



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN
DOĞRUDAN TAHRİKLİ RADIAL
AKILI ASENKRON MOTOR TASARIMI VE
UYGULAMASI

UĞUR DEMİR

DOKTORA TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Caner AKÜNER

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Öğrencisi Uğur DEMİR'in "Elektrikli Araçlar için Doğrudan Tahrikli Radiaxial Akıllı Asenkron Motor Tasarımı ve Uygulaması" başlıklı tez çalışması, 18 Haziran 2018 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Mustafa Caner AKÜNER (Danışman)

Marmara Üniversitesi (İMZA)

Prof.Dr. Nihat AKKUŞ (Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA)

Doç.Dr. Tahir Çetin AKINCI (Üye)

İstanbul Teknik Üniversitesi (İMZA)

Dr.Öğr.Üyesi İsmail TEMİZ (Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA)

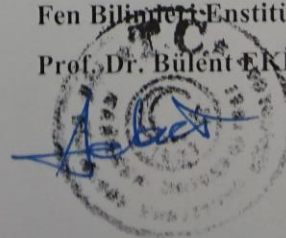
Dr.Öğr.Üyesi Engin Hüner (Üye)

Kırklareli Üniversitesi (İMZA)

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23.06.2018 tarih ve 2018/13-01 sayılı kararı ile Uğur DEMİR'in Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Mekatronik Mühendisliği Programında Doktora derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof.Dr. Bülent EKİCİ



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve lisansüstü eğitimimde yardımlarını esirgemeyip yanımda olan, gelişimim için çabalayan, yol gösteren değerli hocalarım Doç.Dr. Mustafa Caner Aküner'e ve Prof.Dr. Nihat Akkuş'a, ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi hep arkamda olan annem Gülfer Demir ve babam Halil Demir'e, zorlu tez sürecinde ise bana sabır gösteren eşim Pelin Demir'e ve oğlum Kağan Demir'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bununla birlikte, Ünüvar Elektronik A.Ş.'den Ahmet Baydar'a, Rollmech Automotive A.Ş.'den Ali Bayram'a, Coşkunöz Holding A.Ş.'den Volkan Akıncı'ya Doktora eğitimim boyunca vermiş oldukları maddi ve manevi desteklerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu tez çalışması Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FEN-C-DRP-090217-0057 nolu proje kodu ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	SAYFA
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
YENİLİK BEYANI	vii
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1.Elektrikli Araç Teknolojileri	2
1.1.1. EV Teknolojisi	3
1.1.2. HEV Teknolojisi	3
1.1.2.1.Seri-HEV Teknolojisi	3
1.1.2.2.Paralel-HEV Teknolojisi	4
1.1.2.3.Paralel-Seri-HEV Teknolojisi	4
1.1.3. PHEV Teknolojisi	5
1.1.3.1.PHEV Teknolojisinde Kullanılan Güç Elektroniği	5
1.1.4. Elektrikli Araç Karakteristikleri	6
1.2.Elektrikli Araç Teknolojilerinde Kullanılan Motor Tipleri	6
1.2.1. Elektrikli Araçlarda Asenkron Motorların Kullanımı	8
1.2.2. Asenkron (İndüksiyon) Motorlar	8
1.2.3. Asenkron Motorların Akı Yapıları	9

1.3.Doğrudan Tahrikli Motor Yapıları	9
1.3.1. Doğrudan Tahrikli Motor Yapıları için Eksenel ve Radyal Akıllı Motor Araştırması	10
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GÜÇ HESAPLAMALARI	24
2.1.Araç Dinamiği	25
2.1.1. Uzanlamasına Araç Dinamiği	25
2.2.Bir Araç Tekerleğinin Boyutsal Olarak İncelenmesi	28
2.3.Türkiye Pazarındaki Binek Otomobillerin ve Endüstrileştirilmiş Elektrikli Araçların İncelenmesi	30
2.4.İhtiyaç Duyulan Motor Performans Değerlerinin Hesaplanması	31
3. ELEKTRİK MOTORLARININ PRENSİPLERİ, TASARIMLARI VE HESAPLAMALARI	36
3.1.Asenkron Motorların Temel Kavramları	36
3.2.Asenkron Motorlar için Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi	43
4. TAGUCHI METODU İLE ASENKRON MOTORUN TASARIM VE OPTİMİZASYONU	61
4.1.Asenkron Motor ve Parametreleri	61
4.2.Deneysel Metod	64
4.3.Motor Performans Gereksinimlerinin Belirlenmesi	65
4.4.Asenkron Motor için Kritik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi	67
4.5.Deney Tasarımının Belirlenmesi	68
4.6.Deney Tasarımının Gerçekleştirilmesi	70

4.7.Deney Sonuçlarının Analiz Edilmesi	71
4.8.Asenkron Motor Analizi	73
4.9.Tekerlek içi Asenkron Motor Tasarım ve Analiz Çalışmaları	75
4.10. Radiaxial Motor Yapısı ve Temel Hesaplamalar	85
5. İKİ YOLCULU BİR ARAÇ İÇİN ELEKTRİK MOTORU GEREKSİNİMLERİ İLE SINIR ŞARTLARININ BELİRLENMESİ	89
5.1.İki Yolcu Kapasiteli Bir Araç Dinamiğinin ve Motor Gereksinimlerinin Hesaplanması	89
5.2.Tekerlek İçi Motor için Paket Boyutlarının ve Motor Kombinasyonlarını Analizi	91
6. RADIAL AKILI MOTORUN TASARIM VE ANALİZİ	95
6.1.Radial Akıllı Motorun Tasarımı	95
6.2.Radial Akıllı Motorun Koniklik Açısının Analizi	97
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	110
7.1.Prototip Çalışmaları	110
7.2.Test Çalışmaları	112
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
8.1.Sonuçlar	115
8.2.Öneriler	118
EK-A Radial Akıllı Motorlara Ait 3D Görünümler, Tasarım ve Analiz Parametreleri	119

EK-B Radiaxial Akılı Motorlara Ait Analiz ve Tasarım Parametreleri	125
EK-C Radial Akılı ve Radiaxial Akılı Motorlara için Yapılan Tam Yüklü Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları, Mesh ve Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri	126
EK-D Radial Akılı ve Radiaxial Akılı Motorlara için Yapılan Yüksüz Modunda Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları, Mesh ve Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri	148
EK-E Optimum Sonuç Sağlayan Radiaxial Akılı Motorlara için Yapılan Yüklü ve Yüksüz Çeşitli Frekanslarda Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları ile Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri	170
EK-F Prototip Motor Test Sonuçlarına İlişkin Grafikler	190
KAYNAKLAR	198
ÖZGEÇMİŞ	204

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN DOĞRUDAN TAHRİKLİ RADIAXIAL AKILI ASENKRON MOTOR TASARIMI VE UYGULAMASI

Günümüz dünyasında enerji ve çevre kavramlarına bir çözüm sunması için, elektrikli araçlar oldukça ilgi çekmektedir. Elektrik motorlu çekiş sistemleri, geniş moment-hız özelliği, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek enerji verimliliği sunmaktadır. Bu tez çalışmasında elektrikli araç teknolojileri, araç dinamiği ve asenkron motor parametreleri incelenmiştir. Türkiye pazarında en çok satılan binek araçlar ve onların teknik özellikleri ele alınmıştır. Araç dinamiği üzerine yapılan incelemelerden, binek bir araç için motor performans gereksinimleri hesaplanmıştır. Asenkron motor, performans karakteristiği ve tasarım parametreleri ele alınarak Ansys RMXprt programında değerlendirilmiştir. Arzu edilen motor performans gereksinimlerini elde etmek için, Taguchi metodu ile asenkron motor için önem derecesi düşük parametreler elenmiştir. Radyal akılı asenkron motor için kritik parametrelerin belirlenmesinin ardından motor parametreleri optimize edilerek tasarım tamamlanmıştır. Doğrudan tahrikli tekerlek içi asenkron motor için paket (hacim) çalışmaları yapılarak minimum ve maksimum motor çapları ile motor uzunluğu belirlenmiştir. İki yolculu binek bir araç için teknik özellikler oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda iki yolculu bir araç için doğrudan tahrikli tekerlek içi asenkron motor için teknik isterler belirlenmiştir. Tez konusunun en önemli motivasyonu olan radiaxial akı geometrisine ulaşmak için belirlenen minimum ve maksimum motor çapları kapsamında 9 adet motor kombinasyonu oluşturularak, radiaxial akılı Asenkron motor için koniklik açısının analizleri Ansys Maxwell 3D ortamında yapılmıştır. Alınan sonuçlar hem radyal akılı motorlar hem de radiaxial akılı motorlar açısından değerlendirilerek optimum sonuçları sağlayan koniklik açısı, radiaxial akılı motor için belirlenmiş ve motor performans parametreleri açısından analiz edilmiştir. Ayrıca radiaxial akılı motorlardan minimum çaptan maksimum çapa doğru giden model için prototip ve test çalışmaları gerçekleştirilerek, model tasarım ile korelasyonları incelenmiştir. Bu kapsamda motor konseptlerinin doğrulamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve yapılan çalışmalar sonunda radiaxial akılı doğrudan tahrikli asenkron motorun, radyal akılı asenkron motor emsallerine göre güç faktörünün iyileşmesi, verimin artması, nüve kayıplarının azaltılması ve ağırlık azaltma gibi faydalar sağladığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF DIRECT DRIVE RADIAXIAL FLUX ASYNCHRONOUS MOTOR FOR ELECTRIC VEHICLES

In today's world, the electric vehicle is the most attractive solutions for the concepts of energy and environment. The electrified traction systems offer wide torque-speed capability, high power density and high energy efficiency. In this study, electric vehicle, vehicle dynamic and asynchronous motor parameters were investigated. In Turkey market, the best-selling passenger car and their specifications is discussed. The motor performance parameters for a passenger car were calculated from its vehicle dynamic. An asynchronous motor were evaluated in terms of the performance and design parameters by Ansys RMXprt. To get the desired motor requirements, low severity parameters of the asynchronous motor were eliminated by Taguchi's design of experiment method. After the defining of critical parameters for asynchronous motor, the motor design was completed by optimizing. The minimum and maximum diameter and length of the asynchronous motor were defined for in-wheel asynchronous motor. Then, the technical specifications for a two-passenger vehicle were created and analyzed. As a result of the analysis, the technical requirements of direct in-wheel asynchronous motor were determined for a two-passenger vehicle. Analysis of the taper angle for the radiaxial asynchronous motor were performed in the Ansys Maxwell 3D environment by creating 9 motor combinations within the determined minimum and maximum motor diameters to create the radiaxial flux geometry, which is the most important motivation of the thesis topic. The obtained results were evaluated for both radial and radiaxial flux motors in terms of motor performance parameters. The taper angle of radiaxial motor was determined for optimum results. Besides, the prototype and test studies were performed for a radiaxial flux motor which has a taper geometry that is increasing from minimum diameter to maximum diameter to provide corelation between the design model and prototype. Thus, the proof of concept models were realized. As a result of the obtained results and studies, it has been found that radiaxial flux asynchronous motor has some benefits such as improvement of power factor, increase of efficiency, reduction of core losses and weight reduction compared to radial flux asynchronous motors.

YENİLİK BEYANI

Bu çalışmada radial axial akıllı tekerlek içi asenkron motorun tasarım ve optimizasyonu ile prototip çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Literatürde konik geometrili motor çalışmaları, daha çok yataklama ve eksenleme gibi mekanik özelliklerin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların ise çoğu sabit mıknatıslı senkron motorlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda ise konik geometrili motorların pozisyon kontrolü ve termal analizleri üzerine bir kaç çalışmaya rastlanmıştır. Literatürdeki bu çalışmalarda ise sabit koniklik açısına sahip rotor geometrileri üzerinde çalışılmıştır. Bugüne kadar literatürde koniklik açısının motor performans parametrelerine üzerine etkisi incelenmemiş ve optimize edilmeye çalışılmamıştır.

Bu tezin odaklandığı konu ise rotor ve stator geometrilerinin konik yapıda olmasıdır. Konik bir geometriye sahip rotor ve stator, farklı koniklik açılarında analiz edilmiştir. Özellikle koniklik açısının motor performans ölçütleri (Güç faktörü, Verim, Devrilme-Yolalma-Anma momentleri, Erişim Zamanları ve Devirleri) üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler, optimum koniklik açısı bulunması ve istenilen motor performansına yaklaşılmaya olanak tanımıştır. Çalışmaya konu olan asenkron motor tasarım parametreleri Taguchinin deney tasarım tablosunu kullanan bir algoritma ile incelenerek motor performans parametrelerine etki sağlayan kritik tasarım parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca 3B sonlu elemanlar analizi kullanılarak konik bir rotor ve statora sahip bir asenkron motor modelinin transient (geçiş) analizine literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatüre konik geometrili rotor ve statora sahip tekerlek içi doğrudan tahrikli bir asenkron motorun tasarım ve optimizasyon çalışmaları ile katkı sağlanmıştır.

SEMBOLLER

F_w	: Yuvarlanma direnci
F_a	: Aerodinamik sürtünme kuvveti,
F_s	: Eğimden kaynaklı sürtünme kuvveti
F_{acc}	: Aracın eylemsizliğinden kaynaklanan ivmelenme kuvveti
F_x	: Tekerlek fren kuvveti
m	: Araç kütlesi
g	: Yerçekimi
c_t	: Aerodinamik katsayısı
c_r	: Tekerlek sürtünme direnç katsayısı
α	: Eğim açısı
δ	: Hava yoğunluğu
A	: Aracın rüzgar alan ön yüzey alanı
V	: Araç hızı
F_{aero}	: Hava sürtünmesi
F_{roll}	: Yuvarlanma direnci
F_x	: Çekiş kuvvetini temsil
V_x	: Araç hızı
D	: Dikey uzunlukları
Δh	: Yatay uzunlukları
ρ	: Havanın kütle yoğunluğu
C_d	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
A_f	: Aracın ön yüzey alanı
V_{wind}	: Rüzgâr hızı
C_d	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
μ_{s0}	: Uzunlamasına sürtünme katsayısı
S_x	: Normalize edilmiş kayma değeri
R_w	: Aracın dinamik yuvarlanma yarıçapı
ω_w	: Tekerleğin açısal hızı
T_w	: Aks torku
T_e	: Motor şaft torku
P_x	: Araç çekiş gücü

Pe	: Motor şaft gücü
Θ	: Açısal pozisyon
ω	: Açısal hız
J	: Atalet momenti
H	: Manyetik alan şiddeti
B	: Manyetik akı yoğunluğu
μ	: Manyetik geçirgenlik
R	: Relüktans
V	: Gerilim
$\emptyset$	: Akı
e_{ind}	: Bobinde indüklenen gerilim
N	: S sayısı
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
S	: Görünen güç
n_{sync}	: Manyetik alanın dönüş hızı (devir/dk)
f_e	: Sistemin frekansı (hertz)
V	: Manyetik alana göre çubuğun hızı
Bs	: Stator manyetik alanı
Br	: Rotor manyetik alanı
τ_{ind}	: Makinada indüklenen moment
n_{slip}	: Makinanın kayma hızı
n_m	: Motorun mekanik hızı
a_{eff}	: Dönüştürme oranı
X_M	: Mıknatıslanma reak
R_c	: Demir kayıpları
R	: Direnç
X	: İndüktans
Z	: Empedans
P_{in}	: Asenkron motorda güç ve moment
P_{SCL}	: 3 fazdaki stator bakır kayıpları
P_{core}	: 3 fazdaki demir kayıpları
$P_{F\&W}$	: Sürtünme ve rüzgar kayıpları

P_{misc}	: Dağılma kayıpları
Q	: Elektrik yükü
I	: Akım
T_{ph}	: Bir kazdaki Sarım Sayısı
D	: Statorun Çapı
N_s	: Senkron Hız (rpm)
n_s	: Senkron Hız (rps)
η	: Verim
P	: Kutup sayısı
$\cos\Phi$	: Güç Faktörü
λ_r	: Rotor spesifik iletkenlik
K_s	: Oluk leakage factor
τ_p	: Kutup aralığı
τ_{sg}	: Yiv aralığı

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
EV	: Elektrikli Araçlar
HEV	: Hibrit Elektrikli Araçlar
PHEV	: Harici Olarak Şarj Edilebilir Elektrikli Araçlar
OEM	: Orginal Equipment Manufacturing
SNR	: İşaret Gürültü Oranı
3B	: 3 Boyut



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. EV Teknolojisi Bağlantı Yapısı.....	3
Şekil 1.2. Seri-HEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı.....	4
Şekil 1.3. Paralel-HEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı.....	4
Şekil 1.4. PHEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı	5
Şekil 1.5. PHEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı	5
Şekil 1.6. Asenkron (indüksiyon) Motor Yapısı	8
Şekil 1.7. Radyal ve Eksenel Makine Konfigürasyonları a) Radyal Akılı, b) Eksenel Akılı.....	9
Şekil 1.8. Tekerlek içi Doğrudan Tahrikli Motor Yapısı, a) İki Tekerlekli Doğrudan Tahrikli Elektrikli Araç, b) Tekerli içi Motorun Şematik Diyagramı, c) Motorun Tekerlek içi Konfigürasyonu	9
Şekil 1.9. Sabit Mıknatıslı Tekerlek içi Doğrudan Tahrikli Motor Yapısı.....	10
Şekil 1.10. Radyal ve Eksenel Akılı Sabit Mıknatıslı Motor Modeli.....	10
Şekil 1.11. Radyal ve Eksenel Hava Aralıklı Eksenel Akılı Motor Modeli, a) Eksenel, b) Radyal	11
Şekil 1.12. a) Tek Taraflı Eksenel Akılı Histeresis Motor, b) Tek Taraflı Hibrit Radyal-Eksenel Akılı Histeresis Motor, c) Çift Taraflı Hibrit Radyal-Eksenel Akılı Histeresis Motor	11
Şekil 1.13. Hibrit Radyal ve Eksenel Manyetik Yataklama Düzeneği, a) Radyal ve Eksenel Manyetik Yataklama, b) Radyal Manyetik Yataklama.....	11
Şekil 1.14. Makine Topolojilerinin Kıyaslanması, a) Bir Rotor İki Statorlu Eksenel Makine, b) Rotoru içte olan Radyal Akılı Makina	12
Şekil 1.15. a) Eksenel ve Radyal Akılı bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motor, b) Eksenel ve Radyal Akılı Bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Tam Modeli, c)Eksenel Akılı Bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motor	12
Şekil 1.16. Eksenel ve Radyal Akılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Modeli	12
Şekil 1.17. Eksenel-Radyal Akılı Tip Tamamı Süperiletken Senkron Motorun 3D Modeli	13

Şekil 1.18. Eksenel-Radyal Akılı Sabit Mıknatıslı Motorun Patlatılmış Modeli	13
Şekil 1.19. Hibrit Akılı Sabit Mıknatıslı Makine a) Montajlı Yapısı b) Kesit Görüntüsü	13
Şekil 1.20. Radyal ve Eksenel Akılı Paralel Bağlı Sabit Mıknatıslı Motor a) Kesit Görüntüsü b) 3D Model	14
Şekil 1.21. Konik Yapılı Sabit Mıknatıslı Motor Yapısı	14
Şekil 1.22. Konik Stator Yapılı Sabit Mıknatıslı Motor Yapısı	14
Şekil 1.23. Kesik Koni Geometrilili Motor Yapısı	15
Şekil 1.24. Yataklaması olmayan Konik Yapılı Motor/ Jeneratör a) 3D Model, b) Kesit Görüntüsü	15
Şekil 1.25. Radyal ve Eksenel Kontrolün Prensibi.....	15
Şekil 1.26. Konik Manyetik Yataklama Prensibi.....	16
Şekil 1.27. Rijit Rotor Hareketlerinin Çalışma Tipleri.....	16
Şekil 1.28. Rotordaki Statik Eksantriklik.....	17
Şekil 1.29. Konik Motor Çifti –Yataklamasız.....	17
Şekil 1.30. Konik Şekilli Elektromıknatısın Diyagramı, Açıklık ve Eksenel Hareket Arasındaki İlişki, Elektromıknatısın Eşdeğer diyagramı, Konik Elektromıknatısın Eşdeğer Diyagramı.....	18
Şekil 1.31. Jeneratörün Kesit Alanı Görüntüsü (Koniklik Açısı 5.19 derecedir)	19
Şekil 1.32. (a) İki Radyal manyetik Yataklamalı Motor, (b) İki Konik Hava Aralığına Sahip Manyetik Yataklamalı Motor, (c) İki Yataklamasız Yarım Motor ve Bir Eksenel Manyetik Yataklamalı Motor, (d) İki Konik Hava Aralığına Sahip Yataklamasız Motor.....	19
Şekil 1.33. Tırnaklı Aktif Yataklamaya Sahip Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 45derece)	20
Şekil 1.34. Çift Rotorlu Konik Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 20derece)	21
Şekil 1.35. Konik Rotorlu Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 5.7 derece)	21
Şekil 1.36. Konik Rotorlu Motor un Soğutma Konstrüksiyonu.....	22
Şekil 1.37. Konik Rotorlu İndüksiyon Motoru.....	22

Şekil 1.38. Konik Rotorlu Yataklama Geometrisi.....	22
Şekil 1.39. Eksenel ve Radyal Akılı Motorlar Üzerindeki Akademik Çalışmalara İlişkin Yıl-Sayı Grafiği.....	23
Şekil 2.1. Çeyrek Araç Modeli	24
Şekil 2.2. Araç Üzerindeki Yanal Kuvvetler	25
Şekil 2.3. Araç Çekiş Kuvveti- Kayma Grafiği	27
Şekil 2.4. Güç Aktarım Mekanizması (Tahrik Hattı)	28
Şekil 3.1. Asenkron Makinanın Transformatör Modeli.....	38
Şekil 3.2. Rotor hızının bir fonksiyonu olarak Rotor Akımı	39
Şekil 3.3. Asenkron Makinanın Eşdeğer Devre Modeli	39
Şekil 3.4. Asenkron Makinanın Güç Akış Diyagramı	40
Şekil 3.5. Asenkron Makinanın Güç Akış Diyagramı Eşdeğer Devre Üzerinde Gösterimi	41
Şekil 3.6. Asenkron Motorların Moment-Hız Eğrisi	42
Şekil 3.7. Asenkron Motorun Laminasyonu	43
Şekil 3.8. Stator Oluk Geometrisi	48
Şekil 3.9. Bir Bobine Ait Sarım Uzunluğu	49
Şekil 3.10. Stator Oluk/Dış Parametrelerinin Gösterimi	50
Şekil 3.11. Rotor Parametrelerinin Gösterimi	55
Şekil 3.12. Stator Oluk Kaçak Reaktansı	56
Şekil 3.13. Stator Oluk Kaçak Reaktans Hesaplama Parametreleri	57
Şekil 3.14. Rotor Oluk Kaçak Reaktans Hesaplama Parametreleri	59
Şekil 4.1. Asenkron (indüksiyon) Motor Yapısı.....	61
Şekil 4.2 (a) Asenkron Motorun Kesit Görünümü ve (b) Oluk Geometrisi.....	62
Şekil 4.3. Kritik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi ve Optimizasyonu için Akış Diyagramı.....	65

Şekil 4.4. 0-130km/h Araç Performans Gereksinimleri.....	66
Şekil 4.5. Nominal/Anma Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	70
Şekil 4.6. Devrilme/Maksimum Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	70
Şekil 4.7. Yolalma/Yol alma Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	70
Şekil 4.8. Güç Faktörü için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	71
Şekil 4.9. Nominal/Anma Devri için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	71
Şekil 4.10. Verim için Deney Sonucu ve SNR Cevabı.....	71
Şekil 4.11. Optimize Edilen Asenkron Motor Moment-Hız Eğrisi.....	74
Şekil 4.12. Rotor ve Stator Malzemesi Olarak Kullanılan M19 24 G için BH Eğrisi.....	78
Şekil 4.13. Tablo 18 için Deney No : 1 2D Motor Modeli.....	82
Şekil 4.14. Tablo 4.18 için Yapılan Transient Analizde Hızlanma Grafikleri.....	82
Şekil 4.15. Tablo 4.18 için Yapılan Transient Analizde Tork-Zaman Grafiği.....	83
Şekil 4.16. Tablo 18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli.....	83
Şekil 4.17. Tablo 4.18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli Transient Analiz Grafiği (Moment-Hız Eğrisi)	84
Şekil 4.18. Tablo 4.18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli Transient Analiz Grafiği (Moment-Zaman Eğrisi)	84
Şekil 4.19. Tablo 18 Deney 1 için Kurulan Araç Entegrasyonlu Simplorer Modeli.....	85
Şekil 4.20. Sincap Kafesli Asenkron Motor Rotor Yapısı.....	86
Şekil 4.21. Radyal Akıllı Motor Yapısı, a) Dış Rotor Yapısı, b) İç Rotor Yapısı.....	86
Şekil 4.22. Eksenel Akıllı Motor Yapısı.....	86
Şekil 4.23. Eksenel ve Radyal Akıllı Motor Yapısı.....	87
Şekil 4.24. Eksenel ve Radyal Akılların Bileşke Kuvvet Gösterimi.....	87
Şekil 4.25. Tablo 4.18. Deney 1 Motor Maxwell 2D Modeli.....	87
Şekil 4.26. Konik Yapılı Motor Fikri.....	88
Şekil 4.27. Radiaxial Akıllı Motor Fikri.....	88

Şekil 5.1. İki Yolcu Kapasiteli Bir Araç.....	89
Şekil 5.2. 280 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor.....	91
Şekil 5.3. 280 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor için Tork-Hız Grafiği.....	92
Şekil 5.4. 190 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor	93
Şekil 5.5. 190 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor için Tork-Hız Grafiği.....	93
Şekil 6.1. Radiaxial Motor (Çap:190-280mm,Uzunluk:150mm) için Farklı Açılardaki ANSYS Maxwell 3D Görüntüleri.....	96
Şekil 6.2. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Performans Değerlerinin Tam Yükteki Kıyas Grafiği.....	100
Şekil 6.3. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Performans Değerlerinin Yüksüz Modundaki Kıyas Grafiği.....	105
Şekil 6.4. Optimum Radiaxial Motorun Farklı Çalışma Frekanlarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Kıyas Grafiği.....	107
Şekil 7.1. Radiaxial Motorun için 3B Katı Model Çalışmaları.....	110
Şekil 7.2. Radiaxial Akıllı Motorun Prototip İmalatı ve Montaj Çalışmaları.....	111
Şekil 7.3. Radiaxial Akıllı Motor Yükleme Test Düzenegi.....	112
Şekil 7.4. Prototip Motor için Üretim Hataları.....	114
Şekil 8.1. Skew Açılı ve Düz Rotor'un Kıyaslanması.....	118
Şekil 8.2. Sincap Kafesli Asenkron Motor ve Şebeke Yol Vermeli Sabit Mıknatıslı Rotor Sahip Motorun Kıyaslanması.....	118

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Elektrikli Araç Karakteristiği	6
Tablo 1.2. Elektrikli Araç Karakteristiği	6
Tablo 1.3. Endüstrileşmiş EV,PHEV,HEV Araç Teknoloji Özellikleri	7
Tablo 1.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları Avantaj ve Dezavantajları.....	8
Tablo 2.1. Araç Teker Boyutlarının ve Standart Ölçülerinin Analizi	29
Tablo 2.2. Türkiye Pazarındaki Binek Araçların Teknik Bilgiler	30
Tablo 2.3. Elektrikli Araçlar için Boyutsal ve Ağırlık Parametreleri	31
Tablo 2.4. Eğim Tırmanma Karakteristiği.....	32
Tablo 2.5. Hızlanma Karakteristiği.....	33
Tablo 2.6. İvmelenme Olmadan Motor Güç-Tork-RPM Karşılaştırma Tablosu.....	34
Tablo 2.7. İvmelenme Olmadan Eğimli Yolda Motor Güç-Tork-RPM Karşılaştırma Tablosu.....	34
Tablo 2.8. Motor Performans Gereksinimleri.....	35
Tablo 3.1. Asenkron Motor Tasarım Parametreleri	45
Tablo 3.2. İzolasyon Malzemesi Kalınlığı Seçim Matrisi	48
Tablo 4.1. Deney Tasarımı için Kullanılacak Asenkron Motor Parametreleri.....	63
Tablo 4.2. Sabit Kabul Edilen Motor Tasarım Parametreleri.....	64
Tablo 4.3. Araç Dinamiği Analiz Parametreleri.....	66
Tablo 4.4. Motor Performans Gereksinimleri.....	67
Tablo 4.5. 4x4 Çeyrek Araç Motor Performans Gereksinimleri.....	67
Tablo 4.6. Asenkron Motor Parametreleri Deney Tasarım Seviyeleri.....	68
Tablo 4.7. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Matrisi.....	69

Tablo 4.8. Taguchi Ortogonal Deney Tasarım Tablosu (14 Parametre 2 Seviye için L16)	69
Tablo 4.9. Kritik Motor Tasarım Parametrelerinin Derecelendirilmesi	72
Tablo 4.10. Varsayılan Asenkron Motora Ait Parametreler ve Performans Göstergeleri	73
Tablo 4.11. Varsayılan Asenkron Motora Ait Parametreler ve Performans Göstergeleri	74
Tablo 4.12. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip Deney Tablosu	75
Tablo 4.13. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76
Tablo 4.14. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
Tablo 4.15. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip Büyüyen Deney Tablosu	78
Tablo 4.16. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi	79
Tablo 4.17. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	79
Tablo 4.18. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip İyileştirilmiş Deney Tablosu	80
Tablo 4.19. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi	80
Tablo 4.20. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
Tablo 5.1. Renault TWIZY Araç Dinamiği Parametreleri	90
Tablo 5.2. Renault TWIZY Aracı için İhtiyaç Duyulan Motor Gereksinimleri	90
Tablo 5.3. 4x2 Renault TWIZY Aracı için İhtiyaç Duyulan Motor Gereksinimleri	90
Tablo 5.4. 280mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Optimize Edilmiş Analiz Parametreleri	91

Tablo 5.5. 280mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor. için Akı Analizi.....	92
Tablo 5.6. 280mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Optimize Edilmiş Analiz Parametreleri	93
Tablo 5.7. 190mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Akı Analizi.....	94
Tablo 6.1. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Tam Yükteki Performans Değerlerinin Gösterimi.....	97
Tablo 6.2. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Yüksüz Modunda Performans Değerlerinin Gösterimi.....	102
Tablo 6.3. Optimum Radiaxial Motorun Farklı Çalışma Frekanlarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Gösterimi (Çap 190mm'den 223.75mm' ye, 6.42°)	106
Tablo 6.4. Stator ve Rotor Ohmik Kayıpları, Nüve Kayıpları ile Hava Aralığı Gücü.....	108
Tablo 6.5. Motor Ağırlıklarının Kıyaslanması.....	109
Tablo 7.1. Radiaxial Akılı Motor için Deneylerden Hesaplanmış Eşdeğer Devre Parametreleri.....	112
Tablo 7.2. Prototip Radiaxial Akılı Motorun Farklı Çalışma Frekanlarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Gösterimi (Çap 190mm'den 280mm' ye, 16.7°)	113
Tablo 7.3. Prototip ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	114

1. GİRİŞ

21.yy'da, bilim adamları ve hükümet ajansları tarafından tüm dünyada tartışılan ana problemlerin arkasında küresel ısınma olduğu ortaya koyulmuştur. Araştırmalar, küresel ısınmaya fosil yakıt tüketiminin de katkı sağladığını göstermiştir. Buna bağlı olarak fosil yakıt fiyatları da yıldan yıldı arttığından dolayı, araştırmacılar ve endüstri, taşımacılık sektörü için elektrikli araç teknolojilerine bakılmakta ve bu durumun ulusal enerji problemleri ve hava kirliliği gibi birçok probleme de çözüm sağlayacağı düşünülmektedir [1].

Küresel ısınma ve enerji krizleri, elektrikli araç teknolojilerini geliştirme ihtiyacını doğurmuştur. 2016'da, kurumsal ortalama yakıt tasarrufu standartlarının aktivasyonu ile, elektrikli araçlar için düşünülen küresel talebin çok kuvvetli bir şekilde büyüyeceği beklenmektedir [2].

CO2 emisyonunun azaltılarak küresel ısınmayı azaltma gayretlerinin bir parçası olarak, yüksek verimli motor olarak, elektrik motorları kabul edilmiştir [3].

Günümüz dünyasında enerji ve çevre kavramlarına bir çözüm sunması için, elektrikli araçlar oldukça ilgi çekmektedir. Elektrik motorlu çekiş sistemleri, geniş tork-hız skalası, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek enerji verimliliği gerektirir [4].

Elektrikli araçlar, teknik ve sosyo ekonomik problemlerin her ikisinde çözümüne katkı sağlayacak bir çalışmadır. Bugünlerde elektrikli araçlara duyulan ilgi daha da artmıştır. Kuşkusuz ki, elektrikli araçlar, geleceğin taşıma sektörünün bir parçası olacaklardır. Fakat, elektrikli araçların çoğu pazardaki araçları domine etmek için hala büyük bir efor sarf etmektedirler [5].

Yakıt verimi ve çevre dostu ürün talepleri, temiz enerji ve enerji tasarrufuna olan ilgiyi arttırmaktadır. Bu kapsamda, hibrit elektrikli araçlar bu gereksinimleri karşılamak için uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadırlar. Hibrit araçlar için birçok güç aktarım konfigürasyonu vardır. Hibrit araçların performansı, güç kaynağının entegrasyonu ve güç aktarma sisteminin tasarımına bağlıdır [6]. Yakıt ekonomisini iyileştirmek ve emisyonları düşürme gereksinimleri ile birlikte, elektrikli ve hibrit

elektrikli araçlar büyük rağbet görmüştür [7].

Hibrid ve elektrikli araçların artan popülaritelerinden dolayı, otomotiv endüstrisinde, elektrik motorlu çekiş sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır [8].

Yeni trendler, mobil iş makineleri, ağır taşımacılık ve binek araçlar için elektrik motorlu çekiş sistemlerine yönelmektedir. Taşıt aplikasyonları, çekiş motorları için çoklu gereksinimlere ayarlıdır. Başlangıç için sıfır hızda yüksek torka ihtiyaç duyulur ve otoban hızlarında seyir ise yüksek güç gerektirir [9].

