



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YOL KOŞULLARINA UYGUN
MOTOR SEÇİMİ ALGORİTMASI GELİŞTİRME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKREM BAŞER

OCAK 2016

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Ekrem BAŞER tarafından hazırlanan ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YOL KOŞULLARINA UYGUN MOTOR SEÇİMİ ALGORİTMASI GELİŞTİRME isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN
Düzce Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Resul KARA
Düzce Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALIŞKAN
Bülent Ecevit Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 07.01.2016

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Ekrem BAŞER'in Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasındaki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çevresinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada geçen, bana ait olmayan bütün ifade ve bilgilerin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

7 Ocak 2016

Ekrem BAŞER





Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımdan dolayı başta kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN olmak üzere tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP.2015.06.01.295 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

Ocak 2016

Ekrem BAŞER



TEŞEKKÜR SAYFASI	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	5
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	5
1.2. LİTERATÜR TARAMASI	6
1.3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	10
1.3.1. Elektrikli Araçların Avantajları.....	11
1.3.2. Elektrikli Araçların Dezavantajları.....	11
<i>1.3.2.1. Maliyet.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2.2. İstasyonlar.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2.3. Batarya.....</i>	<i>12</i>
1.3.2. Elektrikli Araçlarda Kullanılmış Motorlar.....	12
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER	16
2.1. DOĞRU AKIM MOTORLARI.....	17
2.2. ASENKRON MOTOR.....	18
2.2.1. Asenkron Motor Çeşitleri.....	19
<i>2.2.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorlar.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1.2. Bilezikli Asenkron Motorlar.....</i>	<i>19</i>
2.2.2. Bir Fazlı ve Üç Fazlı Asenkron Motorlar.....	20
2.3. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTOR.....	21
2.4. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR.....	24
2.4.1. Relüktans Motorun Yapısı.....	24
2.5. MOTORLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	26

2.5.1. Elektrikli Araçta Olması Gereken Motorun Özellikleri.....	26
2.5.2. Elektrik Motorlarının Karşılaştırılması.....	27
2.6. MOTORLARIN MODELLENMESİ.....	28
2.6.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Modellenmesi.....	28
2.6.2. Asenkron Motorun Modellenmesi.....	32
2.7. MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ.....	36
2.7.1. Skaler Kontrol Yöntemleri.....	36
2.7.2. Vektörel Kontrol Yöntemleri.....	37
2.8. VEKTÖR KONTROL YÖNTEMİ LE MOTORLARIN KONTROLÜ.....	38
2.9. AZ AKIM ÇEKEN MOTORUN SEÇİLMESİ.....	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
3.1. MOTORLARIN 1000 D/DK'DA ÇALIŞTIRILMASI.....	44
3.2. MOTORLARIN 2000 D/DK'DA ÇALIŞTIRILMASI	47
3.3. TRAFİK BİLGİSİ GİRİLEREK MOTORLARIN SEÇTİRİLMESİ.....	58
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5. KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Fiat Doblo	13
Şekil 1.2.	Ford Focus Electric	14
Şekil 1.3	Toyota Prius	14
Şekil 2.1.	Elektrik Motorlarının Sınıflandırması	16
Şekil 2.2.	Dc Motor Çalışma Mantığı	17
Şekil 2.3.	DA Motor Tork-Hız Karakteristiği	18
Şekil 2.4.	Sincap Kafesli Asenkron Motor Rotoru	19
Şekil 2.5.	Bilezikli Asenkron Motor Rotorundaki Bilezikler	19
Şekil 2.6.	Asenkron Motorlar	20
Şekil 2.7.	Asenkron Motorların Tork-Hız Karakteristiği	21
Şekil 2.8.	Yüzey Mıknatıslı ve İçten Mıknatıslı Senkron Motor	22
Şekil 2.9.	SMSM Tork- Hız Karakteristiği	23
Şekil 2.10.	Anahtarlamalı Relüktans Motorların Stator ve Rotoru	25
Şekil 2.11.	ARM Tork-Hız Karakteristiği	26
Şekil 2.12.	EA'da Olması Gereken Motorun Tork-Hız Karakteristiği	27
Şekil 2.13.	Abc Eksen Takımından Dq Eksen Takımına Dönüşüm	29
Şekil 2.14.	I_{sd} Akımının Bulunması	29
Şekil 2.15.	I_{sq} Akımının Bulunması	30
Şekil 2.16.	Elektromanyetik Torkun Bulunması	30
Şekil 2.17.	Mekanik Hızın Bulunması	31
Şekil 2.18.	Rotor açısal pozisyonunun bulunması	31
Şekil 2.19.	Dq Eksenden Abc Eksene Dönüşüm	32
Şekil 2.20.	Stator Akılarının Hesaplanması	33
Şekil 2.21.	Mekanik Rotor Hızının Hesaplanması	33
Şekil 2.22.	Rotorun Elektriksel Hızı	33
Şekil 2.23.	Stator ve Rotor Akımlarının Hesaplanması	34
Şekil 2.24.	D Ekseninde Rotor Akısı Hesaplama	34
Şekil 2.25.	Kayma Hızının Elde Edilmesi	35
Şekil 2.26.	Elektromanyetik Torkun Hesaplanması	35
Şekil 2.27.	Kontrol Yöntemlerinin Sınıflandırılması	36

Şekil 2.28.	Vektör Kontrolü Blok Şeması	38
Şekil 2.29.	Senkron Motorun Vektör Kontrolü	39
Şekil 2.30.	Asenkron Motorun Vektör Kontrolü	39
Şekil 2.31.	Trafik Bilgisi Girdisi	41
Şekil 2.32.	Motorları Seçtirme İşlemi	43
Şekil 3.1.	SMSM Hız Grafiği	44
Şekil 3.2.	ASM Hız Grafiği	44
Şekil 3.3.	SMSM Tork Grafiği	45
Şekil 3.4.	ASM Tork Grafiği	45
Şekil 3.5.	SMSM Tork-Hız Grafiği	46
Şekil 3.6.	ASM Tork-Hız Grafiği	46
Şekil 3.7.	SMSM d-q Akımları Grafiği	47
Şekil 3.8.	ASM d-q Akımları Grafiği	47
Şekil 3.9.	SMSM Harcanan Güç Grafiği	48
Şekil 3.10.	ASM Harcanan Güç Grafiği	48
Şekil 3.11.	SMSM Harcanan Güç-Hız Grafiği	49
Şekil 3.12.	ASM Harcanan Güç-Hız Grafiği	49
Şekil 3.13.	SMSM abc Gerilimleri Grafiği	50
Şekil 3.14.	ASM abc Gerilimleri Grafiği	50
Şekil 3.15.	SMSM Hız Grafiği	51
Şekil 3.16.	ASM Hız Grafiği	51
Şekil 3.17.	SMSM Tork Grafiği	52
Şekil 3.18.	ASM Tork Grafiği	52
Şekil 3.19.	SMSM Tork-Hız Grafiği	53
Şekil 3.20.	ASM Tork-Hız Grafiği	53
Şekil 3.21.	SMSM d-q Akımları Grafiği	54
Şekil 3.22.	ASM d-q Akımları Grafiği	54
Şekil 3.23.	SMSM Harcanan Güç Grafiği	55
Şekil 3.24.	ASM Harcanan Güç Grafiği	55
Şekil 3.25.	SMSM Harcanan Güç-Hız Grafiği	56
Şekil 3.26.	ASM Harcanan Güç-Hız Grafiği	56
Şekil 3.27.	SMSM abc Gerilimleri Grafiği	57
Şekil 3.28.	ASM abc Gerilimleri Grafiği	57

Şekil 3.29.	Trafik Bilgisinden Elde Edilen Araç Hızı Grafiği	58
Şekil 3.30.	Aracın Hızına Karşılık Motor Devri Grafiği	58
Şekil 3.31.	Seçilen Motorların Hız Grafiği	59
Şekil 3.32.	Seçilen Motorların Tork Grafiği	59
Şekil 3.33.	Seçilen Motorların d-q Akımları Grafiği	60
Şekil 3.34.	Seçilen Motorların Harcadıkları Güç Grafiği	60



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Elektrikli Araçlar ve Kullandıkları Elektrik Motorları	15
Çizelge 2.1. Elektrik Motorlarının Karşılaştırılması	28
Çizelge 2.2 Trafik Bilgisi Renklerinin RGB ve Hız Karşılıkları	42



SİMGELER VE KISALTMALAR

EA	Elektrikli Araç
SMSM	Sürekli Miknatıslı Senkron Motor
FDAM	Fırçasız Doğru Akım Motor
ASM	Asenkron Motor
DA	Doğru Akım
DAM	Doğru Akım Motoru
ARM	Anahtarlamalı Relüktans Motor
AA	Alternatif Akım
D/DK	Dakikadaki Devir Sayısı

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YOL KOŞULLARINA UYGUN MOTOR SEÇİMİ ALGORİTMASI GELİŞTİRME

Ekrem BAŞER

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Ocak 2016,76sayfa

Günümüzde otomotiv endüstrisi dünyadaki petrol rezervlerinin azalması nedeniyle yakıt tasarrufu sağlamak, hava kirliliğini düşürmek, karbon emisyonunu azaltmak amacıyla elektrikli araçlara yönelmektedir. Batarya ve güç yönetimindeki teknolojik gelişmeler elektrikli araç endüstrisindeki çalışmaları ivmelendirmiş, birçok otomobil firması elektrikli araç üretmiş ve hâlâ da üzerinde çalışmaktadır. Günümüze kadar elektrikli araçlarda farklı elektrik motorları kullanılmıştır. Bu motorlar verimlilik, maliyet, performans, enerji tüketimi gibi faktörler açısından karşılaştırıldığında farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar araçlarda kullanılan elektrik motorlarına dayanmaktadır. Bu çalışmada asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor olmak üzere iki motor kullanan bir elektrikli aracın trafikte daha performanslı ve daha az enerji harcayarak gitmesi açısından aracın seyir esnasındaki hızına bağlı olarak araçta o an aktif olacak performansı daha yüksek, daha az güç harcayan ve daha az akım çeken motorun seçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda motorların matematiksel modelleri çıkartılmış ve bu modelleri kullanarak Matlab/Simulink programı sayesinde bir simülasyon oluşturulmuştur. Aracın bulunduğu trafiğin bilgisi kullanılarak aracın hızı belirlenmiş ve o hızda daha yüksek tork üreten ve daha az akım çeken motor seçilmiştir.

Anahtar sözcükler: Elektrikli Araç, Simulink, Asenkron Motor, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor

ABSTRACT

DEVELOPING CONVENIENT MOTOR SELECTION ALGORITHM TO ROAD CONDITIONS IN ELECTRIC VEHICLES

Ekrem BAŞER

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yusuf ALTUN

January 2016,76pages

Nowadays automotive industry tends to electric vehicles in order to save fuel, decline air pollution, reduce carbon emission due to decline of petroleum reserves on the world. Technological developments on the battery and power systems accelerated the studies in the electric vehicle industry and a lot of car company has produced electric vehicles and still working on it. Until today, different types of electric motors has used on electric vehicles. This motors differ when compared in terms of their efficiency, cost, performance and energy consumption. This differences base on electric motors used in electric vehicles. In this study, it is aimed to select one of the motors which are induction motor and permanent magnet synchronous motor used in an electric vehicle in order to use the motor which is more efficient and have less energy consumption depending on the vehicle's speed during the traffic. In accordance with this purpose, a simulation on Matlab/Simulink software has performed using the mathematical models of electric motors. Vehicle's speed is determined by using the traffic information and the more efficient and having less energy consumption motor has selected.

Keywords: Electric Vehicle, Simulink, Induction Motor, Permanent Magnet Synchronous Motor

EXTENDED ABSTRACT

DEVELOPING CONVENIENT MOTOR SELECTION ALGORITHM TO ROAD CONDITIONS IN ELECTRIC VEHICLES

Ekrem BAŞER

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yusuf ALTUN

January 2016, 76pages

1. INTRODUCTION:

Nowadays, electric vehicles have a growing popularity in the automotive industry. It is seen that countries make significant investment in this area and support electric vehicle production. It is contemplated that electric vehicles will replace the internal combustion cars in the future.

There is an important role of the motor that is used in electric vehicle on the vehicle's efficiency. It is necessary for his motor that used in electric vehicle, to produce high torque at low speeds and high power at high speeds. There are different types of electric motors that have different characteristics.

This study focuses on the differences of electric motors that is used in electric vehicles. Most used motors used in electric vehicles which are induction motor and permanent magnet synchronous motor are investigated. Also this motors simulated on the Matlab/Simulink software.

2. MATHERIAL AND METHOD:

In this thesis study induction motor and permanent magnet synchronous motor has modelled in Simulink software and vector control method has implemented on them. Vector control method which is more useful method in control strategy has used on motors. Simulation is aimed to select more efficient motor on different speeds for an electric vehicle which use induction motor and permanent magnet synchronous motor together.

3. RESULTS AND DISCUSSION:

In this thesis, characteristics of electric motor's has investigated and it has observed that permanent magnet synchronous motor has high starting torque and less energy consumption at low speeds but has more energy consumption on high speeds than induction motor. It is proposed that for the electric vehicle to be more efficient, at low speeds permanent magnet synchronous motor and at high speeds induction motor should be activated.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

Energy consumption and performance criterias have significant role on electric vehicles. It can be better solution for the more energy saved and efficient electric vehicle which uses induction motor and permanent magnet synchronous motor together, that permanent magnet synchronous motor should be activated at low speeds and induction motor should be activated at high speeds.

1.GİRİŞ

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Günümüzde elektrikli araçlar otomotiv endüstrisinde giderek artan bir popüleriteye sahiptir. Ülkelerin bu alanda ciddi yatırımlar yaptığı, elektrikli araç üretiminin desteklendiği görülmektedir. Batarya ve güç yönetim sistemleri teknolojisindeki gelişmeler elektrikli araçların şarj sürelerinin daha uzun olmasını sağlamıştır. Elektrikli araçların ihtiyacı olan elektriği yolda karşılayacak elektrik istasyonlarının kurulması elektrikli araç kullanımını artıracaktır. Bu bilgiler doğrultusunda gelecekte elektrikli araçların içten yanmalı otomobillerin yerini alacağı düşünülmektedir.

Elektrikli araçlarda kullanılan batarya, güç yönetim sistemi kadar elektrik motorları da aracın gideceği menzili, performansı, verimliliği hakkında önemli bir paya sahiptir. Şimdiye kadar üretilen elektrikli araçlarda doğru akım motoru, asenkron motor, sürekli mıknatıslı senkron motor, anahtarlamalı relüktans motorlar kullanılmıştır. Bu motorlar birbirlerinden maliyet, verimlilik, performans, verimlilik, kontrol edilebilirliği, güvenilirliği konusunda farklılık göstermektedir.

Elektrikli araçta kullanılacak motorun düşük devirlerde yüksek tork, yüksek devirlerde yüksek güç üretmesi gerekmektedir. Örneğin aracın dik bir yokuşta kalkabilmesi ve yokuşu tırmanabilmesi için araçta kullanılacak motorun yüksek bir başlangıç torku ve performansı olması gerekmektedir. Aracın düz yolda hızlı gidebilmesi için de motorun yüksek devirlerde yüksek bir güç üretmesi gerekmektedir.

Elektrikli araçların ilk üretildiği zamanlarda kontrolünün kolay olduğundan dolayı doğru akım motorları kullanılmaktaydı. Günümüz teknolojisinde yaşanan gelişmeler doğrultusunda alternatif akım motorları ilgi odağı olmuştur. Güç elektroniği ve kontrol yöntemlerindeki gelişmeler alternatif akım motorlarının hız kontrolünü sağlamayı kolaylaştırmıştır. Genel olarak bakıldığında asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motorların elektrikli araçlarda daha çok tercih edildiği görülmektedir.

Asenkron motorlar ve sürekli mıknatıslı senkron motorlar incelendiğinde sürekli mıknatıslı senkron motorların başlangıç torklarının daha fazla olduğu ancak yüksek devirlerde asenkron motorların daha fazla tork ürettiği görülmüştür. Elektrikli araçların

ihtiyacı olan yüksek başlangıç torku ve yüksek hızlardaki yüksek güç gereksinimi bu iki motorun elektrikli bir araçta bir arada kullanılmasıyla giderilebilir. Aracın kalkış anında sürekli mıknatıslı senkron motorun aktif olmasıyla araç daha ivmeli bir kalkış yapabilir ve asenkron motora göre daha az enerji harcar. Ayrıca aracın yüksek hıza ulaştığında yüksek hızda daha fazla tork üreten ve asenkron motorun aktif edilmesiyle araç daha performanslı gidebilir ve de sürekli mıknatıslı senkron motora göre daha az enerji harcar. Buna ek olarak sürekli mıknatıslı senkron motorlarda bulunan mıknatısların motorun yüksek devirlerinde manyetik özelliğini kaybetme riski bulunduğundan dolayı yüksek hızlarda bu motor tercih edilmemektedir.

Bu çalışmada, öncelikle farklı tipteki elektrik motorları incelenmiş, birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ardından asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor bulduran bir elektrikli aracın kalkış anında sürekli mıknatıslı senkron motoru, yüksek hızlarda ise asenkron motoru tercih etmesinin araç performansını arttıracığı ve harcanan enerjiyi azaltacağı bilgisiyle Matlab/Simulink programı kullanılarak bir simülasyon çalışması yapılmıştır.

Simülasyonda aynı maksimum torku üreten asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motorların matematiksel modelleri ile Simulink blokları oluşturulmuş ve simülasyona aracın trafikte seyrettiği yolun bilgisi resim olarak verilmiş ve trafikte seyredebileceği hız değeri bu bilgiden yola çıkarak oluşturulmuştur. Bu hız bilgisi motor devri bilgisine dönüştürülerek o devirde hangi motor daha az akım çekiyorsa ve daha verimliyse o motorun seçilmesi amaçlanmıştır.

1.2.LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları üzerine literatürde birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar motorların birbiriyle karşılaştırılması, simülasyon çalışmaları, yeni kontrol teknikleri geliştirilmesiyle motor hız kontrolünün daha verimli sağlanabilmesi üzerinedir. Bu bölümde bu çalışmalar detaylandırılmıştır.

Yıldırım ve arkadaşları ASM, SMSM, ARM ve FDAM motorlarını ve bu motorların sürücülerini verimlilik, maliyet, ağırlık, maksimum hız, güvenilirlik, hata toleransı, güç değerleri ve bu motorların kullanıldığı bir aracın hızlanma zamanı gibi kriterleri baz alarak karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre SMSM ve

sürücüleri en verimli ve en yüksek güç yoğunluğuna sahip motorlar olarak görülmüştür. ASM maliyet ve kontrol edilebilirlik açısından elverişli görülmüştür. Ayrıca motorların 1500d/dk ve 6000d/dk devirlerinde torkları, demir kayıpları, bakır kayıpları, verimliliği karşılaştırılmış ve 1500d/dk' de ASM'nin SMSM'ye göre daha az tork ürettiği, ancak 6000d/dk'da ASM'nin SMSM'ye göre daha fazla tork ürettiği görülmüştür [1].

Guan ve arkadaşları Toyota Prius 2010 elektrikli otomobilinde kullanılan SMSM ile bu motorla aynı stator yapısında tasarladıkları ASM ile maliyet ve performans kriterlerini baz alarak karşılaştırma yapmış ve SMSM'lerin ASM'lere göre genel olarak daha verimli motor olduğunu ancak yüksek devirlerde ASM'lerin daha fazla tork ürettiği ve daha verimli olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca ASM'nin SMSM'ye göre daha az maliyetli olduğunu belirtmişlerdir [2].

Goss ve arkadaşları 2004 Toyota Prius elektrikli otomobilinde kullanılan 50kW gücündeki SMSM ile kendi tasarladıkları aynı performanstaki ASM'yi performans ve enerji sarfiyatı açısından karşılaştırmış ve ASM'nin SMSM'ye göre genel olarak da verimsiz olduğunu göstermiştir [3].

Büyükdeğirmenci ve arkadaşları aynı karakteristik değerdeki ASM ve SMSM'yi karşılaştırmışlardır. ASM, SMSM, ARM elektrik motorlarının hızı karşı verimlilik haritasını çıkarmışlar, bu haritaya göre SMSM'nin düşük hızlarda ASM'den daha verimli olduğunu, biraz daha hızlarda bunun tam tersi olduğunu, maksimum hızda da ARM'nin verimliliğinin de ASM'den yüksek olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca deney ve simülasyon çalışmaları yapmışlar ve ASM'nin SMSM'den daha fazla enerji harcadığını görmüşlerdir. Ek olarak motorların verimliliklerini karşılaştırmışlar bu motorları kullanan elektrikli otomobilleri farklı yollarda sürmüşler ve genellikle ASM'nin SMSM'den daha verimsiz olduğunu belirtmişlerdir. Ancak elektrikli aracın daha hızlı gidebildiği yollarda ASM kullanmanın daha verimli olduğunu görmüşlerdir [4].

Gwoździewicz ve Antal ASM ve SMSM özellikleri üzerine araştırma yapmışlar ve SMSM'nin ASM'ye göre daha verimli daha güçlü ve performanslı olduğunu göstermişlerdir [5].

Finken ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, DAM, ASM, SMSM ve ARM elektrik motorlarının karşılaştırılması üzerine bilgiler verilmiş ve simülasyon çalışması

yapılmış ve sonuçları alınmıştır. Bu çalışmada, DA motorların diğer motorlara göre kullanımının ve kontrolünün çok kolay olduğu, ortalama bir güç yoğunluğuna sahip olduğu ve veriminin düşük olduğu görülmüştür. ASM'nin ise elektrikli araçlarda en çok kullanılan motor tipi olduğu, veriminin rotorundaki bakır kayıpları nedeniyle SMSM'den zayıf olduğu görülmüştür. SMSM'nin ise düşük hızlarda daha verimli olduğu, SMSM'de gerçekleşen kayıpların ağırlıklı olarak demir kayıpları olduğu, verimliliğinin ve güç yoğunluğunun ASM'den yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca çok yüksek hızlarda SMSM'nin statorunda ciddi kayıplar olduğu ve veriminin düştüğü belirtilmiştir. ARM'nin ise güç yoğunluğu ve verimlilik bakımından ASM ile kıyaslanabilir özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Rotorunda ve statorunda sargılar olmadığı için diğer daha kolay kontrol edilebildiğinden bahsedilmiştir. ASM'nin SMSM'den düşük hızlarda daha verimsiz olduğu ancak yüksek hızlarda daha performanslı olduğu anlatılmıştır [6].

Hashemnia ve Asaei yaptıkları çalışmada elektrik motorlarının incelemiş karşılaştırma yapmışlar ve birbirinden üstünlüklerini, elektrikli araç için uygunluklarını ve otomobil şirketlerinin ürettikleri elektrikli otomobillerde hangi elektrik motorunu tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Elektrikli araçlardan beklenen tork-hız grafiğine en yakın sonuçlar veren motoru tespit etmeye çalışmışlardır. SMSM'nin ASM'den daha verimli bir motor olduğu gösterilmiş, ancak SMSM'nin sabit güç bölgesinin kısa oluşu nedeniyle yüksek hızlarda verimsiz olduğu belirtilmiştir [7].

Aktaibi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ASM'nin eşdeğer devresinden matematiksel modelini çıkartarak Matlab/Simulink yazılımı ile dinamik modellemesini gerçekleştirmişler, farklı güçlerdeki iki asenkron motorun karakteristik özelliklerini simülasyona girdi olarak vererek motorların çıkış akımlarını, hıza karşılık tork eğrilerini bulmuşlardır [8].

Omaç ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sincap kafesli üç fazlı ASM'nin matematiksel modelini kullanarak Matlab/Simulink yazılımında dolaylı alan yönlendirme kontrolü ile ASM'nin hız kontrolünü sağlamışlardır. Ayrıca deneysel bir çalışma yaparak da benzetim sonuçlarının doğruluğunu görmüşlerdir [9].

