stockman S. Z. Djokic, Milanovic J. V., Desmet J. J. M. and Belmans R. "Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags and Short Interruptions" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, pp.494-505, January 2005.
- [10] Yanıkoğlu Ertan, Yılmaz Ahmet S "Behavior of Synchronous Generators During The Short Duration Voltage Sags", Dept. Electrical and Electronics Eng., Sakarya University, Sakarya, TURKEY, 1998.
- [11] Stockman Kurt, D'hulster Frederik, Verhaege Kevin, Didden Marcel and Belmans Ronnie, "Ride – Through of Adjustable Speed Drives During Voltage Dips" Electric Power Systems Research 66,pp.49-58, 2003.
- [12] Barry W. Kennedy, "Power Quality Primer", Published by McGraw-Hill Professional, September 2000, ISBN 0071344160.
- [13] "ITI (Cbema) Curve Application Note", Information Technology Industry Council (ITI), 1250 Eye Street NW Suite 200 Washington DC 20005, 202-737-8888
- [14] Math H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems : Voltage Sags and Interruptions", September 1999, Wiley-IEEE Pres, ISBN: 0-7803-4713-7.
- [15] Bhag S. GURU and Hüseyin R. HİZİROĞLU, "Electric Machinery and Transformers Third Edition", Oxford Universty Pres, New York, 2001.
- [16] IEE Std 114-1982; "Standart Test Procedure for Single-Phase Induction Motors", December 1982.
- [17] Fitzgerald A.E., Kingsley C. and Uman S:D: "Electric Machinery", McGraw-Hill, 1980.
- [18] "Siemens Micromaster 440 Parametre Listesi" User Documentation, 6SE6400-5BB00-0BP0

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim EVREN, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretim Eczacıbaşı İ.Ö.O. Kartal Endüstri Meslek Lisesi ve Tuzla Teknik Lisesi olarak 1998 yılında tamamlandı. 1998 yılında girmeye hak kazandığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Enerji sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı da yüksek lisans öğrenimine başladı.