Enerji koruma ve yönetimi daima, limitli güç kaynağına sahip elektrikli araçlar için kritik bir konudur. Enerji kaybı, uygun motor tasarımı, üretimi, en uygun sürüş teknikleri işlem verimi ile minimize edilebilir. Fakat başlangıç için sıfır hızda maksimum tork ihtiyacı genellikle gereklidir. Bundan dolayı, amper başına düşen maksimum tork, akım sürüş tekniğinin önemli bir tasarım parametresidir. Yüksek hızlı motorlar için dolaylı tahrikli araçlar, iletim dişlileri ya da mekanik diferansiyel kullanılır. Bu motorlar genellikle, akım harmonikleri ya da tork relüktansı ve vuruş momentinden kaynaklanan, tork dalgalanmaları minimize edilmiş ve verimliliği maksimize edilmiş olarak tasarlanırlar. Doğrudan tahrikli tekerlek motorları ise mekanik hız düşürme problemine sahip değildir, dişli gerektirmez. Düşük hızlarda yeterli tork üretebilir. Bu motorlar çekiş ya da tork motoru olarak sınıflandırılabilirler. Bunlar aynı zamanda, maksimum tork ve minimum ohmik kayıp olacak şekilde tasarlanmıştır [10].

Enerji ve çevre kavramları, alternatif enerji kaynaklarına yeteri kadar ilgi duyulması için hükümetleri bu konuda ilgiye itmektir. Bu kapsamda temiz ve yenilenebilir enerji konusunda büyük bir ilgi oluşmuştur. Otomotiv endüstrisi, hibrit, benzinli ve elektrikli araç teknolojilerine, söz konusu sorunları azaltmak için yatırım yapmaktadır. General Motor (GM) bu alternatif araçları geliştirmek için birçok program yürütmektedir. Menzili arttırılmış araç konseptini de ilk defa GM tanıtmıştır. Bu araç yaklaşık olarak 60 km menzile sahiptir. GM Chevrolet Volt ilk endüstrileştirilmiş menzili uzatılmış araç ünvanına sahiptir [11].

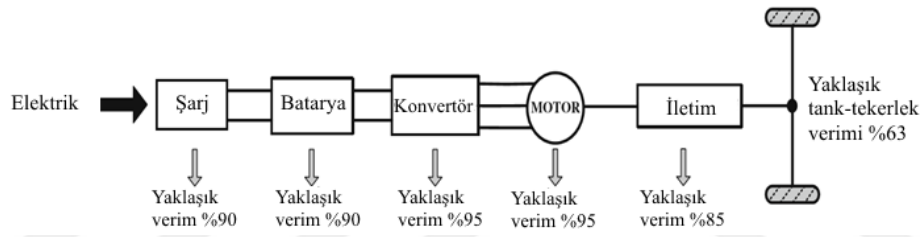
1.1. Elektrikli Araç Teknolojileri

Daha az emisyon, hava kalitesinin iyileştirilmesi, benzin tüketim oranının düşürülmesi için

geleceğin en uygulanabilir araç seçeneği olarak elektrikli araçlar görülmektedir. Temel olarak, elektrikli bir aracı kullanma hissi geleneksel içten yanmalı motorlu bir araç ile aynıdır. Elektrikli araç teknolojileri temel anlamda 3 ana grupta toplanabilir. Bunlar; EV (elektrikli araçlar), HEV (hibrit elektrikli araçlar) ve PHEV (harici olarak şarj edilebilir elektrikli araçlar) [12].

1.1.1. EV teknolojisi

Bu teknoloji, şase üzerinde taşınan bataryanın elektrik enerji depolama kabiliyetinden yararlanarak, bu enerjinin kullanımı ile tarif edilebilir. Batarya yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanabilir. Sürüş anında enerji depolayıp elektrik motorunu sürebilir. Elektrikli araçlar %90 a kadar verim sağlayabilirler. EV teknolojisinin şematik ve teorik akış zinciri Şekil 1.1’ de gösterilmiştir [12].



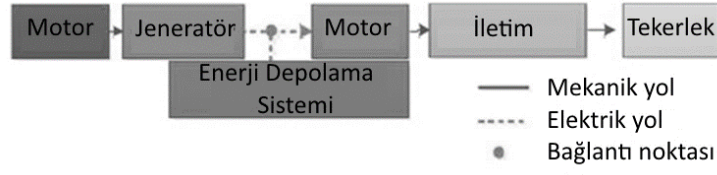
Şekil 1.1. EV Teknolojisi Bağlantı Yapısı [12]

1.1.2. HEV teknolojisi

Geleneksel araçlar ile kıyaslandığı zaman, içten yanmalı motor ile entegrasyonu sağlanmış bir elektrik motoru kombinasyonuna sahip olan HEV teknolojisi daha fazla yakıt verimi sağlar. Bu kombinasyona sahip olan HEV rejeneratif fren enerjisi ile yeniden şarj edilip yakıt tüketimini azaltma ve optimize etme özelliklerine sahiptir. Temel anlamda güç aktarma kombinasyonları, HEV için 3 kategoride toplanabilir bunlar Seri-HEV, Paralel-HEV, Paralel-Seri-HEV [12].

1.1.2.1. Seri-HEV teknolojisi

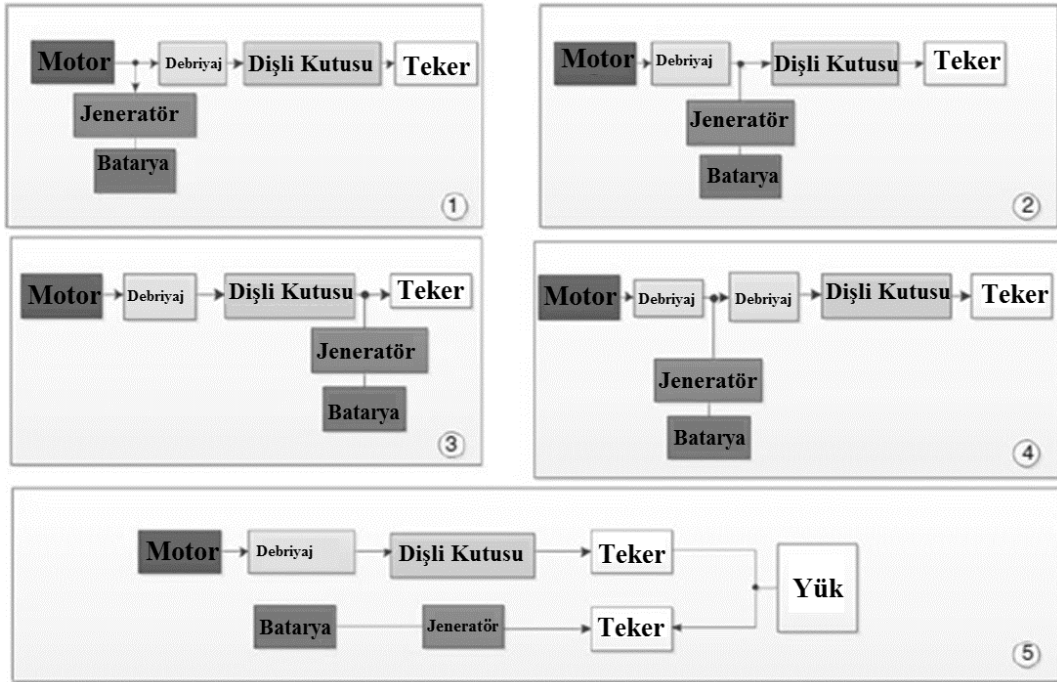
Seri-HEV teknolojisinin bir örneği Şekil 1.2’ de verilmiştir. İçten yanmalı motora bağlı bir jeneratör elektrik enerjisi üretir ve bu enerji hem depolanır hemde elektrik motoruna aktarılır, güç aktarma organları üzerinde sürüş sağlanır. [13]



Şekil 1.2. Seri-HEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı [13]

1.1.2.2. Paralel-HEV teknolojisi

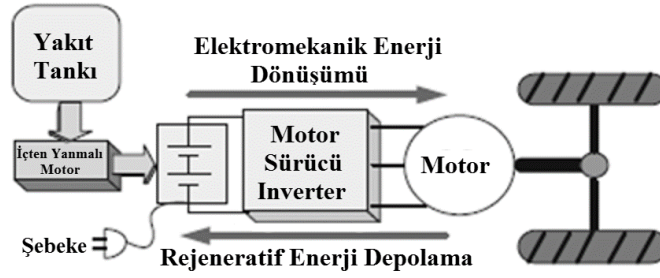
Paralel-HEV Teknolojisi, içten yanmalı motor ve jeneratör motorunun güçlerinin birleşmesi anlamına gelir. Araç, jeneratör ve içten yanmalı motor ile ya da ayrı ayrı sürülebilir. Mekanik ve elektriksel bağlantılar içeren bir yapısı olan sisteme sahiptir. Bu sistem gerektiğinde debriyaj vasıtasıyla 5 farklı tip sürüş modunda kullanılabilir. Bu 5 farklı tip Paralel-HEV teknolojisi Şekil 1.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Paralel-HEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı [13]

1.1.2.3 Paralel-Seri-HEV teknolojisi

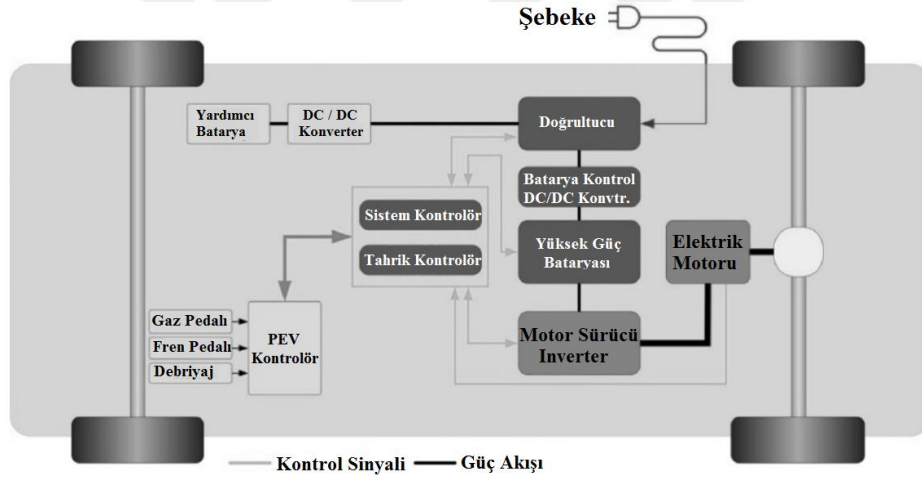
Paralel-Seri-HEV Teknolojisi, Paralel-HEV ve Seri-HEV teknolojilerinin birleşiminden oluşmaktadır [13].



Şekil 1.4. PHEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı [12]

1.1.3. PHEV teknolojisi

Son zamanlarda otomotiv endüstrisinde PHEV teknolojisi üzerine odaklanılmıştır. PHEV, hibrit bir elektrikli araçtır ve şebekeden şarj olabilir. Basit fonksiyonel bir değişiklik ile PHEV çoklu elektrik enerjisi değişimi ile petrol ile de çalışabilmektedir. Temel anlamda petrol elektrik enerjine dönüşmekte ve bu şekilde güç aktarımı ile sürüş sağlanmaktadır. Şekil 1.4’ de PHEV bağlantı yapısı gösterilmektedir [12].



Şekil 1.5. PHEV Teknolojisi Bağlantı Yapısı [14]

1.1.3.1 PHEV teknolojisinde kullanılan güç elektroniği

PHEV teknolojisi ve üzerinde kullanılan komponentler Şekil 1.5 de gösterildiği gibidir. PHEV teknolojisinde yer alan ana güç elektroniği komponentleri ise; Doğrultucu : AC/DC dönüşüm sağlar. (110V/60Hz yada 220V/50Hz tek faz). Güç Konverter : AC/AC, DC/DC, ve DC/AC olmak üzere 3 farklı tip dönüştürücü vardır. Motor ve Motor Kontrolcüler: motor ve sürücüler yer alır. Kontrolcüler ve Sensörler: kontrol algoritması ve geri beslemeler [14].

1.1.4 Elektrikli araç karakteristikleri

Küçük elektrikli araçlar için, gereken performans için tipik set değerleri Tablo 1.1’ de özetlenmiştir. Büyük sabit bir tork, sıfır hızda talep edilir (sıfır hızdan baz hıza kadar) [15].

Tablo 1.1. Elektrikli Araç Karakteristiği [15]

En yüksek hız	120 km/h
Hızlanma (0-50 km / s)	9 sec.
Ağırlığı frenlemek	550kg
Yük (3 kişi + 40kg)	250kg
Tam Yük Ağırlığı	800kg
Cephe Alanı	1.5m ²
Aerodinamik Sürüş Katsayısı	0.35
Tekerlek Yarıçapı	0.3m
Aşırı Hız Faktörü	1.2

Küçük bir elektrikli araç, ortalama kilometre başına 90 ile 160 Wh kullanır. Chevrolet Volt için araç özelliklerine ilişkin karakteristik Tablo 1.2’de gösterilmektedir [16].

Tablo 1.2. Elektrikli Araç Karakteristiği [16]

Akü Kapasitesi	16kwh
Pil Ağırlığı	180kg
EV Sürüş Aralığı	64km
Hücre Yapısı	80x4V hücre
Pil Hacmi	100L
Pil Ömrü Süresi	10yıl or (400 şarj/deşarj)
Motor boyutu	1.4 L
Silindir Sayısı	3
Motor gücü	53kW
(Elektrik) Motor Gücü (maks.)	120kW
(Elektrik) Motor Torku (maks.)	320Nm

1.2. Elektrikli Araç Teknolojilerinde Kullanılan Motor Tipleri

Elektrikli araçlar için en önemli teknolojilerden biri de ana çekiş motorunun sürüş kontrolüdür. Elektrikli araçların çekiş motoru olarak indüksiyon motorları, sabit mıknatıslı senkron motorlar gibi AC motorlar kullanılır [17].

Elektrikli ve Hibrit elektrikli araçlarda elektrik makinelerinin uygulamalarında bir elektrik motoru ya tamamen o kullanılır yada kısmi olarak içten yanmalı motor ile beraber çalışırlar. Tablo 1.3’de endüstrileşmiş bazı marka ve modellere ait elektrik motoru ve yakıt bilgileri yer almaktadır [18].

Tablo 1.3. Endüstrileşmiş EV,PHEV,HEV Araç Teknoloji Özellikleri [18]

Araç	Kullanılan Motor Tipi, Gücü, Devri	ECE Verileri	Batarya
Araç	Kullanılan Motor Tipi, Gücü, Devri	ECE Verileri	Batarya
Honda insight Hibrit 2010	Fırçasız PMDC, 9.7KW - 1500 RPM	1,3L PETROL	100.8 V, 5.75Ah
Ford Fusion Hibrit	PMSM, 79KW - 6500 RPM	2,5 L PETROL	275 V, NiMH
Toyota Prius Hibrit 2011	PMSM, 1,3KW - 1800 RPM	1,8 L PETROL	201,6 V, NiMH
Toyota Prius Hibrit 2012	PMSM, 2,5KW - 1200 RPM	1,8 L PETROL	Inverter DC link 600V
Toyota Lexus Hibrit 2010	PMSM, 123KW	3,5L V6 PETROL	37kw ,NiMH
GM Volt Hibrit 2011	PMSM, 2,5KW - 1200 RPM	1,4 L PETROL	16kwh,45Ah,Li-Ion
Hyundai Sonata Hibrit 2011	PMSM, 30KW	2,4 L PETROL	Li-Polymer Li-Ion 375 V, 53 KW Menzil : 365 km
Tesla Roadstar 2009 EV	Asenkron Motor, 215 KW	-	16kwh,Li-Ion, Menzil :160 km
Mitsubishi İmiev	PMSM, 47KW	-	22kwh,Li-Ion, Menzil :185 km
Renault Fluence EV	PMSM, 70KW	-	32kwh,Li-Ion, Menzil :151 km
BMW Active EV	PMSM, 125KW	-	

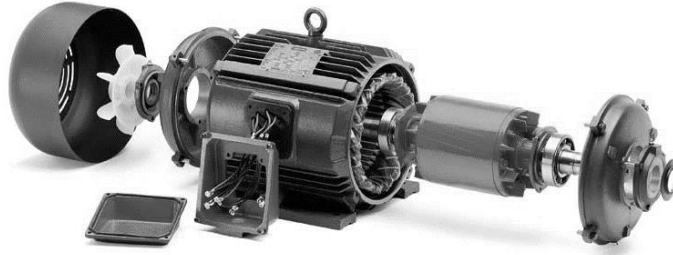
Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarından bazıları; DC motorlar, sabit mıknatıslı senkron motorlar, anahtarlamalı relüktans motorlar, sincap kafesli indüksiyon motorlarıdır. Bu motorların performansları, elektrik bataryaları, ekonomik performanslarına göre belirlenebilir. Tablo 1.4’de elektrikli araçlarda kullanılan motorların avantaj ve dezavantajlarını gösterilmiştir [5].

Tablo 1.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları Avantaj ve Dezavantajları [5]

Teknik Özellikler	DC Motor	Asenkron Motor	Rotor Sargılı Senkron Motor	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor	Anahtarlama Relüktans Motor
Alan Oryantasyonu	Radyal	Radyal	Radyal	Radyal	Eksenel	Radyal
Tork	+	-	-	++	++	+
Verim	-	-	(+/-)	++	++	+
Maksimum Hız	-	(+/-)	-	(+/-)	(+/-)	+
Soğuma	-	-	(+/-)	+	-	+
Alan Zayıflaması	+	+	+	(+/-)	(+/-)	(+/-)
Güvenilirlik	-	+	-	+	+	+
Ekonomik Potansiyel	+	++	-	-	(+/-)	+

1.2.1 Elektrikli araçlarda asenkron motorların kullanımı

Tablo 1.3’de görüldüğü üzere EV teknolojisinde yer alan TESLA asenkron bir motor kullanmaktadır. Menzili ise 365km ile rakiplerine kıyasla öne geçmektedir. Tablo 1.4’ te ise radyal akımlı asenkron (indüksiyon) motorunun ekonomik tarafı ağır basmaktadır. Asenkron motorlar düşük maliyetli üretim, ve uzun bakım periyotları ile elektrikli araçlar için kullanımı kolaylaştıran bir yapıya sahiptirler.

**Şekil 1.6.** Asenkron (indüksiyon) Motor Yapısı

1.2.2 Asenkron (İndüksiyon) motorlar

İndüksiyon motorları iki kategoride sınıflandırılırlar. Bunlar; sincap kafes ve sargı rotordur. Sincap Kafesde, sargıları yapılmış stator doğrudan kaynağa bağlanır, rotor sargısı ise uzunlamasına barlar ile rotorun dışına yerleştirilir ve barlar kısa devre çubuğu ile kısa devre edilir. Sargı Rotor ise rotor barları dışında sincap kafese benzer. Sargı Rotor

da rotor sarımları izole edilerek yapılır. Şekil 1.6’ da bir indüksiyon motoru gösterilmiştir [19].

1.2.3 Asenkron motorların akı yapıları

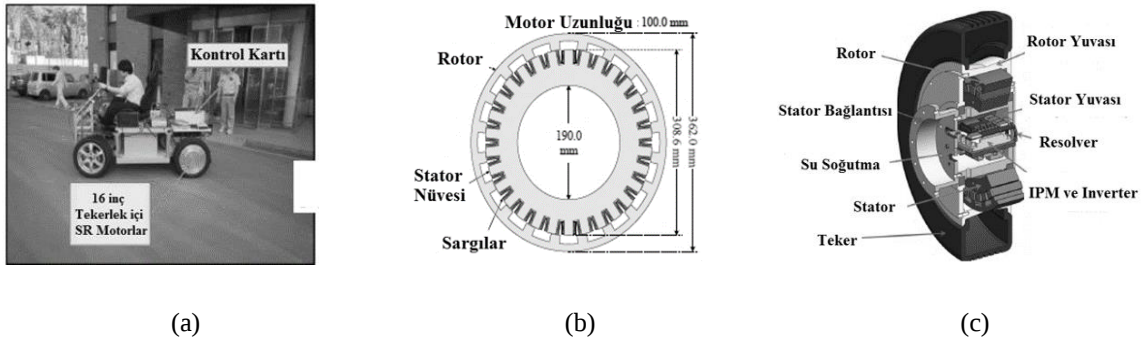
Eksenel akılı makineler geleneksel yapılı makinelerden bazı hususlarda farklıdır. Bu hususlar; hava aralığı aksı radyal yöndedir. İletkenler radyal pozisyonlandırılıyorken, rotor ve stator nüveleri disk şeklindedirler. Geleneksel radyal akılı makinede ise iletkenler eksenel düzenlenmiş, hava aralığının eksenel varyasyonları ihmal edilmiş. Şekil 1.7’ de eksenel ve radyal akılı motor örnekleri gösterilmiştir [20].



Şekil 1.7. Radyal ve Eksenel Makine Konfigürasyonları a) Radyal Akılı, b) Eksenel Akılı [20]

1.3. Doğrudan Tahrikli Motor Yapıları

Tekerlek için doğrudan tahrikli motorlar temel anlamda 2 farklı konfigürasyona sahiptirler bunlar sabit mıknatıslı olan motorlar ve sabit mıknatıs kullanılmayan motorlardır. Tekerlek içi doğrudan tahrikli motorlar radyal akılı motorlardır ve bir örneği Şekil 1.8’de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Tekerlek içi Doğrudan Tahrikli Motor Yapısı, a) İki Tekerlekli Doğrudan Tahrikli Elektrikli Araç, b) Tekerli içi Motorun Şematik Diyagramı, c) Motorun Tekerlek içi Konfigürasyonu [21]

Anahtarlama bir relüktans motor, sabit mıknatıs kullanılmadığı için güçlü ve yüksek ısılarda çalışabilen bir motordur. Bu bir avantaj olarak tekerlek içi doğrudan tahrikli motorlarda performans ve ürün ömrünü iyileştirmektedir [21].

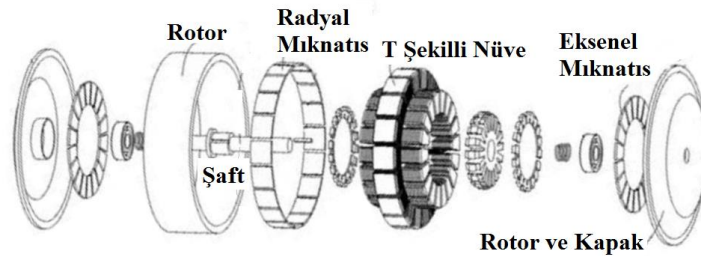


Şekil 1.9. Sabit Mıknatıslı Tekerlek içi Doğrudan Tahrikli Motor Yapısı

Sabit Mıknatıslı Tekerlek içi Doğrudan Tahrikli Motor Yapısı Şekil 1.9’ da gösterildiği gibidir. Bu tasarımda sabit mıknatıslar bazı dezavantajlara sahip olduğu için kısıtlamalar içermektedir. Sabit mıknatıslar ısı ve darbe dayanımı açısından bazı problemlere sahip olmaktadır. Bununla beraber kötü yol şartları düşünülecek olursa ürün ömür ve performansı açısından bu model bir çok probleme sahiptir.

1.3.1. Doğrudan tahrikli motor yapıları için eksenel ve radyal akılı motor araştırması

Eksenel ve radyal akılı motorlar bir çok uygulamada ihtiyaç doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu motorların sadece eksenel yada sadece radyal akılı uygulamaları olduğu gibi yeni araştırmalar her iki akı yolunun da kullanılması yönünde ilerlemektedir.



Şekil 1.10. Radyal ve Eksenel Akılı Sabit Mıknatıslı Motor Modeli [22]

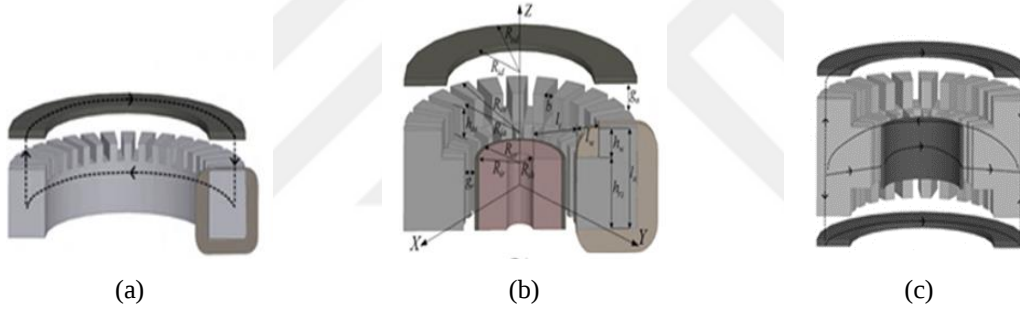
Hem radyal hem de eksenel akıyı kullanabilmesi amaçlı bir motor modeli çalışması

Şekil 1.10’da gösterilmektedir. Bu model motor sürücü üzerindeki algoritma ile eş zamansız radyal yada eksenel olarak çalıştırılmaktadır [22].



Şekil 1.11. Radyal ve Eksenel Hava Aralıklı Eksenel Akılı Motor Modeli, a) Eksenel, b) Radyal [23]

Eksenel akılı sabit mıknatıslı bir makine için radyal ve eksenel hava aralıklı makine modellerine ilişkin Şekil 1.11’ de gösterilmektedir. Bu çalışmada farklı hava aralıklarında motor performansını gözlemlendi [23].



Şekil 1.12. a) Tek Taraflı Eksenel Akılı Histeresis Motor, b) Tek Taraflı Hibrit Radyal-Eksenel Akılı Histeresis Motor, c) Çift Taraflı Hibrit Radyal-Eksenel Akılı Histeresis Motor [24]

Radyal ve eksenel akılı rotorların birleşiminden oluşan yeni hibrit bir histeresis motor modelleri Şekil 1.12’de gösterilmektedir. Burada yer alan histeresis motora akı yollarının, tek taraftan ve her iki taraftan hibrit radyal-eksenel akılı analizleri uygulanmıştır [24].



Şekil 1.13. Hibrit Radyal ve Eksenel Manyetik Yataklama Düzenekleri, a) Radyal ve Eksenel Manyetik Yataklama, b) Radyal Manyetik Yataklama [25]

Şekil 1.13’ de hibrit bir yataklama sistemi gösterilmektedir. Bu manyetik yataklama sistem hem radyal hem de eksenel akılları kullanarak manyetik bir yataklama sistemi sağlamaktadır [25].



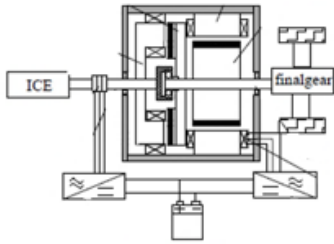
(a)



(b)

Şekil 1.14. Makine Topolojilerinin Kıyaslanması, a) Bir Rotor İki Statorlu Eksenel Makine, b) Rotoru içte olan Radyal Akılı Makina [26]

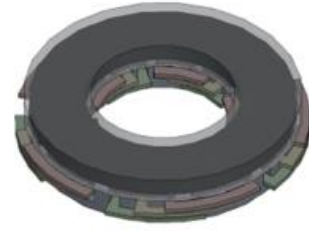
Radyal ve Eksenel akılı sabit mıknatıslı motorların mekanik dayanımları dahil olmak üzere bir biri ile kıyaslandığı bir çalışmsya ait modeller Şekil 1.14’de verilmiştir. Burada 2 tip makine Radyal ve Eksenele olarak hem performans hem de mekanik dayanım açısından incelenmiştir [26].



(a)



(b)



(c)

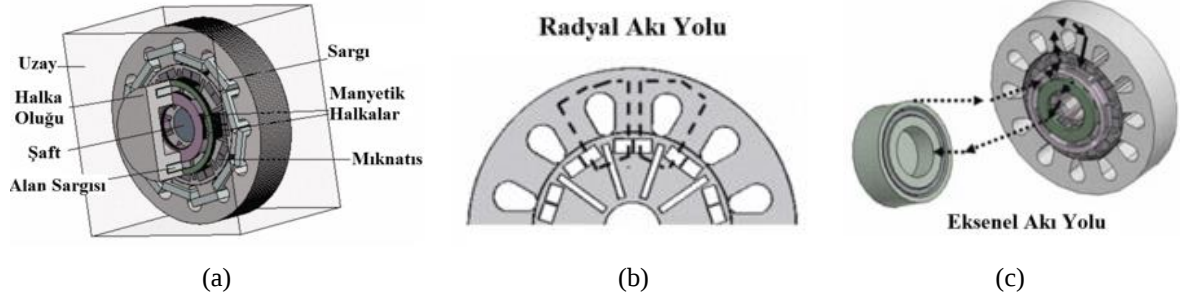
Şekil 1.15. a) Eksenel ve Radyal Akılı bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motor, b) Eksenel ve Radyal Akılı Bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Tam Modeli, c)Eksenel Akılı Bileşik Yapılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motor [27]

Bileşik yapılı sabit mıknatıslı radyal ve eksenel akılı motor modellerine ait gösterimler Şekil 1.15’teki gibidir. Bu çalışmada tork performans ölçümleri ve kıyaslamaları yapılmıştır [27].



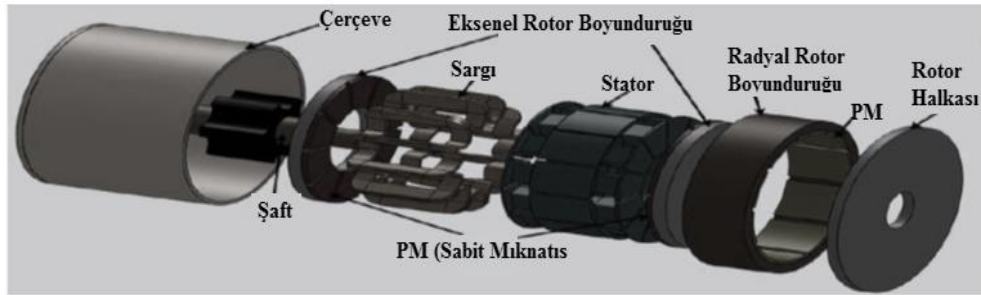
Şekil 1.16. Eksenel ve Radyal Akılı Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Modeli [28]

Multi akılı sabit hızlı senkron bir motora ait model Şekil 1.16’de gösterilmiştir. Bu çalışmada geleneksel bir radyal akılı motor ile önerilen multi akılı model bir bisiklet üzerinde denenerek performans kıyaslaması yapılmıştır [28].



Şekil 1.17. Eksenel-Radyal Akılı Tip Tamamı Süperiletken Senkron Motorun 3D Modeli [29]

Hem eksenel hem de radyal akılı olarak çalışabilen bir motora ait model Şekil 1.17’de gösterilmiştir. Bu çalışmada tamamı süperiletken armatür sarımları kullanılarak, 3D transient analiz ile tork performans analiz yapılmıştır [29].



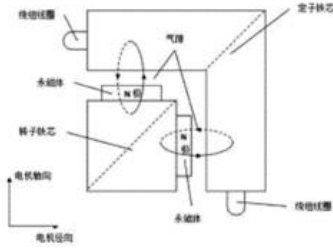
Şekil 1.18. Eksenel-Radyal Akılı Sabit Mıknatıslı Motorun Patlatılmış Modeli [30]

Eksenel ve radyal akılı olarak yerleştirilmiş sabit mıknatısların dışta olduğu model Şekil 1.18’de gösterilmiştir. Bu çalışma 5kW bir motor bünyesinde sonlu elemanlar analizi ile modellenip performans kıyaslama analizi yapılmıştır [30].

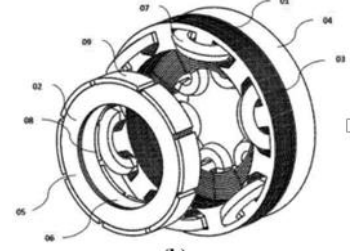


Şekil 1.19. Hibrit Akılı Sabit Mıknatıslı Makine a) Montajlı Yapısı b) Kesit Görüntüsü [31]

Hibrit Akıllı bir sisteme ait bazı görüntüler Şekil 1.19’ da gösterildiği gibidir. Yüksek güç yoğunluğu bakımından bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile analiz çalışması yapılmıştır [31].



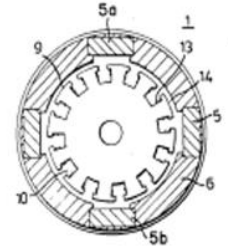
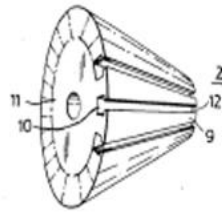
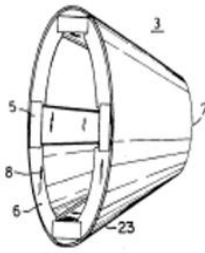
(a)



(b)

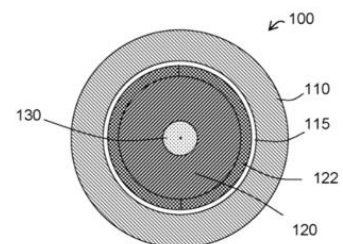
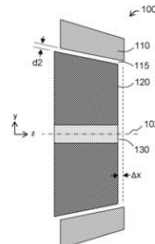
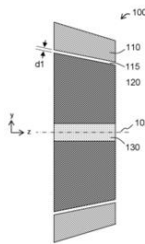
Şekil 1.20. Radyal ve Eksenel Akıllı Paralel Bağlı Sabit Mıknatıslı Motor a) Kesit Görüntüsü b) 3D Model [32]

Radyal ve eksenel akıllı paralel bağlı bir motora ait kesit ve 3D görüntüler Şekil 1.20’deki gibidir. Bu bir patent çalışması olarak çin de gerçekleştirilmiştir [32].



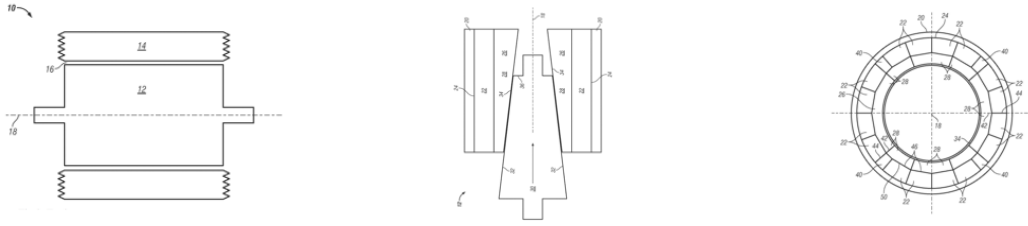
Şekil 1.21. Konik Yapılı Sabit Mıknatıslı Motor Yapısı [33]

Konik yapıllı sabit mıknatıslı bir motora ait patent çalışması Şekil 1.21’de gösterildiği gibi eş merkez radyal akıllı bir motor modelidir [33].