Zeraoulia ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada EA için kullanılacak en uygun motoru seçmek amacıyla motorlar üzerinde karşılaştırma yapmışlar ve SMSM'nin ASM'den

genel olarak daha performanslı ve verimli olduğunu ancak yeni kontrol tekniklerinin uygulanması ile ASM'nin veriminin artırılabilirdiğinden bahsetmişlerdir [10].

Xue ve arkadaşları, EA için uygun motoru bulabilmek amacıyla elektrik motorları arasında verimlilik, maliyet, güvenlik, ağırlık, güvenilirlik gibi kriterleri baz alarak karşılaştırma çalışması yapmışlar, SMSM'yi en verimli motor olarak tespit etmişlerdir [11].

Bazzi ve Krein elektrik motorları üzerine karşılaştırma çalışması yapmışlar ve ek olarak aynı karakteristik özellikteki SMSM ve ASM'yi aynı elektrikli otomobile yerleştirerek aracı farklı yollarda sürmüşler ve aracın performansının ve enerji tüketiminin analizini yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, SMSM'nin düşük devirlerde ASM'den daha verimli olduğu, ancak yüksek devirlerde ASM'nin SMSM'den daha verimli olduğu gösterilmiştir [12].

Dorrell ve arkadaşları aynı güçteki 8 kutuplu SMSM, ASM ve 18 kutuplu ARM ile performans analizleri yapmışlar ve 1500d/dk ve 6000d/dk'da bu motorların torklarını, verimliliklerini, demir kayıplarını ve bakır kayıplarını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmaya göre 1500d/dk'da SMSM 303Nm ve ASM 297Nm tork üretirken, 6000d/dk'da SMSM 45,6Nm ve ASM 50,8Nm tork üretmiştir. Bu sonuçlarla yüksek devirlerde ASM kullanmanın daha iyi sonuçlar vereceğini göstermişlerdir [13].

Wang ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada metro treninde kullandıkları aynı karakteristik özellikteki SMSM ve ASM elektrik motorları ile performans, enerji ve verimlilik analizleri yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan motorlar gözlemlendiğinde nominal hız değerinden önce SMSM'nin ASM'den daha az enerji tükettiği, ancak nominal hız değerinden sonra SMSM'nin ASM'den daha fazla enerji tükettiği belirtilmiştir. Ayrıca nominal hız değerinden önce SMSM'nin hayli verimli olduğu, ancak nominal hız değerinden önce sonra SMSM'nin verimini kaybettiği gözlemlenmiştir [14].

Patel ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada soğutucu tasarımında SMSM ve ASM elektrik motorlarını kullanmışlar ve bu motorların verimliliklerini, gürültü oranlarını ve titreşimlerini test etmişlerdir. Bu çalışmaya göre SMSM düşük hızlarda daha verimli olarak çalışmaktadır ve daha az gürültü ve titreşim yaymaktadır [15].

Karacan yaptığı çalışmasında ASM, SMSM ve ARM elektrik motorlarını çamaşır makinesinde test etmiş ve motorların verimlilik, tork, enerji tüketimi bakımından analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada çamaşır makinesi yıkama modundayken ASM'nin SMSM'ye göre daha verimli olduğunu aynı zamanda daha az enerji harcadığını; ancak sıkma modundayken SMSM'nin daha verimli olduğunu ve daha az enerji harcadığını tespit etmişlerdir [16].

Bu tez çalışmasında asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motorun eşdeğer devrelerinden matematiksel modelleri incelenmiş, bu matematiksel modeller ile Simulink yazılımında simülasyonları gerçekleştirilmiş ve ardından düşük ve yüksek hızlarda motorların çektikleri akımlar karşılaştırılmış verimlilik analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda hıza bağlı olarak verimi yüksek olan motorun aktif edilmesi sağlanmıştır. Test sonuçları değerlendirilmiştir.

1.3.ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Tarihte ilk üretilen elektrikli araç modeli 1835 yılında Stratingh tarafından oluşturulmuştur [17]. Daha sonra Davidson maksimum 6.4 km/h hızla gidebilen elektrikli lokomotifini üretmiştir [18].

1882 yılında ortalama 12km/h hız yapabilen ilk elektrikli trolleybüs Siemens tarafından üretilmiştir [19]. 1895 yılında Morris ve Salomon iki koltuklu Electrobats adında elektrikli araç geliştirmişlerdir. 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger hem elektrikle hem de benzinle çalışan hibrit elektrik araç modelini denemişlerdir [17].

1916 yılında hibrit elektrik araç üretilmiştir. Araçta dört silindirli benzinli motor ve elektrik motoru kullanılmıştır ve paralel hibrit elektrikli araç modeli üretilmiştir. 1960 yılına kadar dünya genelinde benzin fiyatlarının ucuzlaması, yolların fiziki durumunun iyileşmesi sonucunda daha uzun yol gidebilen araçlara ihtiyaç duyulması, marş motorunun icat edilmesiyle birlikte krankı el ile döndürmeye gerek kalmaması ve içten yanmalı motora sahip araçların seri üretilmeye başlanması ve araç maliyetlerinin düşmesi gibi nedenlerden dolayı elektrikli araçlara olan ilgi azalmış, içten yanmalı motorlu araçlara ilgi artmıştır [17, 20].

Elektrikli araçlar içten yanmalı araçlara karşı rekabetini yitirmiş ve 1960 yılına kadar elektrikli araç geliştirme çalışması yapılmamıştır [20]. İçten yanmalı motorlu araçların havayı kirlettiği anlaşılınca bazı küçük çaptaki üreticiler elektrikli araç üretmeye başlamışlardır. Bunu takip eden yıllarda birçok otomobil şirketi elektrikli araç geliştirmeye başlamış ve birçok ülke bu alanda ekonomik destek vermeye başlamıştır [17].

Elektrikli araçların tekrar gündeme gelmesiyle birlikte, 1997 yılında Toyota firması Prius modeli ile ilk kez gerçek anlamda hibrit araç geliştirmiş ve piyasaya sunmuştur. 2 yıl sonrasında Honda firması Insight modelini ve ardından Civic modelini üretmiştir [17].

Günümüzde elektrikli araçlar, otomotiv endüstrisinde ciddi bir pazara sahiptir ve otomotiv şirketleri bu alanda büyük yatırımlar yapmaktadır. Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması ile ulaşım maliyetlerinin azalması, fosil yakıtların kullanımının azalması, sera gazı oluşumunun engellenmesi ile hava kirliliğinin azalması sağlanacaktır [21].

1.3.1.Elektrikli Araçların Avantajları

Tamamıyla elektrikli araçlarda tekerlek sadece elektrik motoru ile tahrik edildiği, harici bir içten yanmalı motor olmadığı için doğaya salınan bir emisyon olmaz. Bu nedenle bu araçlara sıfır emisyonlu araçlar denir. Bu araçlarda içten yanmalı motor olmadığı için sessiz çalışmaktadır. Ayrıca frenleme esnasındaki kaybedilen enerjinin motorun generatör olarak kullanılmasıyla tekrar bataryada depolanması sağlanmaktadır. Yakıt ve bakım maliyetleri içten yanmalı motorlu araçlara göre çok daha düşüktür. Ayrıca motorda yağ değişimine de gerek yoktur.

1.3.2.Elektrikli Araçların Dezavantajları

1.3.2.1.Maliyet

Tamamıyla elektrikli araçların satışındaki yüksek fiyatlar elektrikli araç piyasasını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bataryalar ve diğer önemli bazı parçaların 4-5 yıl sonra yenilenmesi kullanımının maliyetini artırmaktadır.

1.3.2.2.İstasyonlar

Elektrikli araçların gelişimini olumsuz etkileyen nedenlerden biri de yollarda bulunması gereken şarj, bakım ve onarım için gerekli istasyonlardır. Müşteriler uzun yolculuklarda istasyon bulamayıp aracı şarj edememekten korktukları için elektrikli araç almaya sıcak bakmamaktadırlar.

1.3.2.3.Batarya

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ağırdır ve aracın menzilini sınırlı tutmaktadır. İçten yanmalı bir aracın menzili ile kıyaslandığında elektrikli araçların düşük bir menzile sahip olması ve şarj edilebilme süresinin daha uzun olması elektrikli araçların pazardaki satışını olumsuz etkileyen özellikleridir.

1.3.3.Elektrikli Araçlarda Kullanılmış Motorlar

Elektrikli araçlar kullandıkları elektrik motorları nedeniyle içten yanmalı araçlara göre %80 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Bununla birlikte çevre dostu, sessiz, ve ekonomik araçlardır. 1990 yılından sonra birçok elektrikli araç üretilmiştir. Halen kullanılmakta olan elektrikli araçlara örnek olarak Ford Think City, Toyota RAV4, Nissan Hipermini, Peugeot 106 Electric araçları örnek verilebilir. Ayrıca prototip veya deneysel amaçlı üretilen birçok elektrikli araç bulunmaktadır. Bu araçlar incelendiğinde çoğunda asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor kullanıldığı görülmektedir [17].

Araştırmacılar elektrikli araçların üretildiği ilk günden itibaren kullanılan elektrik motorlarının,

- Verimini,
- Performansını,
- Bataryadan çektiği akımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapmıştır. Bu bölümde üretilen bazı elektrikli araçlar ve özellikleri verilmiştir.



Şekil 1.1.Fiat Doblo [31].

Şekil 1.1' de gösterilen Fiat Doblo marka elektrikli araç;

- Türkiye'de yapılan ilk elektrikli araç unvanını taşımaktadır.
- Asenkron motor kullanmaktadır.
- 300.000 km motor ömrüne ve 10 yıl kullanım ömrüne sahip bir araçtır.
- Maksimum 140hp güç üretmektedir.
- 3.8 saniyede 50 km/h, 9.6 saniyede de 100 km/h hıza ulaşmaktadır.
- Bataryanın tamamen şarj edilmesi ile 150 km yol gidebilmektedir.
- 317 Nm torka sahiptir.
- Lityum iyon batarya kullanılmıştır ve hızlı şarj ile bir saatte şarj olabilmektedir.

Şekil 1.2' de gösterilen Ford Focus Electric isimli araç;

- 100 kW' lık asenkron motora sahiptir.
- Maksimum menzili 160 km'dir.
- Lityum iyon batarya kullanılmıştır ve hızlı şarj ile 3 saatte şarj olabilmektedir.



Şekil 1.2.Ford Focus Electric [32].

Şekil 1.3' de gösterilen Toyota Prius isimli araç;

- 60 kW ve 42 kW olmak üzere iki tane sürekli mıknatıslı senkron motor kullanmaktadır.
- 4.4 kWh lityum iyon batarya kullanılmıştır.
- 100 km/h hıza 10.7 saniyede ulaşmaktadır ve hibrit moda 180 km/h hıza tamamen elektrikle çalıştırıldığı moda 100 km/h hıza ulaşmaktadır.



Şekil 1.3.Toyota Prius [33].

Diğer elektrikli araçlar ve kullandıkları motor tipleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1.Elektrikli Araçlar ve Kullandıkları Elektrik Motorları [7].

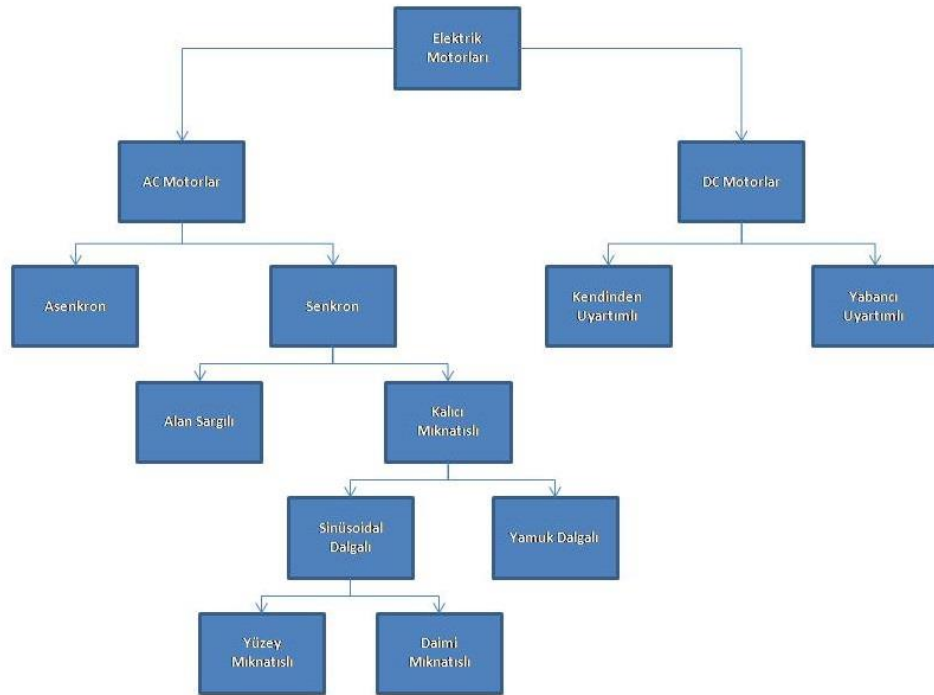
Elektrikli Araç Modeli	Kullandığı Motor Tipi
 DaimlerChrysler/Durango (Almanya)	Asenkron Motor
 BMW/X5 (Almanya)	Asenkron Motor
 Nissan/Tino (Japonya)	Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor
 Honda/Insight (Japonya)	Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor

2.MATERYAL VE YÖNTEMLER

Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları;

- Doğru akım motorları
- Asenkron motorlar,
- Sürekli mıknatıslı senkron motorlar,
- Anahtarlamalı relüktans motorlardır.

Bu bölümde bu motorlar hakkında bilgiler verilmiştir. Motorların iç yapısı, çalışma şekilleri ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

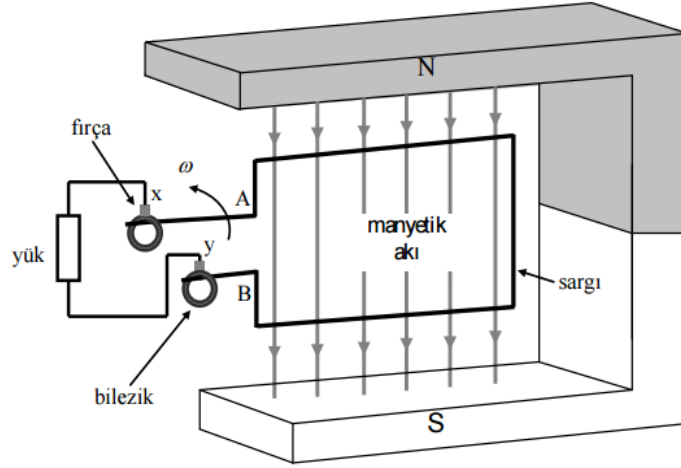


Şekil 2.1.Elektrik Motorlarının Sınıflandırması.

Günümüzde kullanılan elektrik motorları asenkron, senkron ve doğru akım motorlarıdır. Kontrol yöntemlerindeki gelişmelerle birlikte motorlardan çıkışlarında iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Doğru akım motorları diğer motor türlerine göre daha basit kullanıma sahip olmasına rağmen fırça bulundurması, bakım gerektirmesi, maliyeti göz önüne alındığında asenkron ve senkron motorlar daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Asenkron ve senkron motorlar alternatif akım ile çalıştıkları için alternatif akım motorları olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1.DOĞRU AKIM MOTORLARI

Doğru akımla beslenen motorlar doğru akım motorlarıdır. Şekil 2.2'deki gibi manyetik alan içinde bir iletken üzerinden geçen akımın oluşturduğu kuvvetin etkisiyle motorun dönmesi mantığıyla çalışırlar. Statorunda alan sargısı ve rotorunda endüvi sargısı bulunmaktadır. Ayrıca bu motorlarda fırça bulunmaktadır. Bu fırça dc motorun sanayide kullanımını azalttığı gibi elektrikli araçlarda da kullanımını azaltmıştır.

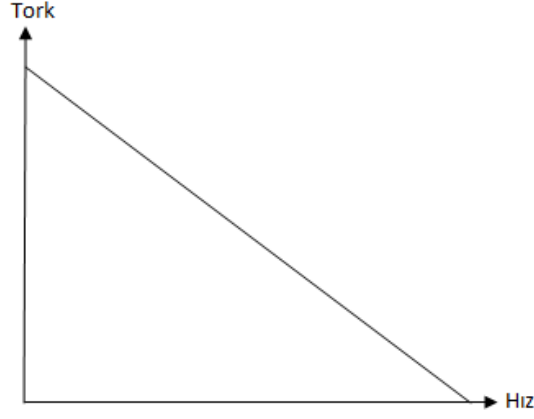


Şekil 2.2.Dc Motor Çalışma Mantığı [22].

DA motorlar, güç elektroniğindeki teknolojik gelişmelerden önce yaygın olarak kullanılmaktaydı fakat gelişmelerden sonra popülaritesini kaybetmiştir [23]. Kolay kontrol edilebilirliği ve sağlamlığı nedeniyle elektrikli araçlarda tercih edilmiştir. Direkt olarak aracın bataryasına bağlanarak çalıştırılabilir, ekstra bir güç elektroniğine ihtiyaç duyulmamaktadır.

DA motorlarda bulunan fırçalar motorun verimini düşürür, güvenilirliğini azaltır ve bakım maliyetlerini artırır. Ayrıca, doğru akım motorlarında kayıplar en fazla rotorda görülür. Bu nedenle yüksek güçlerde rotor bölgesi soğutulmalıdır.

Doğru akım motorlarında akım iki fazlı olduğundan anahtarlar ile kontrol edilebilmektedir. Alternatif akım motorlarının kontrol ünitesi doğru akım motorlarının kontrol ünitesine göre oldukça pahalıdır. Bu nedenle bazı otomobil şirketleri doğru akım motorlarını tercih etmektedir.



Şekil 2.3.DA Motor Tork-Hız Karakteristiği.

DA motorlarda Şekil 2.3’de görüldüğü gibi hız artarken tork da aynı oranda azalır. Güç elektroniğindeki gelişmelerle birlikte elektrikli araçlarda asenkron ve senkron motorlar DA motorların yerini almıştır. DA motorlar aşırı güç gerektirmeyen küçük uygulamalarda kullanılabilir ancak elektrikli araçlarda verimi diğer motorlara göre zayıf kalmaktadır.

2.2.ASENKRON MOTOR

Asenkron motorlar yapısının basit ve ucuz oluşu, elektrik enerjisinin üç fazlı alternatif akım şeklinde üretimi, dağıtımı nedenleriyle sanayide ve kontrol uygulamalarında büyük oranda tercih edilmektedir. Asenkron motorlar tek fazlı, iki fazlı ve üç fazlı tipte üretilmiş ve diğer motorlara göre endüstride en fazla kullanılan motorlardır. Çünkü doğru akım motorlarına göre;

- Maliyet bakımından daha ucuzlardır.
- Daha az bakıma ihtiyaç duyarlar.
- Momentleri yüksektir.
- 35000 kW’a kadar güç üretebilmektedirler.
- Frekans değiştirilerek istenilen devir sayısı elde edilebilir [24].

Asenkron motorlar rotor yapılarına göre sincap kafesli ve bilezikli olarak ikiye ayrılır.

2.2.1. Asenkron Motor Çeşitleri

2.2.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorlar

Rotorun yüzeyindeki olukların içine rotorun iki tarafından çıkacak şekilde bakır veya pirinç çubuklar yerleştirilir. Daha sonra bu çubukların kısa devre edilmesiyle Şekil 2.4'teki gibi sincap kafesli asenkron motorun rotoru elde edilir. Sincap kafesli asenkron motorun rotorundan hiçbir uç çıkmadığı için bu motorun kontrolü sadece statorunda bulunan elektrik uçlarından yapılmaktadır.



Şekil 2.4. Sincap Kafesli Asenkron Motor Rotoru [25].

2.2.1.2. Bilezikli Asenkron Motorlar

Rotorun oluklarına üç fazlı sargılar yerleştirilir. Daha sonra bu sargıların bileziklere bağlanmasıyla bilezikli asenkron motorlar elde edilir. Şekil 2.5'te bilezikli asenkron motorun rotoru gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bilezikli Asenkron Motor Rotorundaki Bilezikler [25].

Bilezikli asenkron motorlar sincap kafesli asenkron motorlar ile karşılaştırıldığında;

- Hızının değiştirilebilmesi,
- Ağır yük uygulandığında hızının yavaş yavaş artması,
- Dönme momentinin fazla olması

gibi üstünlüklere sahiptir. Ancak;

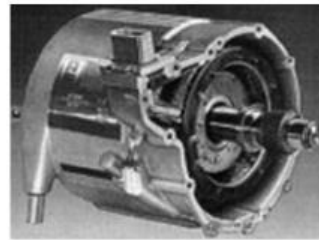
- Maliyetinin fazla olması,
- Bakım ve onarım masraflarının çok olması,
- Veriminin düşük olması,
- Hız regülasyonunun kötü olması yüzünden sincap kafesli asenkron motorlar

tercih edilmektedir [24].

2.2.2. Bir fazlı ve Üç Fazlı Asenkron Motorlar

Üç fazlı asenkron motorlar bir fazlı asenkron motorlara göre daha performanslı çalışmaktadır. 3 kW'tan fazla güç gerektiren uygulamalarda üç fazlı asenkron motor kullanılmaktadır. Bir fazlı motorlar genellikle küçük güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrikli araç uygulamasında üç fazlı asenkron motor kullanılmaktadır.

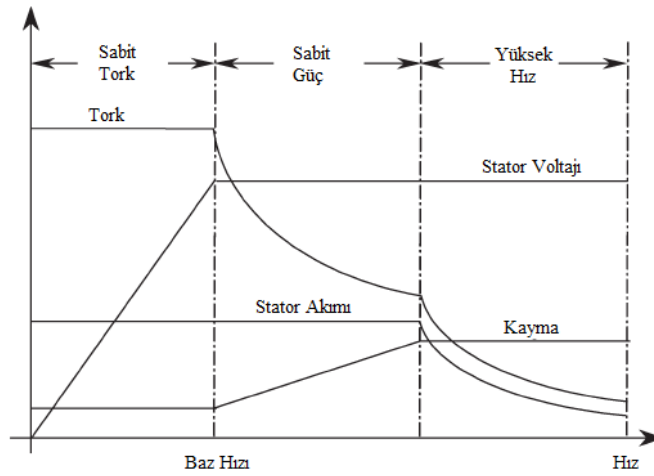
Asenkron motorlar, kolay kontrol edilebilirliği, sağlamlığı, güvenilirliği, bakımının az olması, maliyetinin düşük olması nedeniyle elektrikli araçlarda tercih edilmektedir. Asenkron motorlar diğer motorlara göre üzerinde en fazla çalışılmış teknolojiye sahiptir. Şekil 2.6'da endüstride kullanılan iki asenkron motor (Solectria, Delco) gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Asenkron Motorlar [10].

Şekil 2.7’de asenkron motorun tork-hız karakteristik özelliği gösterilmiştir. Asenkron motorlarda sabit güç bölgesini uzatmak için çift inverter kullanılmaktadır ve tasarım aşamasında rotor kayıpları azaltılmaya çalışılmıştır [7].

Asenkron motorlar diğer AC motorlarla kıyaslandığında elektrikli araçlarda kullanım konusunda geri planda kalmaktadır. Bunun nedenleri asenkron motorların diğer motorlara göre daha verimsiz, daha fazla kaybı olması gibi faktörler gösterilebilir. Araştırmacılar motorun tasarım aşamasında bunların dikkate alınmasını önermektedirler [26-28].



Şekil 2.7. Asenkron Motorların Tork-Hız Karakteristiği [7].

2.3. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTOR

Manyetik alan oluşturmak için sargı kullanmak yerine mıknatısların kullanıldığı motorlardır. Bu sayede motor rotorunda oluşan kayıplar ve motorun bakım gereksinimi azaltılmıştır. Senkron motorlarda rotor devir sayısı döner alan devir sayısına eşittir ve bundan dolayı asenkron motordaki gibi kayma olmamaktadır.

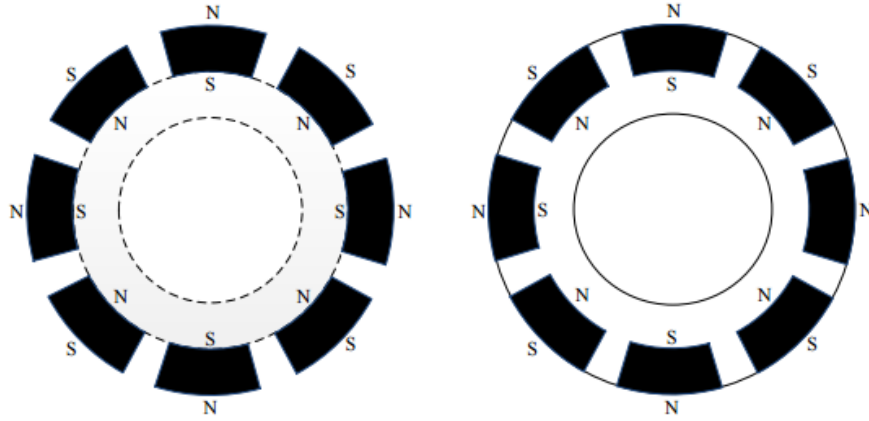
Ayrıca bu motorlara uygulanan gerilim de diğer motorlardan farklıdır. Statora alternatif akım uygulanırken rotora doğru akım uygulanmaktadır. Ama bu motorun rotorundaki manyetik alan mıknatıslar tarafından sağlandığından dolayı harici bir doğru akım kaynağına ihtiyaç duymazlar.

Sürekli mıknatıslı motorlarda mıknatıslar rotorun içine veya çevresine farklı şekillerde yerleştirilebilir. Bu motorlar iki grupta incelenmektedirler;

- Trapezoidal tiptekiler: Bunlar fırçasız doğru akım motorları (FDAM) olarak da adlandırılırlar. Stator sargıları ayırık zamanlarda kare dalga ile beslenmektedirler.
- Sinüzoidal tiptekiler: Bunlar sürekli mıknatıslı senkron motor olarak adlandırılır. Asenkron motorlardaki gibi düzenli olarak dönen stator alanına sahiptirler.

Ancak ikisinin de her iki dalga şeklinde çalıştırılabildiği görülmüştür. FDAM motorlarda moment dalgalarının varlığı bu motorların yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanımına olanak vermemektedir.

Sürekli mıknatıslı senkron motorlar mıknatısların konumlandığı yere göre farklılık gösterebilirler. Şekil 2.8’ de yüzey mıknatıslı ve içten mıknatıslı senkron motorlar gösterilmiştir.



Şekil 2.8.Yüzey Mıknatıslı ve İçten Mıknatıslı Senkron Motor [29].

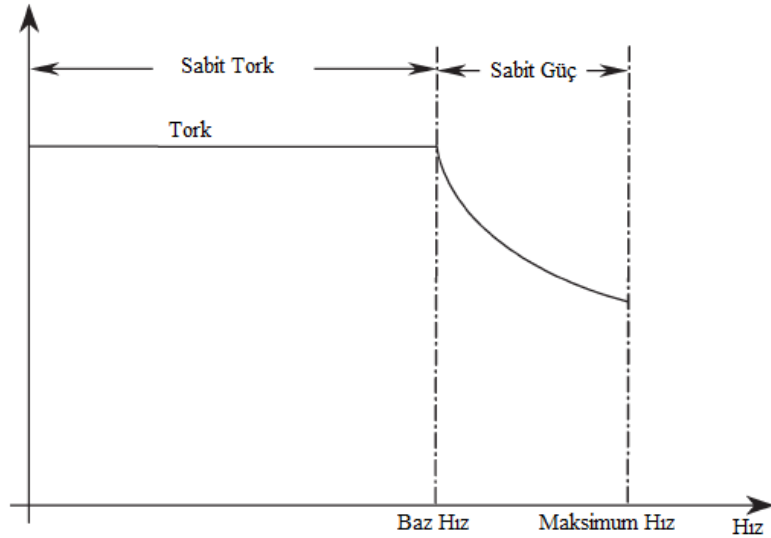
Yüzey mıknatıslı motorlarda d ve q eksenlerindeki endüktans değerleri oldukça düşüktür ve ihmal edilmektedir. Mıknatısların yüzeye yerleştirilmesi üretiminin de kolay olmasını sağlamaktadır. Ancak dayanıklılığının az olması nedeniyle fazla hız gerektirmeyen uygulamalarda kullanılması daha elverişlidir.

İçten mıknatıslı motorlarda d ve q eksenleri arasındaki endüktans değerleri arasındaki oran büyüktür. Ayrıca dayanıklılığı da yüksektir. Aynı mıknatıs boyutlarına göre kıyaslandığında yüzey mıknatıslı motora göre daha yüksek moment üretmektedir. Aynı momenti üretecek mıknatıs kalınlığı bu motorlarda daha incedir. Bu nedenle yüksek hızlarda yüzey mıknatıslı motorlara göre daha elverişlidir.

Sürekli mıknatıslı senkron motorlar elektrikli araçlarda asenkron motor ile rekabet edebilecek yetenektedirler. Bu motorlar;

- Gürültüsüz çalışma,
- Yüksek güç yoğunluğu,
- Yüksek verimlilik,
- Daha iyi ısı iletimine sahip olmaları,
- Daha düşük boyutta ve ağırlıkta olmaları

bakımından doğru akım ve asenkron motorlara göre daha üstün özelliklere sahiptir.



Şekil 2.9.SMSM Tork- Hız Karakteristiği [10].

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi sürekli mıknatıslı senkron motorun sabit güç bölgesi kısadır. Bu da yüksek hız bölgesinde motorun kullanımının elverişli olmadığını göstermektedir. Buna motorda bulunan mıknatıslar sebep olmaktadır. Bu bölgenin uzunluğunu artırmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak mıknatısların yüksek hızlarda manyetik özelliğini yitirebilme riski bulunmaktadır. Asenkron motorlar ile kıyaslandığında yüksek hızlara çıktığında motordan alınan verim daha düşüktür. Ayrıca mıknatısların bozulabilme riski sürekli mıknatıslı senkron motorların dezavantajı olarak görülmektedir.

2.4.ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR

Anahtarlamalı relüktans motorlar sahip oldukları özellikler ve iç yapısı bakımından sürekli mıknatıslı senkron motora ve asenkron motora benzemez, ancak senkron ve asenkron motorların yapısından yararlanılarak geliştirilmişlerdir. İlk üretilen relüktans motor senkron motorun yapısal değişikliğinden geliştirilmiştir.

Senkron ve asenkron motorların stator ve rotoru üzerinde değişiklikler yaparak tasarlanan relüktans motorlar daha performanslı daha verimli çalışmaktadırlar. Relüktans motorlar stator ve rotor yapısı bakımından doğru akım ve asenkron motorlara göre daha basit, dayanıklı ve sadece statorunda sargı bulunan elektrik motorlarıdır. Yapısında mıknatıs bulunmamaktadır. Bu nedenle senkron motordaki gibi yüksek süratlere çıktığında mıknatısların özelliğini kaybetme gibi bir risk relüktans motorda yoktur. Ayrıca fırça da bulunmamaktadır. Bu nedenle daha az bakıma ihtiyaç duymaktadırlar.

Relüktans motorların sürücü devresinde fazla güç elemanına ihtiyaç yoktur. Bu nedenle relüktans motorlar daha güvenilir, bakım ve onarım maliyeti az olmaktadır.

Relüktans motorların eksiği ise rotorunda ve statorunda bulunan çıkıntıların tork dalgalanmasına sebep olması ve bunun da motorun çalışması esnasında gürültü oluşmasını sağlamasıdır.

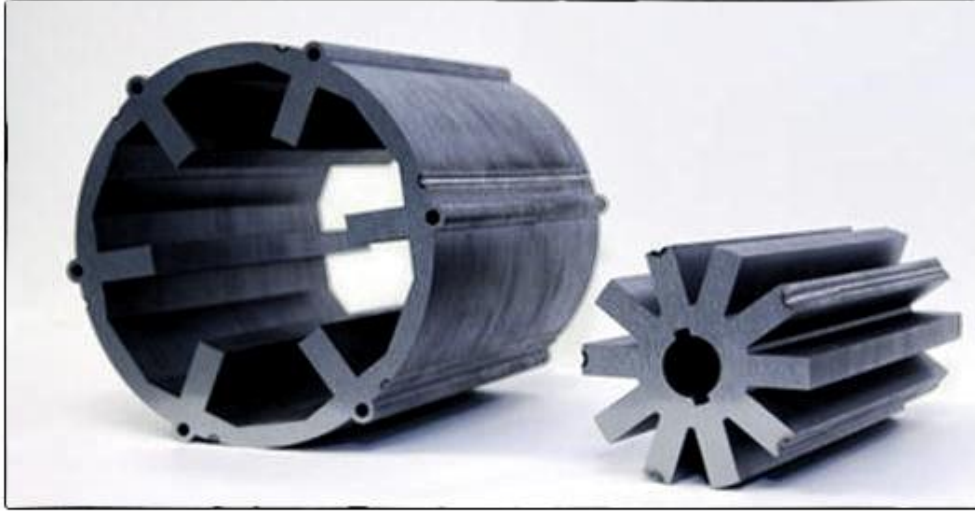
2.4.1.Relüktans Motorun Yapısı

Relüktans motorların hem statorunda hem de rotorunda çıkıntılar vardır. Aslında bir nevi senkron motor gibidirler ama rotorlarında mıknatıs bulunmamaktadır. Şekil 2.10'da anahtarlamalı relüktans motorun statoru ve rotoru gösterilmiştir.

Çalışma prensibi basit olarak stator sargılarına uygulanan akımın hava aralığındaki relüktansı değiştirmesi ve buna bağlı olarak rotorun hareket etmesi mantığına dayanmaktadır.

Relüktans motor herhangi bir faz uyarıldığında daha fazla manyetik alan kuvveti oluşturmak için çok yoğun stator sargılarına sahiptir. Bundan dolayı diğer motorlara göre daha fazla tork değerlerine erişilebilmektedir.

Anahtarlama relüktans motorlar sürücü devre olmadan çalışmazlar. Her bir stator faz sargısı için birbirinden bağımsız doğru akım beslemesine ihtiyaç duyarlar. Motorun çalışma esnasındaki dönüş yönü fazların beslenme sırasına bağlıdır.

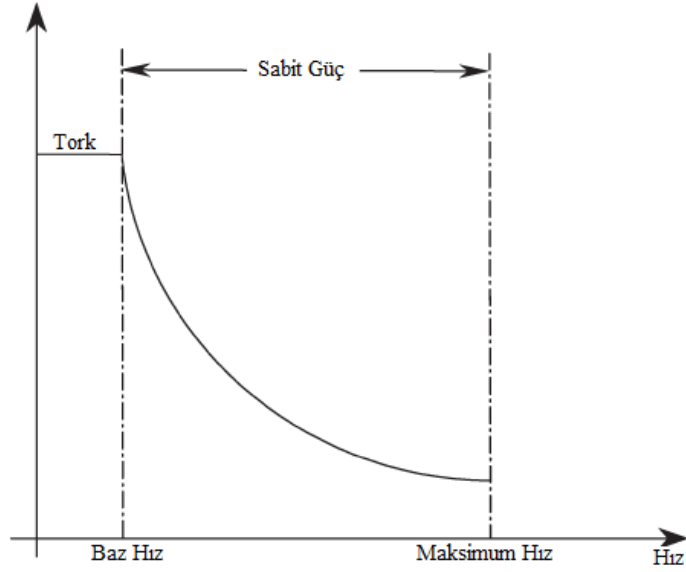


Şekil 2.10. Anahtarlama Relüktans Motorların Stator ve Rotoru [30].

Anahtarlama relüktans motorların diğer motorlarla karşılaştırıldığında mıknatıs veya sargıları bulunmadığından dolayı yüksek hızlarda daha dayanıklı davranış sergiledikleri görülmektedir. Tasarımı diğer motorlara göre daha kolaydır. Oluşan ısı çoğunlukla statorda bulunan sargılar nedeniyle statorda olmaktadır. Bu nedenle statoru soğutmak yeterli olmaktadır.

Ancak relüktans motorların bu avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Düşük hızlarda tork dalgalanması olmaktadır. Ayrıca motor çalışırken daha fazla gürültü çıkmaktadır. Sürücü olmadan çalıştırılmazlar, bu nedenle sürücü bir devreye ihtiyaç duymaktadırlar.

Relüktans motorların yapısının basitliğine karşın tasarım ve kontrolü basit değildir. Kutup uçlarındaki şiddetli doyma nedeniyle kontrol aşamasında birçok zorlukla karşılaşmaktadır.



Şekil 2.11. ARM Tork-Hız Karakteristiği [10].

Şekil 2.11'den görüldüğü üzere anahtarlamalı relüktans motorun sabit güç bölgesi uzundur ve verimi diğer motorlara göre iyidir. Bu motorların avantajları ve dezavantajları incelendiğinde elektrikli araçlarda kullanılabilmeleri için üzerinde çalışılmaları gerekmektedir [10].

2.5.MOTORLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

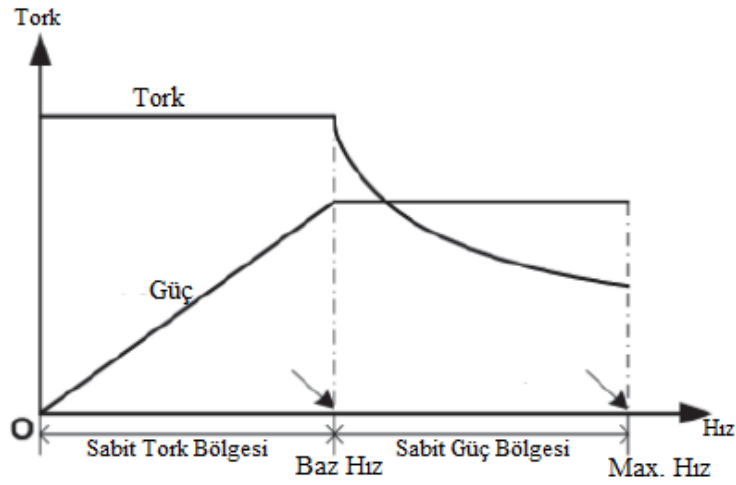
2.5.1.Elektrikli Araçta Olması Gereken Motorun Özellikleri

Motorları karşılaştırabilmemiz için öncelikle elektrikli bir araçta kullanmamız gereken motorun özelliklerini bilmemiz gerekmektedir. Bunlar;

- Yüksek güç ve güç yoğunluğuna sahip olması,
- Kalkış anında yüksek torka, maksimum hızda da yüksek güce sahip olması,
- Sabit güç ve sabit tork bölgesinin uzun olması,
- Anlık tork karşılayabilme ihtiyacının yüksek olması,
- Yüksek hızlarda yüksek verime sahip olması,
- Frenleme veriminin yüksek olması,

- Güvenirlilik ve sağlamlık açısından iyi olması
- Tabi ki maliyeti.

Elektrikli bir araçta bulunması gereken bir motorun bu özellikleri sağlaması gerekmektedir [10]. Elektrikli bir aracın sahip olması gereken tork-hız karakteristik grafiği Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre elektrikli araçta olması gereken motorun sabit güç ve sabit tork bölgesinin geniş olması ve dşuk hızlarda yüksek tork, yüksek hızlarda yüksek güç elde etmesi gerekmektedir.



Şekil 2.12.EA’da Olması Gereken Motorun Tork-Hız Karakteristiği [1].

2.5.2.Elektrik Motorlarının Karşılaştırılması

Elektrik motorlarını karşılaştırırken kullanacağımız kriterler;

- Güç yoğunluğu,
- Verimlilik
- Kontrol edilebilirlik,
- Güvenirlilik,
- Teknolojik gelişimi,
- Maliyeti

Bu kriterler göz önüne alındığında motorlar Çizelge 2.1'deki gibi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 1 ile 5 arasında puan verilmiş daha iyi olan özellik 5 ile gösterilmiştir. Çizelgeye göre sürekli mıknatıslı senkron motorlar ile asenkron motorlar karşılaştırıldığında senkron motorun daha verimli ve daha güçlü olduğu ama diğer kriterlerde geri kaldığı görülmektedir.

Çizelge 2.1.Elektrik Motorlarının Karşılaştırılması [10].

Kriter	DAM	ASM	SMSM	ARM
Güç Yoğunluğu	2.5	3.5	5	3.5
Verimlilik	2.5	3.5	5	3.5
Kontrol Edilebilirlik	5	5	4	3
Güvenirlilik	3	5	4	5
Teknolojik Gelişimi	5	5	4	4
Maliyeti	4	5	3	4

2.6.MOTORLARIN MODELLENMESİ

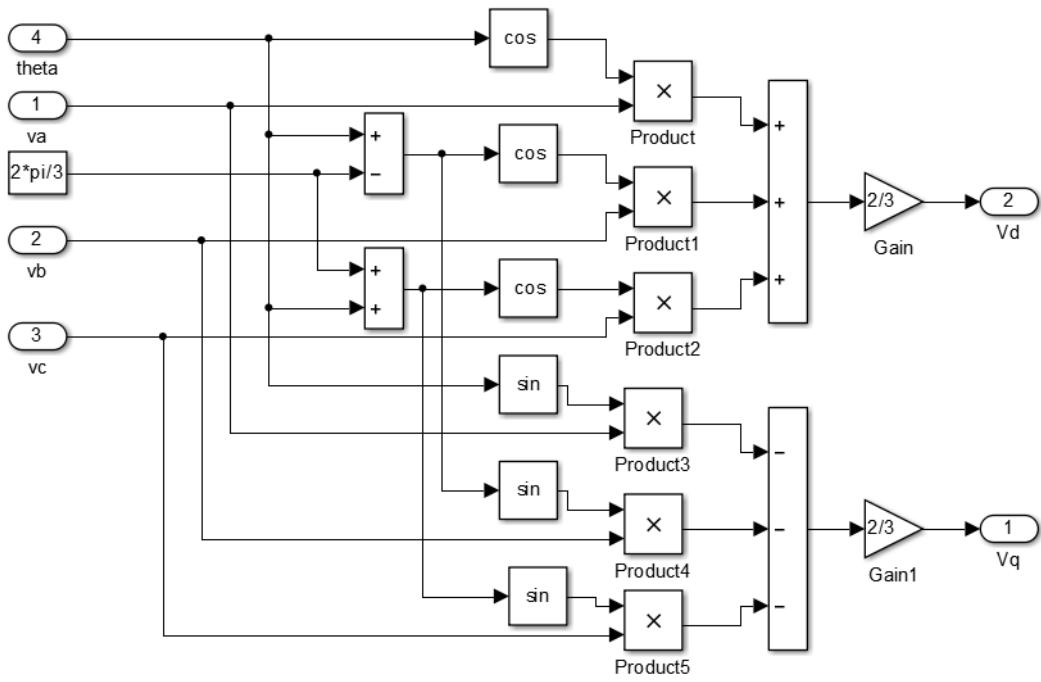
2.6.1.Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Modellenmesi

Sürekli mıknatıslı senkron motorun Matlab/Simulink ortamında modellenebilmesi için eşdeğer devresinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde motorun matematiksel denklemlerinden yola çıkarak Simulink ortamında modellemesi gösterilmiştir.

abc-dq eksen dönüşümü;

Motoru kontrol edebilmemiz için motora verilen üç faz gerilimin abc eksen takımından park dönüşümü metodu ile d-q eksen takımına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sayede motor değişkenleri rotor referans düzleminde yazılmış olur ve rotor konumuna göre değişmez daha basit bir model ortaya çıkar. Rotor referans düzleminde bir değişkeni ifade edebilmek için rotor konumunu bilmemiz gerekmektedir. Böylece üç faz eksenden iki eksen takımına geçilmiş olunur.

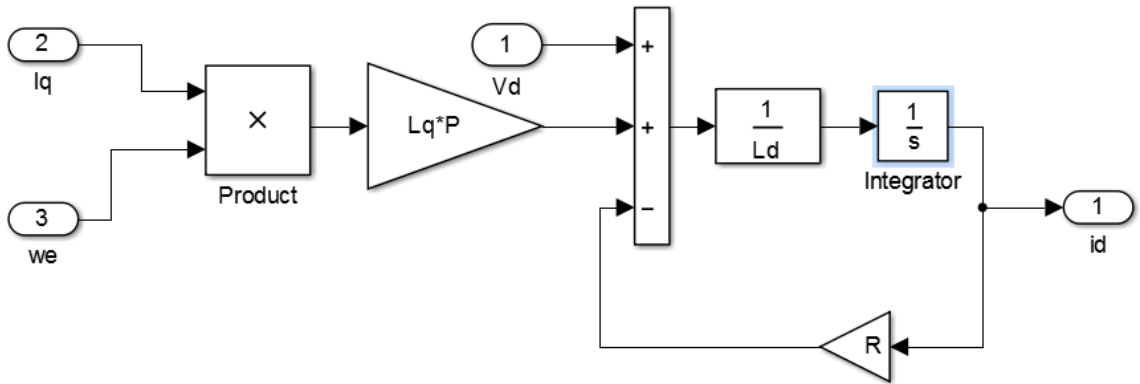
$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



Şekil 2.13. Abc Eksen Takımından Dq Eksen Takımına Dönüşüm.

V_d ve V_q değerlerinin bulunması ile motorun i_d ve i_q akımlarının bulunmasına geçilir. i_d akımının bulunması için;

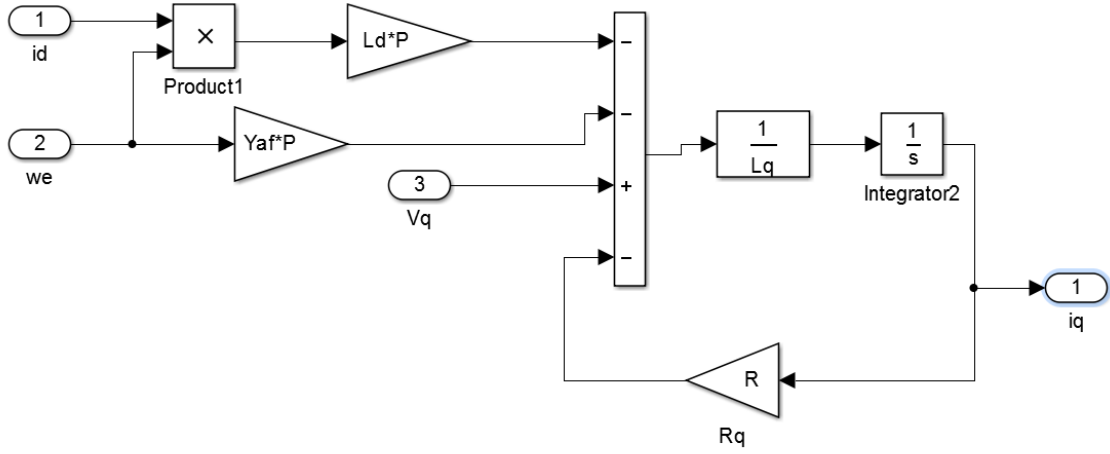
$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{L_{sd}} (V_{sd} - R_s i_{sd} + L_{sq} p w_m i_{sq}) \quad (2.2)$$



Şekil 2.14. i_{sd} Akımının Bulunması.

i_q akımının bulunması için;

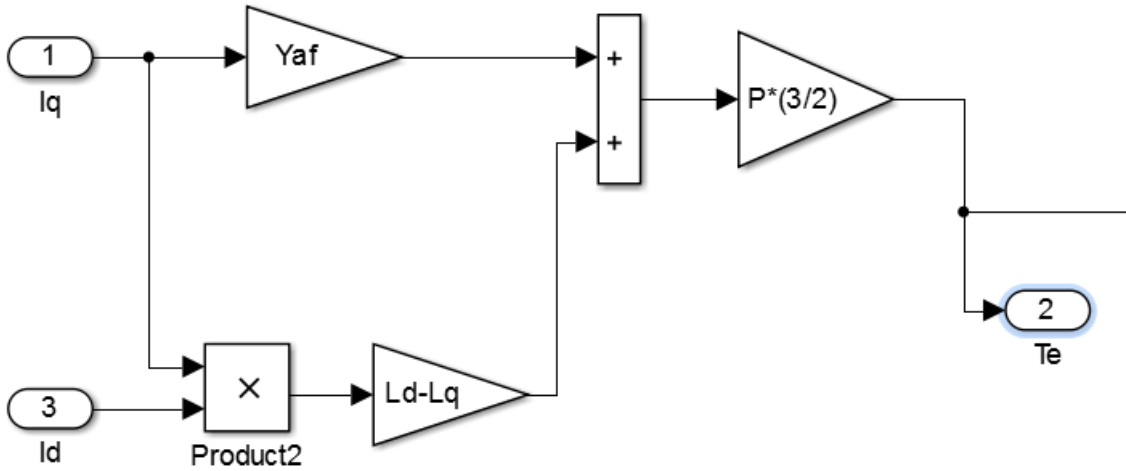
$$\frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{L_{sq}}(V_{sq} - R_s i_{sq} - L_{sd} p w_m i_{sd} - \lambda p w_m) \quad (2.3)$$



Şekil 2.15. I_{sq} Akımının Bulunması.