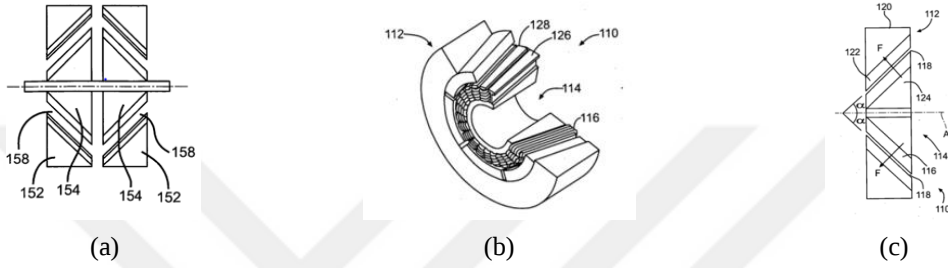
Şekil 1.22. Konik Stator Yapılı Sabit Mıknatıslı Motor Yapısı [34]

Konik stator yapıllı sabit mıknatıslı bir motora ait patent çalışması Şekil 1.22’ de gösterildiği gibi eş merkez radyal akıllı bir motor modelidir [34].



Şekil 1.23. Kesik Koni Geometrilili Motor Yapısı [35]

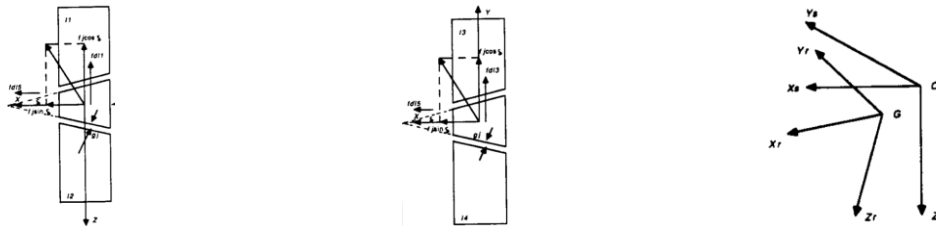
Bu patent çalışmada ise kesik koni geometrilili bir yapı radyal akı modun da çalıştırılarak performans analizi yapılmıştır. Bu çalışmaya ilişkin görsel Şekil1.23’de gösterilmiştir [35].



Şekil 1.24. Yataklaması olmayan Konik Yapılı Motor/ Jeneratör a) Çift Rotorlu Model, b) 3D Model, c) Kesit Görüntüsü [36]

Bu çalışmada yataklaması olmayan konik yapıli sabit mıknatıslı bir motor ya da jeneratör olarak kullanılabilen bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarım Şekil 1.24’de gösterilmiştir [36].

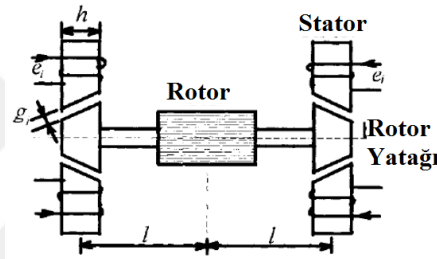
Abdelfatah ve arkadaşları 1989 yılında konik bir manyetik yatak üzerinde araştırmalar yapmıştır. İlk olarak konik bir yatağın değişen formunda bir model oluşturmuşlardır. Hava aralığı akısı, hava aralığı mesafesi ve hızı değişken olarak belirlemişlerdir. Daha sonra yeni bir kontrol metodu önermişlerdir. Bu kontrol metodunu doğrulamak için satısal simülasyonlar yapmışlardır. Sitemin geçiş cevabı 3 eksendeki kuvvetler ve bunlar arasındaki etkileşim incelenmeye çalışılmıştır. Sertlik ve dönme karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen tekniğin güvenilirliğini kanıtlamıştır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.25’de verilmiştir [37].



Şekil 1.25. Radyal ve Eksenel Kontrolün Prensibi [37]

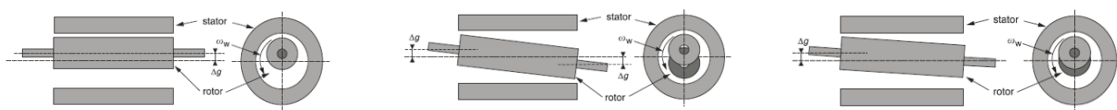
Abdelfatah ve arkadaşları 1992 yılında ilk yaptıkları çalışmanın daha geniş bir versiyonuna ilişkin bir araştırma yapmış ve bunu yayınlamışlardır [38].

Lih-Chang Lin ve arkadaşları 1997 yılında konik manyetik bir yatağın kontrolünün, giriş ve çıkış geri beslemelerini lineerleştirme yöntemini kullanarak sağlamaya çalışmıştır. 9 adet çıkış değişkenlerinden uygun olanların seçimi ile doğrusal olmayan manyetik yataklama sistemini, 9 adet linear alt sisteme, doğrusal geri besleme kullanarak dönüştürmüştür. Dahası, hibrit bir yaklaşım ile doğrusal geri besleme ve bulanık mantık entegrasyonunu, doğrusal olmayan manyetik yataklama sisteminin sağlamlığını ve geçiş performansını iyileştirmek için kullanmışlardır. Bilgisayar simülasyonları önerilen modelin etkinliğini göstermiştir. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.26'da verilmiştir [39].



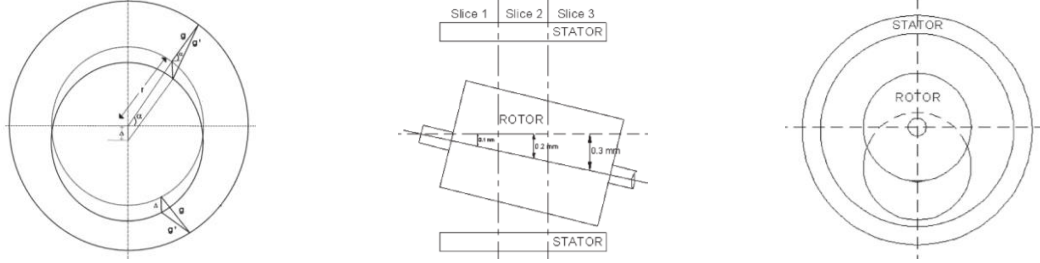
Şekil 1.26. Konik Manyetik Yataklama Prensibi [39]

A.Tenhunen ve arkadaşları 2003 yılında, silindirik, konik ve bu ikisinin bir kombinasyonu şeklinde hareket eden rotor'a sahip indüksiyon motorlarında elektromanyetik kuvvetleri ele almışlardır. Bu hareketleri, indüksiyon motorunun rigid rotorundaki eksentrik hareketler olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmada zaman adımlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak manyetik alanı çözüm sağlamışlardır. Kuvvetler ise aktif bir manyetik yataklama test ekipmanı üzerinden ölçülmüştür. Aktif manyetik yataklama, elektromanyetik kuvvetleri ölçmek ve aynı zamanda eksentrik rotor hareketlerini üretmek için kullanılmıştır. Hesaplanan ve ölçülen kuvvetler birbirini doğrulamaktadır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.27'da verilmiştir [40].



Şekil 1.27. Rijit Rotor Hareketlerinin Çalışma Tipleri [40]

K.P.P. Pillai ve arkadaşları 2008 yılında, demir yollarında kullanılan fırçasız motorların şaftlarının kırılmasından kaynaklanan arızalar üzerine çalışmışlardır. Bu arızalar mekanik sebeplerin yanı sıra rotor eksentrikliğinden kaynaklanan dengesiz manyetik çekişler ile tanımlanmaktadırlar. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.28’da verilmiştir [41].



Şekil 1.28. Rotordaki Statik Eksentriklik [41]

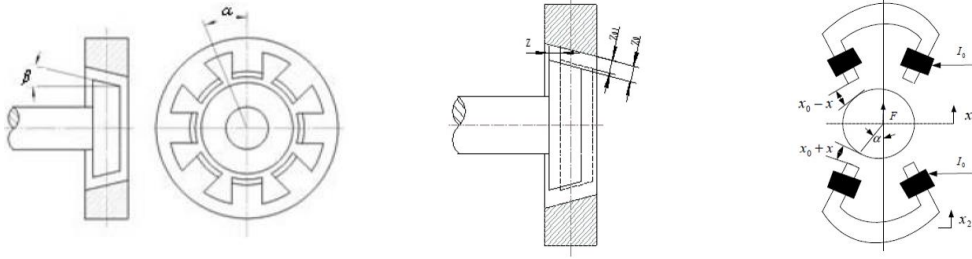
Peter Kascak ve arkadaşları 2009 yılında, tam olarak manyetik levitasyonlu bir yataklamanın yeni bir tipi için laboratuvar ve simülasyon çalışmalarını sunmuşlardır. Motorlar kutup çiftlerine dahili olarak bağlanmaksızın sargılıdırlar. Kuvvet, her kutup çiftinin eksenel akımlarının referans rotor çerçevesinde değişimi ile kontrol edilir. Sabit mıknatıslar, sarım artışlarında yada düşüşlerinde bir akı doğmasına neden olur, bu akı rotorun çevresi üzerinde dengesiz bir akı da doğurur. Bu sarım sayısı rotor üzerindeki net kuvvetide verir. Motor için konik şekil radyal ve eksenel yönlerde kuvvetler doğmasına izin verir. “Bu çalışmada gösterilen koniklik açısı ile ilgili bir bilgi verilmemiştir, ayrıca çalışmanın ana amacı yataklama yapılmaksızın konik geometri kullanarak bu fonksiyonun sağlanması ile ilgilidir. Bu çalışmada sabit mıknatıslarda kullanılmıştır”. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.29’da verilmiştir [42].



Şekil 1.29. Konik Motor Çifti –Yataklamasız [42]

Fangzhen Song ve arkadaşları 2010 yılında, geleneksel sönümleyici/soğuruculardaki var olan problemlerin, rotorun dengesiz titreşimlerini kontrol etmek için manyetik dinamik sönümleyicinin açıklık adaptasyonunu sağlayarak daha iyi bir çözüm sunulabileceğinden bahsetmişlerdir. Elektromanyetik sönümleyicilerin, sönümleme formülleri, sertlikleri ve konik olan elektromanyetik şeklin özel yapısı, nümerik analizler boyunca sertlik ve sönümleme karakteristikleri üzerinden çeşitli parametrelerin etki kanunları ve

elektromanyetiğin gücü olarak akım kaynağı düşünülerek türetilmiştir. Bu araştırma dinamik sönümleyicinin açıklığı kontrol etmek teorisine dayalıdır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.30'da verilmiştir [43].

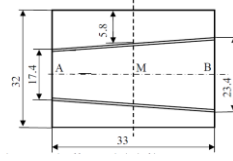


Şekil 1.30. Konik Şekilli Elektromıknatısın Diyagramı, Açıklık ve Eksenel Hareket Arasındaki İlişki, Elektromıknatısın Eşdeğer diyagramı, Konik Elektromıknatısın Eşdeğer Diyagramı [43]

$$F = \frac{\mu_0 AN^2 I_0^2 \cos \alpha \cos \beta}{4} \left[\frac{1}{(x_0 - x)^2} - \frac{1}{(x_0 + x)^2} \right] \quad (1.1)$$

Denklem (1.1) rotor üzerindeki elektromanyetik kuvvetin hesaplanmasına ilişkin bir eşitliktir. Burada yer alan alfa açısı elektromıknatısların arasındaki kutup açısı, beta ise koniklik açısıdır. X değerleri ise açıklık mesafesidir (mm). A manyetik devrenin etkin alanıdır (mm²). N sarım sayısı, ve I geçen akım miktarıdır [43].

Constantin GHÎȚĂ ve arkadaşları 2011 yılında, değişken hıza sahip bir rüzgar türbübü için bir kontrol yöntemi sunmuşlardır. Buradaki jenaratör rotor konik bir şekle sahiptir ve bir sonsuz dişli kullanılarak rotor alt montajının yanal kuvvetleri boyunca hava aralığı değişimine olanak sağlar. Bu operasyonda jenaratör şehir şebekesine bağlı değildir çünkü yüksek rüzgar hızlarında bile otomatik olarak hava aralığı gücünün limitlerini artırır. Fakat, yüksek rüzgar hızlarında jenaratörün mekanik limitlerinden dolayı sistemin mekanik direncini tehlikeye sokabilir. Konik rotorlu senkron jenaratör otomatik olarak bazı avantajlara sahiptir. Buradaki konik rotor üretim prosesi ve mekanik montaj açısından bazı şikayetlere neden olmaktadır. Bu şikayetlerin çözümü sağlandı ve şuanda konik rotorlu bir motor elektrik frenlemesi için kullanıldı. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.31'da verilmiştir [44].



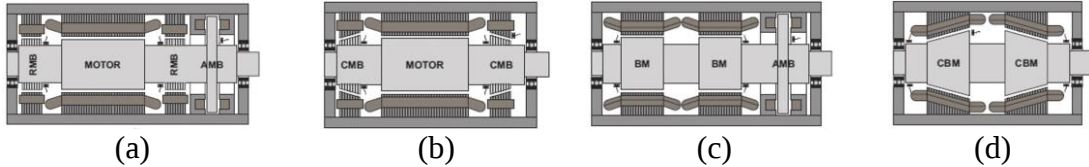
Şekil 1.31. Jenaratörün Kesit Alanı Görüntüsü (Koniklik Açısı 5.19 derecedir) [44]

Constantin GHIȚĂ ve arkadaşları 2011 yılında, daha önceki yapmış oldukları çalışmada doğrusal olmayan motor karakteristiğinin doğrusallığını sağlamaya çalışmışlardır [45].

Peter Kascak ve arkadaşları 2011 yılında, standart motor uygulamalarında, geleneksel mekanik yataklamalı rotor süspansiyonları oldukça ekonomik çözümler sunmaktadır. Fakat, belli başlı yüksek performans uygulamalarında, yataklama kontağı olmaksızın rotor süspansiyonları ya gereklidir yada avantajlıdır. Bu örneklerle yüksek hız, ekstrem çevresel şartlar ve bakım için limitli erişim gibi gereksinimlerde dahildir. Bu çalışmada yeni bir yataklamasız motor konsepti sunulmuştur. Bu yeni motor konsepti, birbirine zıt bakan iki konik yapılı motorun 5 eksen levitasyonunu rotor dönüşünü sağlaması için kullanılmıştır [46].

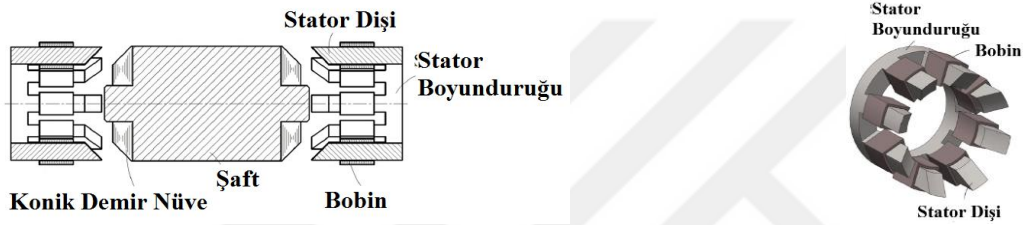
Peter Kascak ve arkadaşları 2011 yılında, yine yataklama olmasızın 5 eksen levitasyon sağlayabilen yeni konik rotorlu yaklaşımlarını bu seferde yüksek hızlarda volan (flywheel) enerji depolama yapan bir sistem için boyutlandırmışlardır [47].

Gabriel Munteanu ve arkadaşları 2012 yılında, sabit mıknatıslı yataklamasız yeni tip bir motor sunmuşlardır. Bu motor tek bir shaft üzerinde iki yarım ve iki konik havaalanı sahip motordan oluşmaktadır. Bu motor modeli rijit bir rotorun 6 serbestlik derece ile aktif olarak herhangi bir manyetik yataklama kullanmadan kontrol ve kararlı çalışmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.32’de verilmiştir [48].



Şekil 1.32. (a) İki Radyal Manyetik Yataklamalı Motor, (b) İki Konik Hava Aralığına Sahip Manyetik Yataklamalı Motor, (c) İki Yataklamasız Yarım Motor ve Bir Eksenel Manyetik Yataklamalı Motor, (d) İki Konik Hava Aralığına Sahip Yataklamasız Motor [48]

Shilei Xu ve arkadaşları 2014 yılında, hem radyal manyetik yataklama hemde radyal ve eksenel manyetik yataklamanın bir kombinasyonu olan statora sahip bir motorun radyal uzayda dağılımını incelemişlerdir. Bunun yanında çoğu manyetik yataklama, rotor üzerinde eksenel bir ilave disk ile çalışır. Bu manyetik yataklama yapıları, geniş çaptaki radyal konstrüksiyonların radyal limitleri olduğu için uygulanabilir değildirler. Bu çalışmada, daha küçük boyutlu konstrüksiyonlar için yeni bir tırnaklı aktif manyetik yataklama önerilmiştir. Bu manyetik yataklama tırnak gibi bir yapıya sahiptir. Hem stator nüvesi hemde bobinler eksenel olarak yerleştirilmiştir. Önerilen radyal yataklama radyal uzay limitlendiği zaman kullanıma uygun hale gelmektedir. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.33’de verilmiştir [49].



Şekil 1.33. Tırnaklı Aktif Yataklamaya Sahip Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 45derece) [49]

Manyetik kutup çiftleri temel eşitler düşünüldüğünde bu tırnaklı yapıya sahip konsept için manyetik kuvvet eşitlik (1.2) deki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_m = \frac{1}{2} \frac{B^2 A}{\mu_0} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 n^2 i^2 A}{\delta^2} = \frac{1}{2} k \left(\frac{i}{\delta} \right)^2 \quad (1.2)$$

Eşitlik (1.2) deki denklem bileşenlerine ayrıldığında Y eksenindeki kuvvet eşitlik (1.3) deki gibi hesaplanabilir.

$$f_y = 2 f_{mr} \cos \beta = k \left(\frac{i}{\delta} \right)^2 \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (1.3)$$

Buradaki beta açısı iki stator dişi arasındaki açıyı temsil etmektedir. X eksenindeki kuvvet de eşitlik (5.4) deki gibi hesaplanmaktadır.

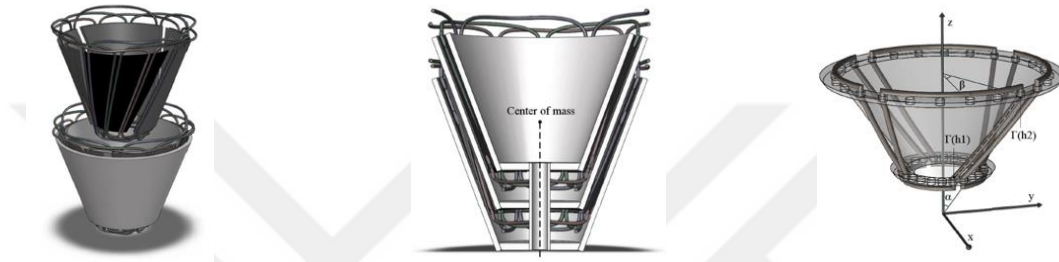
$$f_x = 2 f_{mr} \cos \beta = k \left(\frac{i}{\delta} \right)^2 \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (1.4)$$

Aynı şekilde Z eksenindeki manyetik kuvvetde eşitlik (1.5) deki gibi

hesaplanabilmektedir.

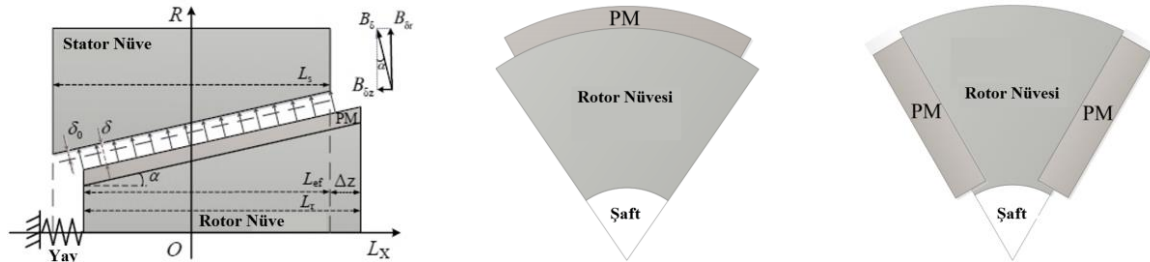
$$f_z = 2 f_{mz} = k \left(\frac{i}{\delta} \right)^2 \sin \alpha. \quad (1.5)$$

Johan Abrahamsson ve arkadaşları 2014 yılında, fırçasız DC nüvesiz çift rotorlu ve tek statorlu bir elektrik motoru konfigürasyonunun çok düşük kayıplara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, kendinden yataklamalı rotor süspansiyonu için bir tasarım, konik yüzeye yerleştirilen stator sarımları ile yapılmıştır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.34’de verilmiştir [50].



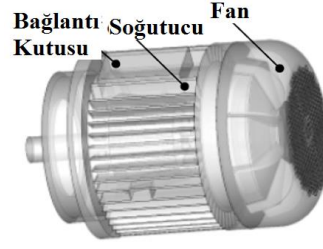
Şekil 1.34. Çift Rotorlu Konik Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 20derece) [50]

Chai Feng ve arkadaşları 2015 yılında, sabit mıknatıslı senkron motorun konik rotorlu yeni bir konstrüksiyonlu yapısını ve akı zayıflatma yönteminin detayları üzerinde çalışmışlardır. Konik bir rotor eksenel yönün dışındada hareket edebilir, ki bu durum stator ve rotor arasındaki etkin uzay aralığının hava aralığındaki akısını azltmasını sağlar. Bu yöntem bu motor için maksimum hız ve maksimum çıkış gücünü arttırır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.35’de verilmiştir [51].



Şekil 1.35. Konik Rotorlu Motor Konfigürasyonu (Koni Açısı 5.7 derece) [51]

Bao Cheng Guo ve arkadaşları 2015 konferans ve 2016 ağustos yılında, konik rotorlu bir motor için termal analiz çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.36’de verilmiştir [52,55].



Şekil 1.36. Konik Rotorlu Motor un Soğutma Konstrüksiyonu [52]

S. Roggia ve arkadaşları 2016 eylül konferans - 2017 şubat IEEE Xplore da yayınlanan, konik rotor yapısına sahip bir indüksiyon motor için eksenel pozisyon kontrolü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.37’de verilmiştir [53].



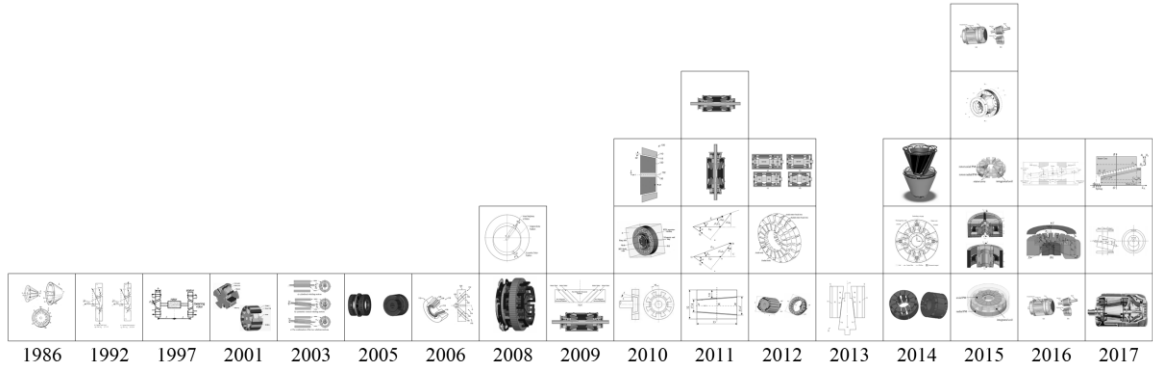
Şekil 1.37. Konik Rotorlu İndüksiyon Motoru [53]

Gael Messenger ve arkadaşları 2016 yılında, iki adet konik rotor yapısına sahip sabit mıknatıslı senkron bir motor üzerinde yataklara ve eksentrikli üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaya dair görüntü Şekil 1.38’de verilmiştir [54].



Şekil 1.38. Konik Rotorlu Yataklama Geometrisi [54]

Jasna Basheer ve arkadaşları 2017 yılında, konik rotor yapısına sahip bir indüksiyon motorunda dengesiz manyetik çekim kuvvetlerinin eksentrikliği bozmasının ileri beslemeli bir kontrol yöntemi ile nasıl önleneceği hakkında çalışmalar yapmışlardır [56].

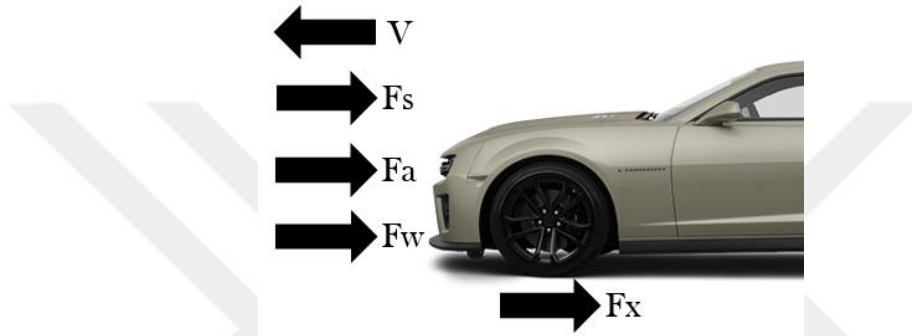


Şekil 1.39. Eksenel ve Radyal Akılı Motorlar Üzerindeki Akademik Çalışmalara İlişkin Yıl-Sayı Grafiği

Mevcut çalışmalar doğrultusunda, bir istatistik araştırmasında eksenel ve radyal akılı motorlar için yapılmış patent ve akademik çalışmaların özellikle son 10 yılda arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalar ilişkin bazı grafikler Şekil 1.39 verilmiştir. Burada Gözlemlenen Çin, Japonya ve Birleşik Devletlerde bu çalışmalara olan rağbet oldukça fazladır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN GÜÇ HESAPLAMALARI

Güç aktarım hesapları için genel olarak araç kütlesi, araç tekerinin çapı, aracın rüzgâra maruz kalan ön yüzey alanı, tekerelerin sürtünme katsayıları, aerodinamik katsayısı, hava yoğunluğu, araç hızı ve yerçekimi paramterleri kullanılarak, tekerlek sürtünme kuvveti aerodinamik sürtünme kuvveti ve eğimden dolayı gelen sürtünme kuvvetleri hesaplanabilir. Bahsedilen bu kuvvetlerin hesaplanması için Şekil 2.1’deki çeyrek araç modeli ele alınmıştır [57].



Şekil 2.1. Çeyrek Araç Modeli

Şekil 2.1’ de görülen F_w yuvarlanma direnci, F_a aerodinamik sürtünme kuvveti, F_s eğimden kaynaklanan sürtünme kuvveti, F_{acc} aracın eylemsizliğinden kaynaklanan ivmelenme kuvveti ve F_x tekerlek fren kuvveti olarak tanımlanmaktadır ve (2.1) ve (2.2) vasıtasıyla hesaplanabilirler [57].

$$F_w = \frac{(m \cdot c_t \cdot g \cdot \cos(\frac{\alpha}{180/\pi}))}{4} \quad (2.1)$$

$$F_a = \frac{(c_r \cdot \delta \cdot A \cdot V / 2)}{4} \quad (2.2)$$

$$F_s = \frac{(m \cdot g \cdot \sin(\frac{\alpha}{180/\pi}))}{4} \quad (2.3)$$

$$F_{acc} = m \frac{dV}{dt} \quad (2.4)$$

(2.3) ve (2.4) deki denklemlerde tanımlanan m araç kütlesi, g yerçekimi, c_t aerodinamik

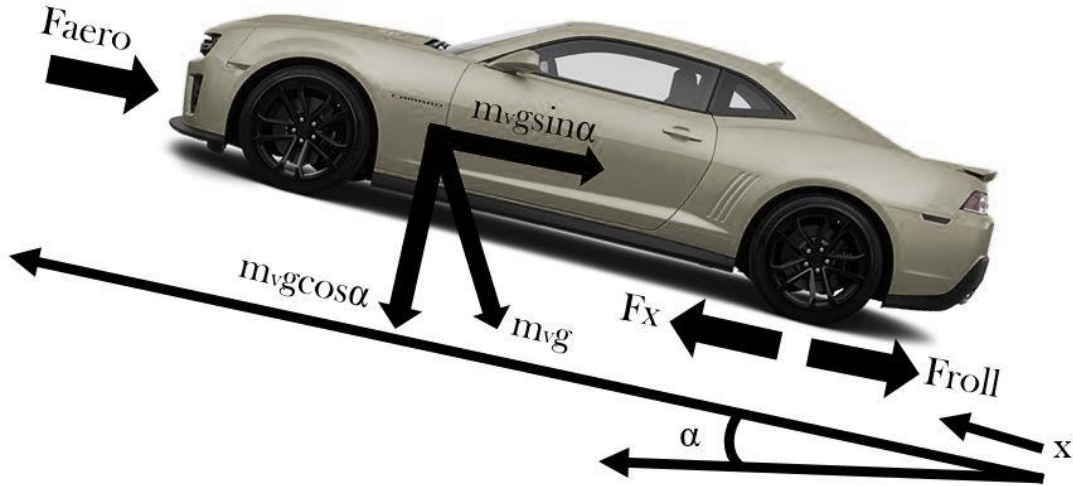
katsayısı, c_r tekerelek sürtünme direnç katsayısı, α aracın eğim açısı, δ hava yoğunluğu, A aracın rüzgar alan ön yüzey alanı, V araç hızını tanımlamaktadır [57].

2.1. Araç Dinamiği

Yer araçları öncelikle tek bir yöne gitmek için tasarlandıkları için sadece tek boyuttaki yanl dinamikleri ele alınır. Yanal kuvvet, 5 kuvvet bileşenden oluşmaktadır. Bunlar eylemsizlik kuvveti, uzunlamasına çekiş kuvveti, hava sürtünmesi, tekerlek sürtünme direnci ve yerçekimi kuvvetidir [16].

2.1.1. Uzunlamasına araç dinamiği

Şekil 2.2’de hareket eden bir araç için eğimli bir yolda yanal kuvvet bileşenleri gösterilmektedir. Faero hava sürtünmesi, Froll yuvalanma direnci ve F_x çekiş kuvvetini temsil etmektedir [16].



Şekil 2.2. Araç Üzerindeki Yanal Kuvvetler

Buradaki m araç yolcuları dahil toplam araç kütlesi V_x araç hızı, α yolun eğim açısı, g yer çekimi ivmesidir. Buradan hareketle (2.5) denklemi ile bir aracın çekiş kuvveti ve kuvvet dinamikleri hesaplanabilir [16].

$$m_v \frac{d}{dt} V_x = F_x - F_{aero} - F_{roll} - m_v g \sin \alpha \quad (2.5)$$

Buradaki α yolun eğimi, eğime ait yatay ve dikey uzunlukların yüzdesel derecesi ile tanımlanmaktadır. Bu tanımlama (2.6) ve (2.7) denklemleri ile gösterilmiştir. Burada yer alan d ve Δh dikey ve yata uzunlukları temsil etmektedir [16].

$$\%grade = \frac{\Delta h}{d} \times 100 \quad (2.6)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\%grade}{100} \quad (2.7)$$

Aerodinamik kuvvet ise (2.8) de yer alan kuvvet ile hesaplanmaktadır. Burada yer alan ρ havanın kütle yoğunluğu, C_d aerodinamik sürtünme katsayısı, A_f aracın ön yüzey alanı ve V_{wind} rüzgâr hızıdır. Standart durumlarda çoğunlukla hava kütle yoğunluğu $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ 'e eşittir. C_d aerodinamik sürtünme katsayısı tipik olarak $0.2 < C_d < 0.4$ arasında bir değer almaktadır. Bununla beraber yolcu araçları için yaklaşık olarak $C_d \approx 0.3$ ve spor amaçlı araçlar için ise $C_d \approx 0.4$ alınmaktadır [16].

$$F_{aero} = \frac{\rho C_d A_f}{2} (V_x + V_{wind})^2 \quad (2.8)$$

Yuvarlanma direnci ise tekerleğin dönüş dinamiği ve yol ile yüzey alanı ilişkisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Toplam yuvarlanma direnci ise (2.9) ile hesaplanmaktadır. Buradaki f_r yuvarlanma direnç katsayısıdır. Radyal bir tekerleğin tipik olarak yuvarlanma katsayısı $0.009 \sim 0.015$ arasında bir değer alır [16].

$$F_{roll} = f_r F_z = f_r m_v g \cos \alpha \quad (2.9)$$

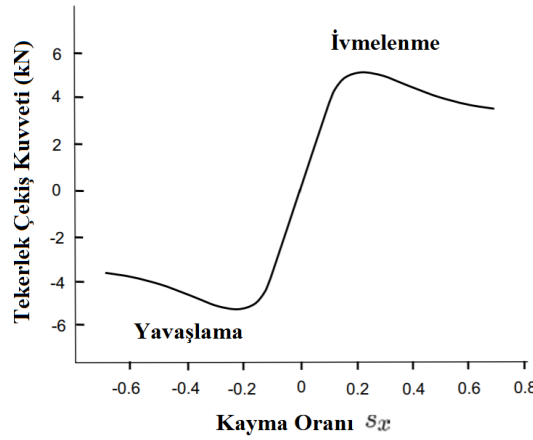
Uzunlamasına çekiş kuvveti, yol yüzeyi ve teker arasındaki eğimin sürtünme oranına bağlıdır. Linear bir kayma bölgesinde ise (2.10) denklemindeki gibi ifade edilir. Buradaki μ_{s0} uzunlamasına sürtünme katsayısı ve s_x normalize edilmiş kayma değerini temsil etmektedir [16].

$$F_x = \mu_{s0} s_x m_v g \cos \alpha \quad (2.10)$$

Bahsedilen kayma değeri araç hızı V_x ve tekerin çevresel hızı $r_w \omega_w$ arasındaki fark olarak tanımlanır. Buradaki r_w aracın dinamik yuvarlanma yarıçapı ve ω_w tekerleğin açısal hızıdır. Normalize edilmiş kayma değeri s_x (2.11) denkleminde hesaplanabilir [16].

$$s_x = \frac{r_w \omega_w - V_x}{r_w \omega_w} \quad (2.11)$$

Tekerlek kaymasının bir fonksiyonu olarak uzunlamasına çekiş kuvveti grafiği Şekil 2.3’de gösterilmiştir [16].



Şekil 2.3. Araç Çekiş Kuvveti- Kayma Grafiği [16]

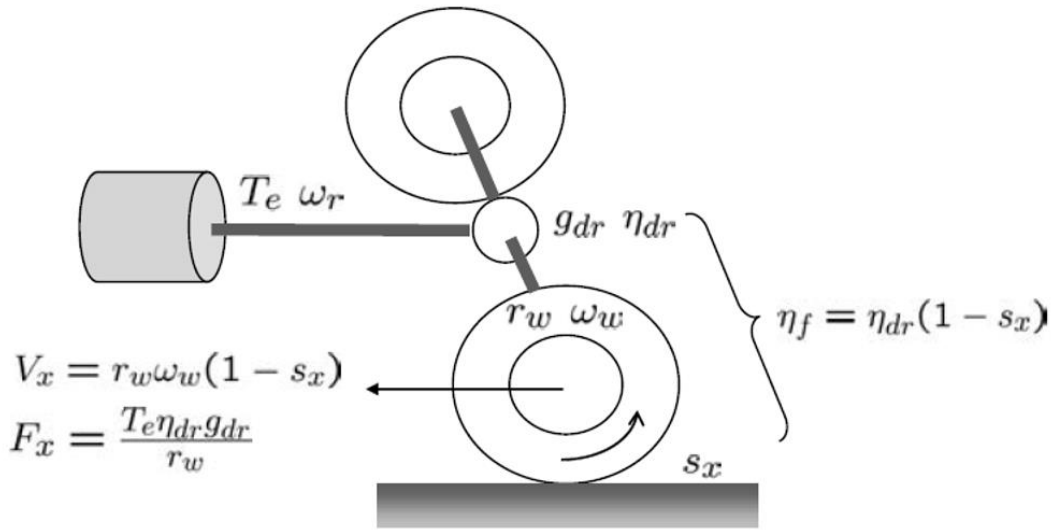
İvmelenme, araç gücü ve araç performansı açısından çok önemli bir faktördür. Çoğunlukla yolcu araçları bakıldığında 4 il 12 saniye arasında 0 km/h ten 100km/h ‘e çıkması istenmektedir. Normalde ise bir aracın 10 sn içerisinde 100km/h hıza ulaşması beklenmektedir. Burada ortalama ivmelenme ise 0.28 g olmaktadır. Sonraki en büyük komponent ise eğim %7.5 iken yerçekimidir [16].

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{1}{m_v} \left(F_x - \frac{\rho C_d A_F}{2} V_x^2 - f_r m_v g \cos \alpha - m_v g \sin \alpha \right) \quad (2.12)$$

Araç hızı için (2.12) yeniden düzenlendiğinde (2.13) formülünü elde ederiz [16].

$$V_x = r_w \omega_w (1 - s_x) = r_w \left(\frac{\omega_r}{g d r} \right) (1 - s_x) \quad (2.13)$$

Şekil 28 güç aktarım mekanizmasına ait parametreler ve ve bunların birbirleri ile olan ilişkisini göstermektedir [16].



Şekil 2.4. Güç Aktarım Mekanizması (Tahrik Hattı) [16]

Şekil 2.4' e ait güç denklemi ise (2.14) deki gibi ifade edilmiştir. Buradaki T_w aks torku, T_e motor şaft torku, P_x araç çekiş gücü ve P_e motor şaft gücüdür. F_x te yeniden düzenlediğinde (2.15) aşağıdaki şekle girmektedir. Buradaki η_{dr} tahrik hattına ait verimi temsil etmektedir [16].

$$P_x = T_x \frac{V_x}{r_w} = T_w \left(\frac{\omega_r}{g_{dr}} \right) (1 - s_x) = T_e \omega_r \eta_{dr} (1 - s_x) \quad (2.14)$$

$$P_e = T_e \omega_r$$

$$F_x = \frac{P_x}{V_x} = \frac{T_e \eta_{dr} \omega_r (1 - s_x)}{r_w \omega_w (1 - s_x)} = \frac{T_e \eta_{dr} g_{dr}}{r_w} \quad (2.15)$$

2.2. Bir Araç Tekerleğinin Boyutsal Olarak İncelenmesi

Bu bölümde araç tekerleklerine ait standart boyutlar ve en çok kullanılan araç teker boyutları incelenmiştir. Burada standart araç tekeri ölçüleri ve bunların ne sıklıkta benzerlik gösterdiğine ilişkin bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analize ait parametreler ve sonuçları Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Burada 3 temel parametre üzerinden inceleme yapılmıştır. Bu parametreler teker dış çapı, jant boyutu ve teker genişliğidir. Tez konusu olan doğrudan tahrikli tekerlek içi asenkron motorun tasarımı belirli bir geometrik boyut ile kısıtlıdır. Bu kısıt ya da paket hacmi, tekerleğin genişliği ve jant boyutu ile ilgilidir [58].

Tablo 2.1. Araç Tekerı Boyutlarının ve Standart Ölçülerinin Analizi [58]

Tekerlek Ölçü Tablosu															
Tekerlek Boyu (inch)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	28	30
Lastik Çapı (inch)	Lastik Kalınlığı (inch)														
19		4,1													
		4,1													
20		4,5	4,1												
		4,9	4,1												
21	7,3		4,5												
	10		7,7												
22	6,1	6,5	4,9	4,9											
	8,1	8,9	11	8,5											
23	6,5	6,9	5,3	4,9	4,9	8,5									
	7,3	8,1	8,9	8,5	9,7	8,5									
24	6,9	7,3	5,3	4,9	4,9	4,9	8,5								
	7,3	8,9	14	9,7	11	11	9,7								
25		7,7	6,5	5,3	5,3	8,5	4,5	8,5							
		9,7	11	12	12	13	12	12							
26		8,1	8,1	7,7	5,3	5,3	8,9	5,7	9,7						
		8,9	12	10	13	14	13	14	12						
27			8,1	6,1	5,7	5,7	6,1	6,1	9,7	9,3					
			13	14	14	14	14	13	13	12					
28			8,9	7	6,1	6,1	5,7	9,3	9,7	10	10				
			11	12	11	12	14	14	14	13	10				
29			8,5	8,9	8,9	8,9	9,3	9,7	10	10		11			
			12	11	10	13	12	13	12	12		11			
30			10	8,5	8,9	6,9	6,5	9,3	10	10	11	10			
			12	10	11	11	11	12	12	11	11	11			



Tablo 2.1’de yapılan analizler, en çok kullanılan teker boyutlarını sıralamamıza yardımcı olmaktadır. Bu sayede Tablo 2.1’de alternatif sonuçlar olarak, gri ile vurgulanmış kısmın sık kullanıldığını, özellikle teker genişliğinin 8.9 inç ve jant çapının ise 17-18 inç civarlarında olduğunu göstermiştir. Buradan yola çıkarak tasarım parametrelerimizi düzenleyerek sınır koşullarımız belirleyebiliriz.

2.3. Türkiye Pazarındaki Binek Otomobillerin ve Endüstrileştirilmiş Elektrikli Araçların İncelenmesi

Tablo 2.2. Türkiye Pazarındaki Binek Araçların Teknik Bilgiler [59]

Teknik Bilgiler	Fiat Egea Sedan		Renault Fluence		Ford Focus	
	1.6 16V	1.6 16V	1.5 dCi	1.6 16V	1.6 tdCi	1.6L Ti-VCT
	MultiJet II (Dizel)	E-Torq AT6 (Benzin)	EDC (Dizel)	CVT (Benzin)	115 PS (Dizel)	125 PS (Benzin)
Güç (kW)	88	81	81	85	85	94
Beygir Gücü (HP)	120	110	110	115	115	125
Devir (RPM)	3750	5500	4000	6000	3600	6300
Moment (Nm)	320	152	240	156	270	159
	-	-	-	-	-	-
	1750rpm	4500rpm	1750rpm	4000rpm	1750rpm	4000rpm
Maksimum Hız (km/h)	199	192	190	185	195	192
Tekerlek Aralığı (mm)	2637	2637	2702	2702	2648	2648
Uzunluk (mm)	4532	4532	4622	4622	4560	4560
Genişlik (mm)	1792	1792	1809	1809	2010	2010
Yükseklik (mm)	1497	1497	1479	1479	1492	1492
Boş Ağırlık (kg)	1270	1205	1389	1280	1336	1289

Tez konusu doğrudan tahrikli asenkron motor, OEM (Orginal Equipment Manufacturing) / Anasanayi müşterilerine hizmet edeceği gibi aynı zamanda da piyada var olan araçlar içinde bir dönüşüm çözümü olması beklenmektedir. Bu doğrultuda Türkiye pazarında en çok satılan binek araçlar incelenmeye alınmıştır. Bu araçlar üreticilerinin vermiş olduğu katalog değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Özellikle motor gücü, torku ve motor devri açısından ele alınmıştır. Bu parametreleri gösterimi Tablo 2.2’ deki gibidir [59].

Endüstrileşmiş diğer elektrikli araç modellerine de Tablo 1.3’de gösterildiği gibi karşılaştırabiliriz. Burada tam elektrikli araçlar için görülen 70kw ile 125 kw arasında bir güç gereksiniminin olduğu tespiti yapılmıştır.

Tablo 2.3. Elektrikli Araçlar için Boyutsal ve Ağırlık Parametreleri

Elektrikli Araç Tipleri	Renault Fluence Z.E	Ford Focus	Tesla Model S
Elektrik Motoru	Güç	70kW	107kW
	Beygir		
	Gücü	94HP	143HP
	Moment	226Nm	762HP
Pil	En yüksek		931Nm
	hız	135km/h	135km/h
	Güç	22kWh	23kWh
	menzil	185km	122km
Boyutlar	Dingil		
	açıklığı	2701mm	2649mm
	Uzunluk	4748mm	4359mm
	Genişlik	1813mm	2060mm
	Yükseklik	1458mm	1466mm
	Boş		
	Ağırlık	1543kg	1674kg
Lityum-iyon pilin kapasitesi 22 kWh ve ağırlığı 250 kg (551 lb).			

Motor performans değerlerin belirlerken araç dinamiği ele alındığında ek olarak araç boyutları, ağırlığı ve batarya ağırlıkları gibi bazı parametrelerde ihtiyaç duyulacaktır. Bu parametreler ilişkin bir gösterim Tablo 2.3’de gösterilmiştir. Burada yaklaşık olarak bir bataryanın ağırlığının 250 kg ve araç ağırlığının da 1500 kg civarında olduğu gösterilmiştir.

2.4. İhtiyaç Duyulan Motor Performans Değerlerinin Hesaplanması

Yapılan araştırmalar doğrultusunda Türkiye pazarında olan 3 tip binek araç ve bunlardan 2 tanesinin Avrupa pazarına sunulan elektrikli araç modelleri incelenerek, araç dinamiğine ait hesaplamaların yapılması için ortalama araç parametre değerleri çıkarılmıştır. Hem çıkartılan bu araç parametre değerleri hemde var olan araçlar için ivmelenme ve eğim tırmanma karakteristikleri analiz edilmiştir. Tablo 2.4. oluşturulan MODEL araç parametreleri için eğim tırmanma karakteristiğine ait sonuçları göstermektedir. Burada aracın 30sn içinde 100km/h hıza çıkabilme durumları 0, 1, 2 ve

10 derecelik eğimli yollar üzerinde incelenmiş ve ihtiyaç duyulan motor gücü-torku-devir sayıları analiz edilmiştir.

Tablo 2.4. Eğim Tırmanma Karakteristiği

Araç 100km/h Hızla Giderken Eğim Tırmanma Karakteristikleri				
0,3	0,3	0,3	0,3	Aero Sürtünme Katsayısı
1,2	1,2	1,2	1,2	Hava Yoğunluğu (kg/m3)
0,01	0,01	0,01	0,01	Yuvarlanma Direnci
1300	1300	1300	1300	Boş Ağırlık (kg)
280	280	280	280	Batarya Ağırlığı (kg)
100	100	100	100	Araç Hızı (km/h)
10	2	1	0	Yol Eğimi (derece)
0,73	0,73	0,73	0,73	Teker Çapı (m)
1800	1800	1800	1800	Araç Genişliği (mm)
1460	1460	1460	1460	Araç Yüksekliği (mm)
1580	1580	1580	1580	Toplam Kütle (kg)
27,8	27,8	27,8	27,8	Araç Hızı (m/s)
76,1	76,1	76,1	76,1	Teker Hızı (rad/s)
2,0	2,0	2,0	2,0	Ön Yüzey Alanı (m2)
273,8	273,8	273,8	273,8	F_aero. (N)
152,6	154,9	155,0	155,0	F_rf (N)
				F_rr (N)
2690,2	540,7	270,4	0,0	F_grade (N)
3116,6	969,3	699,1	428,7	F_trac. (N)
543,7	169,1	122,0	74,8	Güç (KW)
1137,5	353,8	255,2	156,5	Moment (Nm)
4566,2	4566,2	4566,2	4566,2	RPM (Devir)

Analizi yapılan bu araçların benzinli ve dizel araçlarda 10-12 sn içinde 100km/h hıza çıkabilme özelliklerine sahip olduğu ve bununla beraber bu araçları elektrikli modellerinin ise maksimum 30 sn içinde 100km/h hıza çıktıkları görülmüştür. Oluşturulan MODEL araç parametreleri ivmelenme kuvveti iptal edildiğinde ise çeşitli hızlardaki motor gücü-moment-devir sayısı parametreleri incelenmiştir. Bu analize ait sonuçlar Tablo 2.5’da gösterilmiştir. Tablo 2.5’da gösterilen sonuçlar ortalama 75kw lık, 156Nm ve 4500 rpm lik bir motor ihtiyacının olduğunu göstermektedir. Oluşturulan MODEL araç parametreleri ve Türkiye pazarında bulunan benzinli ve dizel potansiyel dönüştürme araçları ile bunların elektrikli versiyonlarına ait modeller için araç dinamiği denklemleri üzerinde aynı analiz yapılmıştır. Burada elde edilen sonuçlar Tablo 2.6. ve Tablo 2.7 ‘de gösterilmiştir. Tablo 2.6. ivmelenme olmadan 0 ile 10 derece arasındaki bir eğim skalasında araçların değerlendirildiği sonuçları göstermektedir.

Tablo 2.5. Hızlanma Karakteristiği

0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	Aero Sürtünme Katsayısı
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	Hava Yoğunluğu (kg/m3)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Yuvarlanma Direnci
1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	Boş Ağırlık (kg)
280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0	Batarya Ağırlığı (kg)
130,0	120,0	110,0	100,0	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	1,0							Araç Hızı (km/h)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Yol Eğimi (derece)
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	Teker Çapı (m)
1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	1800,0	Araç Genişliği (mm)
1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	1460,0	Araç Yüksekliği (mm)
1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	1580,0	Toplam Kütle (kg)
36,1	33,3	30,6	27,8	25,0	22,2	19,4	16,7	13,9	11,1	8,3	5,6	2,8	0,3							Araç Hızı (m/s)
98,9	91,3	83,7	76,1	68,5	60,9	53,3	45,7	38,1	30,4	22,8	15,2	7,6	0,8							Teker Hızı (rad/s)
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Ön Yüzey Alanı (m2)
462,6	394,2	331,2	273,8	221,7	175,2	134,1	98,6	68,4	43,8	24,6	11,0	2,7	0,0							F_aero. (N)
155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	F_rf (N)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	F_rr (N)
617,6	549,2	486,2	428,7	376,7	330,2	289,1	253,5	223,4	198,8	179,6	165,9	157,7	155,0							F_grade (N)
140,1	115,0	93,3	74,8	59,1	46,1	35,3	26,5	19,5	13,9	9,4	5,8	2,8	0,3							F_trac. (N)
225,4	200,5	177,5	156,5	137,5	120,5	105,5	92,5	81,6	72,6	65,6	60,6	57,6	56,6							Güç (KW)
5936,1	5479,5	5022,8	4566,2	4109,6	3653,0	3196,3	2739,7	2283,1	1826,5	1369,9	913,2	456,6	45,7							Moment (Nm)
																				RPM (Devir)

Tablo 2.6. İvmelenme Olmadan Motor Güç-Moment-RPM Karşılaştırma Tablosu

Hızlanmadan	Güç (W)		Moment (Nm)		RPM	
	min	max	min	max	min	max
EGEA	565,9	608238,5	73,5	737,6	60,6	7878,8
FOCUS	605,4	656158,2	80,6	795,7	60,6	7878,8
FLUENCE	601,2	638213,2	75,3	773,9	60,6	7878,8
FLUENCE EZ.	724,7	735069,0	104,5	1183,1	45,7	5936,1
FOCUS EL	125,2	157969,7	116,3	1293,7	45,7	5936,1
MODEL	27,0	749601,4	56,6	1206,5	4,6	5936,1

Tablo 2.7. İvmelenme Olmadan Eğimli Yolda Motor Güç-Moment-RPM Karşılaştırma Tablosu

Hızlanma ile	Güç(W)	Moment (Nm)	RPM	Slope
EGEA	572740,6	902,9	6060,6	0,0
	608708,1	959,6	6060,6	1,0
	644658,4	1016,3	6060,6	2,0
	930330,7	1466,6	6060,6	10,0
FOCUS	775334,3	1222,3	6060,6	0,0
	813809,1	1282,9	6060,6	1,0
	852265,5	1343,5	6060,6	2,0
	1157851,9	1825,3	6060,6	10,0
FLUENCE	595890,9	939,4	6060,6	0,0
	634097,0	999,6	6060,6	1,0
	672284,9	1059,8	6060,6	2,0
	975737,6	1538,2	6060,6	10,0
FLUENCE EZ	697490,1	1459,4	4566,2	0,0
	743546,5	1555,8	4566,2	1,0
	789580,7	1652,1	4566,2	2,0
	1155383,5	2417,5	4566,2	10,0
FOCUS EL	759570,8	1589,3	4566,2	0,0
	809537,3	1693,8	4566,2	1,0
	859479,9	1798,3	4566,2	2,0
	1256339,2	2628,7	4566,2	10,0
MODEL	712807,1	1491,4	4566,2	0,0
	759967,8	1590,1	4566,2	1,0
	807106,0	1688,8	4566,2	2,0
	1181680,5	2472,5	4566,2	10,0

Tablo 2.7’de görüleceği üzere araç sıfır eğimdeyken bile 712 kw lı bir güce ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum tasarımı yapıcak motor için özelliklede paket hacmi düşünüldüğünde mümkün değildir. Bu yüzden, araç ivmelenmesi tasarım için ikinci öncelik kabul edilerek istenilen güç ve Yolalma değerleri ile şehir içi ulaşım elverişli nominal gereksinimi sağlayan bir motor tasarımı üzerine gidelicektir. Buradan hareketle Tablo 2.7’da gösterilen yeşil ile vurgulanmış kısımda yer alan motor gereksinimleri motor tasarımı için ana parametreler olacaktır. Bu Parametreler Tablo 2.8’de 4x1 tek çekişli, 4x2 çift çekişli ve 4x4 tam çekişli araçlar için ayrı ayrı hesaplanarak gösterilmiştir. Burada Tezin konusu olan elektrik motorun 4x4 lük bir araç için tasarlayarak, hem paket kısıtı içine girebilme işleminde kolaylık, hemde 4x4 lük bir performans sağlamaya elverişli bir ortam oluşturacaktır.

Tablo 2.8. Motor Performans Gereksinimleri

RPM	Gereksinimler			Yolalma Momenti	
	Güç -W	Moment - Nm	Çekiş	Min	Max
4500	75000	156	1WD	56	1038
4500	37500	78	2WD	28	519
4500	18750	39	4WD	14	259,5

3. ELEKTRİK MOTORLARININ PRENSİPLERİ, TASARIMLARI VE HESAPLAMALARI

Bu bölümde elektrikli bir araç için tasarımı düşünülen motorun fiziksel boyutlarının hesaplanması, performans parametrelerinin ortaya çıkartılması ve incelenmesi ilgili detaylar üzerinde durulacaktır. Bu incelemeler makine ilkelerine giriş, asenkron motorların temel kavramları, asenkron motorlar için tasarım klavuzları-parametrik hesaplamalar ve asenkron motor için detaylı hesaplamalara yer verilecektir.

3.1. Asenkron Motorların Temel Kavramları

İndüksiyon/ Asenkron motorların faz girişleirne uygulanan gerilim, stator sarımlarından bir akım akmasına ve dolayısıyla bir manyetik alan oluşmasını sağlar. Bu manyetik alanın dönme hızına ise senkron hız olarak adlandırılır. Bu senkron hız stator fazlarına uygulanan gerilimin frekansına ve asenkron makinenin kutup sayısına bağlıdır. Bu dönen manyetik alan, rotor çubukları üzerinde bir gerilim indüklemektedir. Bu gerilim manyetik alanın hızına, manyetik akı yoğunluğuna, manyetik alandaki iletkenin (rotor çubuklarının) uzunluğuna bağlıdır. Burada rotor üzerinden akım rotor manyetik alanını doğurur. Dolayısıyla makine üzerinde indüklenen tork, stator ve rotorun oluşturduğu manyetik alanlara bağlıdır. Burada anlatılanlara ilişkin denklemler ise (3.1) ile başlayan denklem takımlarında verilmiştir [60].

$$n_{sync} = 120 f_e / P \quad (3.1)$$

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot L \quad (3.2)$$

$$\tau_{ind} = k B_r \times B_s \quad (3.3)$$

Burada n_{sync} manyeti alanın dönüş hızı (devir/dk), f_e sistemin frekansı (hertz), P kutup sayısı (adet), B manyetik alan vektörü, L manyetik alandaki iletkenin uzunluğu, v manyetik alana göre çubuğun hızı, B_s stator manyetik alanı, B_r rotor manyetik alanı, τ_{ind} makinada indüklenen momenttir.

Rotor çubukları üzerinde indüklenen voltaj, manyetik alan ile ilişkili rotor hızına bağlıdır. Asenkron motorun bu davranışı, rotor akım ve gerilimine bağlı olduğu için, çoğunlukla relative hız ile ilgili konuşmak daha mantıklıdır. Buradan hareketle rotor ve manyetik

alanın hareketi ile ilgili iki yaygın terim kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, kayma hızıdır. Kayma hızı rotor ve manyetik alan arasındaki fark olarak tanımlanır. İkinci terim ise kaymadır. Birim başına kayma oranını olarak ifade edilir. Kayma terimi açısal hız açısından da ifade edilebilir. Eğer rotor senkron hızda dönüyorsa kayma 0' a eşittir. Eğer rotor duruyorsa kayma 1' e eşittir. [60] bu ifadeler (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) ile verilmiştir.

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m \quad (3.4)$$

$$s = (n_{slip} / n_{sync})100\% = (n_{slip} \cdot n_m / n_{sync})100\% \quad (3.5)$$

$$n_m = (1 - s)n_{sync} \quad (3.6)$$

$$w_m = (1 - s)w_{sync} \quad (3.7)$$

Burada n_{slip} , makinanın kayma hızı, n_{sync} manyetik alan hızı, n_m motorun mekanik hızı, s göreceli hızdır.

Bir indüksiyon motoru, makinanın rotorunda indüklenen gerilim ve akım ile çalışır. Bundan dolayı indüksiyon makinaları dönen transformatörler olarak adlandırılır. Tıpkı bir transformatör gibi primer ve sekonder sarımlarına sahiptirler. Fakat sekonder frekansları yani rotor frekansı primer yani stator frekansı ile aynı değildir. Eğer motorun rotoru hareke edemediği için kilitlenirse, rotor ve statorun frekansı aynı olur. Diğer taraftan, rotor senkron hızda dönerse, rotorun frekansı sıfır olur. Bundan dolayı kayma oranı ve senkron hıza bağlı olarak ayrı bir rotor frekansı, dolayısıyla da açısal dönme hızları elde edilir. Bu eşitlikler (3.8) ile başlayan denklem takımı ile gösterilmiştir.[60]

$$\begin{aligned} n_m &= 0 \text{ (dev / dk)} \\ f_r &= f_e \\ s &= 1 \\ n_m &= n_{sync} \end{aligned} \quad (3.8)$$

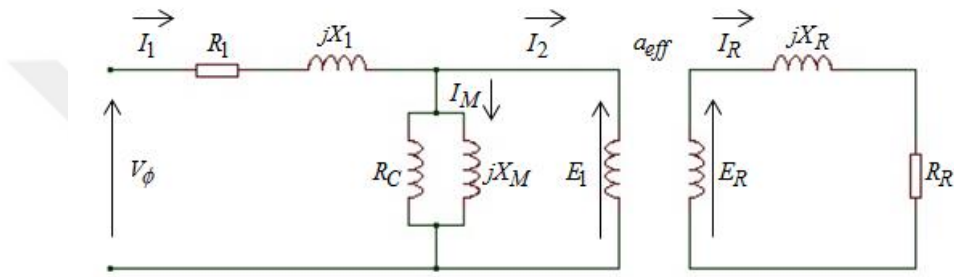
$$\begin{aligned} f_r &= 0 \\ s &= 0 \end{aligned}$$

$$\tau_{load} = P_{out} / W_m \quad (3.9)$$

$$f_r = s \cdot f_e = (n_{sync} \cdot n_m / n_{sync}) \cdot f_e = (n_{sync} \cdot n_m) \cdot (P / 120) \quad (3.10)$$

$$n_{sync} = 120 \cdot f_e / P \quad (3.11)$$

Asenkron bir motorun eşdeğer devre modeli, bir transformatör gibi modellenerek çıkartılabilmektedir. Bu transformatör modeli her faz için ayrı ayrı yapılmalıdır. Bununla birlikte tüm fazlar için benzer transformatör modeli çıkartılmalıdır. Şekil 3.1’de asenkron makinanın transformatör modeli görülmektedir. Bu model üzerinde dönüştürme oranı stator direnci, rotor direnci, kaçak indüktanslar, mıknatıslanma reaktansları, uygulanan ve üretilen gerilim lere ilişkin parametreler gösterilmiştir. Ayrıca bunlara ilişkin açıklamalar a_{eff} dönüştürme oranı, X_M mıknatıslanma reaktans, R_C demir kayıpları, R_1 stator direnci, R_R rotor direnci, X_1 kaçak indüktansı, X_R kaçak indüktans, E_1 uygulanan gerilim, E_R üretilen gerilim şeklindedir [60].



Şekil 3.1. Asenkron Makinanın Transformatör Modeli

Bir asenkron motorda, stator sargılarına gerilim uygulandığı zaman, makinanın rotor çubukları üzerinde bir gerilim indüklenir. Bu indüklenen rotor üzerindeki direnç ve reaktans üzerindedir. Direnç rotor çubuklarının direncidir. Reaktans ise rotorun indüktansına bağlıdır ve rotor frekansı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Şekil 3.14’de rotorun devre modeli gösterilmiştir. Burada uygulanan gerilim akan akım, rotor direnci ve reaktansı gösterilmiştir. Ayrıca buradaki parametrelere ilişkin eşitlikler (3.12) ve devam eden denklem takımı ile verilmiştir [60].

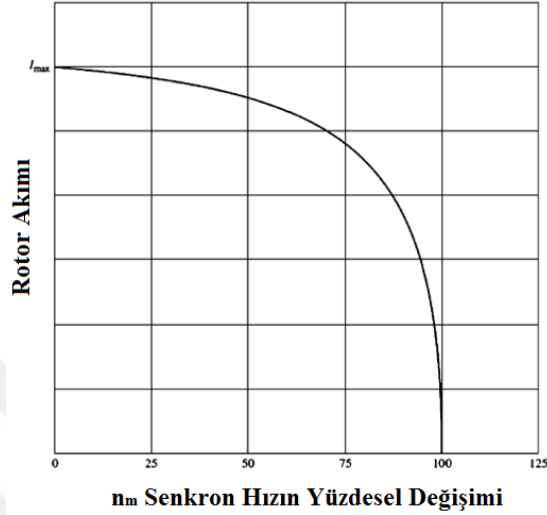
$$X_R = W_R L_R = 2\pi f_r L_R = 2\pi s f_e L_R = s(2\pi f_e L_R) = sX_{RO} \quad (3.12)$$

$$I_R = E_R / (R_R + jX_R) = E_R / (R_R + jsX_{RO}) = E_R / ((R_R / s) + jX_{RO}) \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} f_r &= s \cdot f_e \\ E_R &= s \cdot E_{RO} \\ Z_{E,eq} &= R_R / s + jX_{RO} \\ I_R &= E_R / (Z_{E,eq}) \end{aligned} \quad (3.14)$$

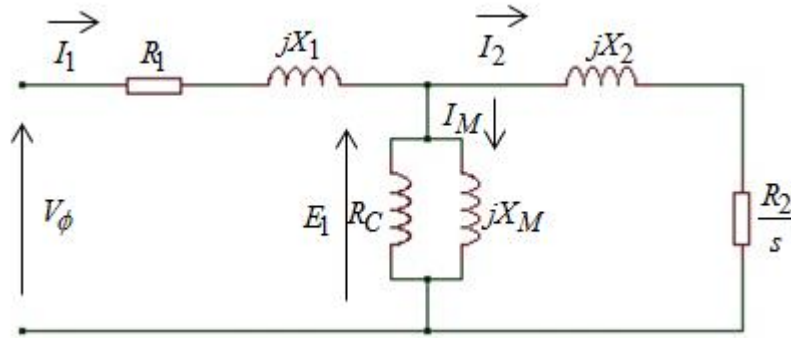
Burada E_R rotor gerilimi, E_{RO} kilitli durumda indüklenen rotor V , I_R rotordan akan akım,

$Z_{E,eq}$ eşdeğer rotor empedansıdır. Ayrıca rotor akımının senkron devir hızının yüzdesel değişimi ile değiştiği bilinmektedir. Bu değişime ilişkin gösterim Şekil 3.2’de verilmiştir. Burada makinanın senkron devir hızına bağlı olarak rotor akımının nasıl bir davranış gösterdiği vurgulanmıştır [60].



Şekil 3.2. Rotor hızının bir fonksiyonu olarak Rotor Akımı [60]

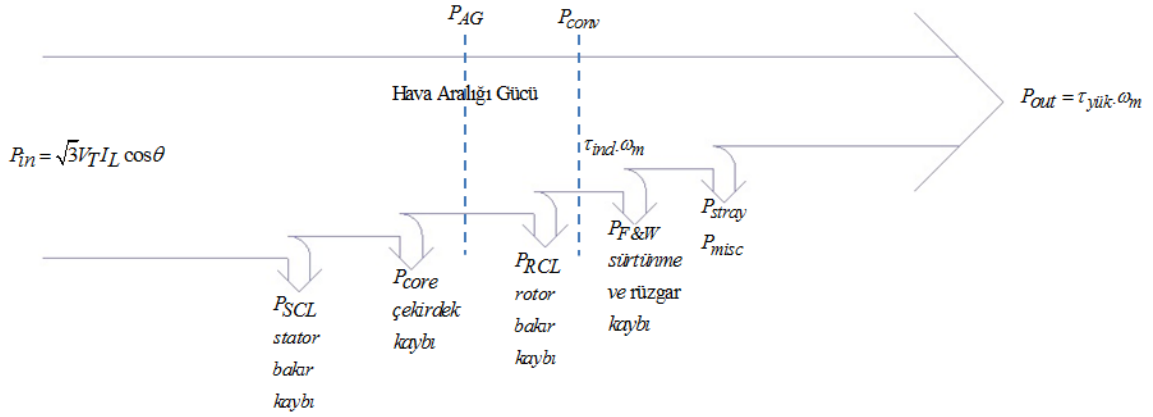
Bu durumda gerekli sadeleştirmeler ve dönüşümler uygulandıktan sonra faz başına eşdeğer devre modeli Şekil 3.3’de gösterilen devre modeli ile temsil edilebilmektedir.



Şekil 3.3. Asenkron Makinanın Eşdeğer Devre Modeli

Asenkron motorlar tek başlarına tahrik edildiğinden, onların güç ve tork ilişkileri senkron motorlardan farklıdır. Burada güç ve tork ilişkileri incelendiğinde güç akışlarında ve dönüşümlerde bazı kayıpların olduğu görülmektedir. Bir indüksiyon motoru temel olarak, dönen transformatör olarak tanımlanır. Bunun girişi 3 fazlı akım ve gerilimden ibarettir. Transformatörlerde sekonder kısmında elektrik gücü cinsinden çıkış alınır. Asenkron motorlarda ise sekonder yani rotor kısmındaki çıkış kısa devre edilmiştir. Burada beklene mekanik bir çıkış gücüdür. Elektrik giriş gücü ile mekanik çıkış gücü arasındaki ilişki

Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Asenkron Makinanın Güç Akış Diyagramı

Bir asenkron makinada güç akış diyagramını hesaplanma adımları (3.15) ile devam eden denklem takımları gibidir. Giriş gücünden çıkış torkuna kadar tüm kayıplarda ele alınarak bir hesaplama yapılır [60].

Asenkron motorda güç ve moment,

$$P_{in} = \sqrt{3}V_T I_L \cos \theta \quad (3.15)$$

Motorun bir faz giriş akımı giriş geriliminin toplam eşdeğer empedansa bölünmesiyle bulunur.

$$I_1 = V_\phi / Z_{eq} \quad (3.16)$$

$$Z_{eq} = R_1 + jX_1 + (1 / (G_C - jB_M - (1 / jX_2 + V_2 / s)))$$

3 fazdaki stator bakır kayıpları P_{SCL} , 3 fazdaki demir kayıpları P_{core} , hava aralığı gücü ise, P_{AG} , dir.