Motorun ürettiği elektromanyetik torku bulmak için;

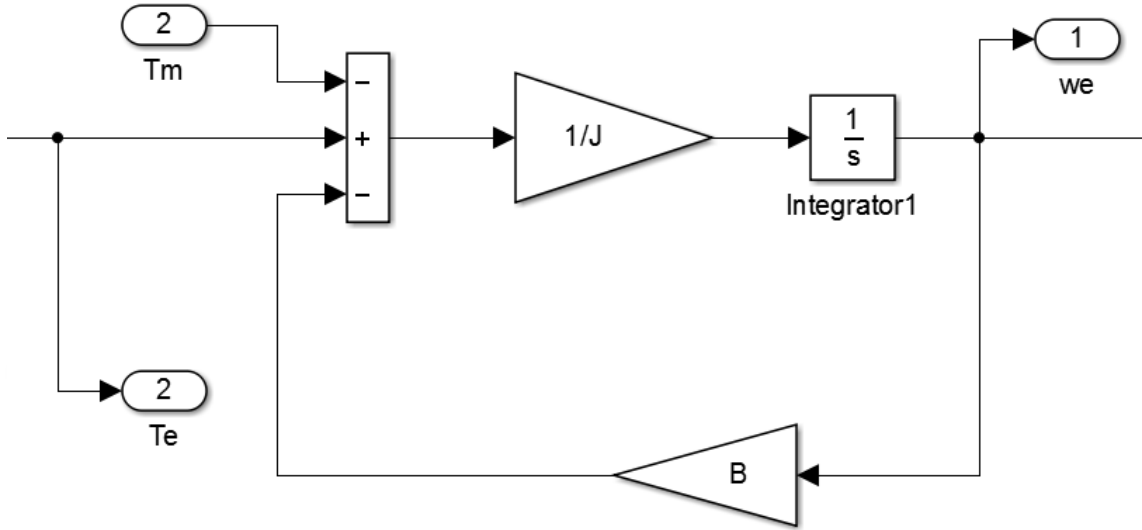
$$T_e = \frac{3}{2} p (\lambda i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}) \quad (2.4)$$



Şekil 2.16. Elektromanyetik Torkun Bulunması.

Rotorda üretilen mekanik hız formülü;

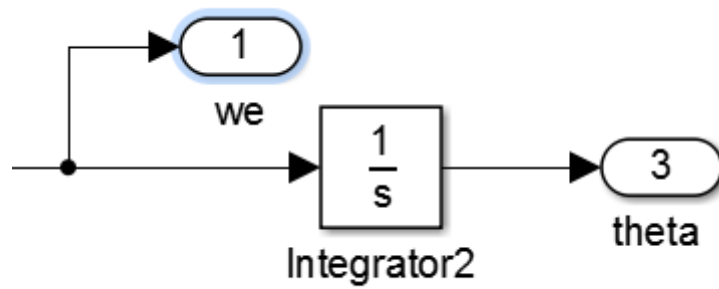
$$\frac{dw_m}{dt} = \frac{1}{J}(T_e - T_L - Bw_m) \quad (2.5)$$



Şekil 2.17.Mekanik Hızın Bulunması.

Rotorun mekanik açısal pozisyonunun bulunması;

$$\frac{d\theta_m}{dt} = w_m \quad (2.6)$$

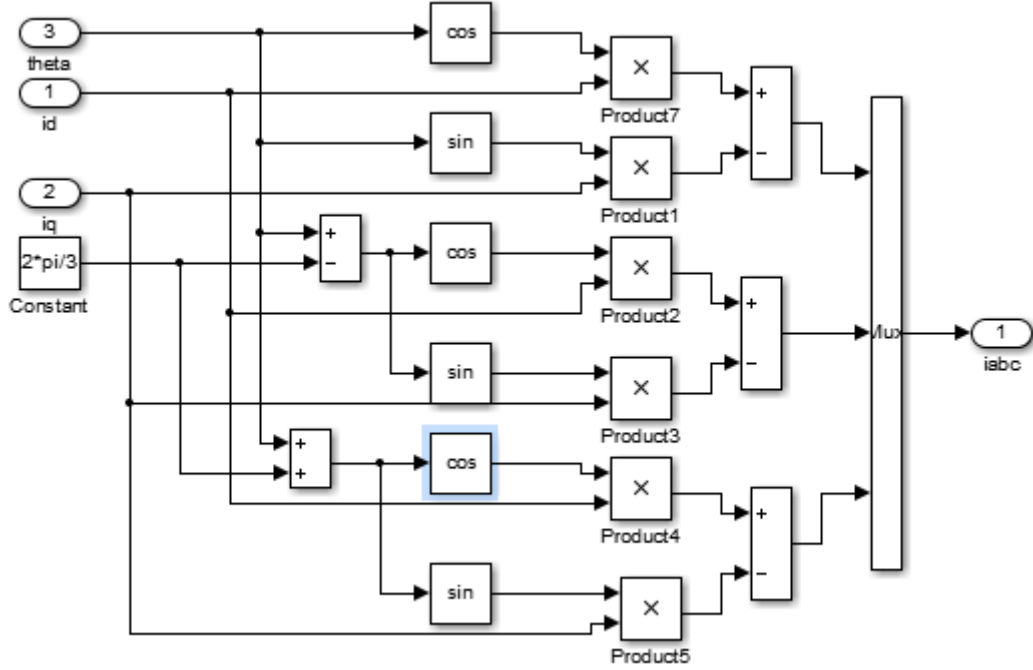


Şekil 2.18.Rotor açısal pozisyonunun bulunması.

Motorun stator akımları i_{sd} ve i_{sq} tekrar dq eksen takımından abc eksen takımına dönüştürülerek üç faz akımın ölçülebilmesi sağlanmıştır.

dq- abc eksen dönüşümü;

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$



Şekil 2.19.Dq Eksenden Abc Eksenine Dönüşüm.

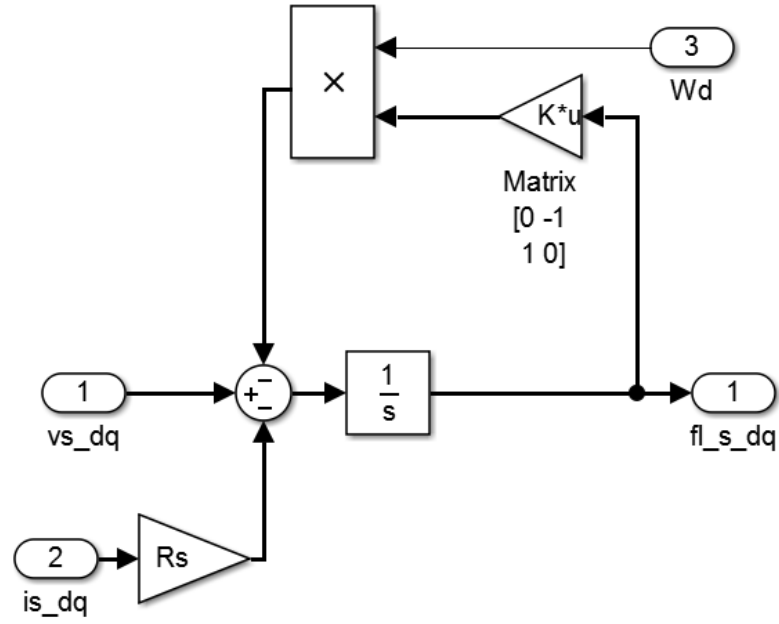
2.6.2.Asenkron Motorun Modellenmesi

Asenkron motorda da ters park dönüşümü abc ekseninden dq eksenine çevrilen stator gerilimleri ile öncelikle stator akıları hesaplanır. Stator akılarını hesaplamak için;

$$\frac{d}{dt}[\lambda_d] = [v_d] - R_s i_d - w_d [0 \quad -1][\lambda_d] \quad (2.8)$$

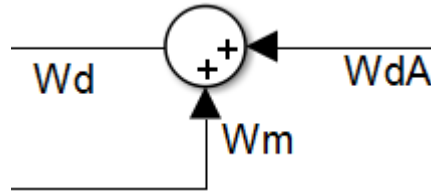
$$\frac{d}{dt}[\lambda_q] = [v_q] - R_s i_q - w_d [1 \quad 0][\lambda_q] \quad (2.9)$$

Burada w_d ifadesi rotorun d eksenindeki rad/s cinsinden elektriksel hızını ifade eder. Ve A eksen hızındaki elektriksel hızla ani hızın toplamına eşittir.



Şekil 2.20. Stator Akılarının Hesaplanması.

$$w_d = w_{dA} + w_m \quad (2.10)$$



Şekil 2.21. Mekanik Rotor Hızının Hesaplanması.

Burada w_m ifadesi rotorun elektriksel hızını rad/s cinsinden ifade eder ve rotorun mekanik hızı ile kutup sayısına bağlı olarak;

$$w_m = (p/2)w_{mek} \quad (2.11)$$



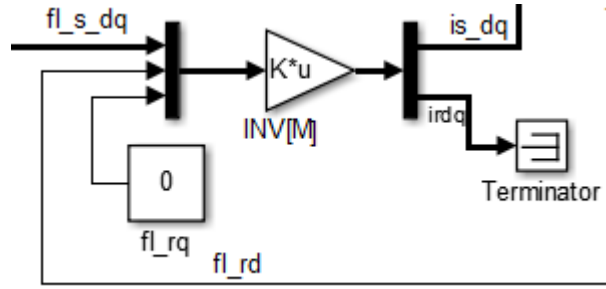
Şekil 2.22. Rotorun Elektriksel Hızı.

şeklinde ifade edilir.

Dq ekseninde stator ve rotor akımları;

$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} = [M]^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_{sd} \\ \lambda_{sq} \\ \lambda_{rd} \\ \lambda_{rq} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 2.23.Stator ve Rotor Akımlarının Hesaplanması.

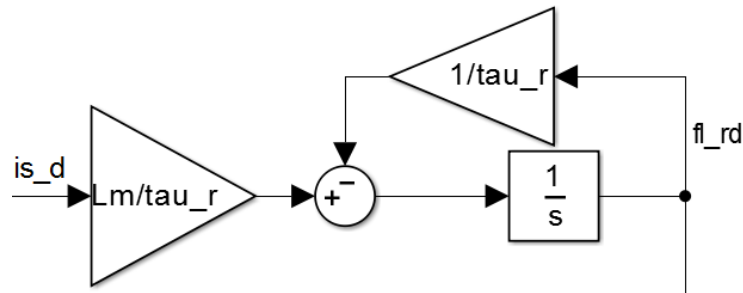
Rotor akısını bulmak için;

$$\frac{d}{dt} \lambda_{rd} + \frac{\lambda_{rd}}{\tau_r} = \frac{L_m}{\tau_r} i_{sd} \quad (2.13)$$

bağıntısı kullanılır. Burada τ_r zaman sabitidir ve rotor endüktansının rotor direncine bölümü olarak;

$$\tau_r = \frac{L_r}{R_r} \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir.

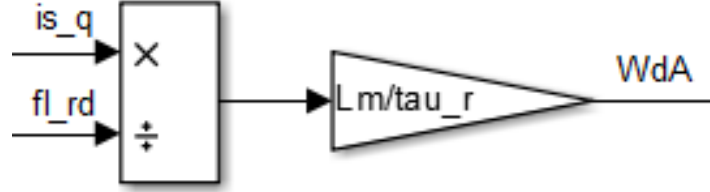


Şekil 2.24.D Ekseninde Rotor Akısı Hesaplama.

w_{dA} olarak ifade ettiğimiz kayma hızı;

$$w_{dA} = \frac{L_m}{\tau_r \lambda_{rd}} i_{sq} \quad (2.15)$$

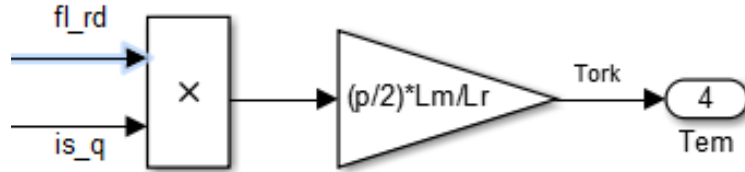
olarak ifade edilir.



Şekil 2.25.Kayma Hızının Elde Edilmesi.

Motorun ürettiği elektromanyetik torkun hesaplanması için;

$$T_{em} = \frac{p}{2} \lambda_{rd} \left(\frac{L_m}{L_r} i_{sq} \right) \quad (2.16)$$



Şekil 2.26.Elektromanyetik Torkun Hesaplanması.

Stator dq akımlarının tekrar dq ekseninden abc eksene ters park dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilmesi ile i_{abc} akımları elde edilir.

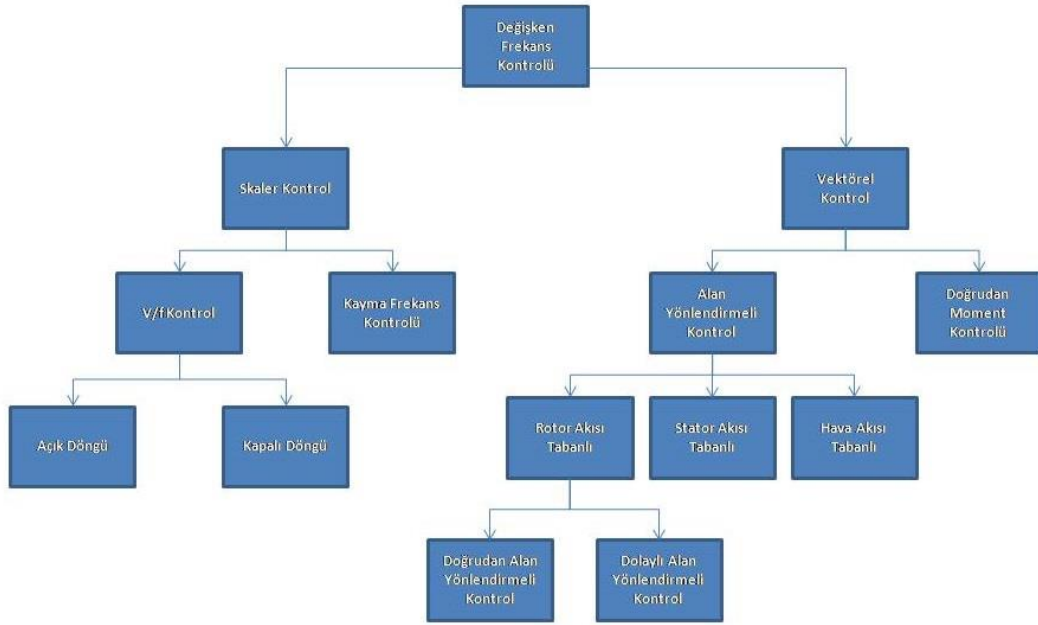
Motorlarda tüm denklemlerin modellenmesi ile oluşan şekil tamamen seçilir ve blok oluşturulur ve bloğa girdi olarak V_{abc} üç faz gerilimleri ve T_L yük torku verilir. Çıkış olarak ise motorun mekanik hızının d/dk cinsine çevrilmiş hali, motorun ürettiği tork, stator akımları gibi parametreler ölçülür.

2.7.MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ

Asenkron motorların değişken hızlı tahrik sistemlerinin kontrolünde stator geriliminin genlik ve frekansının değişimine bağlı temel olarak iki çeşit kontrol yöntemi bulunmaktadır. Bunlar;

- Skaler kontrol yöntemleri
- Vektörel kontrol yöntemleri

Sürekli mıknatıslı motorlar skaler kontrol yöntemi ile sürülemezler. Bu bölümde bu kontrol yöntemleri incelenmiştir.



Şekil 2.27.Kontrol Yöntemlerinin Sınıflandırılması.

2.7.1.Skaler Kontrol Yöntemleri

Skaler kontrol yöntemleri düşük performans sağlayan kontrol yöntemleridir. Gerçekleştirilmesi oldukça ucuz ve kolay olmasına rağmen, bu yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilen sistemin performansı, doğru akım motorlu sürücülerin performansına yetişememektedir. Bu yöntemlerin mantığı motora etki eden gerilim ve frekansın gerilim/frekans (V/f) oranı sabit tutulması ile düşük hızlar dışında motorun hızını geniş bir aralıkta kontrol edebilmektir. Asenkron motorda V/f oranını sabit tutmak demek hava aralığı akısını sabit tutmak anlamına gelir. Stator akımı hem

moment hem de akı ile ilişkili olduğu için, bu yöntemi kullanarak sadece moment kontrolü yapılamaz. Momentin değiştirildiğinde akı da değişecektir. Skaler yöntemler kullanıldığında motorda bir kararsızlık ve moment eğrisinde dalgalanmalar oluşmaktadır. Diğer bir taraftan parametre değişimleri kontrolü olumsuz etkilemektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında skaler kontrol yöntemleri hızın düşük olmadığı ve birden değişmediği uygulamalarda elverişlidir.

2.7.2.Vektörel Kontrol Yöntemleri

Asenkron motor kontrolünde akımın genliği, fazı ve frekansı kontrol edilmektedir. Bu nedenle kontrol edilecek unsur akım vektörüdür. Bu kontrol de vektör kontrolü olarak bilinmektedir. Akım vektörü moment ve akıdan oluşmaktadır. Asenkron motorlar yapısı itibariyle doğrusal olmadıkları için doğru akım motorlarına göre daha kompleks kontrol algoritmalarına ihtiyaç duymaktadırlar. Vektörel kontrol stator akısı yönlendirmeli kontrol, rotor akısı yönlendirmeli kontrol ve mıknatıslanma akısı yönlendirmeli kontrol olmak üzere farklı gruplara ayrılır. Bunlardan rotor akısı yönlendirmeli kontrol yani dolaylı alan yönlendirmeli kontrol diğerlerine göre matematiksel olarak daha kolaydır ve daha kararlı kontrol sağlamaktadır. Bu yöntemde abc ekseninden dq eksenine dönüşüm gerekmektedir.

Skaler kontrol yöntemleri;

- Daha kolay ve ucuz şekilde uygulanabilir.
- Motor hızının aniden değişimlerinde iyi sonuç vermektedir hızın düşük olduğu uygulamalarda daha kullanışlı olmaktadır.

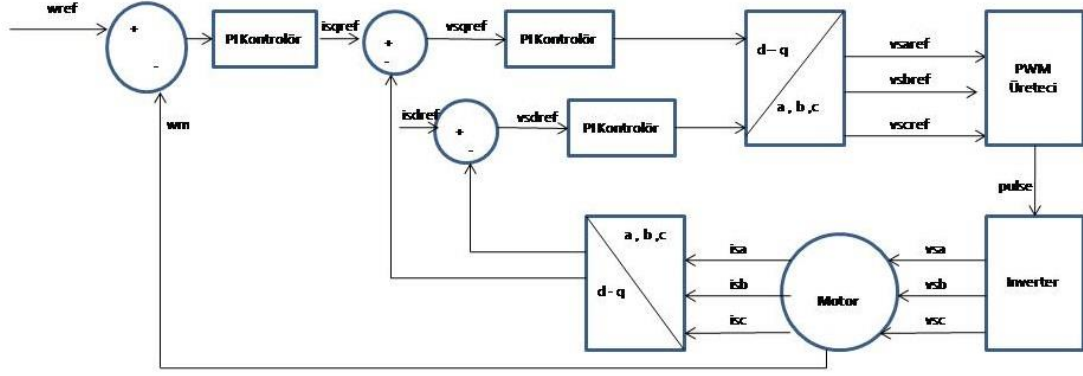
Alan yönlendirmeli kontrol yöntemleri;

- Kontrolü daha hızlı sağlamaktadır.
- Tek dezavantajı biraz daha kompleks olmasıdır.

Asenkron motor ve sürekli mıknatıslı motor modellenmesinde hızın belirli bir değerde sabit kalabilmesi amacıyla vektör kontrolü uygulanmıştır. Bu sayede hızı belirli bir devirde tutup makinenin tork ve $i_{d,q}$ akımlarının değişimi gözlemlenmiştir.

2.8.VEKTÖR KONTROL YÖNTEMİ İLE MOTORLARIN KONTROLÜ

Bu bölümde matematiksel denklemlerini kullanarak Simulink’de oluşturduğumuz motor modellerini kullanarak bunlar üzerinde vektör kontrolünün uygulanması anlatılmıştır.



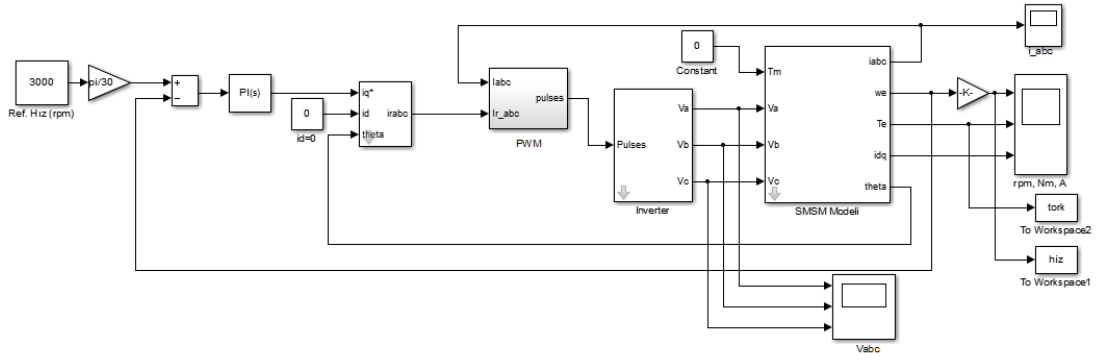
Şekil 2.28.Vektör Kontrolü Blok Şeması.

Şekil 2.28’de gösterildiği üzere vektör kontrolü uygulanan bir motorda referans olarak verilen hız bilgisi motordan ölçülen mekanik hız bilgisi ile çıkartılarak kontrolör ile i_{sq} akımı üretilir. i_{sd} akımının 0 olarak verilmesiyle motor i_{sq} akımının değiştirilmesiyle kontrol edilir. i_{sq} ve i_{sd} akımları kontrol edilerek v_{sq} ve v_{sd} oluşturulur ve abc eksenine çevrilerek pwm darbe üreticisine verilir.

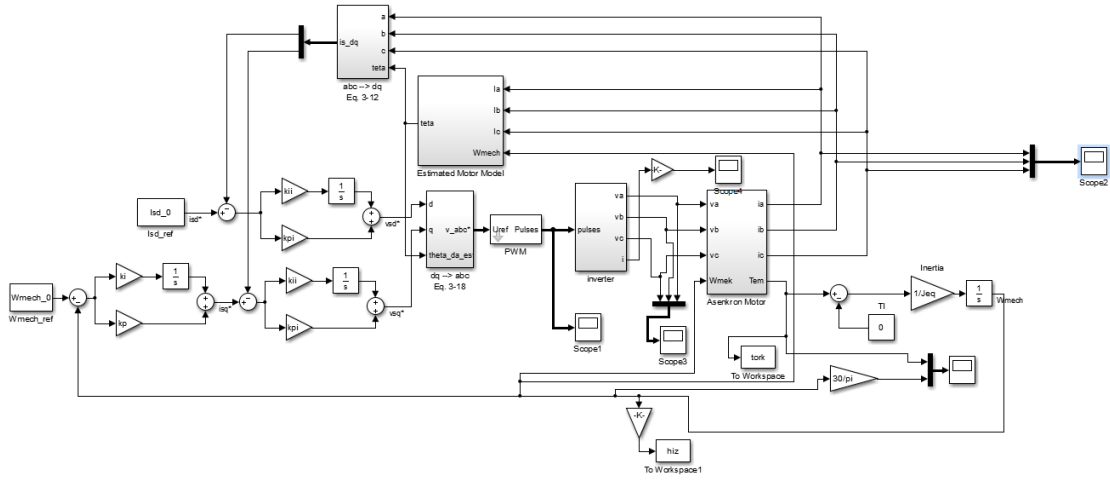
Pwm darbe üretici darbe üretir ve inverter aracılığı ile oluşturulan darbeler tekrar üç faz halinde motora verilir. Motordan alınan akımlar dq eksene çevrilerek i_{sq} ve i_{sd} akımlarından çıkarılarak kontrolöre girerler. Bu sayede motorun referans hız bilgisi verilerek çalıştırılması sağlanır.

Alan yönlendirmeli kontrol sayesinde AC makinelerin tork ve akıları kontrol edilebilir. Bu yöntem sayesinde motor verdiğimiz referans hız değerine ulaşır ve kararlı durumunu korur.

Rotor akı pozisyonu yani denklemlerde θ olarak kullandığımız değer, asenkron motor ve senkron motorda farklı hesaplanır. Çünkü senkron motorun rotor ve statoru arasında kayma yoktur. Asenkron motorda rotor hızı rotor akı hızına eşit olmadığı için kayma hızı ve rotorun elektriksel hızının toplamının türevi alınır.



Şekil 2.29. Senkron Motorun Vektör Kontrolü.



Şekil 2.30. Asenkron Motorun Vektör Kontrolü.

Simulink’de oluşturulan bu bloklarda referans hız bilgisi motordan alınan hız bilgisi ile karşılaştırılmış ve PI kontrolü uygulanmıştır. PI kontrolör katsayılarını belirlemede Ziegler-Nichols metodu kullanılmıştır [34]. Park ve ters park dönüşümleri ile dq ekseninden abc eksenine ve abc ekseninden dq eksenine dönüşümler gerçekleştirilmiştir. PWM darbeleri için Simulink’de bulunan Discrete PWM Generator bloğu kullanılmıştır. Invertere verilen DC besleme voltajı motorların çalışma voltajlarına göre verilmiştir. Burda test ettiğimiz motorların ikisi de aynı voltajda çalıştığı için inverterde aynı dc gerilim verilmiştir. Motordan alınan hız bilgisi rad/s cinsinden olduğu için bu değer d/dk değerine dönüştürülmüştür. Motorların harcadıkları gücü bulmak için Denklem 2.17 kullanılmıştır.

$$Harcanan\ Güç = \frac{3}{2}(V_d i_d + V_q i_q) \quad (2.17)$$

Kullanılan asenkron motorun özellikleri;

Gücü:	5.5 kW
Voltajı:	220 V
Nominal Hızı:	1450 r/min
Stator Direnci:	0.628 Ω
Rotor Direnci:	1.192 Ω
Stator, Rotor Sızıntı Endüktansı:	5.668 mH
Manyetik Endüktans:	163.9 mH
Kutup Sayısı:	2
Atalet Momenti:	0.2674 kg. m ²
Sürtünme Katsayısı	0.0016 N.m.s

Kullanılan sürekli mıknatıslı senkron motorun özellikleri;

Gücü:	5.5 kW
Voltajı:	220 V
Nominal Hızı:	1500 r/min
Stator Direnci:	0.665 Ω
d-q Eksen Endüktansı:	7.923 mH
Mıknatıs Akısı:	0.783 Wb
Kutup Sayısı:	2
Atalet Momenti:	0.2674 kg. m ²
Sürtünme Katsayısı	0.0016 N.m.s

Vektör kontrolünde kullandığımız motorların parametreleri; gücü, maksimum torku, hızları ve besleme gerilimleri aynı olan motorlardan[14] seçilmiştir. Bu motorların parametreleri listelenmiştir. Motorların ikisine de 220V besleme gerilimi verilmiş ikisi de aynı hızda çalıştırılmış ikisine de 1000d/dk'da 20Nm yük, 2000d/dk'da 10Nm yük uygulanmıştır. Aynı şartlarda çalıştırılan bu motorlarla gerçekleştirilen bu simülasyonlarda motorların harcadığı güçler, cektikleri akımlar, ürettikleri torklar görüntülenmiş ve bunlara bakılarak motorlardan düşük ve yüksek devirde hangisinin verimli olduğu anlaşılmıştır. Bu şekilde simülasyonların çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar tezin “Bulgular” bölümünde gösterilmiştir.

2.9.AZ AKIM ÇEKEN MOTORUN SEÇİLMESİ

Bu bölümde tezin amacında da belirtildiği gibi trafik bilgisinden yola çıkarak aracın gidebileceği hızın belirlenmesinden ve o hızda verimli motorun seçtirilmesinden bahsedilmiştir. Trafik bilgisinde bildiğimiz üzere kırmızı, sarı ve yeşil tonlarında renkler vardır. Yeşil trafiğin rahat olduğunu, kırmızı sıkışık olduğunu, sarı ise ortalama bir yoğunlukta olduğunu belirtmektedir. Simülasyona girdi olarak Şekil 2.47'deki gibi bir trafik bilgisi verilmiştir.



Şekil 2.31. Trafik Bilgisi Girdisi.

Şekil 2.47'deki trafik bilgisi resim girdisi olarak Matlab yazılımında Çizelge 2.2'deki gibi hız bilgisine dönüşecek şekilde kodlanmıştır. Bu kodlamada renklerin R, G, B değerlerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 2.2.Trafik Bilgisi Renklerinin RGB ve Hız Karşılıkları.

Trafik Bilgisi	Karşılığı
	R:255 G:0 B:0 Hız: 2.55 km/sa
	R:200 G:0 B:0 Hız: 2 km/sa
	R:150 G:0 B:0 Hız: 1.5 km/sa
	R:100 G:0 B:0 Hız: 1 km/sa
	R:230 G:138 B:0 Hız: 9.2 km/sa
	R:255 G:178 B:0 Hız: 11.45 km/sa
	R:0 G:50 B:0 Hız: 13 km/sa
	R:0 G:100 B:0 Hız: 26 km/sa
	R:0 G:150 B:0 Hız: 39 km/sa
	R:0 G:200 B:0 Hız: 52 km/sa
	R:0 G:250 B:0 Hız: 65 km/sa

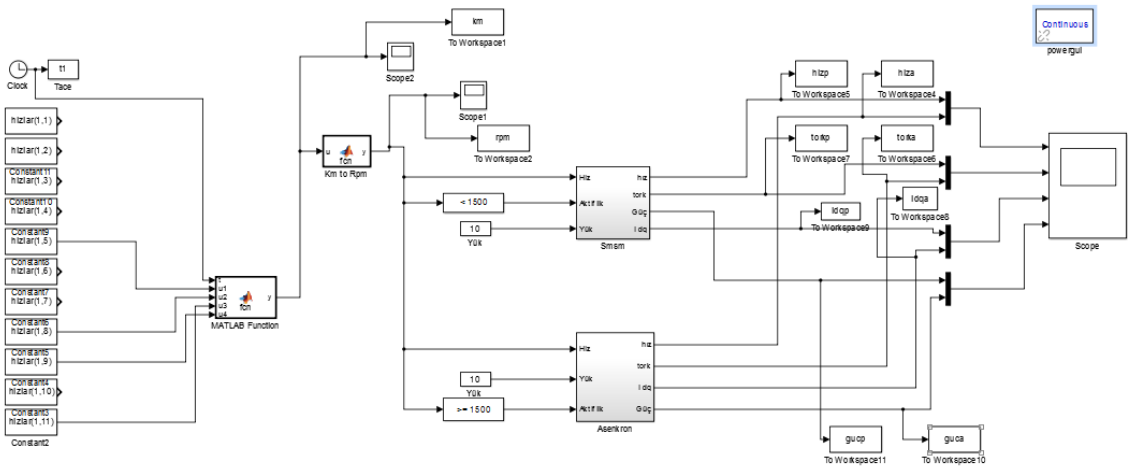
Bilginin renk kodlarından hız bilgisine çevrilmesiyle simülasyona hız bilgisi girdi olarak verilmektedir. Bu hız bilgisi aracın trafikte seyredeceği hız bilgisidir. Motorları motor devrine göre seçeceğimiz için bu bilginin motor devri bilgisine dönüştürülmesi gerekir. Bunun için de aracın tekerlek çapı, dişli oranı, tekerlek devri, tekerlek çapı ve tekerlek çevresi değerlerinden yararlanarak dönüşüm yapılması gerekir. Burada kullanıldığı varsayılan araç için tekerlek çapı 60 cm, dişli oranı 3.5 olarak verilmiştir. Bu değerler kullanılarak aracın hızı, motorun hızına dönüştürülmüştür.

$$Tekerlek \text{ Çevresi} = 3,14 * Tekerlek \text{ çapı}(km) \quad (2.18)$$

$$Tekerlek \text{ Devri} = \frac{Aracın \text{ Hızı}}{Tekerlek \text{ Çevresi}} \quad (2.18)$$

$$Motor \text{ Devri} = \frac{Tekerlek \text{ Devri} * Dişli \text{ Oranı}}{Tekerlek \text{ Çapı}(cm)} \quad (2.20)$$

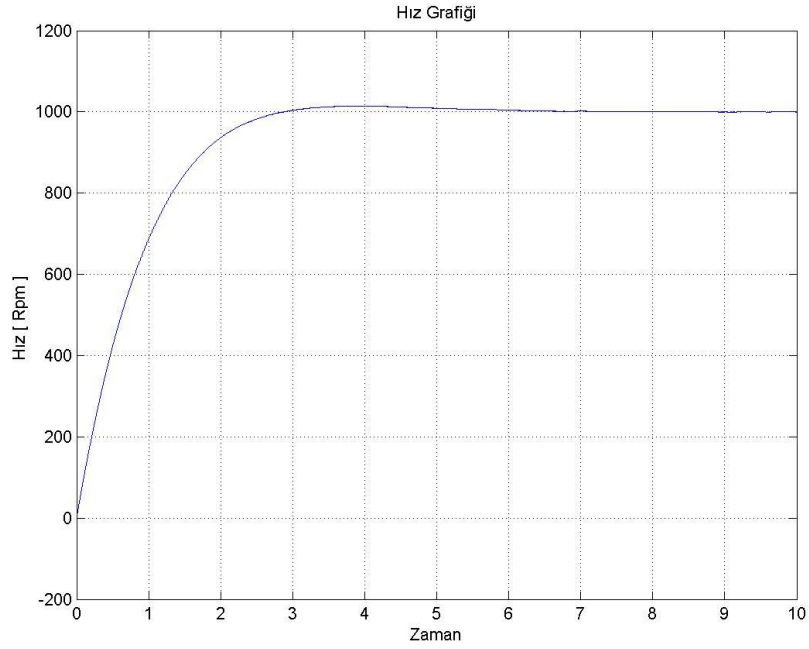
Bu denklemler sayesinde aracın hızından motorun devri hesaplanır. Bizim simülasyonda kullandığımız motorların nominal hızları 1500d/dk olduğu için simülasyonda SMSM ve ASM modellerinden alt bloklar oluşturulmuş ve 1500d/dk'nın altında daha verimli olan SMSM'nin seçilmesi, üstünde ise daha verimli olan ASM'nin seçilmesi sağlanmıştır. Bu işlemi sağlayan Simulink blokları Şekil 2.48'de gösterilmiştir.



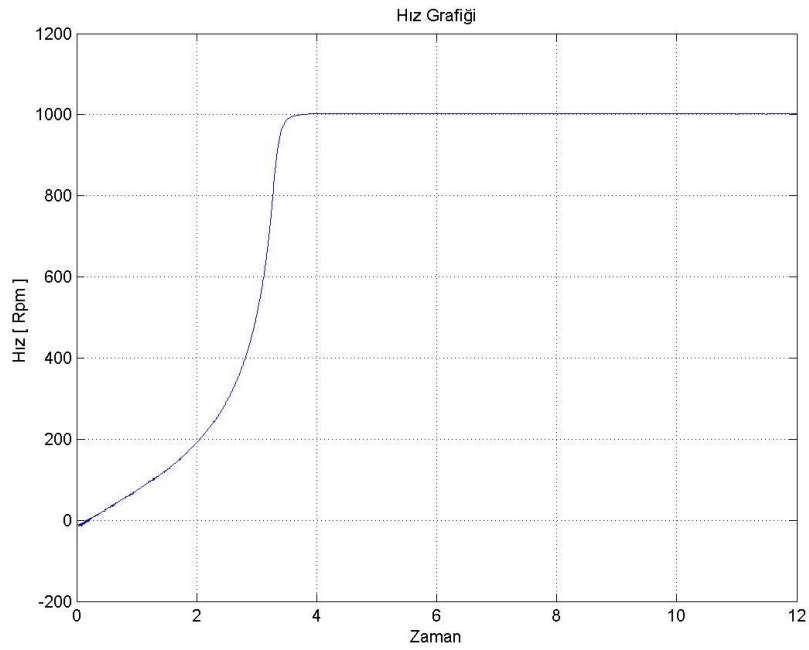
Şekil 2.32.Motorları Seçirme İşlemi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

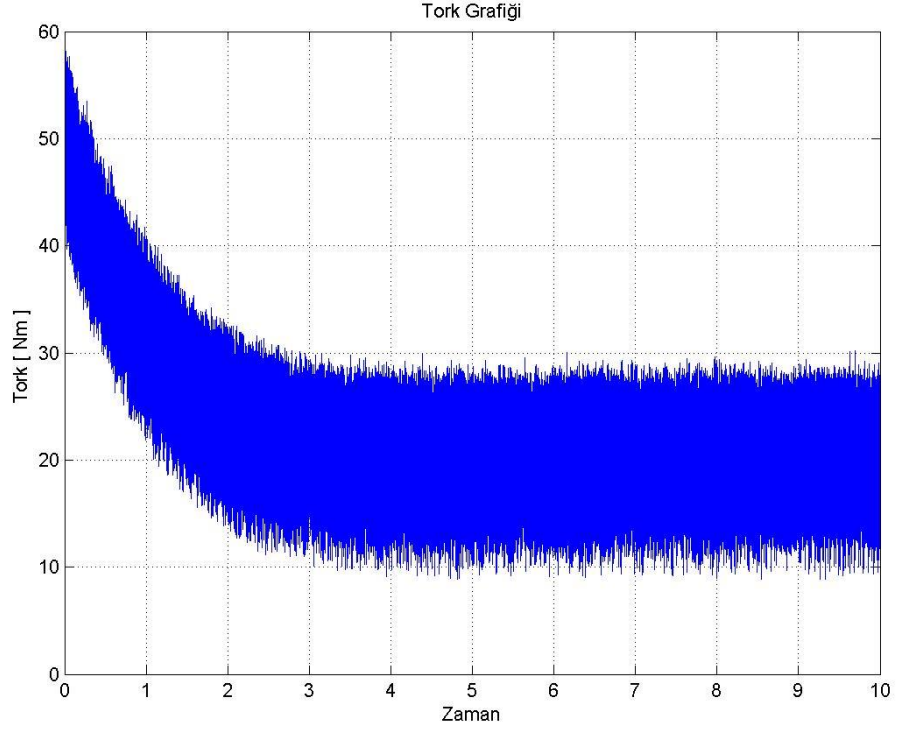
3.1. MOTORLARIN 1000D/DK'DA ÇALIŞTIRILMASI



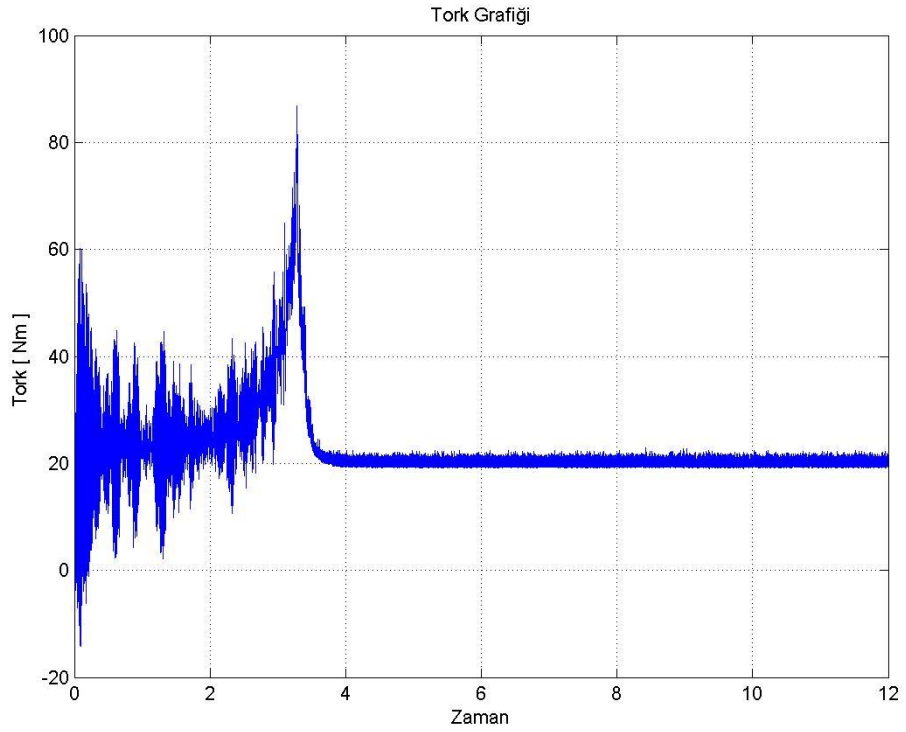
Şekil 3.1.SMSM Hız Grafiği.



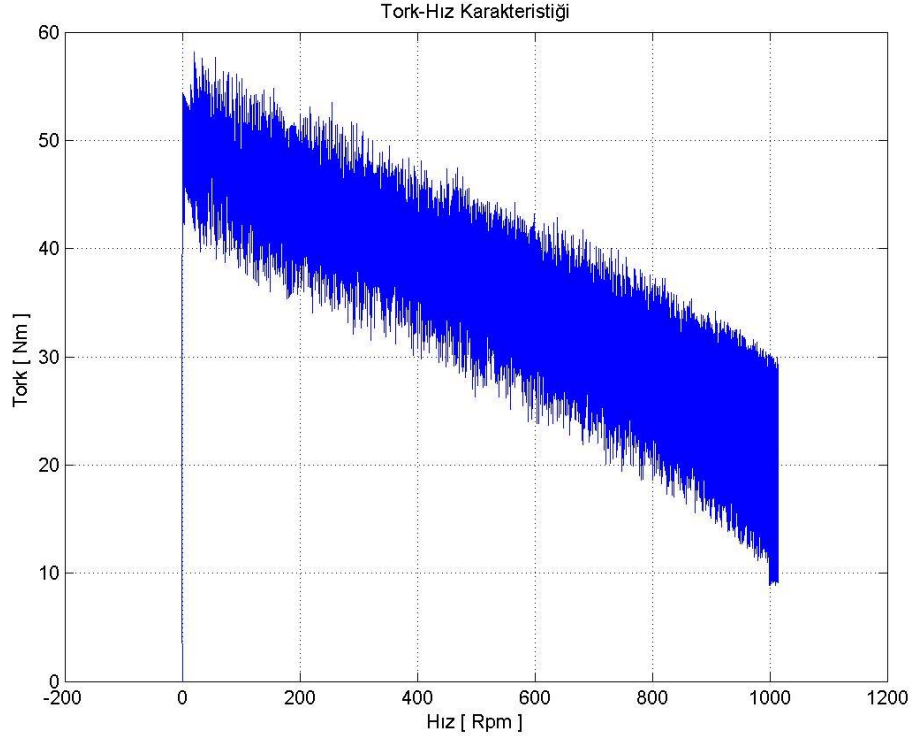
Şekil 3.2. ASM Hız Grafiği.



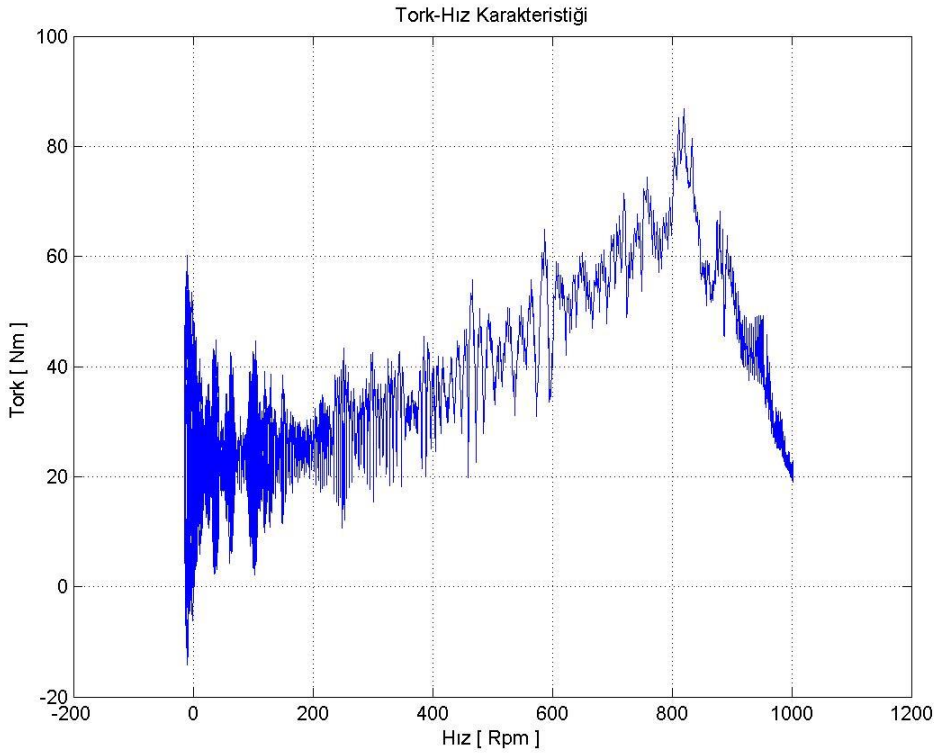
Şekil 3.3. SMSM Tork Grafiği.