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

$$P_{core} = 3E_1^2 G_C$$

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core} = 3I_2^2 (R_2 / s) \quad (3.17)$$

Rotor eşdeğer devresine bakıldığında hava aralığı gücünün tüketilebildiği tek eleman R_2/s direncidir.

$$R_C = 1 / G_C \quad (3.18)$$

Rotor devresindeki gerçek direnç kayıpları,

$$P_{RCL} = 3I_R^2 R_R \quad (3.19)$$

Rotor bakır kayıpları,

$$P_{RCL} = 3I_R^2 R_2 \quad (3.20)$$

Bakır kayıpları ve çekirdek kayıpları, giriş gücünden çıkartıldığında geriye mekanik güç kalır(dönüştürülen güç),

$$P_{conv} = P_{in} - P_{RCL} - P_{SCL} - P_{core} =$$

$$P_{AG} - P_{RCL} = 3I_2^2 (R_2 / s) - 3I_2^2 R_2 = 3I_2^2 R_2 (1 - s / s) \quad (3.21)$$

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} = P_{AG} - sP_{AG} = (1 - s)P_{AG}$$

$$P_{RCL} = s.P_{AG} \quad (3.22)$$

Sonuç olarak sürtünme ve tüzgar kayıpları ve dağılma kayıpları bilinirse toplam güç (3.23) gibidir.

$$P_{OUT} = P_{conv} - P_{F \& W} - P_{misc} \quad (3.23)$$

$$\tau_{ind} = P_{conv} / W_m = (1 - s)P_{AG} / (1 - s)W_{sync} = P_{AG} / W_{sync} \quad (3.24)$$

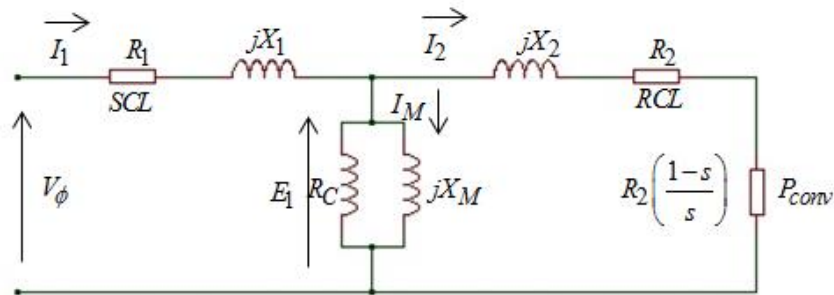
Asenkron motorun eşdeğer devresinde mekaniğe dönüşen güç ile rotor bakır kayıplarının ayrılması

$$R_{conv} = (R_2 / s) - R_2 = R_2 (1 / s - 1) = R_2 (1 - s) / s \quad (3.25)$$

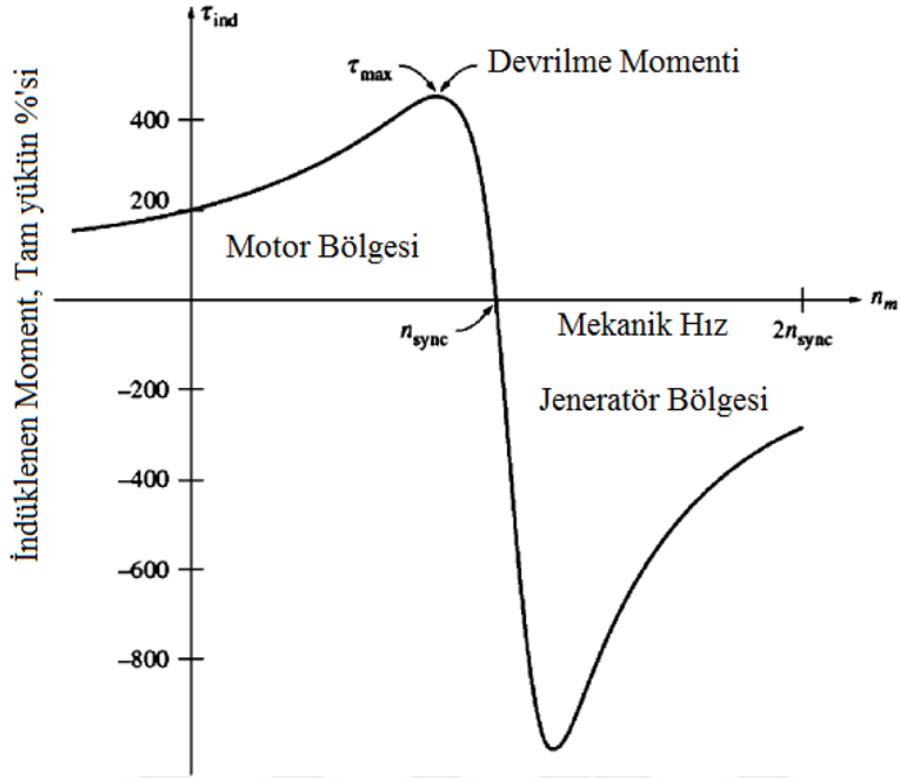
R_{conv} de tüketilmesi gereken güç P_{conv} olur.

Burada $P_{F \& W}$ sürtünme ve rüzgar kayıpları, P_{misc} dağılma kayıpları, τ_{wind} makinede indüklenen momenttir.

Yukarıda verilen eşitliklerden yola çıkarak güç kayıplarının, dönüştürülen gücün eşdeğer devre modeli üzerinde aşağıda verilen Şekil 3.5’de gösterilmiştir [60].



Şekil 3.5. Asenkron Makinanın Güç Akış Diyagramı Eşdeğer Devre Üzerinde Gösterimi



Şekil 3.6. Asenkron Motorların Moment-Hız Eğrisi [60]

Yukarıdaki şekilde asenkron motor için tüm kritik parametre ve noktalar gösterilmiştir. Bununla beraber asenkron motorlar yeri geldiğinde jeneratör olarak kullanılabilmek istenmektedirler. Bu bakımdan incelendiğinde asenkron motorlara ait moment hız grafiği Şekil 3.6’te gösterildiği gibidir [60].

Bir asenkron motorda elektrik enerjisinden mekanik enerjiye dönüştürülen güç (3.26) da verildiği gibi ifade edilebilir [60].

$$P_{conv} = \tau_{ind} \cdot \omega_m \quad (3.26)$$

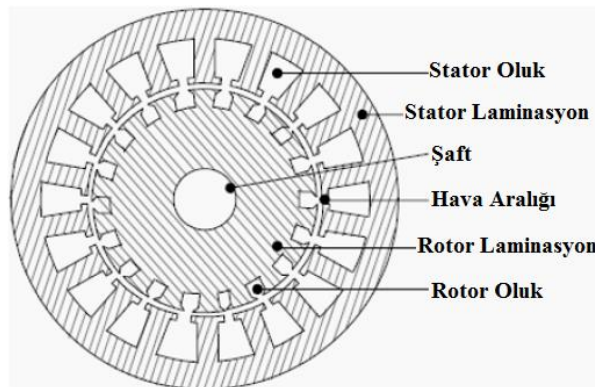
Bir asenkron motordan alınabilecek maksimum torka devrilme momenti denir. Bu devrilme momenti, hava aralığı gücü maksimuma ulaştığı zaman elde edilir. Burada incelenmesi gereken diğer tüm direnç ve reaktansların, kayma faktörüne bağlı rotor direncine eşit olması ile birlikte maksimum enerji transferinin gerçekleştirilebileceği olgusudur.

3.2. Asenkron Motorlar için Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi

Asenkron (İndüksiyon) motorları, AC motorlardır ve endüstride birçok uygulamada kullanım alanı bulurlar. Genellikle bu motorlar konveyörler, kompresörler, delici makineler ve santrifüj pompa uygulamaların sıklıkla kullanılırlar. Asenkron motorlar da DC motorlar gibi rotor ve stator denilen, biri sabit diğer döner iki üyeden oluşmaktadırlar. Bununla beraber asenkron motorları, DC motorlardan ayıran bazı özellikler vardır. Bunlar;

- Stator Laminasyonu
- Komütatörün Olmaması
- Değişmeyen küçük hava aralığı
- Pratik olarak hemen hemen sabit hız

Asenkron motorlar yukarıda da bahsedildiği üzere iki elektromanyetik parçadan oluşur. Bunlar Rotor ve Stator'dur. Bu stator ve rotor' un her biri akım taşıyan alüminyum ya da bakır izolasyonlu sarımlardan yapılır. Ayrıca lamine edilmiş silisli saçlar ile manyetik akımın taşınmasını sağlarlar. Şekil 3.7., bir asenkron motorun rotor ve stator laminasyonları ile stator, rotor ve motorun geneline ait diğer detay bilgileri göstermektedir. Bunlar motor şaftı, rotor ve stator Oluklarının gösterimleri ile rotor ve statora ait laminasyon yönleri ile ilgilidir. Bu laminasyon yönleri manyetik akımın nereden nereye akacağını tayin eder [61].



Şekil 3.7. Asenkron Motorun Laminasyonu [61]

Bir asenkron motorun tasarımı müşteri gereksinimleri doğrultusunda asenkron motorun fiziksel boyutlarının tamamını elde etmek için gerçekleştirilicektir. Bu doğrultuda

tasarım için bazı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Statorun ana boyutları, stator sargılarının detayları, rotor ve rotor sargılarının detayları ve performans karakteristiğidir. Bahsedilen bu detayların çıkarılması için ise tasarımcıların müşteri gereksinimlerini bilmeye ihtiyacı vardır. Bunlar; Çıkış Torku, Giriş Voltajı, Faz Sayısı, Hız, Frekans, Stator Sarımlarının Bağlantısı, Rotor Sarım Tipi, Çalışma Koşulları, Şaft Boyu (Boyutları)

Asenkron bir motorun çıkış denklemi için, m fazlı bir motor ele alındığında çıkış gücü (3.27) gibidir.

$$Q(kW)=Giriş \times Verim \quad (3.27)$$

Burada verilen çıkış gücü aslında giriş gücü ve motorun verimliliği doğrultusunda bir sonuç vermektedir. Giriş gücü ise 3 fazlı motorun giriş sargılarına uygulanan gerilim ve bu sargıların çektiği akım ile ilgilidir. Giriş sargılarına uygulana gerilim ve giriş gücü ise (3.28), (3.29), (3.30) ve (3.31) ile ifade edilir [61].

$$Giriş \text{ Gücü} = mV_{ph}I_{ph} \cos \phi .10^{-3}kW \quad (3.28)$$

3 fazlı bir makine için ise yeniden düzenlendiğinde;

$$Giriş \text{ Gücü} = 3V_{ph}I_{ph} \cos \phi .10^{-3}kW \quad (3.29)$$

$$V_{ph} = E_{ph} = 4.44 f \phi T_{ph}K_w = 2.22 f \phi Z_{ph}K_w \quad (3.30)$$

$$f = PN_s / 120 = Pn_s / 2 \quad (3.31)$$

Buhalde yukarıdaki iki denklemi tekrar düzenlersek çıkış gücünü ifade etmek için (3.32), (3.33), (3.34), (3.35) ve (3.36) eşitliklerini kullanabiliriz.

$$\text{Çıkış Gücü} = 3 \times 2.22 \times Pn_s / 2 \times \phi Z_{ph}K_w I_{ph} \eta \cos \phi \times 10^{-3}kW \quad (3.32)$$

$$\text{Çıkış Gücü} = 1.11 \times P \phi \times 3 I_{ph} Z_{ph} n_s K_w \eta \cos \phi \times 10^{-3}kW \quad (3.33)$$

$$\begin{aligned} P \phi &= B_{av} \pi D L \\ 3 I_{ph} Z_{ph} / \pi D &= q \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$\text{Çıkış Gücü} = 1.11 \times B_{av} \pi D L \times \pi D q n_s K_w \eta \cos \phi \times 10^{-3}kW \quad (3.35)$$

$$Q = (1.11 \pi^2 B_{av} q K_w \eta \cos \phi \times 10^{-3}) D^2 L n_s kW = (11 B_{av} q K_w \eta \cos \phi \times 10^{-3}) D^2 L n_s kW \quad (3.36)$$

Yukarıda yer alan parametrelere ilişkin tanımlamalar ise aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Asenkron Motor Tasarım Parametreleri [61]

V_{ph}	Faz Voltajı	q	Spesifik Elektrik Yüğü
I_{ph}	Faz Akımı	B_{av}	Ortalama Akı Yoğunluğu
	Bir Fazdaki İletken		Kutup başına Hava Aralığı
Z_{ph}	Sayısı	Φ	Akısı
	Bir kazdaki Sarım		
T_{ph}	Sayısı	D	Statorun Çapı
N_s	Senkron Hız (rpm)	L	Motor Uzunluğu
n_s	Senkron Hız (rps)	η	Verim
p	kutup sayısı	$\cos\Phi$	Güç Faktörü

Spesifik elektrik yükün seçilmesi ele alındığında, spesifik manyetik yükleme yada hava aralığı akı yoğunluğu üzerinde bazı sınırlayıcı faktörler ile karşılaşılır. Demir kayıpları çoğunlukla hava aralığı akı yoğunluğuna bağlıdır. Buradaki kısıtlar ise;

- Stator dişleri üzerindeki akı yoğunluğu <1.8 Tesla
- Stator nüvesi üzerindeki akı yoğunluğu <1.3~1.5 Tesla
- Ortalama akı yoğunluğu için = 0.35~0.6 Tesla @ 50Hz
- Spesifik elektrik yükü =10,000 to 17,500 Amper.Sarım/Metre 0 ~ 10 KW
- =20,000 to 30,000 Amper.Sarım/Metre 10 ~ 100 KW
- =30,000 to 45,000 Amper.Sarım/Metre > 100 KW

Motorun çapı ve uzunlukları ele alındığında ise (3.37) ve (3.38) ile denklemler motorun çapı ve uzunluğu arasındaki ilişkileri vermektedir.

Kutup Aralığı/Nüve Uzunluğu = 0.18 / Kutup Aralığı

$$(\pi D / p / L = 0.18 / (\pi D / p) \quad (3.37)$$

$$D = 0.135P\sqrt{L} \quad (3.38)$$

Yukarıdaki denklemler ile beraber motorun çapı ve uzunlukları ele alındığında bu parametrelerin motorun çıkış gücünü ve performansını değiştirdiğini görmekteyiz. Bu değişim oranı ve sonuçları ise (3.39) ve bunun sonuçları ile açıklanabilmektedir.

$$L / (\pi D / p) \quad (3.39)$$

Buradan çıkartılacak çeşitli oran varyasyonları motor performansını aşağıdaki gibi etkilemektedir;

- 1 iyi tasarım
- 1~1.25 iyi güç faktör
- 1.5 iyi verim
- 1.5~2 ekonomik tasarım

Çevresel (Çizgisel) hız limiti normalde bir asenkron motorun çevresel hızının yani rotor hızının 30m/s nin altında olması gerekir ancak özel tasarımlar ile bu 60m/s hızlara çekilebilmektedir. Yinde güvenlik aralığı gibi durumlar düşünüldüğünde bu hızın 30m/s nin altında kalamsı uygun bir tasarıma olanak tanıyacaktır. Burada bahsedilen değer ve dolayısıyla motorun rotor yarıçapına çapına ilişkin denklem (3.40) ile verilmiştir. Buradaki f değeri rotorun 1 saniyede attığı devir sayısını temsil etmektedir.

$$v = 2\pi r f \quad (3.40)$$

Stator ve rotor arasında kalan havaaralığı mesafesinin (3.41) tayin edilebilmesi için de formül geliştirilmiştir. Bu formül hava aralığının hangi uzunlukta olması gerektiğini tayin etmektedir. Bunu gerçekleştiririrken stator iç çapı motor boyundan yararlanmaktadır. Buradaki stator iç çapı ve motor boyu metre cinsinden tayin edilmektedir.

$$\delta = 0.2\sqrt{DL} (mm) \quad (3.41)$$

Buradaki hava aralığı uzunluğu minimum 0.25 mm olmalıdır. Bununla birklikte endüstriyel uygulamalarda bu uzunluk 2 ile 3 mm arasında değişmektedir.

Stator Oluk sayısı oranı içinde ((Oluk sayısı/ kutup sayısı)/faz sayısı) oranının 3.5 olarak seçilebilir. seçilen Oluk sayısı hava aralığı yüzeyini doldurmalı (doyurmalıdır). Bu Oluk genişliği 1.5 cm ile 2.5 scm arasında seçilebilir [61].

Hava aralığı yüzeyindeki, stator Oluk aralığı (3.42) denklemindeki gibi tanımlanmaktadır. Buradaki Sss stator Oluk sayısıdır.

$$\tau_{ss} = \pi D / S_{ss} \quad (3.42)$$

Stator iletkenlerinin kesit alanı stator faz akımından tahmin edilebilir. Stator sarımları için akım yoğunluğu değeri uygun olarak değerlendirilebilir. Buradan hareketle stator iletkenin kesit alanı (3.43) denklemindeki gibi ifade edilebilir. Buradaki δ_s stator sarımlarındaki akım yoğunluğudur.

$$F_{C1} = \frac{I_{ph1}}{\delta_1} (mm^2) \quad (3.43)$$

Bu denklemdeki diğer bir paramter ise stator faz akımıdır. Stator faz akımı (3.44) denkleminden bulunabilir.

$$I_{ph1} = \frac{Q \times 10^3}{3V_{ph1} \cos \phi \eta} \quad (3.44)$$

Stator sargılarındaki akım yoğunluğu ise genellikle 3 il 5 amper arasında değişen değerler almaktadır. Stator Oluk alanını ise stator sargıları ile izolasyon malzemesi kaplamaktadır. Burada bir orandan bahsedilmektedir. Bu oran toplam bakır alanının, toplam Oluk alanına bölünmesiyle elde edilir. Bu oranın da 0.25 ile 0.4 arasında olması beklenmektedir.

Stator Oluk tasarımı ise bu Olukun içindeki iletken sayısı, izolasyon malzemesinin kalınlığı ve Oluk geometrisinin tipine bağlıdır. Şekil 3.8’de tipik bir stator Oluk geometrisine ilişkin tasarım gösterilmektedir. Burada gösterilen tasarım temel olarak yatay ve dikey olarak yerleştirilmiş iletkenlerin sayılarına bağlı olmaktadır. Burada dikeyde yerleştirilen iletken sayısı ile yatayda yerleştirilen iletken sayısı arasında bir orana bağlı olarak tasarım yapılmaktadır Bu oran 3 ile 5 arasında değişmektedir. (3.45) formülü ile de ifade edilmektedir. Buradaki n_v dikeydeki iletken sayısı, n_h yataydaki iletken sayısıdır.

$$\frac{n_v}{n_h} = 3 \rightarrow 5 \quad (3.45)$$

Oluk yüksekliği ise izolasyon malzemesi ile dikeyde yerleştirilen iletken sayısı, kama yüksekliği, boşluk ve tolerans gibi parametrelerden oluşmaktadır. Burada Şekil 3.8’de görüleceği üzere 1.5 mm diş ağzı, 3.5mm kama aralığı, 3*0.5mm izolasyon malzemesinin kalınlığı ve 2mm de tolerans ve boşluklara verilmiştir. Buna ilişkin denklem (3.46) gibi ifade edilir. Buradaki d_c tel kesitini çapıdır [61].

$$h_{s1} = n_v * d_c + 3 * 0.5 + 3.5 + 1.5 + 2 \text{ mm} \quad (3.46)$$

Oluk genişliği ise izolasyon malzemesi ile yataydaki iletken sayısı gibi parametrelerden oluşmaktadır. Burada izolasyon malzemesinden gelen genişlik 2*0.5mm iken, 2mm de boşluk ve tolerans için verilmiştir. Buna ilişkin ifade (3.47) de verilmektedir.

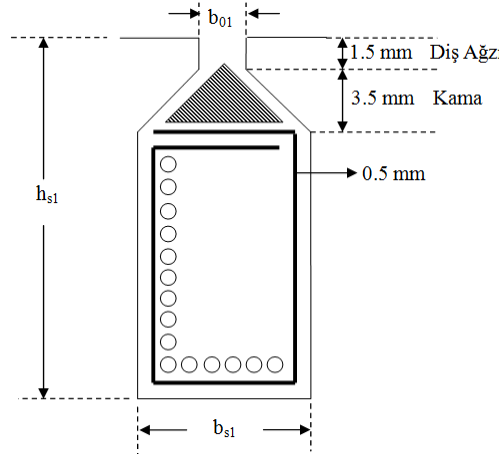
$$b_{s1} = n_h \cdot d_c + 2 \cdot 0.5 + 2 \text{ mm} \quad (3.47)$$

Oluk açıklığı ise Oluk genişliğine bağlı bir oran ile tayşn edilmektedir. Bu oran (3.48) deki formülde olduğu gibi hesaplanır.

$$b_{01} = \frac{2}{5} b_{s1} \quad (3.48)$$

Oluk genişliği ile Oluk yüksekliği arasında da bir oran tasarım için kullanılmaktadır. Bu oran 3 ile 5 arasında değişmektedir. (3.49) deki formül ile bu oran hesaplanmaktadır.

$$\frac{h_{s1}}{b_{s1}} = 3 \rightarrow 5 \quad (3.49)$$



Şekil 3.8. Stator Oluk Geometrisi [61]

İzolasyon malzemesinin kalınlığını tayin etmeye ilişkin bir seğıim matrisi Tablo 3.2’de statora uygulanaca gerilime bağlı olarak verilmiştir.

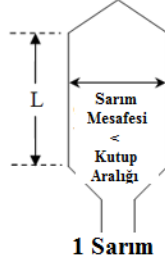
Tablo 3.2. İzolasyon Malzemesi Kalınlığı Seğıim Matrisi [61]

Düşük Güçlü Makinalar için Mica yada Leatheroid İzolasyon						
KV	0,4	1,1	3,3	6,6	11	15
mm	0,5	0,75	1,5	2,5	4	5,5
Güçlü Makinalar için İyileştirilmiş İzolasyon (Semica Therm)						
KV	2	3	6	10	16	25
mm	1,1	1,4	1,8	2,8	4	6

Ortalama sarım uzunluğu ise stator geometrisi yani kutup aralığı ve sarım sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu uzunluk (3.50) ve (3.51) formüllerindeki gibi ifade edilmektedir. Şekil 3.9’ da ise bir bobin aralığına ilişkin gösterim yer almaktadır.

$$L_{mt1} = 2 L + 2.3 \tau_p + 0.24 \quad (3.50)$$

$$\tau_p = \text{Kutup Araligi} = \frac{\Pi D}{P} \quad (3.51)$$



Şekil 3.9. Bir Bobine Ait Sarım Uzunluğu [61]

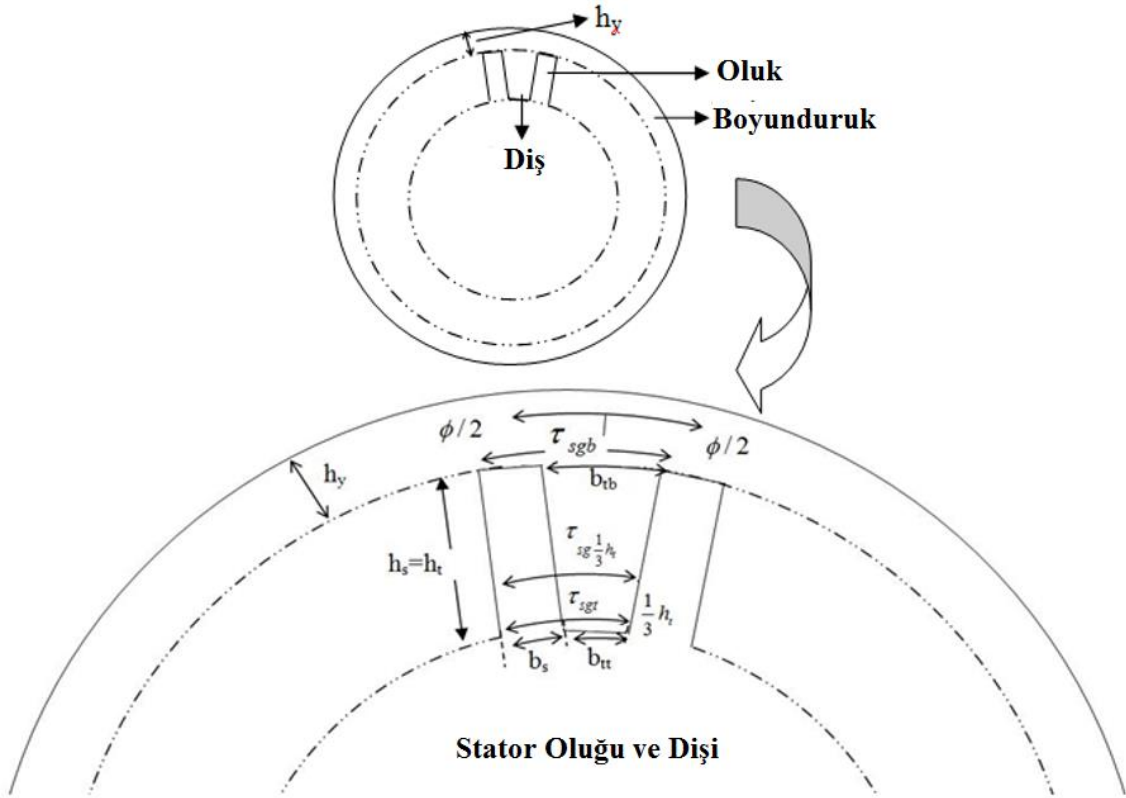
Bir fazdaki stator sargısının direncini bulmak için ise (3.52) deki eşitlikten faydalanılmaktadır. Bu eşitlikte bir bobine ait sarım uzunluğu, sarım sayısı ve kesit alanından faydalanılmaktadır.

$$R_{ph1} = 0.021 \times 10^{-6} \times \frac{L_{mt1}}{F_{c1}} N_{ph1} \quad (3.52)$$

Dolayısıyla bir fazdaki bakır kayıpları da bir fazdaki sargı direnci ve üzerinden geçen akım değeri ile hesaplanabilir. Buna ilişkin denklem ise (3.53) da verilmiştir.

$$= 3 I_{ph1}^2 R_{ph1} \quad (3.53)$$

Stator dişlerindeki akı yoğunluğunun maksimum değerinin 1.8 Teslayı geçmemesi gerekir. Aksi taktirde demir kayıpları ve mıknatıslanma akımı anaormal bir şekilde yükselecektir. Ortalama akı yoğunluğu, diş ağzından içeriye doğru, Oluk yüksekliğinin 1/3' ünde hesaplanır. Şekil 3.10'de stator dişlerindeki akı yoğunluğu hesaplamaları için ele alınacak parametrelerin gösterimine dai bir örnek bulunmaktadır [61].



Şekil 3.10. Stator Oluk/Diş Parametrelerinin Gösterimi [61]

Diş ağzından içeriye doğru Oluk yüksekliğinin 1/3'ündeki stator çapı(3.54);

$$D_{\frac{1}{3}h_t} = D + \frac{1}{3}h_s \times 2 \quad (3.54)$$

Diş ağzından içeriye doğru Oluk yüksekliğinin 1/3'ündeki Oluk aralığı(3.55);

$$\tau_{sg \frac{1}{3}h_t} = \frac{\pi D_{\frac{1}{3}h_t}}{S_1} \quad (3.55)$$

Diş ağzından içeriye doğru Oluk yüksekliğinin 1/3'ündeki diş genişliği(3.56);

$$b_{t \frac{1}{3}h_t} = \tau_{sg \frac{1}{3}h_t} - b_s \quad (3.56)$$

Diş ağzından içeriye doğru Oluk yüksekliğinin 1/3'ündeki bir stator dişinin alanı(3.57);

$$= b_{t \frac{1}{3}h_t} \times K_i l \quad (3.57)$$

Bir kutup altındaki stator dişlerinin toplam alanı(3.58);

$$\begin{aligned} A_{t \frac{1}{3}h_t} &= \text{Slot Alanı} \times \text{Her Kutuptaki Dis Sayısı} \left(\frac{S_1}{P} \right) \\ &= b_{t \frac{1}{3}h_t} \times K_i l \times \left(\frac{S_1}{P} \right) \end{aligned} \quad (3.58)$$

$$= \left[\frac{\Pi \left(D + \frac{1}{3} h_s \times 2 \right)}{S_1} - b_s \right] \times K_i l \times \left(\frac{S_1}{P} \right)$$

Dolayısıyla ortalama akı yoğunluğu (3.59) deki şekilde hesaplanır;

$$B_{\frac{1}{3}h_t} = \frac{\phi_1}{A_{\frac{1}{3}h_t}} \quad (3.59)$$

Stator boyunduruğuna ait yüksekliği hesaplariken, stator boyunduruğu boyunca akıyı, kutup başına akının yarısı olacak şekilde kabul edilir. Boyunduruktaki akı yoğunluğuda (B_y) 1.3 ile 1.5 Tesla arasında olacak şekilde ayarlanır (3.60).

$$h_y = \frac{\phi_1 / 2}{B_y K_i l} \quad (3.60)$$

Buradan hareketle motor çapının hesaplanması ise (3.61)deki eşitlikteki parametrelerin yerine koyulmasıyla elde edilir. Bu parametreler; boyundur yüksekliği, dış yüksekliği ve stator iç çapı ile ilgilidir [61].

$$D_o = D + 2h_s + 2h_y \quad (3.61)$$

Statordaki demir kayıpları, stator dişlerindeki akı yoğunluğu üzerinden, Kg başına demir kaybı olarak bulunur. Dolayısıyla aşağıdaki ifade Kg başına watt cinsinden kayıpları ifade etmektedir.(3.62)

$$B_{\frac{1}{3}h_t} \Rightarrow p_{it} \text{ W / Kg} \quad (3.62)$$

Stator dişlerindeki demir kayıpları ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$\begin{aligned} &= p_{it} * \text{Yoğunluk} * \text{Slotlardaki Demir Hacmi} \\ &= p_{it} * 7600 * \text{Slotlardaki Demir Hacmi} \end{aligned}$$

Statordaki bir diğer demir kaybı ise stator boyunduruğu üzerindeki demir kayıplarıdır. Bu kayıplar boyunduruk üzerindeki akı üzerinden hesaplanır.(3.63)

$$B_y \Rightarrow p_{iy} \text{ W / Kg} \quad (3.63)$$

Boyunduruk üzerindeki demir kaybı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır;
 $= p_{iy} * \text{Yoğunluk} * \text{Boyunduruktaki Demir Hacmi}$

$$= p_{iy} * 7600 * \text{Boyunduruktaki Demir Hacmi}$$

Dolayısıyla toplam demir kaybı, stator dişleri üzerindeki kayıp ve stator boyunduruğu üzerindeki kaybın toplamına eşit olacaktır. Buradan hareketle demir kayıpları (3.64)'deki gibi bulunur.

$$P_i = \text{Slotlardaki Demir Kaybı} + \text{Boyunduruktaki}$$

$$I_c = \frac{P_i}{3V_{ph1}} \quad (3.64)$$

Rotor tasarımı ele alındığında ise stator Oluk sayısı referans alınarak rotor Oluk sayıları ve diğer parametreleri hesaplamak mümkün olacaktır. (3.65) deki eşitlik rotor ve stator Oluk sayıları ile birbirleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buradaki q_1 stator faz başına düşen bir kutuptaki Oluk sayısını q_2 de rotor için olanı temsil etmektedir. Ayrıca rotor ve stator Oluk sayıları aynı seçilirse vuru momentini ortaya çıkacaktır ve vibrasyona neden olacaktır. Bundan dolayı bu durumun olmasından kaçınılmalıdır.

$$q_2 = q_1 \pm 1, \pm \frac{1}{3}, \pm \frac{2}{3} \dots \dots \dots \quad (3.65)$$

Buradanda rotordaki toplam Oluk sayısını bulabilmek için q_2 değerini önce faz sayısı ile sonrada kutup sayısı ile çarparak toplam rotor Oluk sayısı bulunmaktadır. (3.66) deki eşitlik rotor Oluk sayısının bulunmasını sağlar.

$$S_2 = 3q_2P \quad (3.66)$$

Rotor akımı bulunruken ise rotora transfer edilen amper.sarım değerinin %85 olduğu kabul edilerek hesaplama yapılır. Stator üzerindeki amper.sarım değeri (3.67) deki gibidir.

$$\text{Amper} * \text{Sarım} = 3 I_{ph1} N_{ph1} \quad (3.67)$$

Dolayısıyla rotor üzerindeki akım ise (3.68) deki şekilde ifade edilir ve tranfer edilen amper.sarım düşünüldüğünde rotor akımı (3.68) ve (3.69) ile hesaplanır.

$$\text{Amper} * \text{Sarım} = I_{2bar} \frac{S_2}{2} \quad (3.68)$$

$$I_{2bar} \frac{S_2}{2} = 0.85 \times 3 I_{ph1} N_{ph1} = \frac{0.85 \times 6 I_{ph1} N_{ph1}}{S_2} \quad (3.69)$$

Buradan hareketle rotor bileziklerinden akana akım ise (3.70) ile bulunur [61].

$$I_{2endring} = \frac{S_2 \times I_{2bar}}{\Pi P} \quad (3.70)$$

Rotor barlarının boyutları ise rotor bar akımları ve rotor barı üzerinden akıtılması düşünülen akım yoğunlukları üzerinden hesaplanır. Burada rotor barları için akım yoğunlukları genellikle 5 ila 7 Amper/mm² arasında seçilmektedir. Bu durumda rotor barının kesit alanı (3.71)deki gibi hesaplanır.

$$F_{C2bar} = \frac{I_{2bar}}{\delta_{bar}} \quad (3.71)$$

Eğer dairesel rotor barları kullanılacak ise bir rotor barının yarıçapı (3.72) ve (3.73) ile bulunmaktadır.

$$F_{C2bar} = \frac{\Pi}{4} d_{2bar}^2 \quad (3.72)$$

$$d_{2bar} = \sqrt{\frac{4F_{C2bar}}{\Pi}} \quad (3.73)$$

Rotor bileziklerinin kesit alanında rotor bileziklerinde akacak akım ve seçilen akım yoğunluğu üzerinde aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanmaktadır [61].

$$F_{C2endring} = \frac{I_{2endring}}{\delta_{bar}} \quad (3.74)$$

Rotor dişleri üzerindeki akım yoğunlukları da yine stator daki işlemlere benzer bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Rotor Olukunun dış ağzında içeriye doğru diş yüksekliğinin 1/3' ünde rotor çapı(3.73);

$$D_{\frac{1}{3}h_{t2}} = D - 2\delta - \frac{2}{3}h_{t2} \times 2 \quad (3.73)$$

Rotor Olukunun dış ağzında içeriye doğru diş yüksekliğinin 1/3' ünde Oluk aralığı (3.74);

$$\tau_{sg\frac{1}{3}h_{t2}} = \frac{\Pi D_{\frac{1}{3}h_{t2}}}{S_2} \quad (3.74)$$

Rotor Olukunun dış ağzında içeriye doğru diş yüksekliğinin 1/3' ünde diş genişliği (3.75);

$$b_{\frac{1}{3}h_{t2}} = \tau_{sg\frac{1}{3}h_{t2}} - b_{s2} \quad (3.75)$$

Rotor Olukunun diş ağzında içeriye doğru diş yüksekliğinin 1/3' ünde bir rotor dişinin alanı (3.76);

$$= b_{t2\frac{1}{3}h_{t2}} \times K_i l \quad (3.76)$$

Bir kutup altındaki tüm rotor dişlerinin toplam alanı(3.77);

$$\begin{aligned} A_{t2\frac{1}{3}h_{t2}} &= \text{Slot Alanı} \times \text{Her Kutuptaki Dis Sayısı} \left(\frac{S_2}{P} \right) \\ &= b_{t2\frac{1}{3}h_{t2}} \times K_i l \times \left(\frac{S_2}{P} \right) \\ &= \left[\frac{\Pi \left(D - 2\delta - \frac{2}{3}h_{t2} \times 2 \right)}{S_2} - b_{s2} \right] \times K_i l \times \left(\frac{S_2}{P} \right) \end{aligned} \quad (3.77)$$

Dolayısıyla dişler üzerindeki ortalama akı yoğunluğu (3.78) daki gibi bulunur;

$$B_{t2\frac{1}{3}h_{t2}} = \frac{\phi_1}{A_{t2\frac{1}{3}h_{t2}}} \quad (3.78)$$

Rotor bakır kayıpları bar direnci ve rotor bileziklerinin dirençleri üzerinden hesaplanmaktadır. Şekil 3.11'de rotor bar ve rotor bileziklerinin dirençlerin hesaplamak için ihtiyaç duyulan parametreleri göstermektedir. Barlardaki bakır kayıpları (3.79) ve (3.80) dekiş şekilde ifade edilmektedir [61];

$$\text{Bir Barın Direnci} = 0.021 \times 10^{-6} \frac{L(m)}{F_{C2bar}(m^2)} \quad (3.79)$$

$$\text{Barlardaki Bakır Kaybı} = S_2 \times I_{2bar}^2 \times \text{Bir Barın Direnci} \quad (3.80)$$

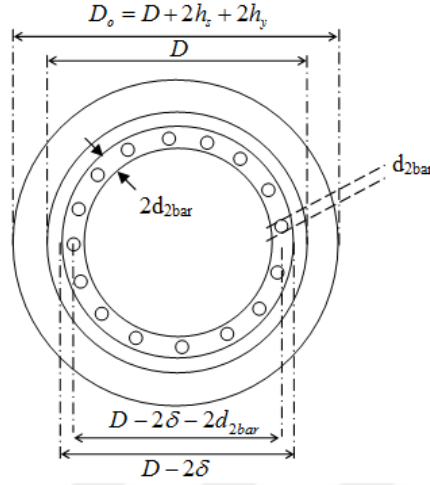
Rotor bilezikleri için yapılacak direnç hesaplaması ise (3.81), (3.82) denklemlerindeki gibi ifade edilir;

$$\text{Rotor Bileziğinin Direnci} = 0.021 \times 10^{-6} \frac{\Pi(D - 2\delta - 2d_{2bar})(m)}{F_{C2endring}(m^2)} \quad (3.81)$$

$$\text{Rotor Bileziklerindeki Bakır Kaybı} = 2 \times I_{2endring}^2 \times \text{Rotor Bileziğinin Direnci} \quad (3.82)$$

Dolayısıyla rotor üzerindeki toplam bakır kaybı rotor barları ve rotor bileziği üzerinde oluşan bakır kayıplarının toplamı şeklinde ifade edilmektedir (3.83).

Toplam Bakır Kaybı = Barlardaki Bakır Kaybı+Rotor Bileziklerindeki Bakır Kaybı (3.83)



Şekil 3.11. Rotor Parametrelerinin Gösterimi [61]

Buraya kadar yapılan hesaplamalar üzerinden kayma (s) parametresinide rotor kayıpları ve rotor giriş gücü üzerinden (3.84) deki denklemde olduğu gibi hesaplayabiliriz.

$$s = \frac{\text{Rotor Bakır Kayıpları}}{\text{Rotor Giriş Gücü}} \quad (3.84)$$

Bulunan kayma parametresi aynı zamanda rotor bakır kayıpları, mekanik çıkış gücü ve toplam kayıplar olarakda (3.85)deki formülde olduğu gibi ifade edilebilmektedir.

$$s = \frac{\text{Rotor Bakır Kayıpları}}{\text{Mekanik Çıkış Gücü} + \text{Diğer Kayıplar}} \quad (3.85)$$

Buradaki toplam kayıplar rotor bakır kayıpları, rotor demir kayıpları (ihmal edilebilir) ve sürtünme-rüzgar kayıpları (F&W) 'ndan oluşmaktadır. Bu ifade (3.86) deki denklemdeki gibi hesaplanabilir.

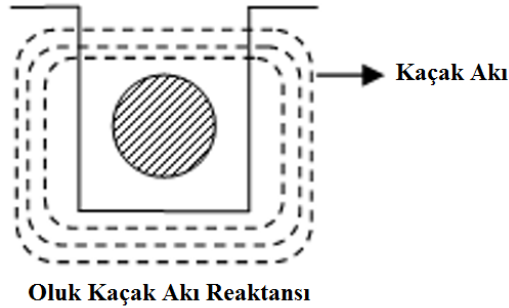
$$\text{Kayıplar} = \text{Rotor Demir Nüve Kaybı (ihmal)} + \text{Rotor Bakır Kayıpları} + \text{F\&W Kaybı} \quad (3.86)$$

Buradaki sürtünme-rüzgar kayıpları küçük motorlar için %5 'e kadar, orta çaplı motorlar için %3~%4 arasında ve büyük motorlar için %3~%2 arasında seçilmektedir.

Buradaki kayma değeri (S) ise küçük motorlar için %5 'e kadar orta çaplı motorlar için %3~%4 arasında ve büyük motorlar için %3~%2 arasında seçilmektedir.

Asenkron motorların elektriksel modelleri yapılırken basit bir eşdeğer devrede rotor ve stator için bobin indüktanslarından kaynaklanan reaktanslar vardır. Fakat bu reaktans değerleri devreyi tam olarak modellemek için yetmez çünkü aynı zamanda motorun geometrik şeklinden kaynaklan kaçak reaktanslar da mevcuttur. Bu kaçak reaktanslar ise stator Oluk kaçak reaktansı, rotor Oluk kaçak reaktansı, sarkan sarım kaçak reaktansı, zigzag kaçak reaktansı ve diferansiyel yada harmonik kaçak reaktanslarından oluşmaktadır.

Stator Oluk kaçak reaktansına ilişkin bir gösterim Şekil 3.12’de verilmiştir. Burada Oluk geometrisinden kaynaklanan kaçak akı gösterilmeye çalışılmıştır.

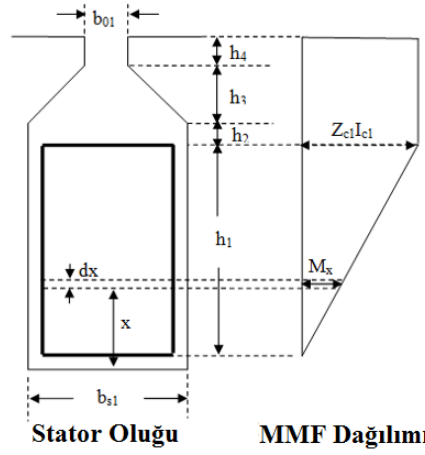


Şekil 3.12. Stator Oluğu Kaçak Reaktansı [61]

Stator Oluk kaçak reaktansını hesaplamak için aşağıdaki parametreleri göz önüne alırsak;

- I_{c1} = İletken Akımı (A)
- Z_{c1} = Oluk Başına İletken Sayısı
- Z_1 = Toplam İletken Sayısı
- N_{ph1} = Faz Başına Sarım Sayısı
- P = Kutup Sayısı
- q_1 = Oluk / Kutup /Faz

Buradan bir katmanlı bir Oluk geometrisi için bir Oluktaki toplam amper.conductor $=I_{c1} \cdot Z_{c1}$ ’dir. Şekil 3.13’ te kaçak reaktansı hesaplamak için ihtiyaç duyulan parametrelere ilişkin bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 3.13. Stator Oluk Kaçak Reaktans Hesaplama Parametreleri [61]

$$M_x = \frac{Z_{c1} I_{c1}}{h_1} x \quad (3.87)$$

$$\text{Gecirgenlik} = \mu_0 \frac{A}{L} = \mu_0 \frac{L dx}{b_{s1}} \quad (3.88)$$

Dolayısıyla;

$$d\phi_x = M_x \times \text{Manyetik yolun gecirgenliği} \quad (3.89)$$

$$d\phi_x = \frac{Z_{c1} I_{c1}}{h_1} x \times \mu_0 \frac{L dx}{b_{s1}} \quad (3.90)$$

Kaçak akı bağıntıları yeniden düzenlendiğinde (3.91) da yer alan denklerde görüleceği üzere x yükseklikteki akı bağıntısı bulunur.

$$d\psi_x = d\phi_x \text{ na bağıliiletken sayisi} \quad (3.91)$$

$$d\psi_x = \left(\frac{Z_{C1}}{h_1} x \right) \times \frac{Z_{c1} I_{c1}}{h_1} x \times \mu_0 \frac{L dx}{b_{s1}} \quad (3.92)$$

Şekil 3.34' de gösterilen h1 yüksekliğindeki akı bağıntısı için (3.92) yeniden düzenlendiğinde;

$$\psi_{h1} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} \frac{L}{b_{s1}} \int_0^{h_1} \left(\frac{x}{h_1} \right)^2 dx \quad (3.93)$$

$$\psi_{h1} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} L \frac{h_1}{3b_{s1}} \quad (3.94)$$

h2 yüksekliği için akı bağıntısı;

$$\psi_{h2} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} L \frac{h_2}{b_{s1}} \quad (3.95)$$

h3 yüksekliği için akı bağıntısı;

$$\psi_{h3} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} L \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} \quad (3.96)$$

h4 yüksekliği için akı bağıntısı;

$$\psi_{h4} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} L \frac{h_4}{b_{01}} \quad (3.97)$$

Toplam kaçak akı bağıntısı ise;

$$\psi_{s1} = \mu_0 Z_{C1}^2 I_{c1} L \left[\frac{h_1}{3b_{s1}} + \frac{h_2}{b_{s1}} + \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} + \frac{h_4}{b_{01}} \right] \quad (3.98)$$

Buradan hareketle Oluk kaçak akı indüktansı;

$$L_{s1} = \frac{\psi_{s1}}{I_{C1}} = Z_{C1}^2 L \mu_0 \left[\frac{h_1}{3b_{s1}} + \frac{h_2}{b_{s1}} + \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} + \frac{h_4}{b_{01}} \right] \quad (3.99)$$

$$L_{s1} = \frac{\psi_{s1}}{I_{C1}} = Z_{C1}^2 L [\lambda_s]$$

Buradaki spesifik Oluk geçirgenliği;

$$\lambda_s = \mu_0 \left[\frac{h_1}{3b_{s1}} + \frac{h_2}{b_{s1}} + \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} + \frac{h_4}{b_{01}} \right] \quad (3.100)$$

Faz başına oluk sayısı=Pq₁

Faz başına Oluk kaçak akı indüktansı;

$$L_{s1} / Faz = Pq_1 Z_{C1}^2 L [\lambda_s] \quad (3.101)$$

Toplam İletken Sayısı;

$$Z_1 = Z_{c1} \cdot 3q_1 \cdot P = 6N_{Ph1} \quad (3.102)$$

Dolayısıyla;

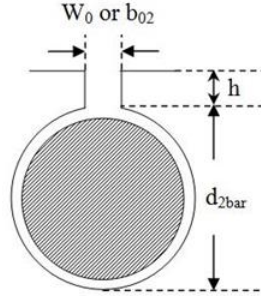
$$L_{s1} / Faz = 4\mu_0 \frac{N_{Ph1}^2}{Pq_1} L \left[\frac{h_1}{3b_{s1}} + \frac{h_2}{b_{s1}} + \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} + \frac{h_4}{b_{01}} \right] \quad (3.103)$$

Oluk kaçak akı reaktansı;

$$X_{s1} = 2\pi f L_{s1} / \text{Faz} \quad (3.104)$$

$$X_1 = X_{s1} = 8\pi f \mu_0 \frac{N_{ph1}^2}{Pq_1} L \left[\frac{h_1}{3b_{s1}} + \frac{h_2}{b_{s1}} + \frac{2h_3}{(b_{s1} + b_{01})} + \frac{h_4}{b_{01}} \right] \quad (3.105)$$

Rotor Oluk kaçak akı reaktansı ise Şekil 3.14’de gösterilen rotor barının kesit alanı ve parametreleri üzerinden bulunur.



Şekil 3.14. Rotor Oluk Kaçak Reaktans Hesaplama Parametreleri [61]

Rotor Oluk ağzı ve yüksekliği ile Oluk yükseliği arasında bazı oranlar mevcuttur bu oranlar (3.106) de verilmiştir.

$$W_0 = b_{02} = (0.2 \text{ to } 0.4) d_{2bar}$$

$$h = 1 \text{ to } 3 \text{ mm} \quad (3.106)$$

Buradan hareketle faz başına rotor reaktansı;

$$X_2 = 8\pi f \frac{N_{ph2}^2}{Pq_2} L [\lambda_r] \quad (3.107)$$

Burada rotor için spesifik geçirgenlik;

$$\lambda_r = \mu_0 \left(0.623 + \frac{h}{W_0} \right) \quad (3.108)$$

Buradaki;

$$N_{ph2} = \frac{S_2}{2 \times 6} \quad (3.109)$$

Sarkan sarım kaçak akı reaktansı ise (3.109) caki şekilde hesaplanır;

$$X_0 = 8\pi f \frac{N_{ph1}^2}{Pq_1} l_0 [\lambda_0] \quad (3.110)$$

Buradaki parametreler;

$\lambda_0 = \text{Sarkan Sarımdaki Gecirgenliği}$

$$\lambda_0 = \mu_0 K_s \frac{\tau_p^2}{l_0 \pi \tau_{sg}} \quad (3.111)$$

$l_0 = \text{Sarkan Sarımdaki İletkenin Uzunluğu}$

$K_s = \text{Oluk Kaçak Akı Faktörü}$

Zigzag kaçak akı reaktansı ise (3.112) de bulunur;

$$X_z = \frac{5}{6} X_m \left(\frac{1}{S_{p1}^2} + \frac{1}{S_{p2}^2} \right) \quad (3.112)$$

Buradaki parametreler;

$$X_m = \frac{V_{ph1}}{I_m} \quad S_{p1} = \frac{S_1}{P} \quad \& \quad S_{p2} = \frac{S_2}{P} \quad (3.113)$$

Diferansiyel yada harmonik kaçak reaktansı ise;

$$X_h = X_m (K_{h1} + K_{h2}) \quad (3.114)$$

Buradaki; K_{h1} & K_{h2} rotor ve stator faktörleridir.

Dolayısıyla toplam kaçak akı reaktansı stator için aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$X_{01} = X_1 = X_{s1} + X_2' + X_0 + X_z + X_h \quad (3.115)$$

4. TAGUCHI METODU İLE ASENKRON MOTORUN TASARIM VE OPTİMİZASYONU

Bu bölümde elektrikli araç (EA) teknolojileri, araç dinamiği ve asenkron motor parametreleri incelenmiştir. Araç dinamiği üzerine yapılan incelemelerden, binek bir araç için motor performans gereksinimleri hesaplanmıştır. Asenkron motor performans karakteristiği ve tasarım parametreleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Arzu edilen motor performans gereksinimlerini elde etmek için, Taguchi metodu ile asenkron motor için önem derecesi düşük parametreler elenmiştir. Asenkron motor için kritik parametrelerin belirlenmesinin ardından motor parametreleri optimize edilerek tasarım tamamlanmıştır. Sonuç olarak Taguchi metodu ve belirlenen bir standart sapma değerini kullanarak asenkron motor tasarımında önem derecesi düşük parametrelerin elenmesiyle uzun analiz sürelerinden kaynaklanan zaman israfının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

4.1. Asenkron Motor ve Parametreleri

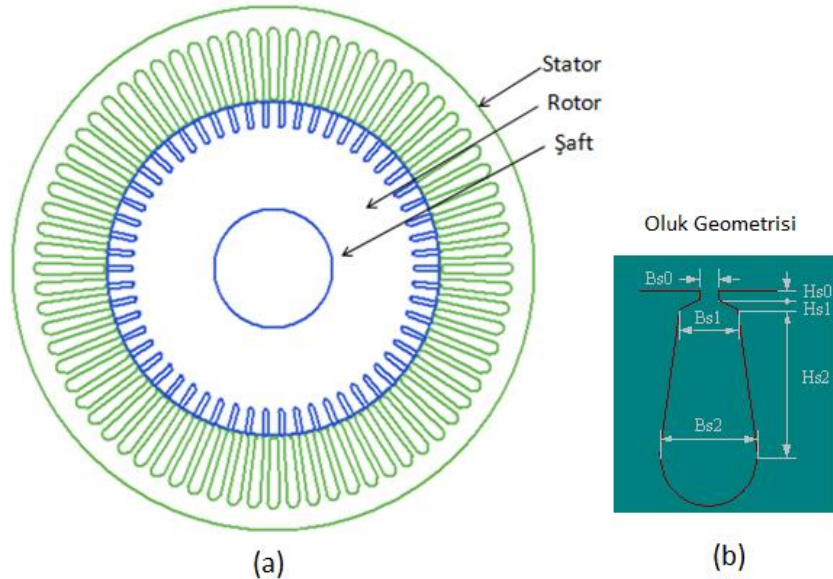
İndüksiyon motorları iki kategoride sınıflandırılırlar. Bunlar; sincap kafes ve sargı rotordur. Sincap kafes de, sargıları yapılmış stator doğrudan kaynağa bağlanır, rotor sargısı ise uzunlamasına barlar ile rotorun dışına yerleştirilir ve barlar kısa devre çubuğu ile kısa devre edilir. Sargı Rotor ise rotor barları dışında sincap kafese benzer. Sargı Rotor da rotor sarımları izole edilerek yapılır. Şekil 4.1' de bir indüksiyon motoru gösterilmiştir [62].



Şekil 4.1. Asenkron (indüksiyon) Motor Yapısı

İndüksiyon / Asenkron motorların faz girişlerine uygulanan gerilim, stator sarımlarından bir akım akmasına ve dolayısıyla bir manyetik alan oluşmasını sağlar. Bu manyetik alanın dönme hızı ise senkron hız olarak adlandırılır. Buradaki senkron hız uygulana faz gerilimin frekansı ile motor üzerindeki kutup sayısına bağlıdır. Dönen manyetik alan, rotor çubukları üzerinde bir gerilim indüklemektedir. Bu gerilim manyetik alanın hızına, manyetik akı yoğunluğuna, manyetik alandaki iletkenin (rotor çubuklarının) uzunluğuna bağlıdır. Burada rotor üzerinden akım rotor manyetik alanını doğurur. Dolayısıyla makine üzerinde indüklenen tork, stator ve rotorun oluşturduğu manyetik alanlara bağlıdır. Asenkron bir motorun eşdeğer devre modeli, bir transformatör gibi modellenerek çıkartılabilmektedir [60].

Asenkron bir motora ait kesit görüntüsü Şekil 4.2(a) ve oluk geometrisi Şekil 4.2(b)'de verilmiştir. Burada asenkron motor için stator iç ve dış çapları ile rotor çapı, hava aralığı mesafesi, rotor ve stator olukları ile shaft çapına ilişkin gösterimlere yer verilmiştir. Asenkron bir motor; makine, performans, stator ve rotor parametreleri ile tasarlanırlar. Makine parametrelerini, kutup sayısı, sürtünme-rüzgar kayıpları ve kayıp faktörleri oluşturmaktadır. Performans parametreleri ise çıkış gücü, giriş gerilimi, çıkış devri ve uygulanan şebekenin frekansı belirler.



Şekil 4.2 (a) Asenkron Motorun Kesit Görünümü ve (b) Oluk Geometrisi

Stator parametreleri ise statorun iç-dış çapları, motor uzunluğu ile oluk sayısı belirlemektedir. Bunlarla beraber stator oluk geometrisi ve stator sargı parametreleri statoru oluşturan diğer öğelerdir. Rotor parametreleri de, stator parametreleri ile benzerdir, rotor iç-dış çapları, motor uzunluğu, oluk sayısı, oluk geometrisi ve rotor sargı parametrelerinden oluşmaktadır.

Tablo 4.1. Deney Tasarımı için Kullanılacak Asenkron Motor Parametreleri

Teknik Özellikler	Parametre İsimleri
Makine Özellikleri	Kutup Sayısı
Performans Özellikleri	Giriş Gerilimi (V)
	Frekans (Hz)
Stator	Stator Dış Çapı (mm)
	Stator İç Çapı (mm)
	Motor Uzunluğu (mm)
	Stator Oluk Sayısı
Stator Sargısı	İletken Sayısı
	Teldeki Damar Sayısı
	Tel Çapı (mm)
Rotor	Şaft Çapı (mm)
	Rotor Oluk Sayısı
Rotor Sargısı	Halka Yüksekliği (mm)
	Halka Genişliği (mm)

Bu çalışmada asenkron motor tasarımı için kritik tasarım parametrelerinin belirlenmesi için Tablo 4.1’de gösterilen temel motor tasarım parametreleri kullanılmıştır. Tablo 4.1’de gösterilmeyen diğer motor tasarım parametreleri sabit kabul edilerek bunlara ilişkin değerler Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Tablo 4.2’de sürtünme-rüzgar kayıpları, kayıp faktörü ve rotor ile stator oluk geometrilerine dair değerler verilmiştir.

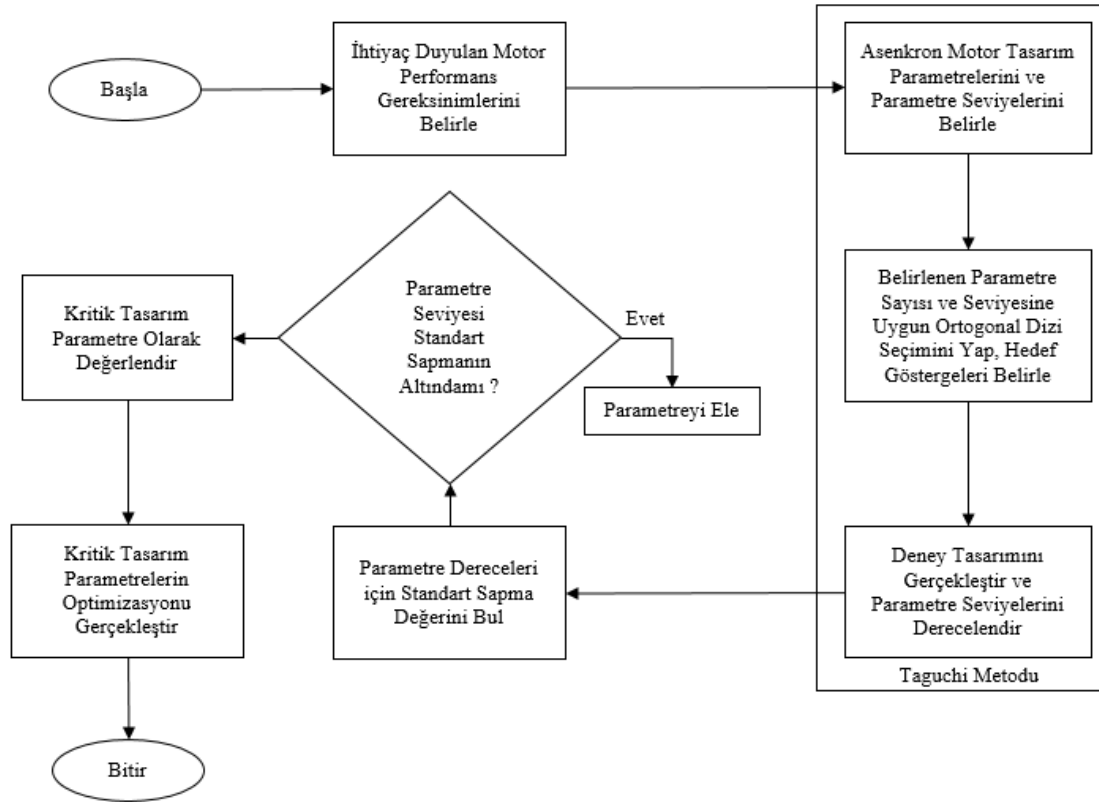
Tablo 4.2. Sabit Kabul Edilen Motor Tasarım Parametreleri

Teknik Özellikler	Parametre İsimleri	Değer
Motor Özellikleri	Rastsal Kayıp Faktörü	0.02
	Sürtünme Kaybı	150 Watt
	Rüzgar Kaybı	0 Watt
Stator Özellikleri	Yığılma Faktörü	0.92
	Hs0	0.8 mm
	Hs1	0.52 mm
Stator Oluk Parametreleri	Hs2	39.48 mm
	Bs0	3 mm
	Bs1	4.8 mm
Stator Sargı Parametreleri	Bs2	8.2 mm
	Paralel Kol Sayısı	1
	Tel Çapı İçin İzolasyon	0.09 mm
Rotor Özellikleri	Yığılma Faktörü	0.92
	Hs0	0.5 mm
	Hs01	0 mm
Rotor Oluk Parametreleri	Hs1	0.66 mm
	Hs2	14.34 mm
	Bs0	1 mm
	Bs1	3.3 mm
	Bs2	3.3 mm

4.2. Deneysel Metod

Bu çalışmada önerilen metot, elektrikli bir araç için ihtiyaç duyulan motor gereksinimlerini sağlayacak bir motorun tasarımı ve analizi ile ilgilidir. Metot performans değerleri belirlenen bir elektrik motorunun kritik parametrelerinin belirlenmesi ve ardından kritik parametreler üzerinden optimizasyonu ile arzu edilen performans değerlerine ulaşmayı amaçlamaktadır. Metodun merkezinde Taguchi'nin deney tasarımı

yöntemi ile tasarım parametrelerinin derecelendirilmesi ve standart sapma değeri ile önemsiz parametrelerin elenmesi yer almaktadır. Taguchi ve standart sapma değeri ile belirlenen kritik tasarım parametreleri optimizasyon işlemi ile son bularak arzu edilen hedef değerlere ulaşmayı sağlamaktadır. Deneysel metoda ait akış diyagramı Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kritik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi ve Optimizasyonu için Akış Diyagramı

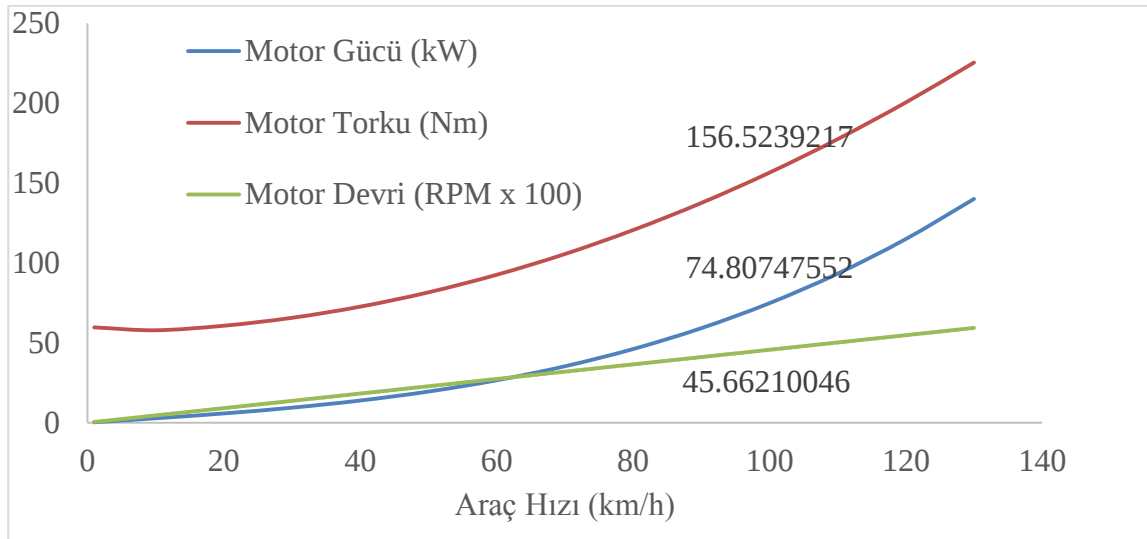
4.3. Motor Performans Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Yapılan araştırmalar doğrultusunda Türkiye pazarında olan 3 tip binek araç ve bunlardan 2 tanesinin Avrupa pazarına sunulan elektrikli araç modelleri incelenerek, araç dinamiğine ait hesaplamaların yapılması için ortalama araç parametre değerleri belirlenmiştir. Belirlenen araç parametreleri Tablo 4.3’ de verilmiştir.

Tablo 4.3. Araç Dinamiği Analiz Parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Aerodinamik Sürtünme Katsayısı	0,3	-
Hava Kütle Yoğunluğu	1,2	kg/m ³
Yuvarlanma Direnci	0,01	-
Araç Boş Ağırlığı	1300	kg
İvmelenme (0-100km/h)	12	sn
Tekerlek Genişliği	0,226	m
Tekerlek Çapı	0,73	m
Jant Çapı	0,4	m
Araç Genişliği	1800	mm
Araç Yüksekliği	1460	mm

Tablo 4.3’de parametreleri verilen aracın 0 derecelik bir eğimde 0-130 km/h analizi yapılmıştır. Motor performans parametreleri için tayin edilecek tork, güç ve devir değerlerine ilişkin alınan sonuçlar Şekil 4.4’de verilmiştir.

**Şekil 4.4.** 0-130km/h Araç Performans Gereksinimleri

Yapılan analizde 100 km/h hızdaki bir araç için gerekli olan performans değerlerinin Şekil 4.4’deki grafikte gösterildiği gibi 75 kW gücünde 156 Nm torka sahip bir aracın bu değerleri 4500 devir civarında sağladığını göstermektedir. Bu analiz 0 derecelik eğim için

gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla Türkiye şartlarında 10 derece eğime sahip bir yolda minimum Yolalma momentinin de hesaplanması gerekmektedir. Bu doğrultuda Tablo 4.3'deki araç için bu parametreler yeniden hesaplandığında, 1040 Nm lik bir Yolalma torkunun sağlanması gerektiği tespit edilmiştir. Hesaplanan motor gereksinimlerine ait sonuçlar Tablo 4.4'de birleştirilmiştir.

Tablo 4.4. Motor Performans Gereksinimleri

Yol Alma Momenti @ 10 Derece Eğim	Anma Momenti @ 4500 RPM	Anma Gücü @ 4500 RPM
1040 Nm	156 Nm	75 kW

Tablo 4.4' de gösterilen motor performans değerleri önden ya da arkadan çekişli (4x2) araç sistemleri için merkezi motor bloğunun performans değerleridir. Bu çalışmada tasarımı ön görülen asenkron motor paketi araç tekerleği ile sınırlıdır. Aynı zamanda bu asenkron motor hem önden hem arkadan çekişli bir araç (4x4) için gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla Tablo 4.4' de verilen motor performans değerleri yeniden ele alınarak çeyrek araç modeli üzerinden Tablo 4.5' deki gibi güncellenir.

Tablo 4.5. 4x4 Çeyrek Araç Motor Performans Gereksinimleri

Yol Alma Momenti @ 10 Derece Eğim	Anma Momenti @ 4500 RPM	Anma Gücü @ 4500 RPM
260 Nm	39 Nm	18,75 kW

4.4. Asenkron Motor için Kritik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada ele alınan asenkron motor için yapılan tasarım ve optimizasyon çalışmalarında Taguchinin deney tasarım metodu kullanılmıştır. Bu method, temel anlamda bir sistemin fonksiyonelliğini etkileyen 2 faktör olduğunu belirtmektedir. Bu faktörlerden ilki kontrol faktörü ikincisi ise gürültü faktörüdür. Buradaki kontrol faktörü değişken ve kontrol edilebilirken, gürültü faktörleri değişken olmakla beraber kontrol edilmeler bazen imkansız olabilmektedir. Taguchi yöntemi gürültü varyasyonlarından daha az etkilenen kontrol faktörlerinin bulunmasını sağlar. Böylece optimizasyonu sağlayabilecek kararlı kontrol değişkenleri elde edilmiş olur [63,64].