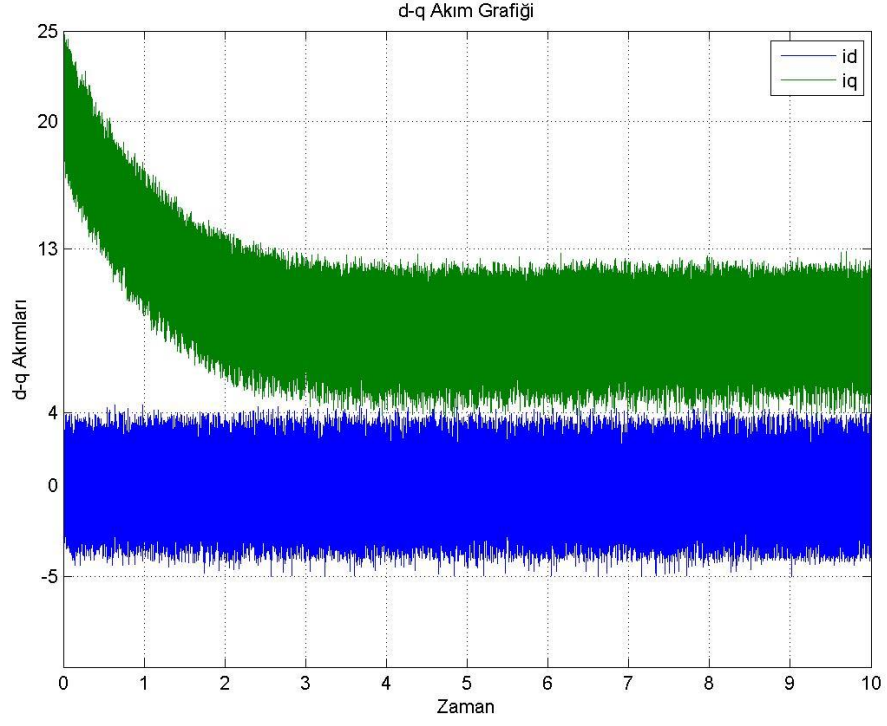
Şekil 3.4. ASM Tork Grafiği.



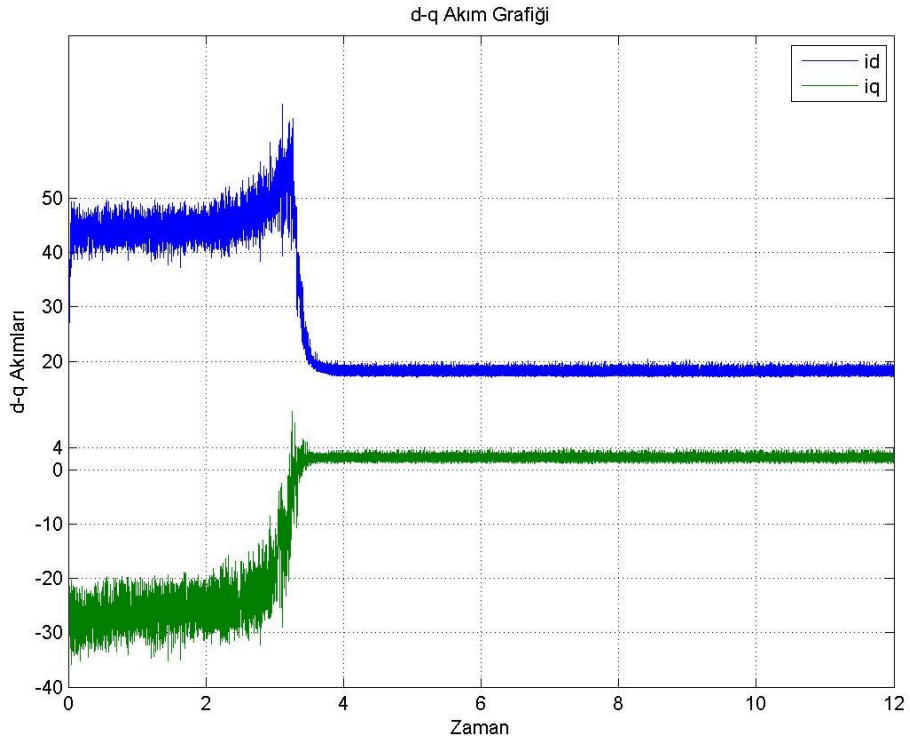
Şekil 3.5.SMSM Tork-Hız Grafiği.



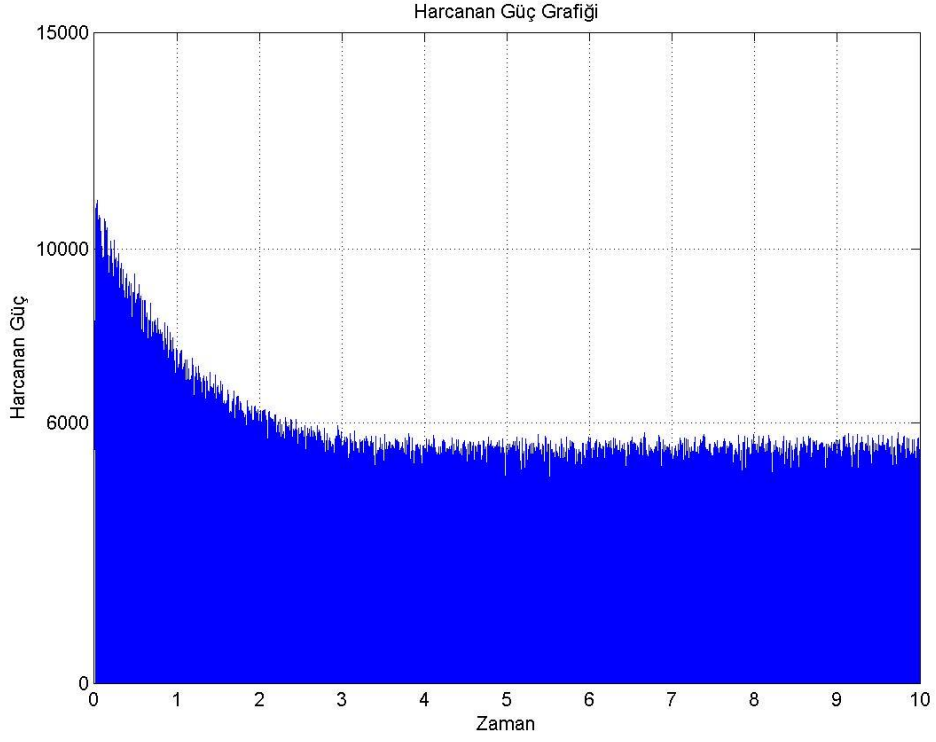
Şekil 3.6.ASM Tork-Hız Grafiği.



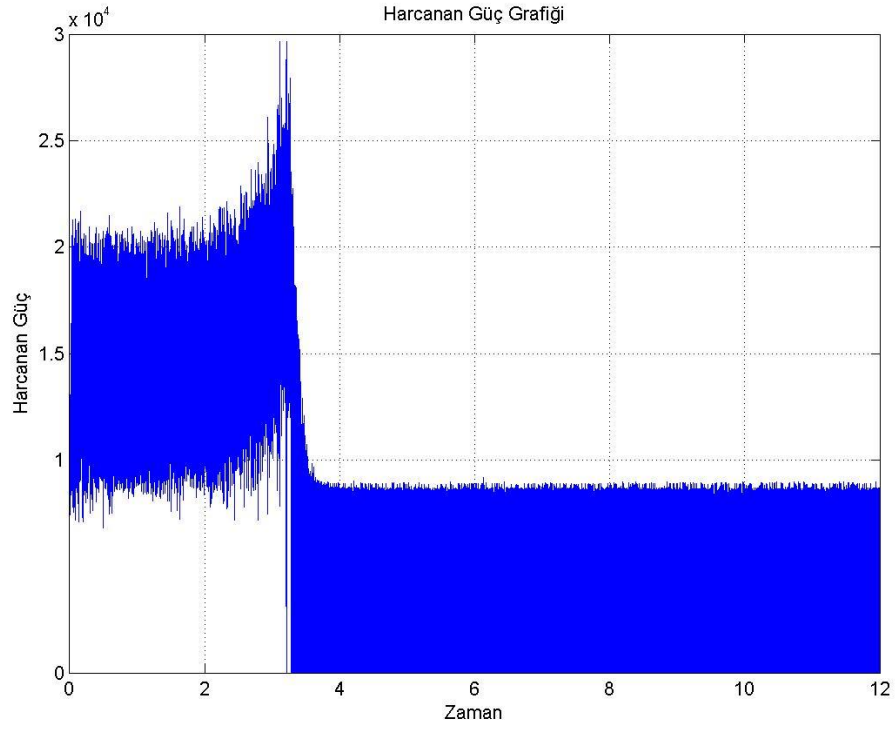
Şekil 3.7.SMSM d-q Akımları Grafiği.



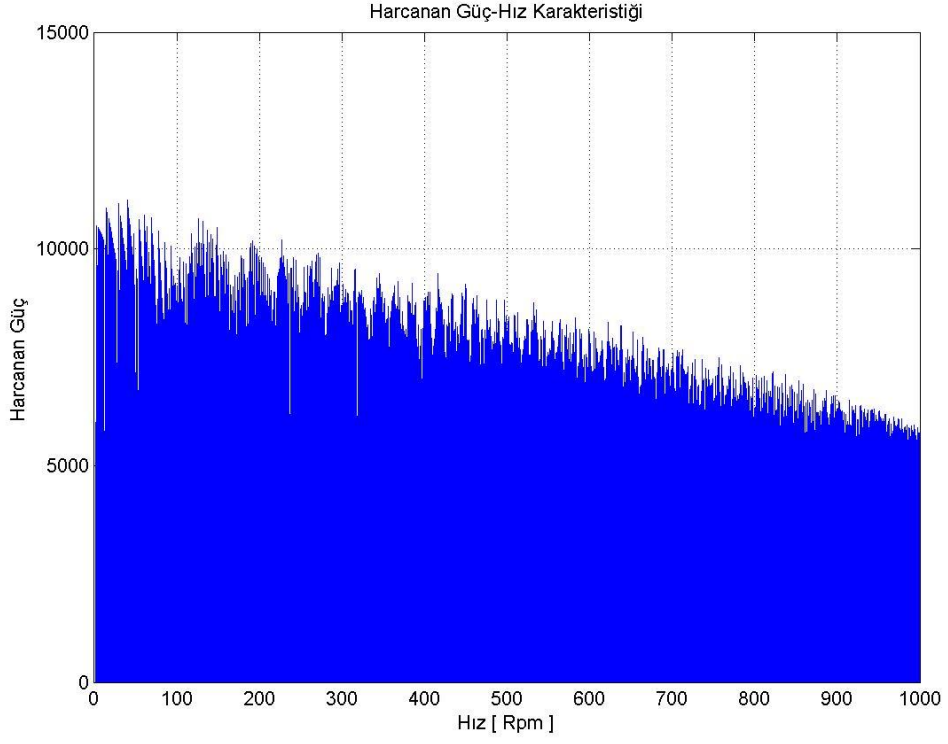
Şekil 3.8.ASM d-q Akımları Grafiği.



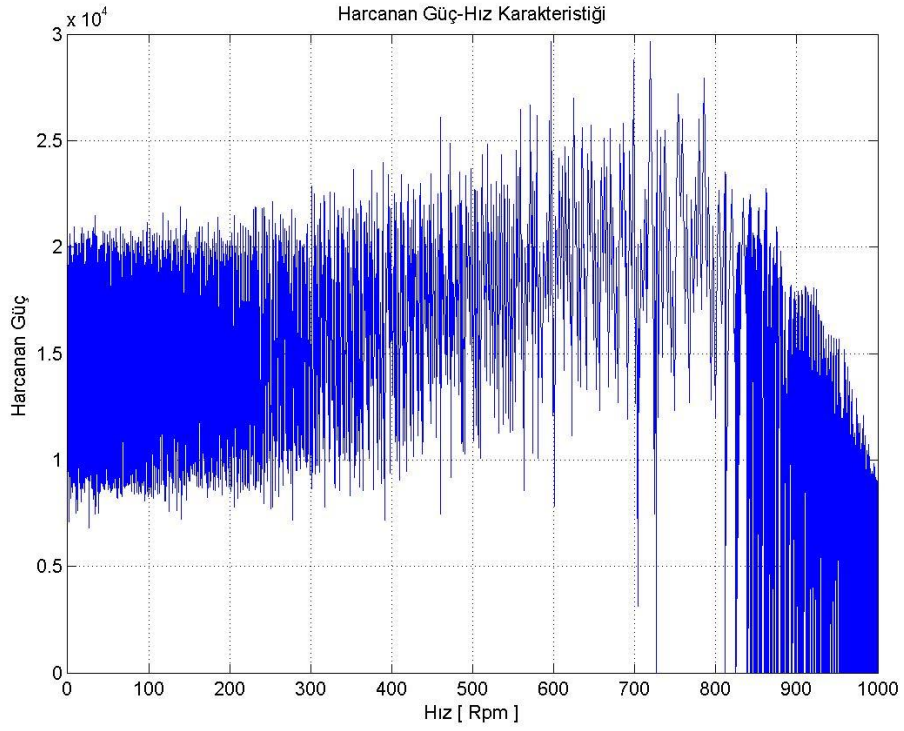
Şekil 3.9.SMSM Harcanan Güç Grafiği.



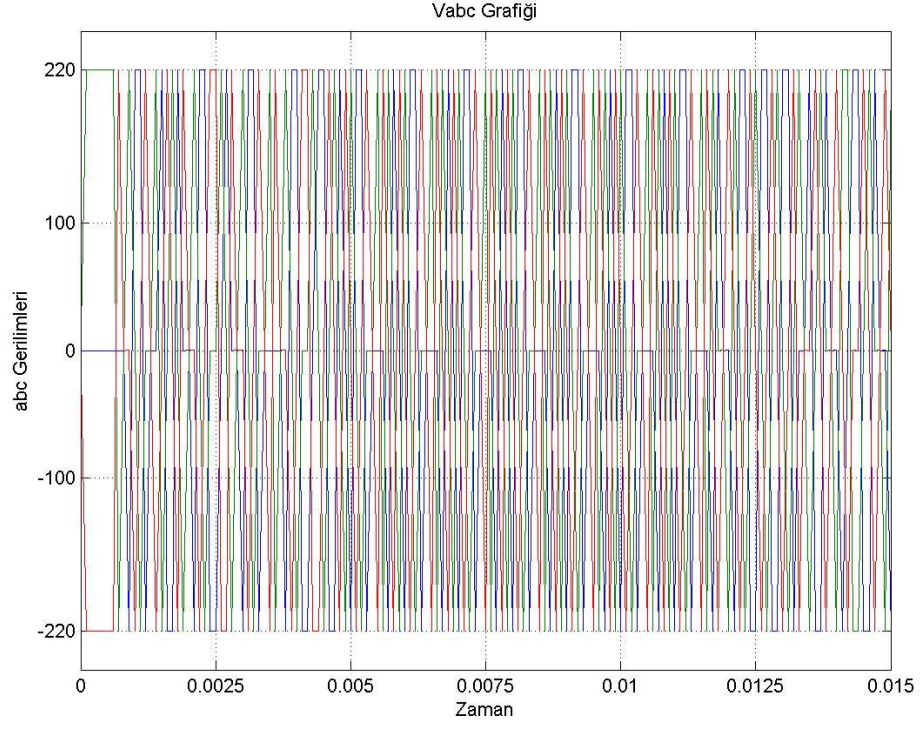
Şekil 3.10.ASM Harcanan Güç Grafiği.



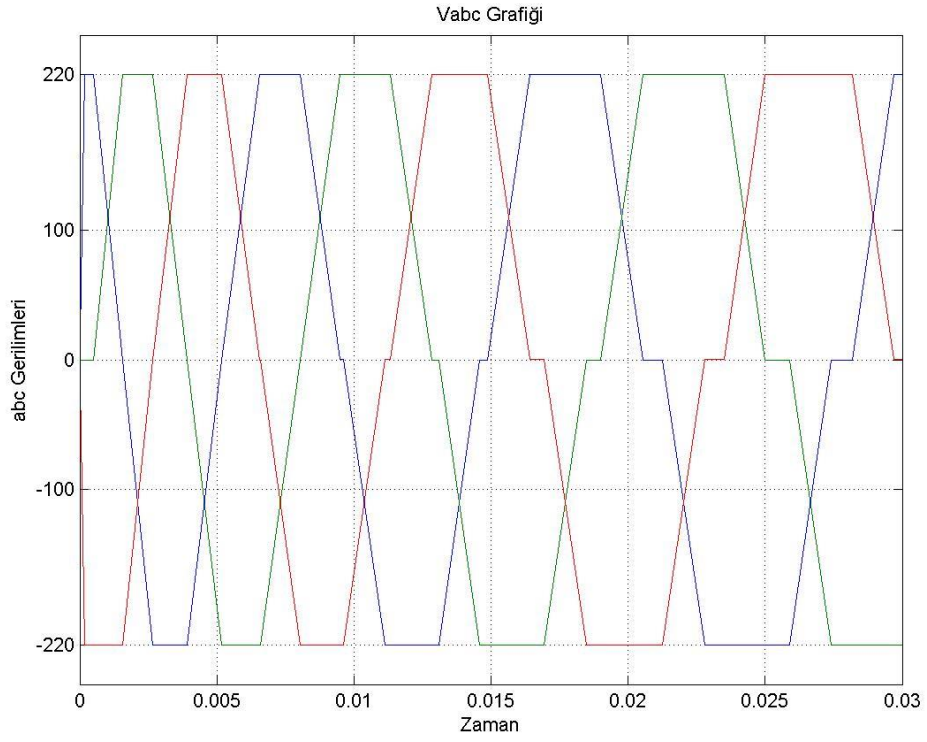
Şekil 3.11.SMSM Harcanan Güç-Hız Grafiği.



Şekil 3.12.ASM Harcanan Güç-Hız Grafiği.

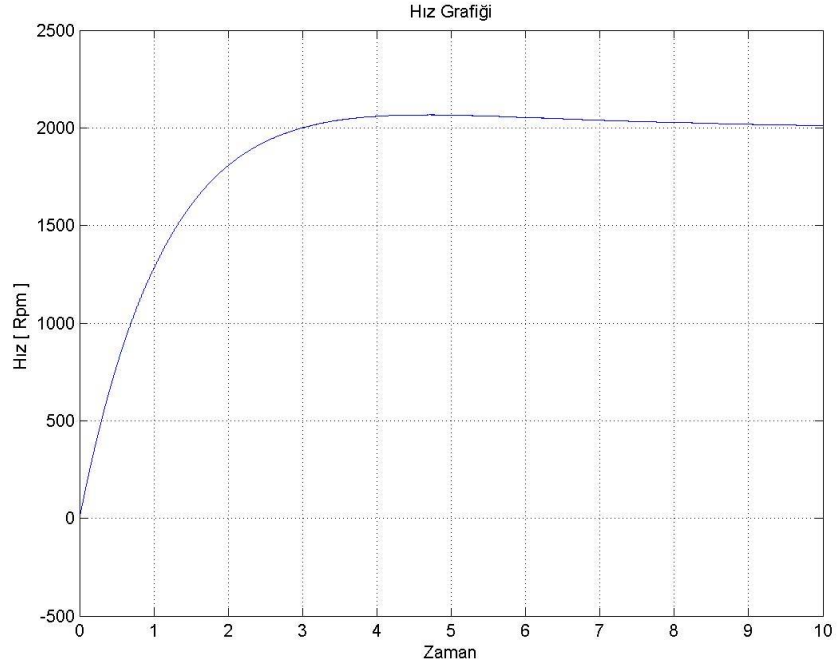


Şekil 3.13.SSM abc Gerilimleri Grafiği.

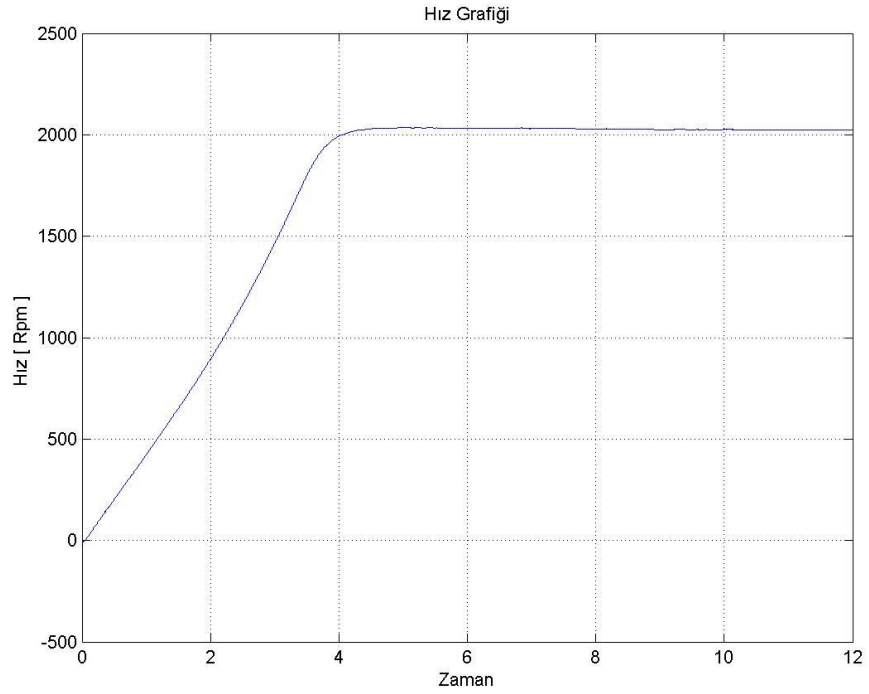


Şekil 3.14.ASM abc Gerilimleri Grafiği.

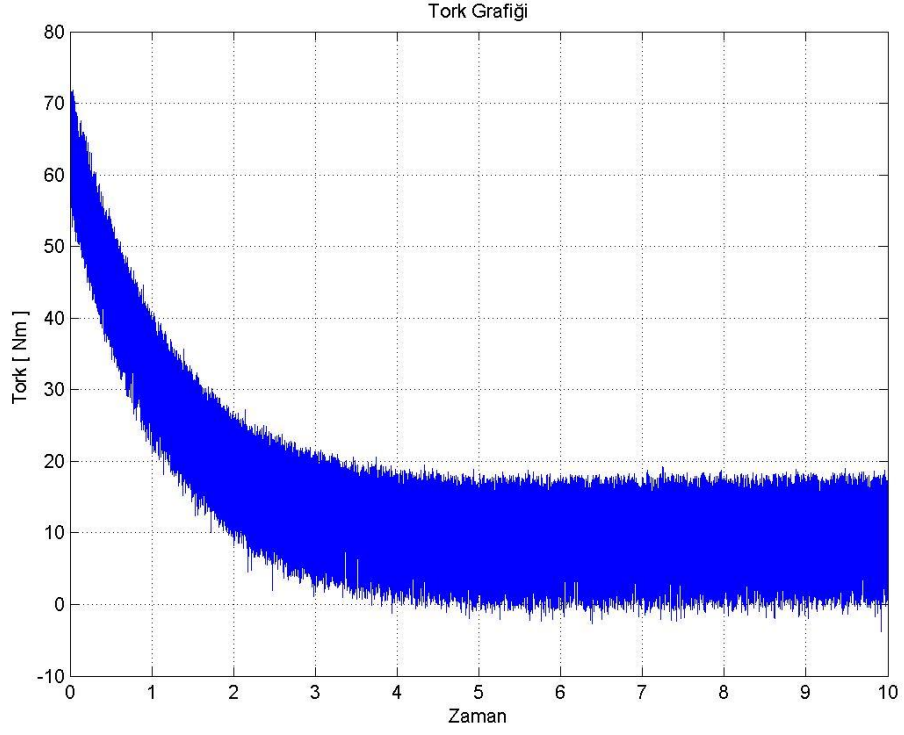
3.2. MOTORLARIN 2000D/DK'DA ÇALIŞTIRILMASI



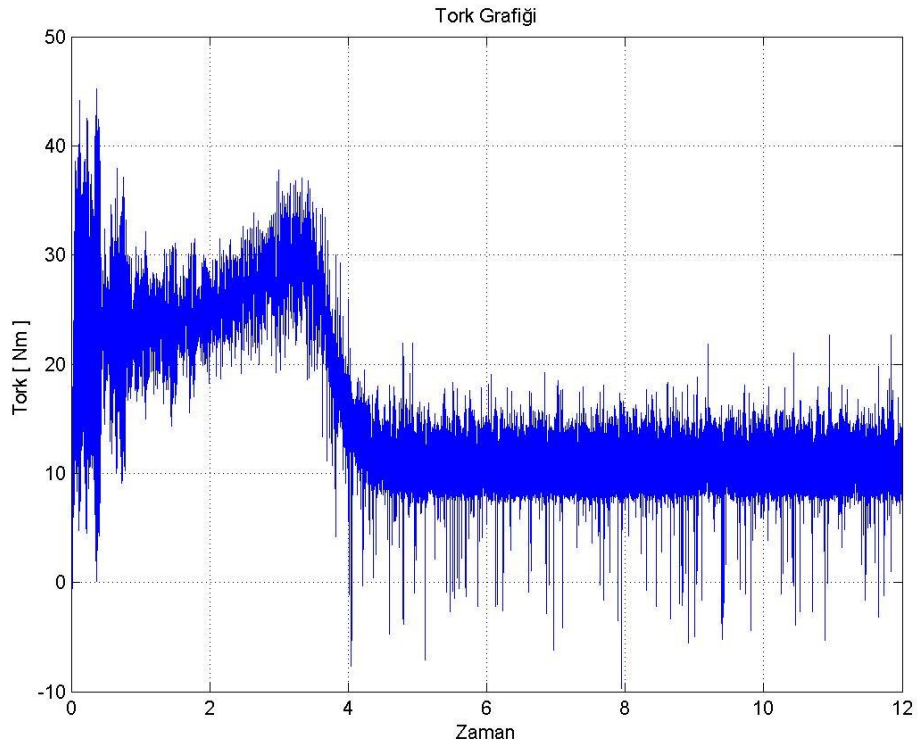
Şekil 3.15.SMSM Hız Grafiği.