4.5. Deney Tasarımının Belirlenmesi

Bu bölümde Tablo 4.1’de gösterilen bir asenkron motora ait 14 parametre için alt ve üst limitler belirlenmiştir. Alt ve üst limitler için belirlenen 2 seviyeye ait değerler Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Asenkron Motor Parametreleri Deney Tasarım Seviyeleri

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2
Kutup Sayısı	2	6
Giriş Gerilimi (V)	380	690
Frekans (Hz)	50	300
Stator Dış Çapı (mm)	330	360
Stator İç Çapı (mm)	190	230
Motor Uzunluğu (mm)	255	305
Stator Oluk Sayısı	54	72
İletken Sayısı	1	6
Teldeki Damar Sayısı	1	5
Tel Çapı (mm)	0.81	1.15
Şaft Çapı (mm)	60	80
Rotor Oluk Sayısı	48	68
Halka Yüksekliği (mm)	35	45
Halka Genişliği (mm)	12	20

Asenkron motor için belirlenen 14 parametre ve 2 seviye için Tablo 4.7’de gösterilen Taguchinin ortogonal dizi seçim matrisi kullanılarak deney tasarım tablosu belirlenmiştir. Burada 14 parametre ve 2 seviye için Tablo 4.7, L16 deney dizisinin uygun olduğunu göstermektedir. L16 ortogonal dizisi Tablo 4.1 ve Tablo 4.6 için uygulandığında Tablo 4.8’de gösterilen 16 deneyden oluşan deney dizisi ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.7. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Matrisi

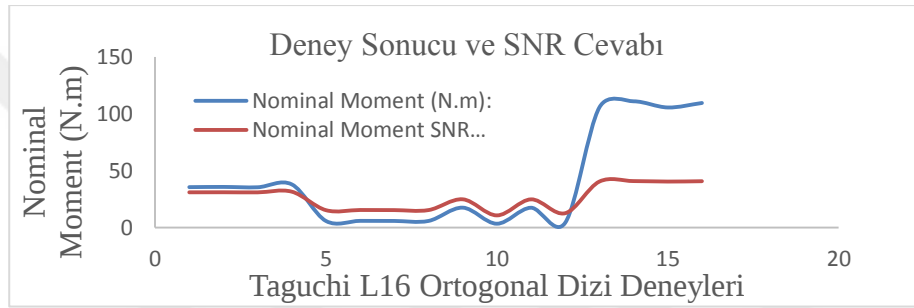
		Parametre Sayısı											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Seviye Sayısı	2	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16	L16	L16	L16
	3	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27	L27	L36	L36
	4	L'16	L'16	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32					

Tablo 4.8. Taguchi Ortogonal Deney Tasarım Tablosu (14 Parametre 2 Seviye için L16)

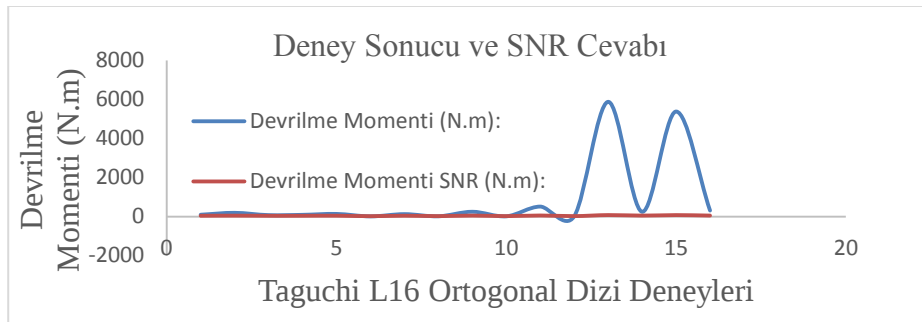
Deneyler	Kutup Sayısı	Giriş Gerilimi	Frekans	Stator Dış Çapı	Stator İç Çapı	Motor Uzunluğu	Stator Oluk Sayısı	İletken Sayısı	Teldeki Damar Sayısı	Tel Çapı	Şaft Çapı	Rotor Oluk Sayısı	Halka Yüksekliği	Halka Genişliği
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2

4.6. Deney Tasarımının Gerçekleştirilmesi

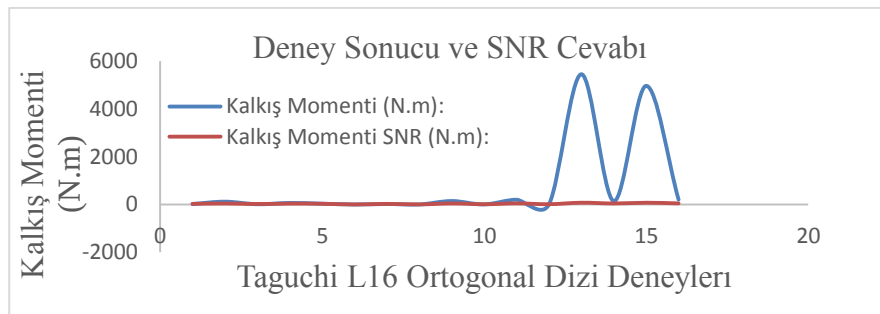
Tablo 4.8’de verilen deneyler Ansys RMXprt programında analiz edilmiştir. Yapılan 16 deney nominal/anma momenti, devrilme/maksimum moment, Yolalma/yol alma momenti, güç faktörü, nominal/anma devri ve verim bakımında ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait veriler Şekil 4.5’den Şekil 4.10’a kadar ilgili parametre ve o parametreye ait işaret gürültü oranı (SNR) değerleri açısından grafikler üzerinde gösterilmiştir.



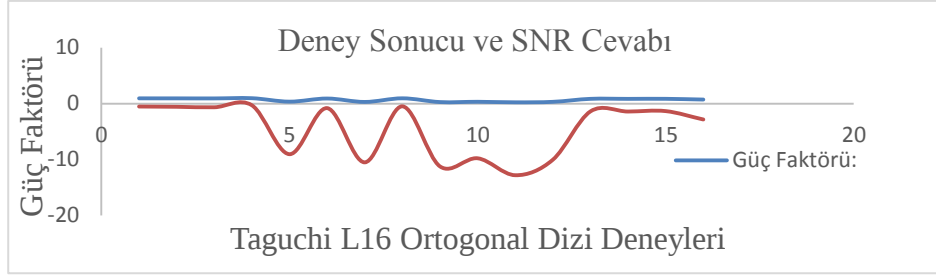
Şekil 4.5. Nominal/Anma Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı



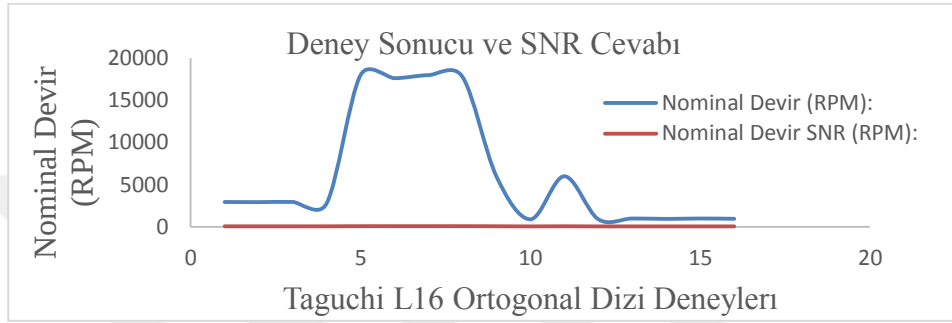
Şekil 4.6. Devrilme/Maksimum Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı



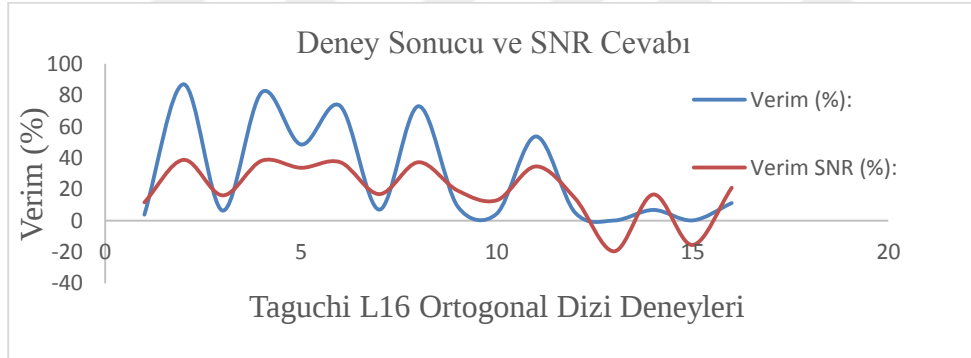
Şekil 4.7. Yolalma/Yol alma Momenti için Deney Sonucu ve SNR Cevabı



Şekil 4.8. Güç Faktörü için Deney Sonucu ve SNR Cevabı



Şekil 4.9. Nominal/Anma Devri için Deney Sonucu ve SNR Cevabı



Şekil 4.10. Verim için Deney Sonucu ve SNR Cevabı

4.7. Deney Sonuçlarının Analiz Edilmesi

Nominal/anma momenti, devrilme/maksimum moment, Yolalma/yol alma momenti, güç faktörü, nominal/anma devri ve verim için elde edilen SNR değerleri Tablo 4.1’de verilen parametrelerin hangi oranda etkili olduğunu göstermektedir. Alınan SNR değerleri Taguchi metodu ile parametrelerin seviye 1 ve seviye 2 değerleri bakımından nasıl bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. İlgili parametre için seviye 1 ve seviye 2 arasındaki mutlak fark bir delta ifadesi ile temsil edilmektedir. Buradaki delta o parametrenin ele alınan analiz için ne derecede önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada yapılan analiz

sonucu elde edilen delta değerleri sıralandığında Tablo 4.9’de verilen gösterim elde edilmektedir.

Tablo 4.9. Kritik Motor Tasarım Parametrelerinin Derecelendirilmesi

Parametreler	Nominal Moment (N.m): Sıralama	Devrilme Momenti (N.m): Sıralama	Yolalma Momenti (N.m): Sıralama	Nominal Devir (RPM): Sıralama	Verim (%): Sıralama	Güç Faktörü: Sıralama
Kutup Sayısı	2	3	2	1	1	2
Giriş Gerilimi (V)	4	5	6	4	6	4
Frekans (Hz)	1	2	1	2	3	1
Stator Dış Çapı (mm)	11	13	14	14	13	8
Stator İç Çapı (mm)	14	10	8	10	7	10
Motor Uzunluğu (mm)	9	11	12	9	9	14
Stator Oluk Sayısı	12	8	11	12	12	12
İletken Sayısı	6	1	3	3	2	3
Teldeki Damar Sayısı	5	4	4	5	10	5
Tel Çapı (mm)	3	6	5	6	4	6
Şaft Çapı (mm)	7	7	7	7	5	7
Rotor Oluk Sayısı	10	12	10	13	14	11
Halka Yüksekliği (mm)	13	14	13	11	11	9
Halka Genişliği (mm)	8	9	9	8	8	13

Bu çalışma dahilinde kritik parametrelerin daha iyi sınıflandırılabilmesi ve ayırt ediciliğinin ortaya çıkartılması için, elde edilen delta değerlerine standart sapma formülüzasyonu uygulanarak standart sapma değerinin üstünde kalan değerler gri tema ile renklendirilmişlerdir. Bu bölümde özetle Tablo 4.9’ değerlendirildiğinde, örneğin nominal moment faktörü için standart sapma üzerinde kalan parametreler ilk olarak frekans parametresi olmak üzere ikinci ise kutup sayısı parametresidir.

Diğer taraftan Tablo 4.9. bir bütün olarak ele alındığında, nominal/anma momenti, devrilme/maksimum moment, Yolalma/yol alma momenti, güç faktörü, nominal/anma

devri ve verim faktörleri için kritik parametrelerin; Kutup Sayısı, Giriş Gerilimi, Frekans, İletken Sayısı, Teldeki Damar Sayısı ve Tel Çapı olduğu görülmektedir.

4.8. Asenkron Motor Analizi

Kritik parametrelerin belirlenmesinin ardından, asenkron motordan istenilen performans değerleri için tekrar analiz ve optimize edilmesi gerekir. Bu çalışmada yapılan analizler Ansys RMXprt programı ile gerçekleştirilmektedir. Varsayılan asenkron motora ait parametreler ve sonuçları Tablo 4.10’de verilmiştir, gösterilen performans değerlerinin Tablo 4.5 ‘de gösterilen performans değerlerine ulaşabilmesi için bir analiz dizisi daha gerçekleştirilerek istenilen değerler optimize edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.10. Varsayılan Asenkron Motora Ait Parametreler ve Performans Göstergeleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Sonuçlar	Değer
Kutup Sayısı	6	İletken Sayısı	6	Yolalma Momenti (Nm)	284
Giriş Gerilimi (V)	380	Teldeki Damar Sayısı	5	Devrilme Momenti (Nm)	443
Frekans (Hz)	50	Tel Çapı (mm)	1.06	Nominal Momenti (Nm)	187
Stator Dış Çapı (mm)	327	Şaft Çapı (mm)	75	Nominal Devir (RPM)	957
Stator İç Çapı (mm)	210	Rotor Oluk Sayısı	58	Güç Faktörü	0.868
Motor Uzunluğu (mm)	280	Halka Yüksekliği (mm)	40	Verim (%)	81.9
Stator Oluk Sayısı	72	Halka Genişliği (mm)	16		

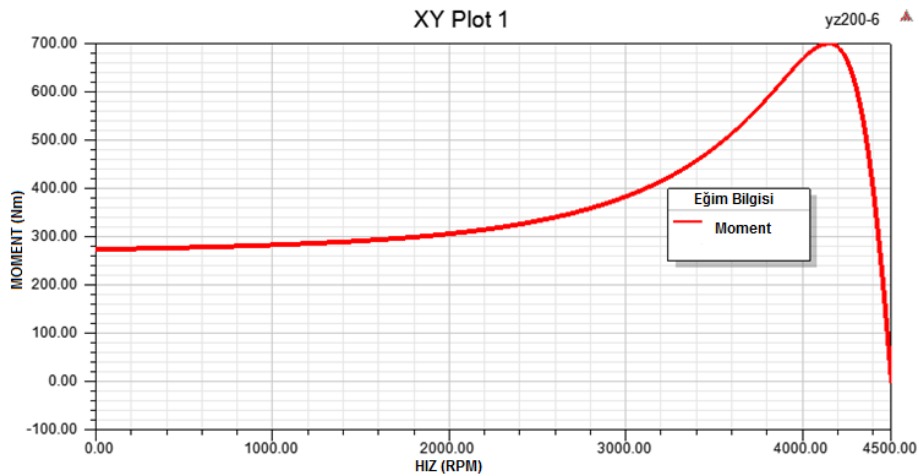
Tablo 4.5’da gösterilen asenkron motor performans değerlerine ulaşılabilmek için Taguchi metodu ve standart sapma değeri ile belirlenen 6 kritik asenkron motor parametreler üzerinden optimize edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve optimize edilen giriş parametreleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Varsayılan Asenkron Motora Ait Parametreler ve Performans Göstergeleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Sonuçlar	Değer
Kutup Sayısı	6	İletken Sayısı	3	Yolalma Momenti (Nm)	273
Giriş Gerilimi (V)	690	Teldeki Damar Sayısı	5	Devrilme Momenti (Nm)	700
Frekans (Hz)	225	Tel Çapı (mm)	1.7	Nominal Momenti (Nm)	40
Stator Dış Çapı (mm)	330	Şaft Çapı (mm)	75	Nominal Devir (RPM)	4490
Stator İç Çapı (mm)	210	Rotor Oluk Sayısı	58	Güç Faktörü	0.28
Motor Uzunluğu (mm)	200	Halka Yüksekliği (mm)	40	Verim (%)	79.53
Stator Oluk Sayısı	72	Halka Genişliği (mm)	16		

Bu çalışmada farklı varyasyonlardaki araç dinamikleri ve performansları değerlendirilerek, ortalama binek bir araç için ihtiyaç duyulan motor performans karakteristiği çıkartılmıştır. Ardından arzu edilen bu performans değerlerine ulaşmak için asenkron motor karakteristiği ve parametreleri incelenmiştir.

Asenkron motor için kritik parametrelerin belirlenmesi adına Taguchi'nin yöntemi kullanılmıştır. Arzu edilen performans değerlerine ulaşmak için etki oranı düşük parametreler elenip kritik parametre varyasyonlarının kullanılması ile asenkron motorun optimize edilmesi sağlanmıştır. Tablo 4.11'de gösterilen yeşil renkle vurgulanmış 6 kritik asenkron motor parametresi ile arzu edilen asenkron motor moment-hız eğrisine ulaşılmıştır. Optimize edilmiş motora ait moment-hız eğrisi Şekil 4.11'de verilmiştir.

**Şekil 4.11.** Optimize Edilen Asenkron Motor Moment-Hız Eğrisi

Çalışmada izlenen metot sayesinde asenkron motorun tüm parametrelerine ait kombinasyonlarının oluşturacağı uzun analiz zamanını Taguchi yöntemi ile kısaltarak zaman israfının önüne geçilmesini sağlanmıştır. Bununla beraber Taguchi yöntemi, hangi faktörün hangi parametre ile ne derecede ilişkisi olduğunu da göstermektedir. Dahası elde edilen sonuçlar için daha hassas iyileştirme yapılmak istenildiğinde Taguchi yöntemi ile elenen parametrelerin elenme derecelerine göre tekrar ele alınıp arzu edilen asenkron motor performans değerlerine erişim yüzdesinin (%) artmasına da olanak tanımaktadır.

4.9. Tekerlek içi Asenkron Motor Tasarım ve Analiz Çalışmaları

Çalışmada bu bölüme kadar istenilen motor performans değerlerinin optimizasyonuna ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde ise tezin konusunu oluşturan radiaxial akıllı konik rotor ve statora sahip motor için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda motorun kesik koni olan görünümü baza alındığında büyük çapa sahip olan taraf bu bölüme kadar optimize olan motor olacak şekilde, küçük çapa sahip olacak taraf ise bir dizi anali sonucu belirlenmeye çalışılacaktır. Tablo 4.11 de verilen motor parametreleri aynı kalacak şekilde sadece motorun stator dış ve iç çap ile rotor çapının değiştiği bir kombinasyon deney dizisi Tablo 4.12’ de verilmiştir. Bölüm 4’teki çalışmaların hepsinde Motor uzunluğu 200 mm kullanılmıştır.

Tablo 4.12. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip Deney Tablosu

Deney No	Stator Dış Çapı (mm)	Stator İç Çapı (mm)	Rotor Çapı (mm)
1	330	210	209.2
2	320	200	199.2
3	310	190	189.2
4	300	180	179.2
5	290	170	169.2
6	280	160	159.2
7	270	150	149.2

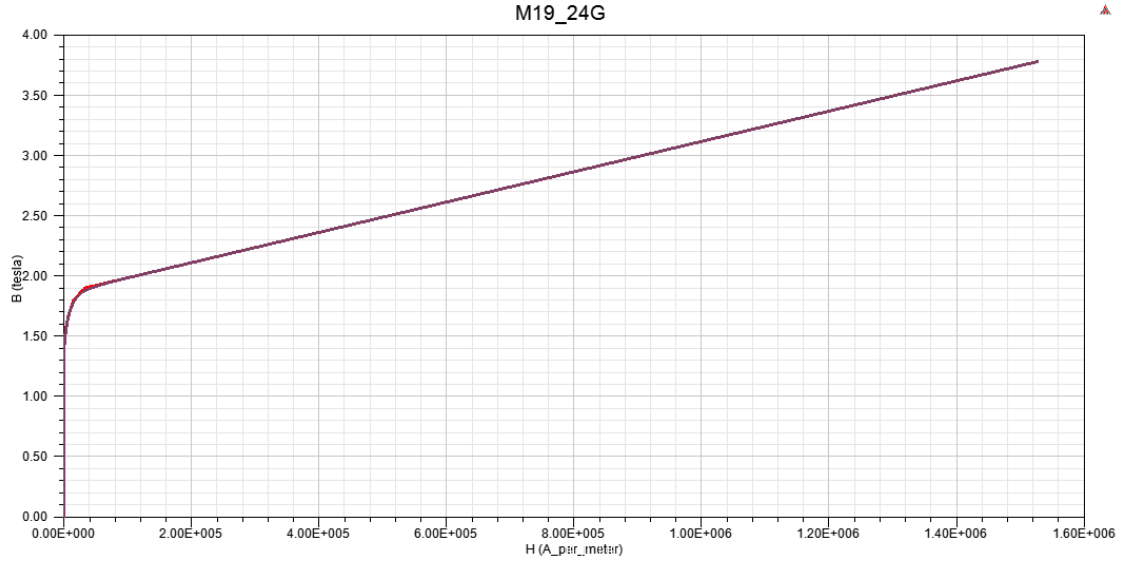
Stator ve rotor Oluk geometrilerinden kaynaklan izin verilebilen en düşük stator ve rotor çapları 270 mm ile 149.2 mm ile sınırlandırılmaktadır. Bu doğrultuda Tablo 4.12’ de verilen farklı geometrik yapılara sahip motorlar analizleri RMXprt de gerçekleştirildiğinde sonuçlar Tablo 4.13 ve Tablo 4.14’ deki gibi olmaktadır.

Tablo 4.13. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Nominal Moment (N.m):	Devrilme Momenti (N.m):	Yolalma Momenti (N.m):	Nominal Devir (RPM):	Verim (%):	Güç Faktörü:
1	40	700	273	4490	79.53	0.28
2	40	704.5	283	4490	77.99	0.227
3	40	697.8	290.3	4489	75.38	0.177
4	40	663.8	290.9	4488	69.24	0.127
5	40	607.11	282.9	4486	60	0.102
6	40	548.23	271	4484	50.73	0.0927
7	40	485.15	255.3	4480	42.04	0.0898
Orginal 50Hz,380V, Uzunluk 280mm,11kW	107.4	571.33	392.5	978	86.58	0.731
Orginal 50Hz,380V, Uzunluk 280mm,18.75kW	186.36	567	387	960.8	86.1	0.863
Orginal 225Hz,690V, Uzunluk 280mm,11kW	23.5	101.33	26.8	4478	86.23	0.88
Orginal 225Hz,690V, Uzunluk 280mm,18.75kW	40	101.32	26.78	4449	89.39	0.912

Tablo 4.14. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Stator	Rotor	Stator	Rotor	Hava
	Dışlarındaki	Dışlarındaki	Boyundaki	Boyundaki	Aralığındaki
	Akı	Akı	Akı	Akı	Akı
	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu
	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):
1	1.56226	1.22981	1.84697	0.602245	0.706256
2	1.72835	1.33062	1.85565	0.671569	0.740919
3	1.89783	1.4224	1.819	0.739579	0.764512
4	2.05194	1.48787	1.73035	0.802625	0.767656
5	2.21374	1.53951	1.61179	0.870193	0.75712
6	2.41268	1.58878	1.47871	0.95488	0.738019
7	2.68559	1.64165	1.3366	1.07363	0.711567
Orginal 50Hz,380V, Uzunluk 280mm,11kW	1.44383	1.13657	1.60832	0.524431	0.652715
Orginal 50Hz,380V, Uzunluk 280mm,18.75kW	1.41669	1.11521	1.56584	0.510577	0.640445
Orginal 225Hz,690V, Uzunluk 280mm	0.623216	0.490592	0.656887	0.214193	0.281739
Orginal 225Hz,690V, Uzunluk 280mm,18.75kW	0.612479	0.48214	0.645601	0.210513	0.276885



Şekil 4.12. Rotor ve Stator Malzemesi Olarak Kullanılan M19 24 G için BH Eğrisi

Tablo 4.13-4.14 ve Şekil 15 deki veriler ele alındığında, Şekil 4.12' nin gösterdiği 1.8 Teslalık doyma değeri tasarımı düşünülen motor için uygun bir boyutlandırma seçeneğinin elde edilemediğini göstermektedir. Bu doğrultuda Motor çapı için belirlenen konik geometride deki küçük çap 330mm olarak kabul edilip, geniş olan taraftaki çap için sınır olan değer 390mm olarak tayin edildiğinde yeni deney dizisi elde edilecektir. Bu deney dizisi Tablo 4.15 de gösterilmiştir. Bununla beraber Tablo 4.13 'deki değerler de güç faktörünün uygunsuz olduğunu da göstermektedir.

Tablo 4.15. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip Büyüyen Deney Tablosu

Deney No	Stator Dış Çapı (mm)	Stator İç Çapı (mm)	Rotor Çapı (mm)
1	330	210	209.2
2	340	220	219.2
3	350	230	229.2
4	360	240	239.2
5	370	250	249.2
6	380	260	259.2
7	390	270	269.2

Bu doğrultuda Tablo 4.15 de verilen farklı geometrik yapılara sahip motorlar analizleri RMXprt de gerçekleştirildiğinde sonuçlar Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'deki gibi olmaktadır.

Tablo 4.16. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Nominal Moment (N.m):	Devrilme Momenti (N.m):	Yolalma Momenti (N.m):	Nominal Devir (RPM):	Verim (%):	Güç Faktörü:
1	40	700	273	4490	79.53	0.28
2	40	690	264	4490	80.09	0.32
3	40	679	255	4490	80.36	0.358
4	40	671	249	4490	80.49	0.37
5	40	662	243	4490	80.6	0.38
6	40	655	238	4490	80.72	0.387
7	40	647	233	4490	80.8	0.391

Tablo 4.17. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Stator Dişlerindeki Akı Yoğunluğu (Tesla):	Rotor Dişlerindeki Akı Yoğunluğu (Tesla):	Stator Boyunundaki Akı Yoğunluğu (Tesla):	Rotor Boyunundaki Akı Yoğunluğu (Tesla):	Hava Aralığındaki Akı Yoğunluğu (Tesla):
1	1.56226	1.22981	1.84697	0.602245	0.706256
2	1.47233	1.18093	1.82927	0.54274	0.696904
3	1.39463	1.13665	1.81994	0.495344	0.687198
4	1.31781	1.08898	1.82225	0.458114	0.67279
5	1.23372	1.03188	1.81939	0.424954	0.650058
6	1.15649	0.977615	1.81769	0.39644	0.62684
7	1.08673	0.927346	1.81638	0.37155	0.604231

Tablo 4.16 ve Tablo 4.17 de alınan sonuçlar akı yoğunlukları ve güç faktörü açısından önceki analizlere göre iyileştirildiler. Fakat yine de stator yoke deki akı yoğunluğu ve güç faktörü istenilen durumda değiller. Bunun için bir dizi analiz daha gerekmektedir. Öncelikle stator yoke deki akı yoğunluğunu istenilen değer çekmek için Tablo 4.18 deki deney dizisi ile iyileştirilmeye çalışılacaktır.

Tablo 4.18. Stator ve Rotor Bakımından Farklı Geometrik Boyutlara Sahip İyileştirilmiş Deney Tablosu

Deney No	Stator Dış Çapı (mm)	Stator İç Çapı (mm)	Rotor Çapı (mm)
1	340	210	209.2
2	350	220	219.2
3	360	230	229.2
4	370	240	239.2
5	380	250	249.2
6	390	260	259.2
7	400	270	269.2

Tablo 4.18’de yer alan deneylere ait sonuçlar Tablo 4.19 ve Tablo 4.20 de verilmiştir.

Tablo 4.19. Motor Tasarım Deneylerine ait Performans Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Nominal Moment (N.m):	Devrilme Momenti (N.m):	Yolalma Momenti (N.m):	Nominal Devir (RPM):	Verim (%):	Güç Faktörü:
1	40	684	257	4491	81.72	0.412
2	40	658	238	4491	82.11	0.495
3	40	634	222	4491	82.23	0.557
4	40	613	209	4491	82.4	0.601
5	40	596	200	4491	82.52	0.627
6	40	582	191	4491	82.61	0.645
7	40	570	184	4491	82.75	0.661

Tablo 4.20. Motor Tasarım Deneylerine ait Akı Yoğunluğu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

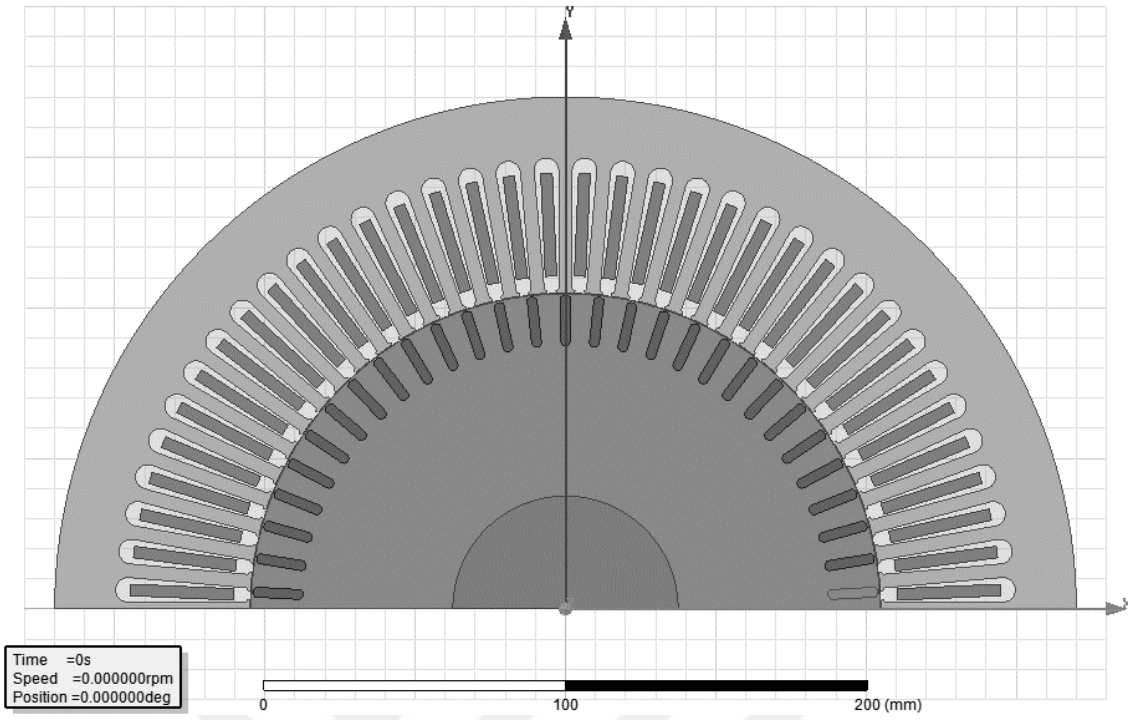
Deney No	Stator	Rotor	Stator	Rotor	Hava
	Dışlarındaki	Dışlarındaki	Boyunundaki	Boyunundaki	Aralığındaki
	Akı	Akı	Akı	Akı	Akı
	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu	Yoğunluğu
	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):	(Tesla):
1	1.5978	1.25778	1.45709	0.619386	0.722323
2	1.49687	1.20061	1.44375	0.558424	0.708518
3	1.42171	1.15872	1.43477	0.509087	0.700541
4	1.34143	1.1085	1.42784	0.467954	0.684849
5	1.25735	1.05164	1.42488	0.433863	0.662508
6	1.18025	0.997699	1.42326	0.404671	0.639717
7	1.10963	0.94689	1.42305	0.37948	0.616965

Tablo 4.19 ve Tablo 4.20 den alınan sonuçlar akı yoğunlukları ve güç faktörü açısından önceki analizlere göre iyileştirildiler. Bu durumda ihtiyaç duyulan Tablo 4.19 daki güç faktörünü istenilen seviyeye getirmektir.

Bu bölüme kadar olan çalışmalarda görülmüştür ki motorun konik yapısının 330mm başlayarak büyümesi akı yoğunluklarında doyma problemini çözmektedir. Fakat güç faktörü problemini tek bir frekans kontrolü ile gerçekleştirmek imkânsız olmaktadır. Bununla birlikte tasarımı düşünülen motorun giriş kontrolü voltaj / frekans kontrolü ile yapılması gerekmektedir. Ancak bu şekilde istenilen Yolalma torku ve anma torku elde edilerek aynı zamanda akı yoğunluklarının doyuma ulaşması engellenmiş ve istenilen güç faktörü seviyesine ulaşılmış olacaktır.

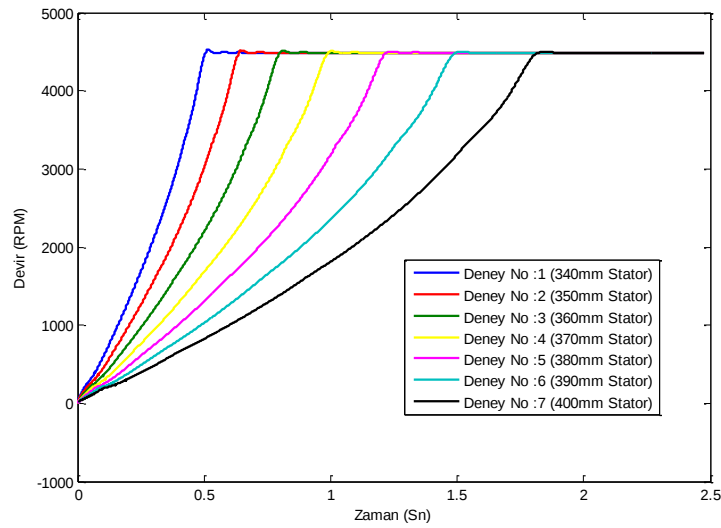
Ayrıca taguchi yönteminde görülmüştür ki giriş gerilimi ve frekansı güç faktörünü büyük ölçüde etkilemektedir.

Buradan hareketle Tablo 4.18’de yer alan 7 farklı motor için transient analizler gerçekleştirilmiştir. Transient analizi gerçekleştirilen motorlardan deney 1 e ait 2D model Şekil 4.13’de gösterilmektedir.

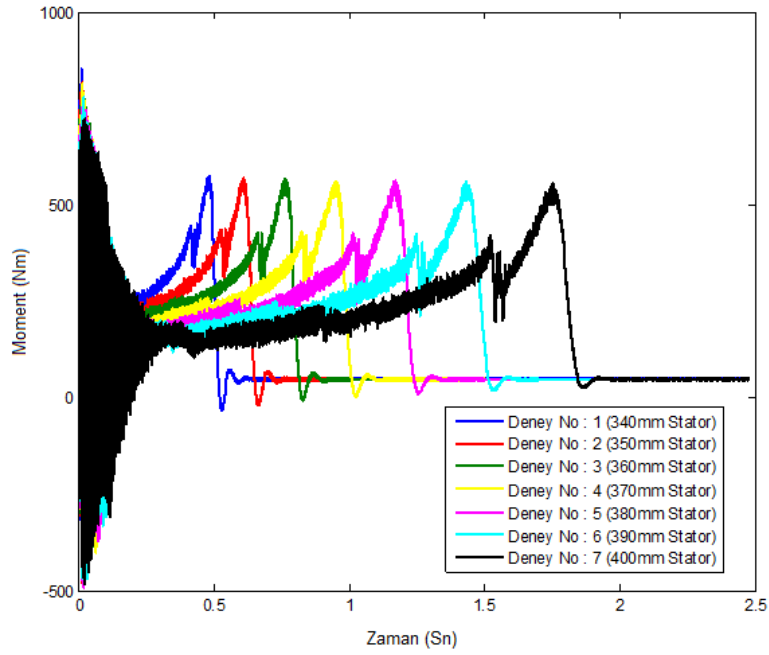


Şekil 4.13. Tablo 18 için Deney No : 1 2D Motor Modeli

Transient analizi gerçekleştirilen modeller için analiz süresi 2.5 sec ve analiz stepleri 0.25 msec seçilmiştir. Analizi yapılan modellere ait hızlanma ve tork değerinin nasıl değiştiğine ilişkin analiz her bir motor 225 Hz de çalıştırılarak denenmiştir. Elde Edilen Hızlanma grafiği Şekil 4.14’de verilmiştir.