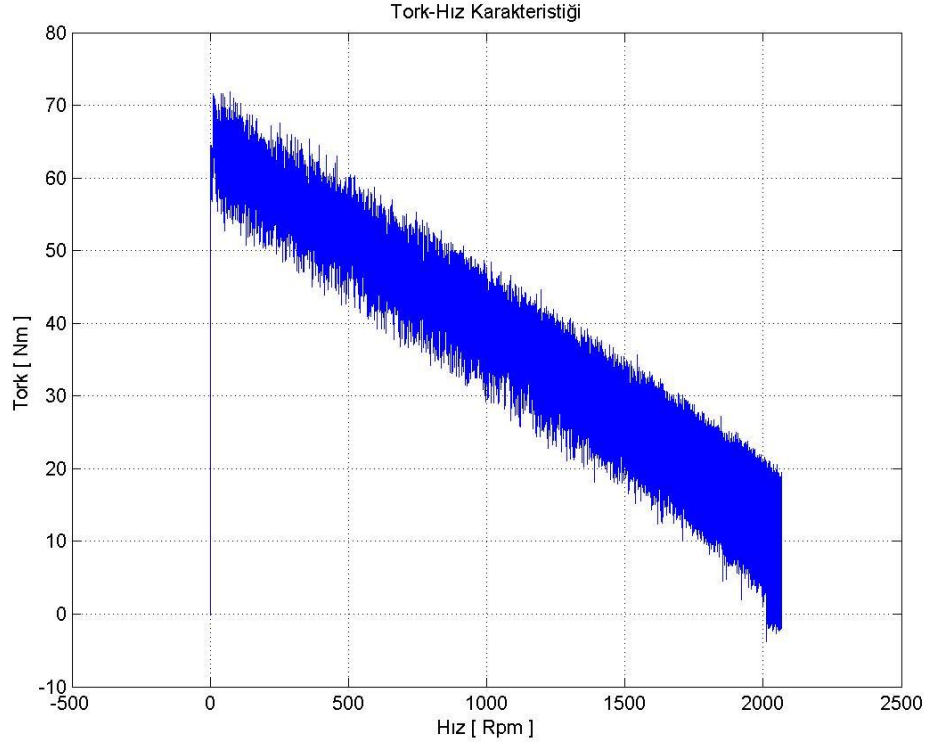
Şekil 3.16.ASM Hız Grafiği.



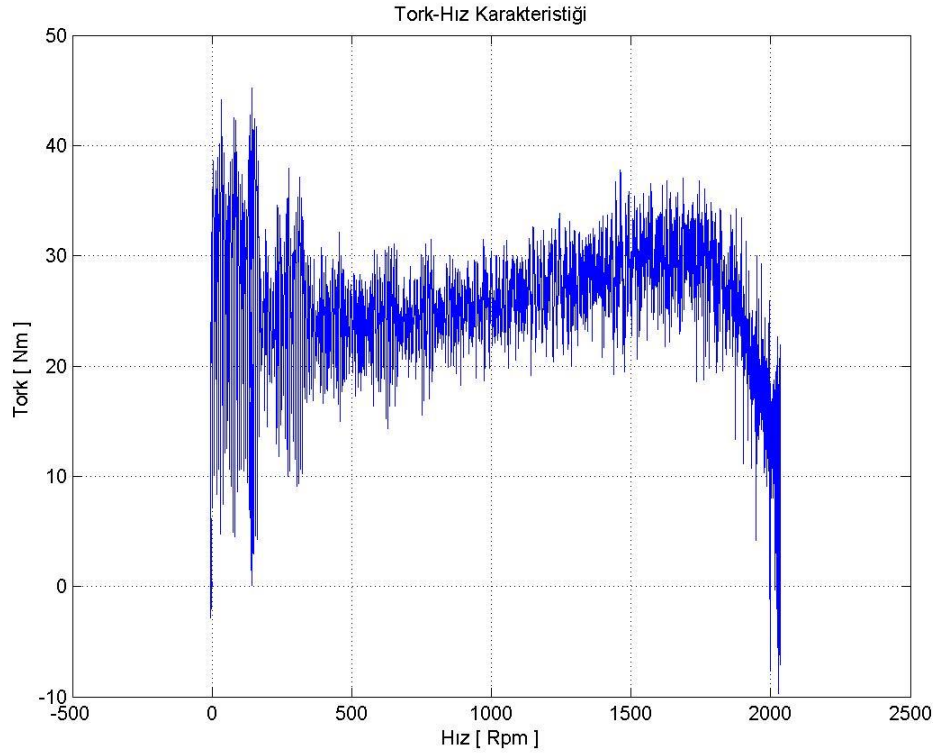
Şekil 3.17.SMSM Tork Grafiği.



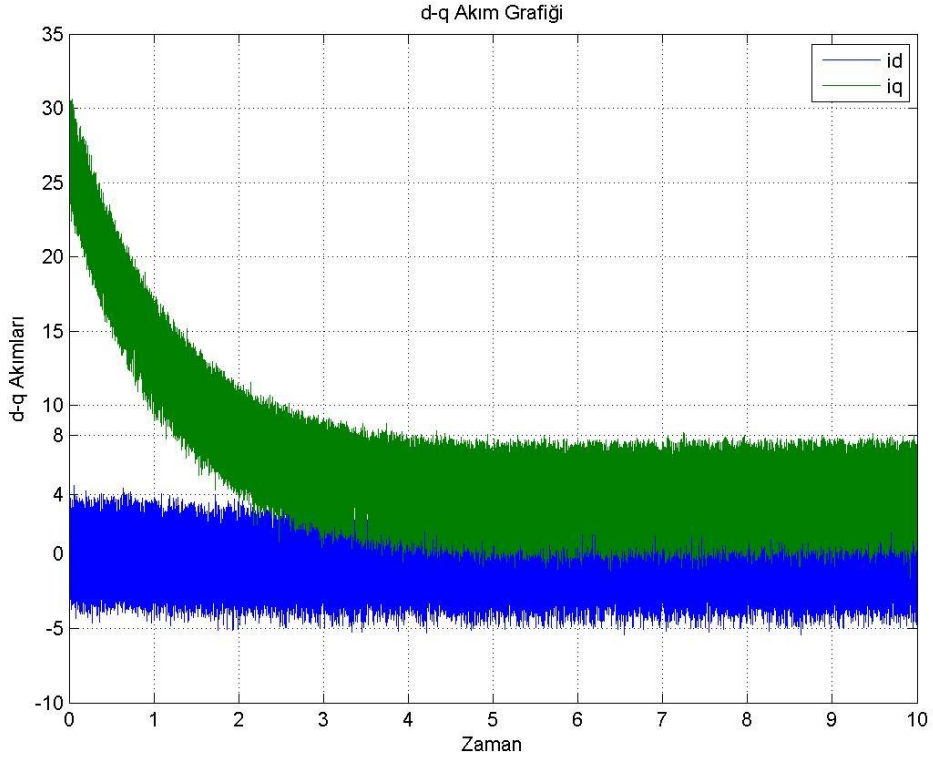
Şekil 3.18.ASM Tork Grafiği.



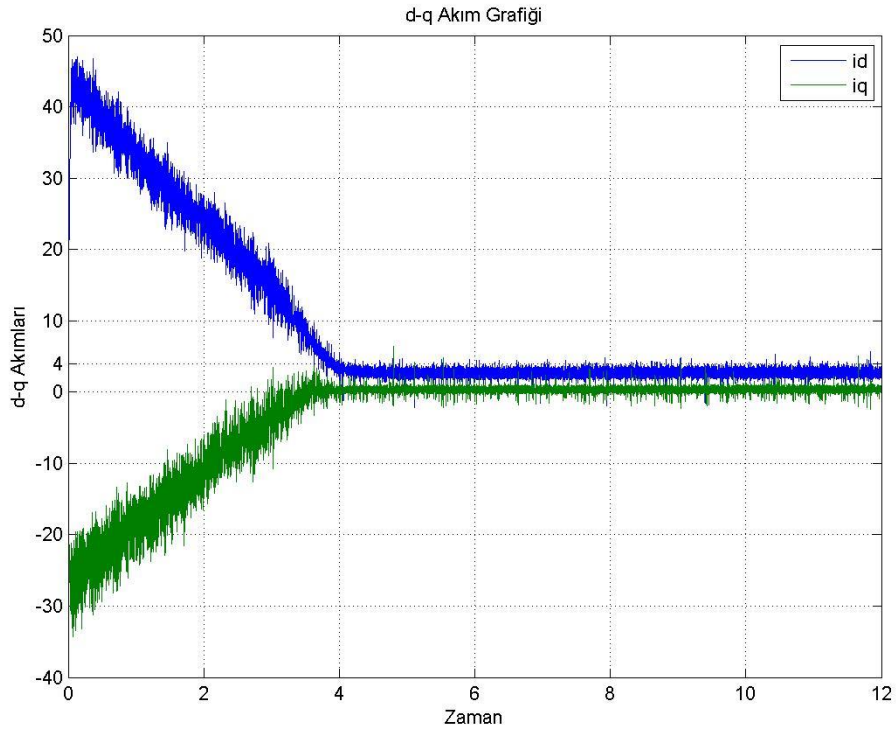
Şekil 3.19.SMSM Tork-Hız Grafiği.



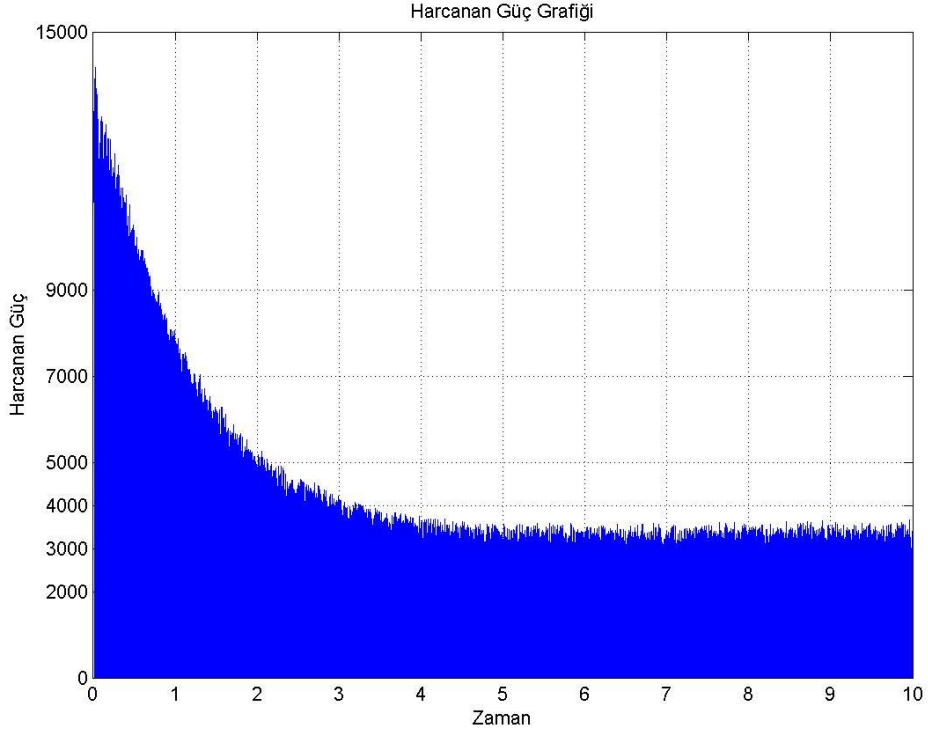
Şekil 3.20.ASM Tork-Hız Grafiği.



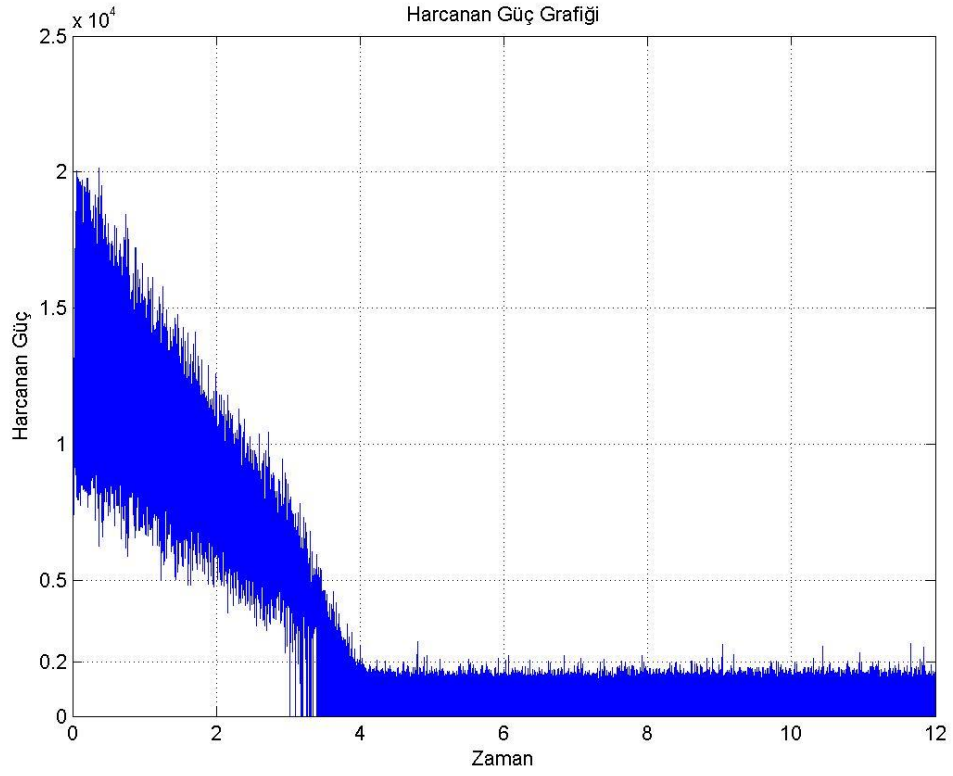
Şekil 3.21.SMSM d-q Akımları.



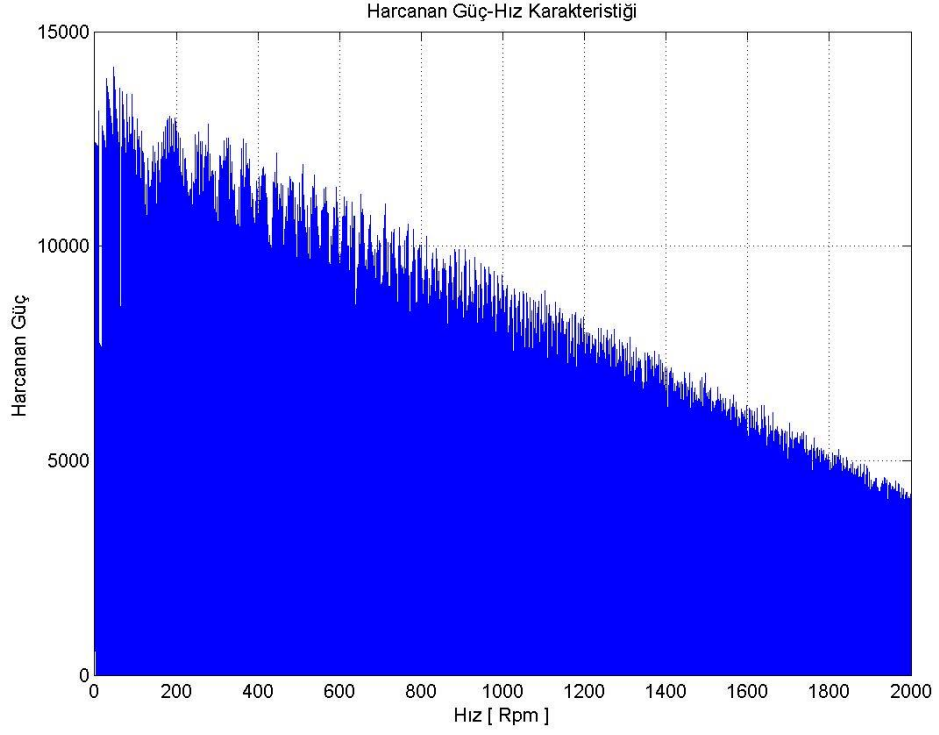
Şekil 3.22.ASM d-q Akımları Grafiği.



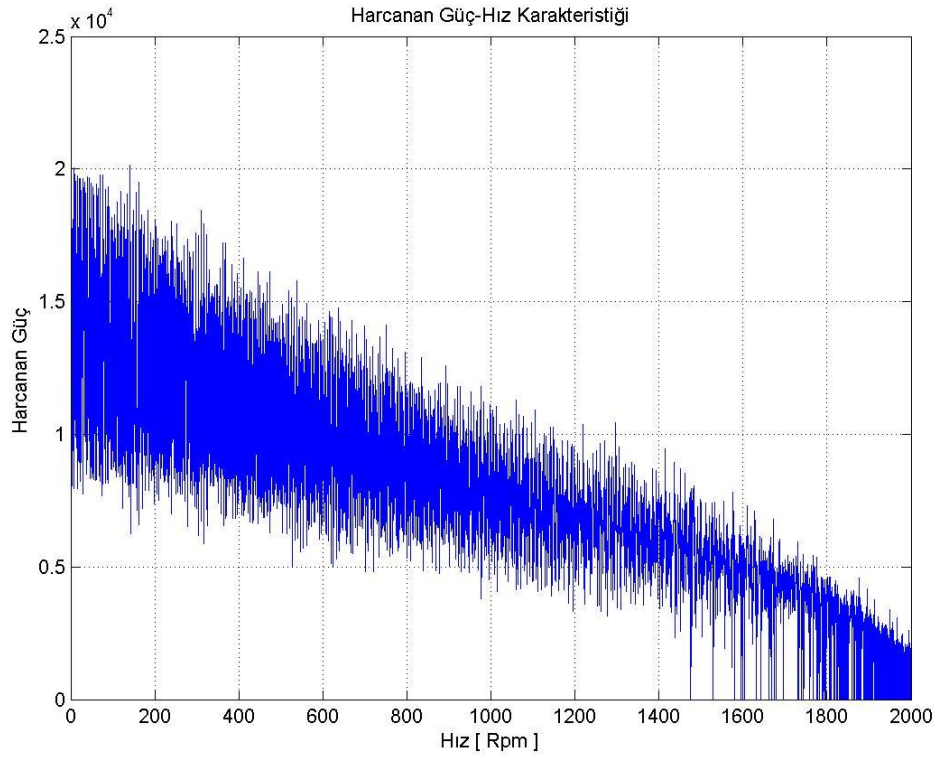
Şekil 3.23.SMSM Harcanan Güç Grafiği.



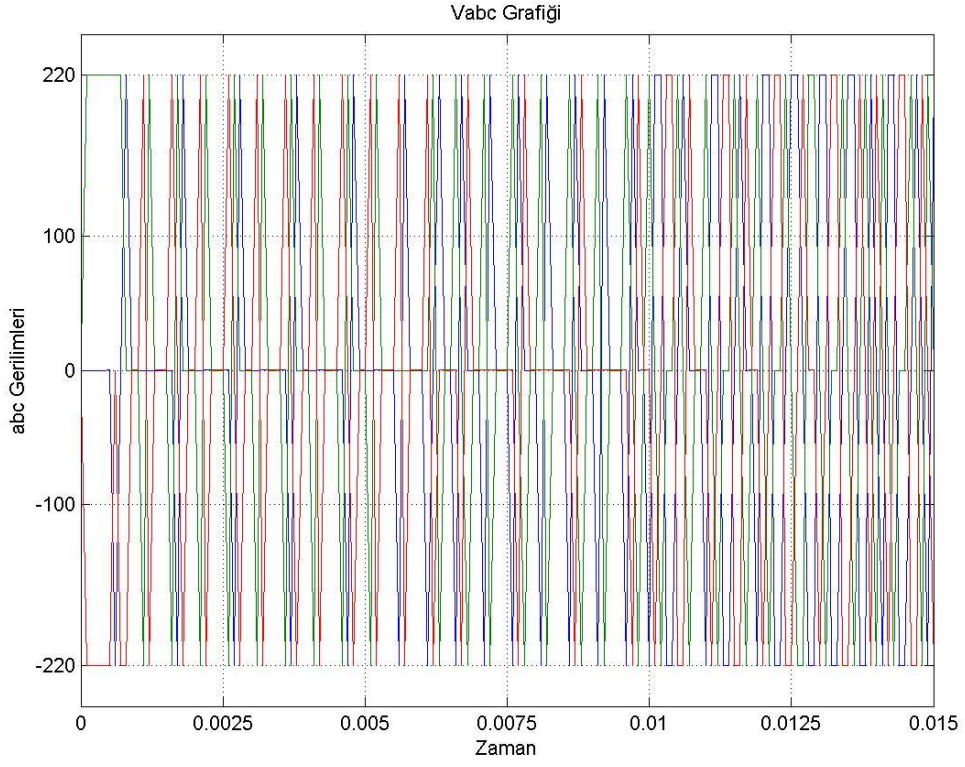
Şekil 3.24.ASM Harcanan Güç Grafiği.



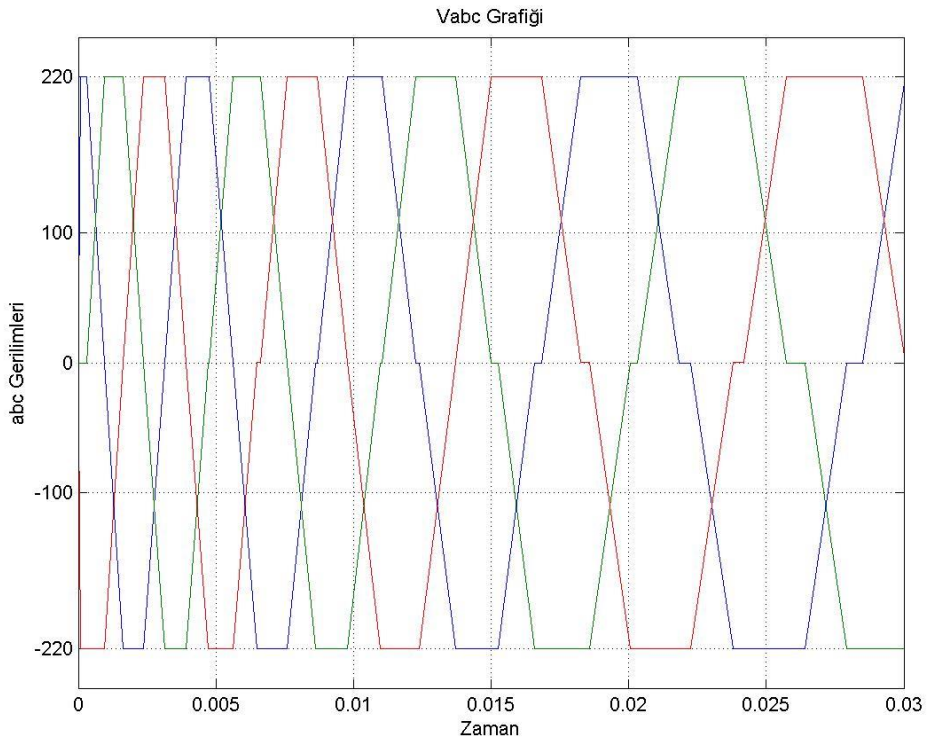
Şekil 3.25.SMSM Harcanan Güç-Hız Grafiği.



Şekil 3.26.ASM Harcanan Güç-Hız Grafiği.

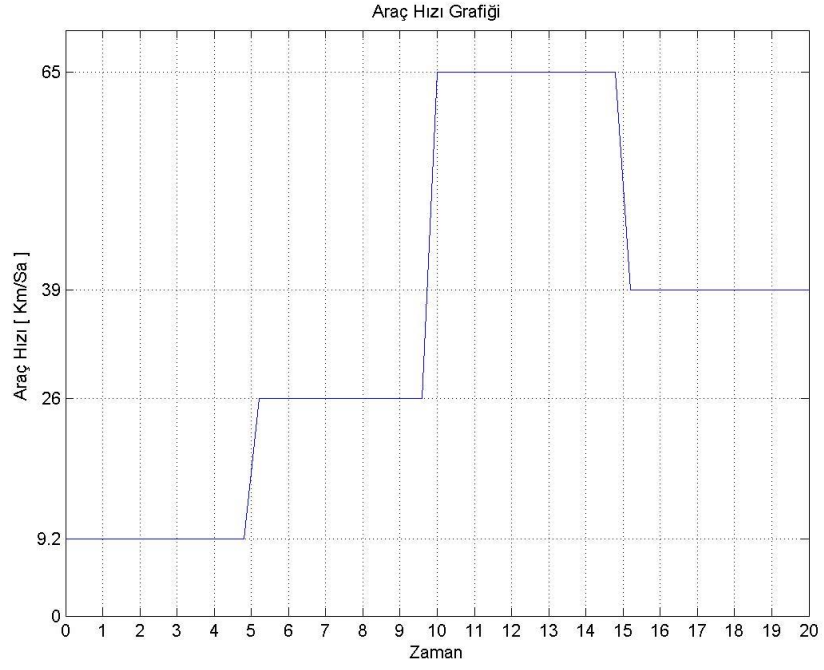


Şekil 3.27.SMSM abc Gerilimleri Grafiği.

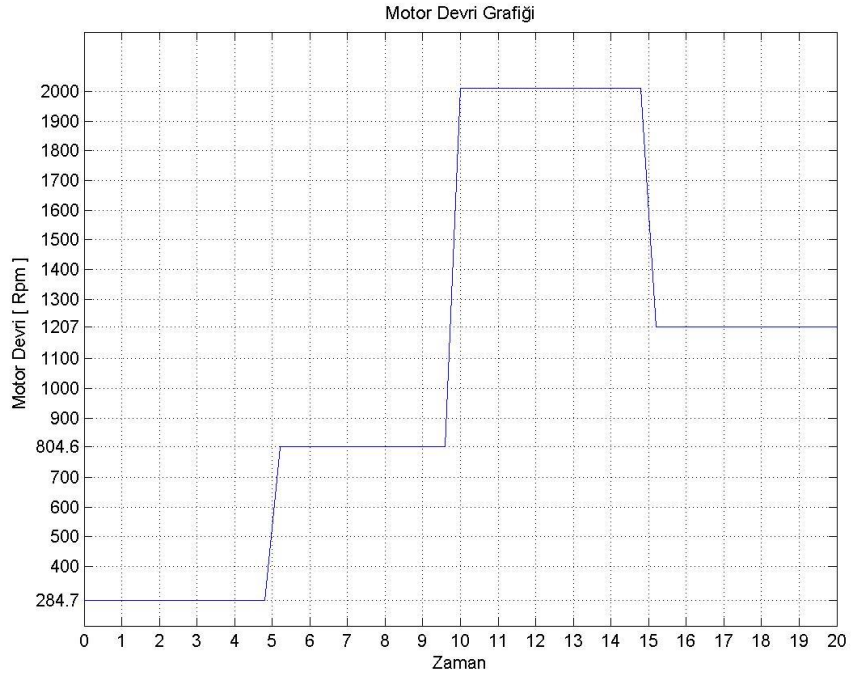


Şekil 3.28. ASM Harcanan Güç Grafiği.

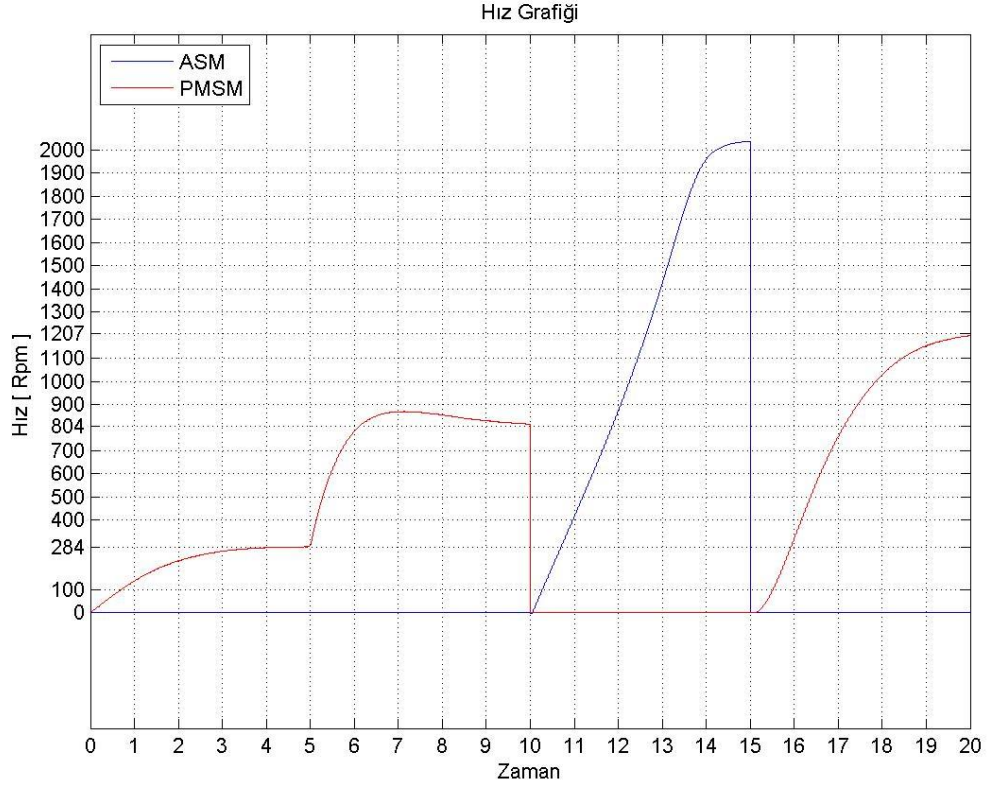
3.3. TRAFİK BİLGİSİ GİRİLEREK MOTOR SEÇİLMESİ



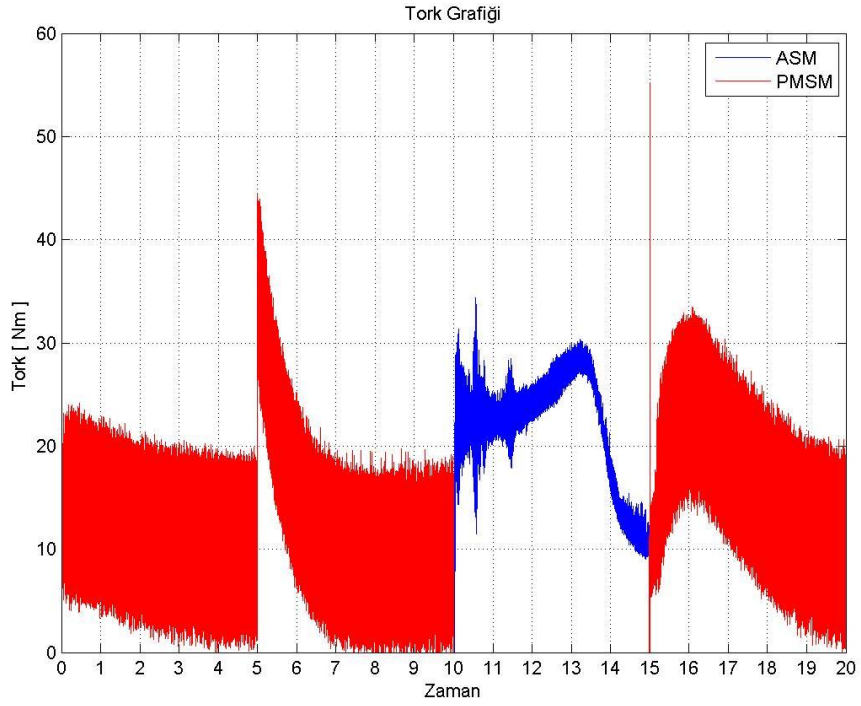
Şekil 3.29. Trafik Bilgisinden Elde Edilen Araç Hızı Grafiği.



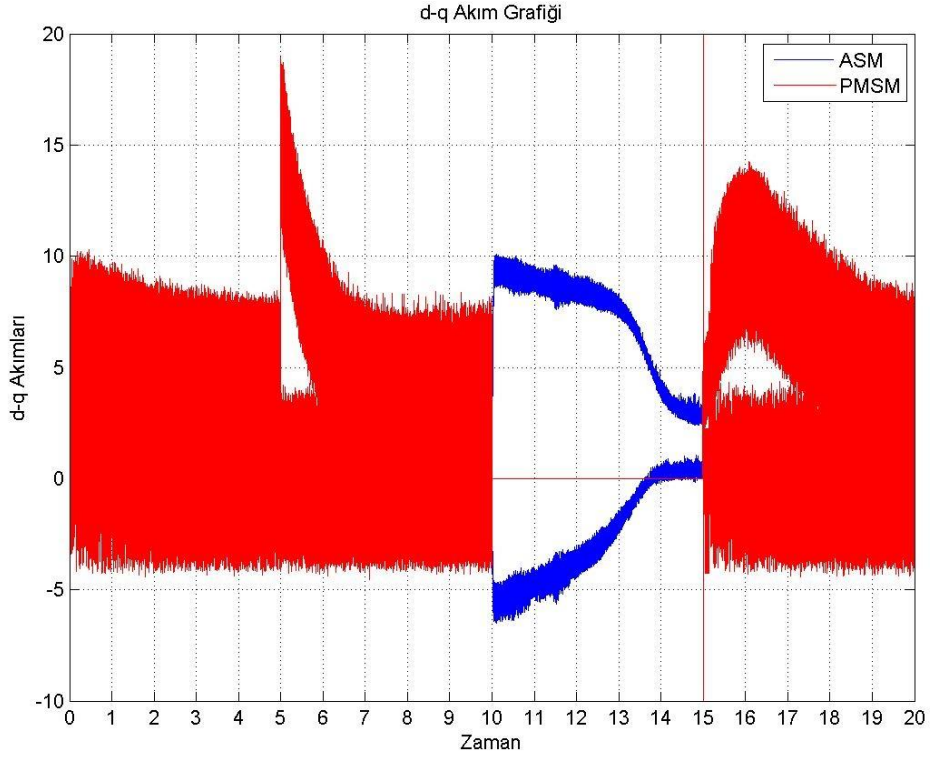
Şekil 3.30. Aracın Hızına Karşılık Motor Devri Grafiği.



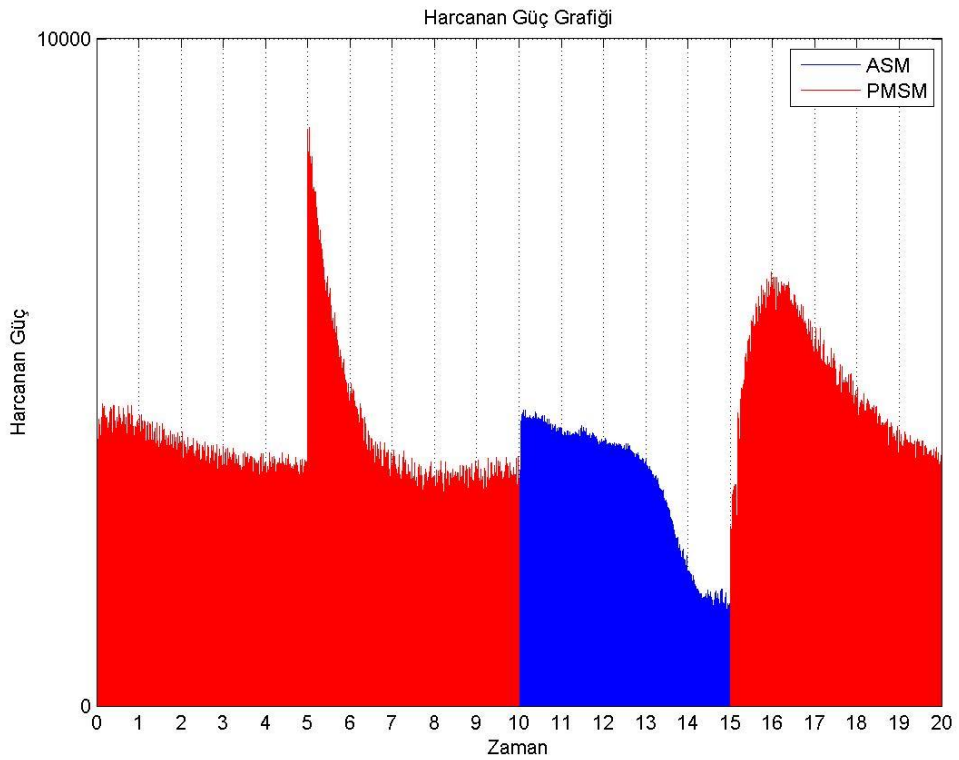
Şekil 3.31.Seçilen Motorların Hız Grafiği.



Şekil 3.32.Seçilen Motorların Tork Grafiği.



Şekil 3.33.Seçilen Motorların d-q Akımları Grafiği.



Şekil 3.34.Seçilen Motorların Harcadıkları Güç Grafiği.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Petrol kaynaklarının rezervi azaldıkça elektrikle hareket eden araçlara ilgi ve talep artmaktadır. Bu talebi karşılamak üzere otomotiv şirketleri elektrikli araç üretimi üzerinde uzun zamandan beri çalışmaktadır.

Elektrikli aracın verimliliğinde araçta kullanılacak elektrikli motor önemli bir paya sahiptir. Kullanılacak bu motorun bir elektrikli araçta olması gereken kriterleri sağlamak zorundadır. Bu kriterler kullanılan motorun düşük hızlarda yüksek tork yüksek hızlarda yüksek güç üretmesi olarak özetlenebilir. Günümüze kadar üretilen elektrikli araçlar incelendiğinde genellikle asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor kullandıkları görülmektedir.

Asenkron motorlar ve sürekli mıknatıslı motorlar karşılaştırıldığında düşük hızlarda asenkron motorun sürekli mıknatıslı senkron motora göre daha az performanslı ve daha çok akım çektiği, buna karşın yüksek devirlerde daha çok performanslı ve daha az akım çektiği bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında asenkron motor ve sürekli mıknatıslı senkron motor olmak üzere iki motor bulduran bir elektrikli araç düşünülerek bu aracın motorlardaki verimliliğinden yola çıkarak düşük devirlerinde asenkron motoru, yüksek devirlerinde sürekli mıknatıslı senkron motoru aktif etmesiyle daha az enerji tüketimli ve daha performanslı olması üzerine çalışılmıştır. Grafik sonuçları motorların 1000d/dk ve 2000d/dk'daki sonuçlarıdır. Motorların nominal hızları 1500d/dk'dır. Grafiklerden görüldüğü üzere 1000d/dk'da sürekli mıknatıslı senkron motor asenkron motora göre daha az akım çekmektedir ve daha az güç harcamaktadır. Ancak 2000d/dk'da bu durum tersine dönmektedir. 2000d/dk'da asenkron motorun daha az akım çektiği ve daha az güç harcadığı görülmektedir. Bu da nominal hız değerinin altında SMSM'nin ASM'ye göre daha verimli, ancak nominal hız değerinden sonra ASM'nin SMSM'ye göre daha verimli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle geliştirilen simülasyonda nominal değer altında sürekli mıknatıslı senkron motor, üstünde ise asenkron motor seçilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen bu simülasyona girdi olarak aracın bulunduğu trafiğin bilgisi verilerek bu bilgiyle aracın o trafikte gidebileceği hızı belirlemiş, daha sonra o hızda motorların devri hesaplanarak o devirde daha verimli olan motorun seçilmesi sağlanmıştır. Bu simülasyon deneysel çalışmalar ile desteklenebilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Yildirim M., Polat M., Kurum, H. A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles, *Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC)*, (2014) 218-223.
- [2] Guan Y., Zhu Z. Q., Afinowi I. A. A., Mipo J. C., Farah P. Comparison between induction machine and interior permanent magnet machine for electric vehicle application, *Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, (2014) 144-150.
- [3] Goss J., Popescu M., Staton D. A comparison of an interior permanent magnet and copper rotor induction motor in a hybrid electric vehicle application, *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*, (2013) 220-225.
- [4] Buyukdegirmenci V. T., Bazzi A. M., Krein P. T. Evaluation of induction and permanent-magnet synchronous machines using drive-cycle energy and loss minimization in traction applications. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 50(1), (2014) 395-403.
- [5] Gwoździwicz M., & Antal L. Investigation of line start permanent magnet synchronous motor and induction motor properties. *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej*, (64), (2010) 13-20.
- [6] Finken T., Felden M., Hameyer K. Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles. In *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference*, (2008) 1-5.
- [7] Hashemnia N., Asaei B. Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. In *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference*, (2008). 1-5
- [8] Aktaibi A., Ghanim D., Rahman M. A. Dynamic Simulation of a Three-Phase Induction Motor Using Matlab Simulink, *20th Annual Newfoundland Electrical and Computer Eng. Conference (NECEC 2011)*, (2011).
- [9] Omaç Z., Öksüztepe E., Selçuk, A. H. Sayısal Sinyal İşlemci Tabanlı Dolaylı Alan Yönlendirmeli Asenkron Motorun Hız Kontrolü, *International Advanced Technologies Symposium*, (2011).
- [10] Zeraoulia M., Benbouzid M. E. H., Diallo D.. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study, *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, (2006) 1756-1764.
- [11] Xue X. D., Cheng K. W. E., Cheung N. C. Selection of electric motor drives for electric vehicles. In *Power Engineering Conference, 2008. AUPEC'08. Australasian Universities*, (2008) 1-6.

- [12] Bazzi A. M., Krein P. T. Comparative evaluation of machines for electric and hybrid vehicles based on dynamic operation and loss minimization, *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, (2010) 3345-3351.
- [13] Dorrell D. G., Knight A. M., Popescu M., Evans L., Staton, D. Comparison of different motor design drives for hybrid electric vehicles, *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, (2010) 3352-3359.
- [14] Wang W., Bouscayrol A., Cheng M. Comparison of two different traction systems for subway application using Energetic Macroscopic Representation, *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, (2012) 984-989.
- [15] Patel H. K., Nagarsheth R., Parnerkar S. Performance Comparison of Permanent Magnet Synchronous Motor and Induction Motor for Cooling Tower Application, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, (2012).
- [16] Karacan C. *Comparison of performance of switched reluctance motors, induction motors and permanent magnet DC motors*, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, (2004).
- [17] Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Uçarol H., Özsu E., Yazar A., Turhan L., Akgün F., Tırıs M., *Elektrikli Araçlar*, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri, (2003).
- [18] Chan C.C. The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: lessons learned, *Proceedings of the IEEE*, (2013) 206–212.
- [19] Tuncay N., Üstün Ö. Elektrikli araçlarda geçmişten geleceğe bakış, *MÜSİAD Otomotiv Sektör Kurulu Raporu*, İstanbul, (2012).
- [20] Sayın A.A., Yüksel İ. Elektrikli Renault Fluence aracı, lityum-iyon bataryasının modellenmesi ve batarya yönetimi, *Mühendis ve Makine*, (2011) 75-82.
- [21] Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Uçarol H., Özsu E., Yazar A., Turhan L., Akgün F., Tırıs M., *Elektrikli Araçlar*, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri, (2003).
- [22] Anonim, http://yoner.pamukkale.edu.tr/dersnotlari_dosyalar/DO%C4%9ERU%20%20AKIM%20MAK%C4%B0NALARI.pdf (Erişim tarihi: 12 Kasım 2015)
- [23] Santiago J., Bernhoff H., Ekergard B., Eriksson S., Ferhatovic S., Waters R., Leijon M., "Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles": A Review, *IEEE*, (2012) 475-484.
- [24] Anonim, http://konelsis.com.tr/sablon/konelsis/pdf/ALTERNATIF_AKiM_ELEKTRiK_MAKiNELERi.pdf (Erişim tarihi: 10 Ekim 2015)

- [25] Anonim, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/asen-kron-motorlar-1-bolum/12177#ad-image-0> (Erişim tarihi: 13 Ekim **2015**)
- [26] T. Wang, “Design characteristics of the induction motor used for hybrid electric vehicle,” *IEEE Trans. Magn.*, (2005) 505–508.
- [27] G. Pugslay, “New modeling methodology for induction machine efficiency mapping for hybrid vehicles” , *Proc. IEEE Int. Elect. Mach. and Drives Conf., Madison, WI*, (2003) 776–781.
- [28] D. H. Cho, “Induction motor design for electric vehicle using niching genetic algorithm”, *IEEE Transactions*, (2001) 994–999.
- [29] Karabacak M. *Sürekli mıknatıslı senkron motorun doğrusal olmayan ve uyarlamalı geri adımlı hız denetimi*, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, (2012).
- [30] Anonim, <http://80dr.com/switched-reluctance-motors-srm/> (Erişim tarihi: 9 Kasım **2015**)
- [31] Anonim, <http://www.arabam.com/otomobil-haberleri/auto-show/tofas-in-elektrikli-fiat-doblo-ev-si-2010-istanbul-autoshow-fuari-nda-gorucuye-cikacak/290850> (Erişim tarihi: 9 Kasım **2015**).
- [32] Anonim, <http://www.dailytech.com/Ford+Focus+Electric+Rated+at+105+MPGe+Has+76Mile+Range/article24151.htm> (Erişim tarihi: 15 Kasım **2015**).
- [33] Anonim, https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_Plug-in_Hybrid (Erişim tarihi: 20 Kasım **2015**).
- [34] Başer E., Altun Y., The Estimation of PID Controller Parameters of Vector Controlled Induction Motor Using Ziegler-Nichols Method, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı,Soyadı : Ekrem BAŞER
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.12.1990 / Sivas
Telefon : 0 (380) 542 10 36 / 4735
Faks : 0 (380) 542 10 37
E-posta : ekrembaser@duzce.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Bilgisayar Müh.	2013
Lise	Selçuk Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-(devam ediyor)	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce (YDS: 63.75)

Yayınlar

1. Başer E., Altun Y., The Estimation of PID Controller Parameters of Vector Controlled Induction Motor Using Ziegler-Nichols Method, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, (2015).