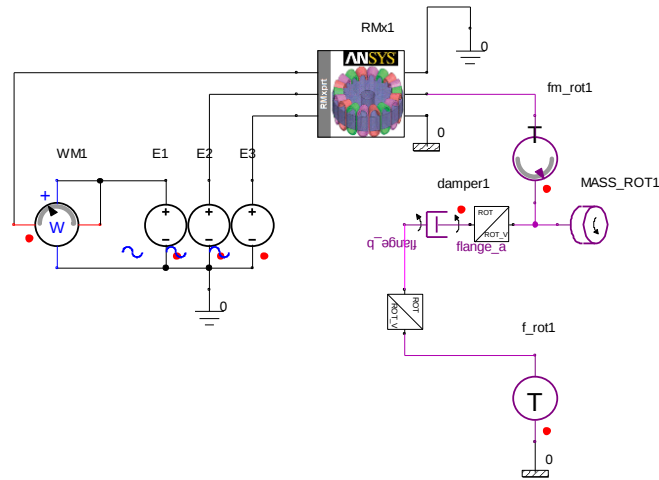
Şekil 4.14. Tablo 4.18 için Yapılan Transient Analizde Hızlanma Grafikleri



Şekil 4.15. Tablo 4.18 için Yapılan Transient Analizde Tork-Zaman Grafiği

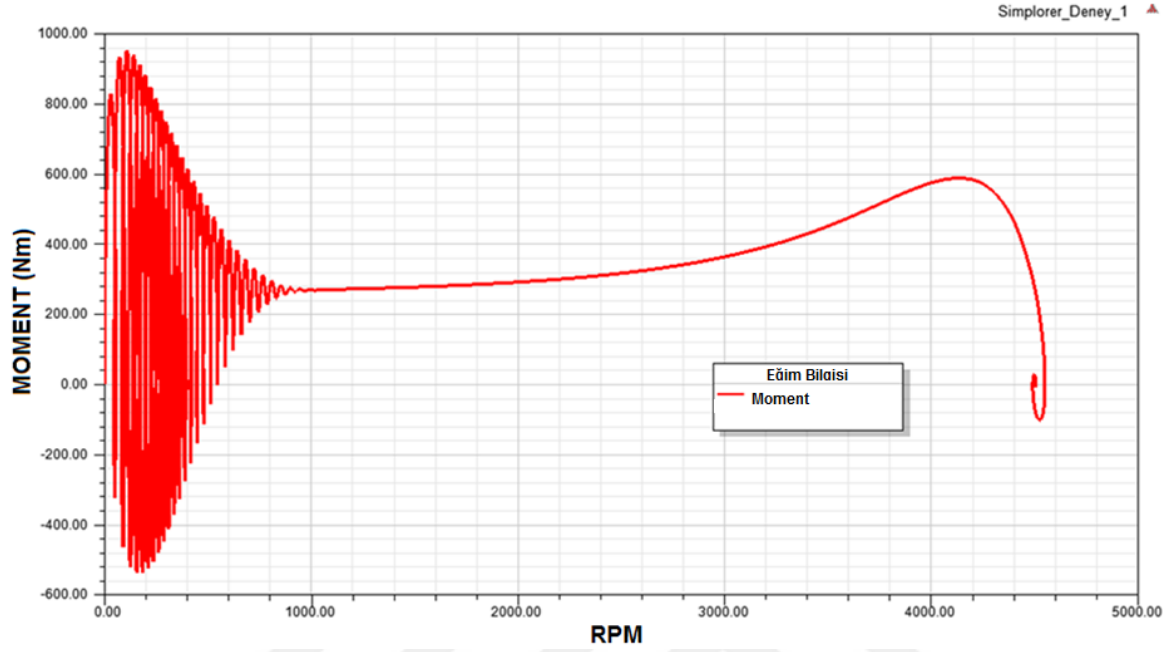
Tablo 4.18 de verilen deney dizilerine ait tork-zaman grafiği ise Şekil 4.15’de verilmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 de göstermektedir ki stator çapı arttıkça buna bağlı olarak hızlanma ve torklanma değerleri yavaşlamaktadır. Bu analizler motorun yüklü durumu için yapılmıştır ve motor kararlı hale geldiğinde anma momenti 40 Nm olurken devrilme momentleri 500 Nm ve yol alma momentleride 260 Nm lerde seyretmektedir.

Yapılan deneyler ek olarak simplorer da da test edilerek doğrulanmaya çalışılmıştır. Simplorer modeline ait bir görünüm Şekil 4.16’da verilmiştir.

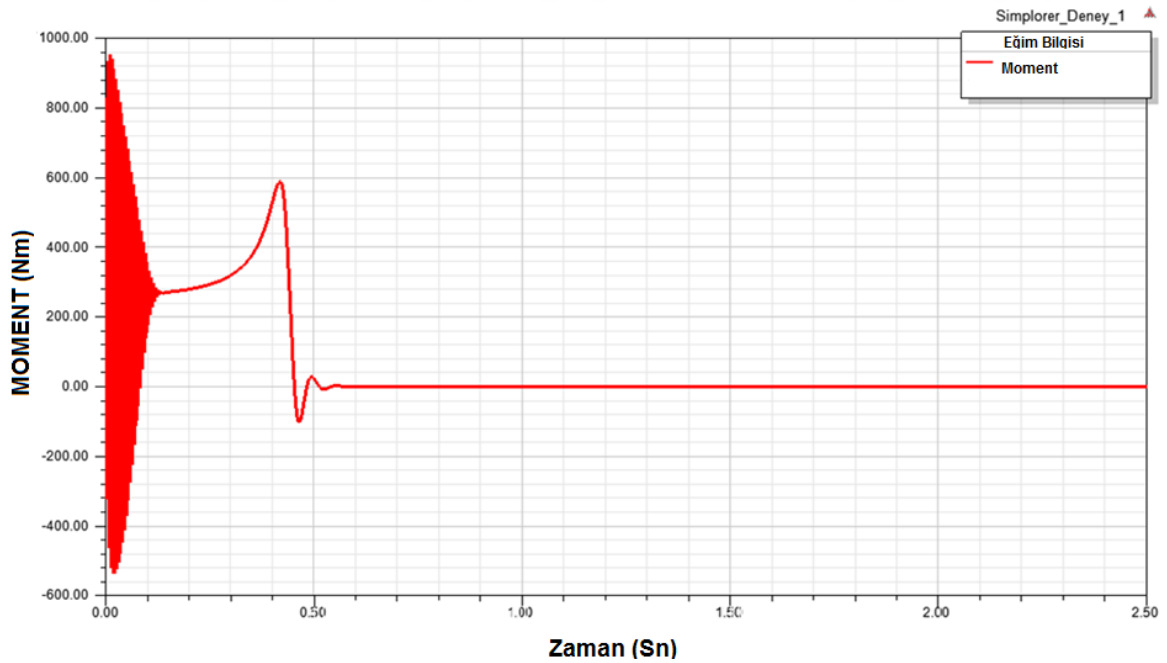


Şekil 4.16. Tablo 18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli

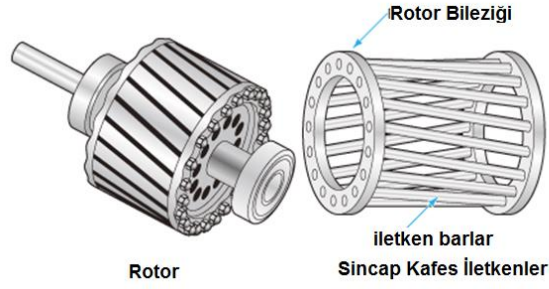
Şekil 4.16’da verilen model analiz edildiğinde elde edilen Moment Hız eğrisi Şekil 4.17’de ki grafikte verildiği gibidir. Aynı zamanda Şekil 4.15’ deki grafikte de birbirlerini doğrulamaktadırlar.



Şekil 4.17. Tablo 4.18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli Transient Analiz Grafiği (Moment-Hız Eğrisi)



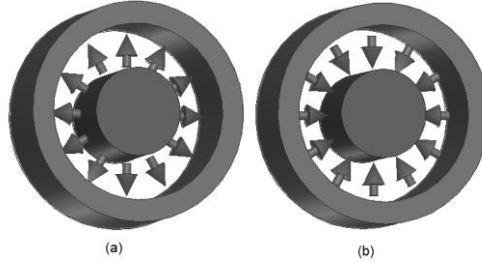
Şekil 4.18. Tablo 4.18 Deney 1 için Kurulan Simplorer Modeli Transient Analiz Grafiği (Moment-Zaman Eğrisi)



Şekil 4.20. Sincap Kafesli Asenkron Motor Rotor Yapısı

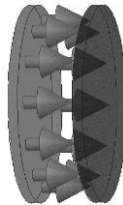
Motor boyutlarını uzunlamasına artmasını önlemek için konik bir yapıyla tekerlek için hacmini dolduracak yeni bir asenkron motor tasarımı düşünülmektedir. Bu yapı konik bir geometri ile asenkron motorun hem eksenel hem de radyal akı modunda eş zamanlı çalışmasını sağlayarak bileşke vektörün kullanılmasına ve maksimum verim ile tekerlek içi doğrudan tahrikli minimum verimli bir motor yapısı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Akı yolları temel anlamda radyal akılı, eksenel akılı ve bu ikisinin de eş zamanlı kullanılmaya çalışıldığı hem radyal hem eksenel akılı yapılarda çalışmaktadır. Şekil 4.21 'de radyal akılı bir motorun rotor yapısına ilişkin hem iç rotor, hem dış rotor konfigürasyonlarını göstermektedir.



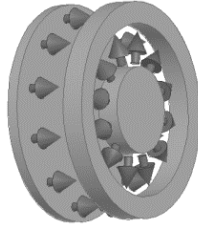
Şekil 4.21. Radyal Akılı Motor Yapısı, a) Dış Rotor Yapısı, b) İç Rotor Yapısı

Eksenel Akılı bir motor modeli ise Şekil 4.22'de gösterildiği gibidir. Bu modelde mavi oklar akı yollarını göstermektedir.



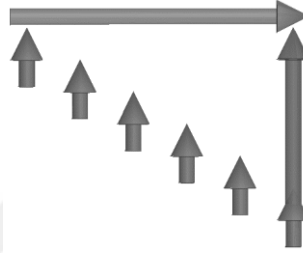
Şekil 4.22. Eksenel Akılı Motor Yapısı

Hem eksenel hem de radyal akı yolunu kullanan motor yapısı ise Şekil 4.23' de gösterildiği gibidir. Turuncu oklar eksenel, mavi oklar radyal akı yolunu göstermektedirler.



Şekil 4.23. Eksenel ve Radyal Akılı Motor Yapısı

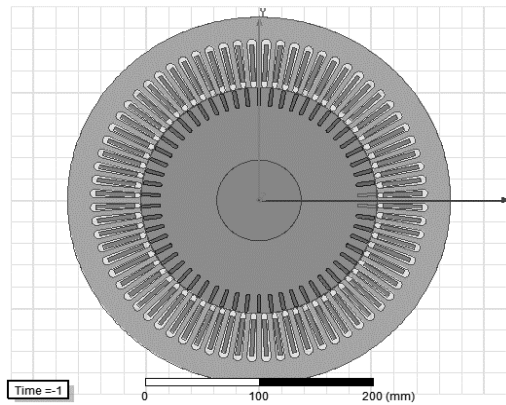
Sincap kafesli asenkron motor için düşünülen konik geometrili yapı radyal ve eksenel akıların bir bileşke kuvveti olan yapıdır. Bu yapıya ilişki vektörel gösterim Şekil 4.24’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Eksenel ve Radyal Akıların Bileşke Kuvvet Gösterimi

Şekil 4.24’de ki turuncu ok eksenel akı vektörünü, mavi ok radyal akı vektörünü ve pembe renk ile gösterilmiş oklar ise eksenel ve radyal akının bileşkesi olan radial-axial akı vektörünü göstermektedir.

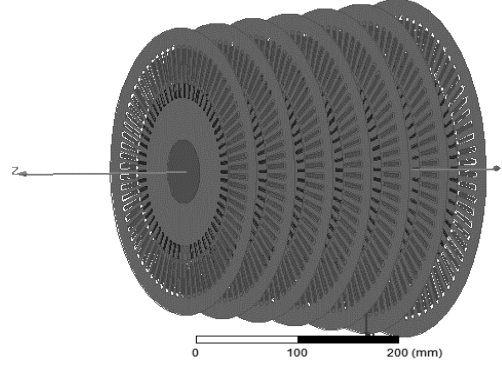
Sincap kafesli asenkron bir motor temel anlamda; rotor nüvesi, stator nüvesi, stator sargıları, rotor kısa devre çubukları, döner şaft ve yataklama işlemi yapan rulmanlardan oluşmaktadır.



Şekil 4.25. Tablo 4.18. Deney 1 Motor Maxwell 2D Modeli

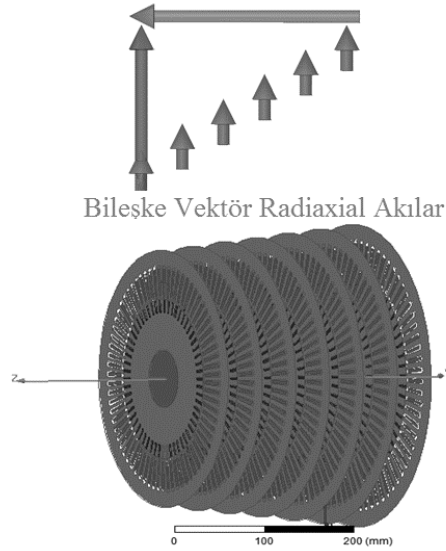
Tablo 4.18’de belirlenen motorlar tamamı radyal akılı motorlar olup deney 1 e ait motor modeli Şekil 4.25’de verilmiştir. Verilen motor modelinde motor şaftı, rotor ve stator

sargıları ile rotor ve statorun kendisine gösterilmektedir. Burada verilen motor çapları toplamda motor boyu 200mm olacak şekilde konik biçimde yerleştirilseydi oluşan görüntü Şekil 4.26’da ki gibi olmaktadır.



Şekil 4.26. Konik Yapılı Motor Fikri

Şekil 4.26’daki gösterim Tablo 4.18’de yer alan deneylerdeki motorların çapı büyük olan en alta gelecek şekilde ve çapı küçük olan en üstte olacak biçim toplamda boyu 200mm ye oturtulmuştur. Bu Şekil 4.25. ve Şekil 4.26. birlikte incelendiğinde Radiaxial akılı bir motorun oluşabilceği görülmektedir. Bu radiaxial motor fikri ise Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Radiaxial Akılı Motor Fikri

Tablo 4.18’de yer alan tüm motor setupları 200mm boyundadır. Radyal akılı tüm motorlar ürettikleri tork bakımından uzunlukları ile doğru orantılı kabul edilirler ($F=BIL$). Dolayısıyla 200mm lik bir motorun ürettiği tork düşünüldüğünde uzunluk başına düşen tork miktarı $tork/200mm$ şeklinde hesaplanarak bulunabilir.

5. İKİ YOLCULU BİR ARAÇ İÇİN ELEKTRİK MOTORU GEREKSİNİMLERİ İLE SINIR ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde 2 yolcu kapasitesine sahip bir araç için araç dinamiği ve ihtiyaç duyduğu asenkron motor gereksinimleri ve boyutsal limitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buradaki çalışmada iki yolcu kapasiteli bir araç ile devam etme nedenimiz, bu aracın daha küçük güç gereksinimlerine ihtiyaç duyan bir yapısı olmasıdır. Dolayısıyla kısıtlı labarotuar imkanlarımız dahilinde bu motorun test edilmeside gerçekleştirilebilecektir. Bununla beraber tezimiz konusu olan Radiaxial akıllı motorlar için giriş kısmında genel olarak bahsettiğimiz konik rotor geometrisine sahip motorları ve yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Burada ise Radiaxial akıllı çalışmalara ile ilgili literatür taraması ve bu konu dahilinde odaklanılan noktalara yer verilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasının motivasyonunu sağlayan noktalar da bu bölümde açıklanmıştır.



Şekil 5.1. İki Yolcu Kapasiteli Bir Araç

5.1. İki Yolcu Kapasiteli Bir Araç Dinamiğinin ve Motor Gereksinimlerinin Hesaplanması

Renault TWIZY 2 kişilik bir yolcu aracı olarak 13.5kW lık motoru ile elektrikli bir araç olarak sunulmaktadır. Şekil 5.1’de Renault TWIZY’e ait bir görüntü verilmiştir. Renault TWIZY’nin katalog değerlerinde belirtilen karakteristik özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Tablo 5.1’de yer alan parametreler Renault TWIZY için araç dinamiği hesaplamalarında kullanılmıştır [65].

Tablo 5.1. Renault TWIZY Araç Dinamiği Parametreleri [65]

Parametreler	Değer	Birim
Aerodinamik Sürtünme Katsayısı	0,3	-
Hava Kütle Yoğunluğu	1,2	kg/m ³
Yuvarlanma Direnci	0,001	-
Ağırlığı frenlemek	375	kg
Hızlanma (0-45km / s)	6	sn
Lastiğin Genişliği	0,20	m
Lastiğin Çapı	0,56	m
Tekerlek Çapı	0,33	m
Araç Genişliği	1094	mm
Araç Yüksekliği	1454	mm

Tablo 5.1’de yer alan veriler kullanılarak araç dinamiği incelendiğinde 10 derecelik eğime sahip bir yolda Yolalma yapabilmek için minimum 120 Nm torka sahip olması gerektiğini bununla beraber 13 inçlik jantı ile 80 km/h hıza çıkabilmesi için 1300 RPM de 20Nm tork a sahip olan ve 0-45km/h hıza 6 saniyede ulaşabilmesi için 12,8KW’lık bir motor gücüne sahip olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ilişkin değerler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Renault TWIZY Aracı için İhtiyaç Duyulan Motor Gereksinimleri

Yolalma Momenti (@ 10 Derece Eğim)	Anma Momenti (@ 1300 RPM)	Devrilme Gücü
120 Nm	20 Nm	12,8 kW

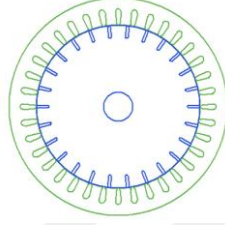
Bu tez çalışmasın da tekerlek içi motor üzerinde çalışmalar yapılması planlandığı için Tablo 5.2’de yer alan değerler iki adet tekerlek içi motora sahip bir Renault TWIZY için tekrar hesaplanması gerekir. Bu değerler tekrar hesaplandığında çıkan sonuçlar Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. 4x2 Renault TWIZY Aracı için İhtiyaç Duyulan Motor Gereksinimleri

Yolalma Momenti (@ 10 Derece Eğim)	Anma Momenti (@ 1300 RPM)	Devrilme Gücü
60 Nm	10 Nm	6,4 kW

5.2. Tekerlek İçi Motor için Paket Boyutlarının ve Motor Kombinasyonlarını Analizi

Bu bölümde Renault TWIZY için 13 inç lik jantı üzerinde tekerlek içi motorun incelenmesi gerçekleştirilmiştir. 13 inçlik janta sahip olan Renault TWIZY ortalamada 33 cm lik bir motor çapına imkan sağlamaktadır. Bunun beraber 13 inçlik janta sahip motor için izin verilen uzunluk 20 cm olarak standartlarda yer almaktadır. Standartlara göre sağlana 33cm lik bir çap ve 20cm lik uzunluk motor konstrüksiyonu ve bağlantı elemanları göz önüne alındığında 28cm lik bir çap ve 15 cm lik bir uzunluk ile Tekerlek içi motorun tasarlanabileceği maksimum ölçüler olarak belirlenmektedir.



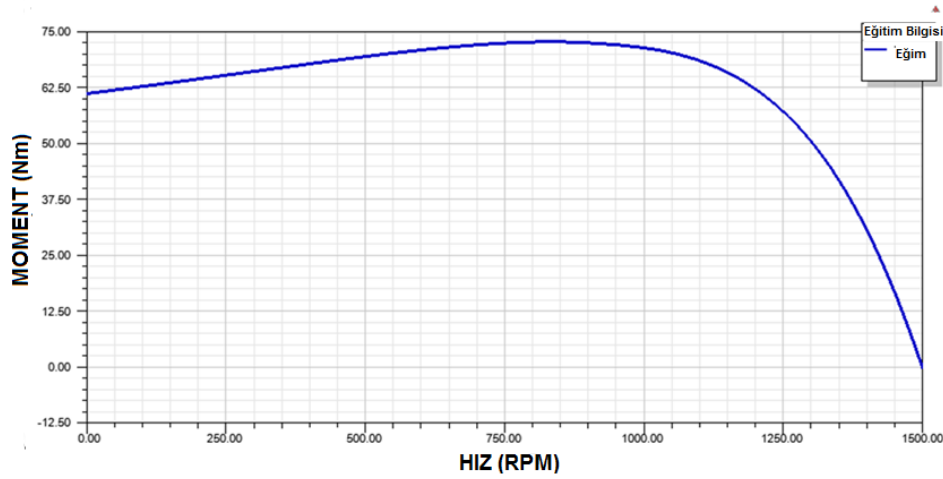
Şekil 5.2. 280 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor

Buradan hareketle Şekil 5.2’de gösterilen motor optimize edildiğinde Tablo 5.4’de yer alan değerler ile bu motorun Tablo 5.3 ‘de gösterilene performans değerlerini sağladığını göstermiştir.

Tablo 5.4. 280mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Optimize Edilmiş Analiz Parametreleri

Tasarım Parametresi	Değer	Birim
Stator Dış Çapı	280	mm
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Çapı	210	mm
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Şaft Çapı	38	mm
Anma Gerilimi	380	V
Frekans	50	Hz

Bu tez çalışmasına konu olan Radiaxial akıllı yani konik geometrili motor için büyük kenar çapı 280 mm olarak belirlenmiştir. Bu motor Tablo 5.4’de veriler ile analiz edildiğinde analiz sonucu Şekil 5.3’deki gibi olmaktadır.



Şekil 5.3. 280 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor için Moment-Hız Grafiği

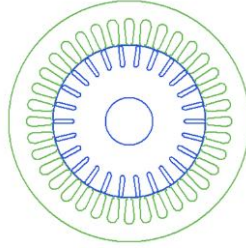
Şekil 5.3'deki veriler değerlendirildiğinde Tablo 5.3'deki performans isterlerini sağladığı görülmüştür. Bununla birlik stator ve rotor için kullanılan M19 malzemesi düşünüldüğünde stator ve rotor akılarının doyuma gitmemesi gerekir. Bu da 1.8 yada 1.7 Teslanın altında kalan bütün değerler ile sağlanabilmektedir. Bu motor için Akı analizi yapıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.5'de ki gibi olmuştur. Tablo 5.5'de gösterilen değerler bu motorun için rotor ve stator akılarının doyuma gitmeyeceğini göstermektedir.

Tablo 5.5. 280mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Akı Analizi

Tasarım Parametreleri	Değer	Birim
Stator Dişlerindeki Akı Yoğunluğu	0.625130	Tesla
Rotor Dişlerindeki Akı Yoğunluğu	0.569707	Tesla
Stator Boyunduruğundaki Akı Yoğunluğu	1.543530	Tesla
Rotor Boyunduruğundaki Akı Yoğunluğu	0.340659	Tesla
Hava Aralığındaki Akı Yoğunluğu	0.410718	Tesla

Tez çalışmasında Radiaxial akı geometrisini sağlayabilmek için burada kesik koni için sağlanabilen minimum çapın belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 5.3'de yer alan performans isterleri ve motor akılarının doyuma gitmemesini sağlayacak minimum motor çapı ise 280 mm lik maksimum çap 10mm lik adımlarla indirgenerek 190mm ye

kadar getirilmiştir. Bu 190mm lik çapa sahip asenkron motor a ait bir görüntü Şekil 5.4’de verilmiştir.

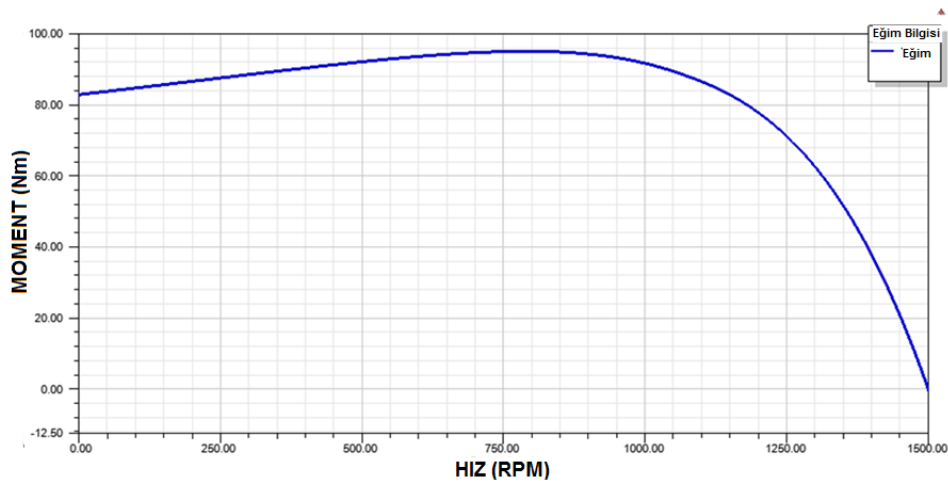


Şekil 5.4. 190 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor

Burada, Şekil 5.4’ de gösterilen asenkron motor Tablo 5.6 ‘da yer alan analiz parametreleri ile analiz edildiğinde alınan sonuç (tork-hız) grafiği Şekil 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.6. 190mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Optimize Edilmiş Analiz Parametreleri

Tasarım Parametreleri	Değer	Birim
Stator Dış Çapı	190	mm
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Çapı	210	mm
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Şaft Çapı	38	mm
Anma Gerilimi	380	V
Frekans	50	Hz



Şekil 5.5. 190 mm çapında ve 150 mm Uzunluğunda Asenkron Motor için Moment-Hız Grafiği

190mm çapa sahip bu motor akı analizi ne tabi tutulduğunda ise sonuçlar Tablo 5.7’de gösterildiği gibi olmaktadır. Buradan alınan sonuçlar bu motor çapının Radiaxial motordaki kesik koni geometrisinin küçük çapı için uygun bir değer olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.7. 190mm Çapında ve 150mm Uzunluğundaki Asenkron Motor için Akı Analizi

Tasarım Parametreleri	Değer	Birim
Stator Dişlerindeki Akı Yoğunluğu	1.552970	Tesla
Rotor Dişlerindeki Akı Yoğunluğu	1.257470	Tesla
Stator Boyunduruğundaki Akı Yoğunluğu	1.625110	Tesla
Rotor Boyunduruğundaki Akı Yoğunluğu	1.020130	Tesla
Hava Aralığındaki Akı Yoğunluğu	0.717702	Tesla

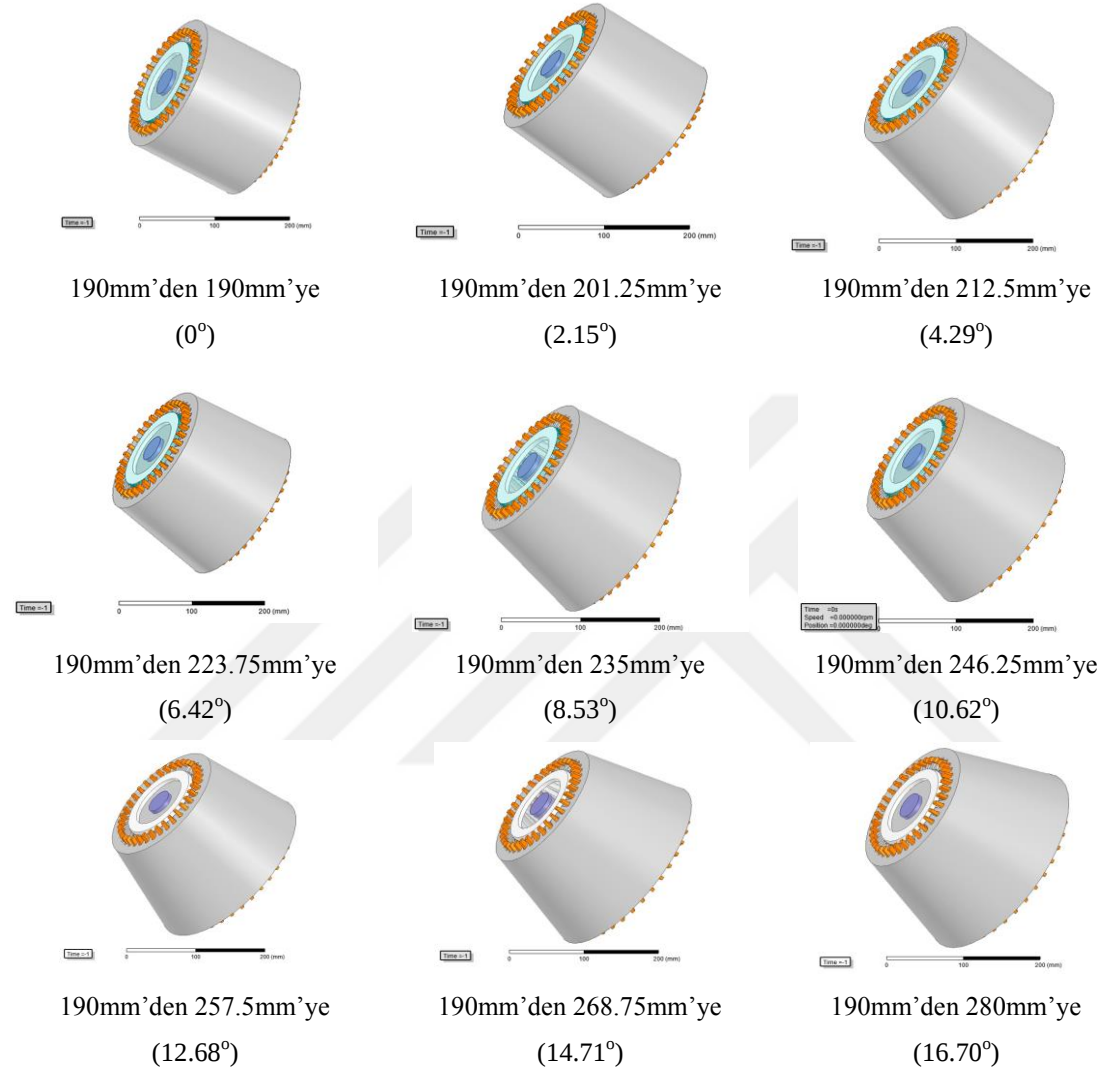
6. RADIAXIAL AKILI MOTORUN TASARIM VE ANALİZİ

Bölüm 4 ve Bölüm 5 de yapılan çalışmalarda tekerlek içi asenkron bir motor için performans karakteristikleri ve elektrikli bir araç için ihtiyaç duyulan gereksinimlerin belirlenmesi üzerine çalışılmış ve belli analizler ile motor için önemli olan parametreler üzerinden kabaca tasarım ve analiz yapılmaya çalışılmıştır. Bu bölümde ise Radiaxial akıllı asenkron motorun tasarımını incelenmesi için ANSYS RMXprt'de oluşturulan modellerin ANSYS Maxwell 3D ortamında modellenerek tasarım ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. ANSYS RMXprt modülünde tasarlanan 2D asenkron motor tasarımları, bu motor için frekans cevabını verebilmektedir. Fakat transient analiz için bu modül olanak sağlamamaktadır. Bunun için ya ANSYS Maxwell 2D yada ANSYS Maxwell 3D modüllerinin transient analiz modülünde kullanılması gerekmektedir. Bu bölümdede kesik koni modelinde belirlenen alt ve üst konik çapları referans alınarak asenkron motor modelleri oluşturulacaktır. Şöyleki üst konik çapı (küçük olan çap) için bir silindirik asenkron 3D modeli de oluşturulup ANSYS RMXprt ve ANSYS Maxwell 3D ortamlarında analiz edilip birbirlerini doğrulayıp doğrulamadıkları valide edilmiştir. Aynı zamanda koniklik açısı ayarlanabilen bir Radiaxial akıllı asenkron motor modelide oluşturularak, üst konik çapa sahip silindirik asenkron motor ile açısı 0 iken karşılaştırılarak bu modelin aynı performans değerlerine ulaştığıda valide edilmiştir. Sonrasında, koniklik açısı derecesi adım adım artırılarak belirlenen alt koniklik çapı (büyük olan çap)'na kadar olan seviye için çeşitli analiz kombinasyonları oluşturulup koniklik açısının değerlendirilmesi yapılmıştır.

6.1. Radiaxial Akıllı Motorun Tasarımı

Burada Bölüm 5'de belirtilen alt ve üst konik çapları kullanılarak tasarımlar yapılmaya çalışılmıştır. Bölüm 5'de belirlenen alt konik çap 280mm iken üst konik çap 190mm'dir. Burada yer alan tüm motor tasarımları için 150mm uzunluk kullanılmıştır. Bu bölümde çapları 190mm, 235mm ve 280mm olan 3 adet silindirik motor ile Radiaxial yapılı koniklik açısı değiştirilebilir motor tasarımları yapılmıştır. Bu kısımda motorlar için kıyaslama yapabilmek adına özel isimlendirmeler yapılmıştır. İlk Motor , 190mm çapında ve 150mm uzunluğundaki motoru temsil etmektedir. Bu Motorlara (Çap :190mm, 235mm, 280mm çapında ve 150mm

uzunluğundaki) ait ANSYS Maxwell 3D görüntüleri, tasarım ve analiz parametreleri EK-A' da verilmiştir.



Şekil 6.1. Radiaxial Motor (Çap:190-280mm,Uzunluk:150mm) için Farklı Açılardaki ANSYS Maxwell 3D Görüntüleri

Radiaxial Motor için bir dizi analiz kombinasyonu oluşturulmuş ve bu kombinasyonlar ANSYS Maxwell 3D ile gerçekleştirilerek kayıt altına alınmıştır. Radiaxial Motor' a ait ANSYS Maxwell 3D görüntüleri sırasıyla Şekil 6.1'de verilmiştir. Radiaxial Motor için tasarım ve analiz parametreleri ise EK-B'de verilmiştir.

6.2. Radiaxial Akılı Motorun Koniklik Açısının Analizi

Tablo 6.1. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Tam Yükteki Performans Değerlerinin Gösterimi

Motor Tipleri	Standart Tip Radyal Akılı Asenkron Motor			Radiaxial Akılı Asenkron Motor							
Motor Çapları	280mm - 280mm	235mm - 235mm	190mm - 190mm	190mm - 201.25mm	190mm - 212.5mm	190mm - 223.75mm	190mm - 235mm	190mm - 246.25mm	190mm - 257.5mm	190mm - 268.27mm	190mm - 280mm
Koniklik Derecesi	0	0	0	2.15	4.29	6.42	8.53	10.62	12.68	14.71	16.70
Güç Faktörü	0.866	0.859	0.783	0.805	0.827	0.832	0.839	0.860	0.865	0.877	0.876
Verim (%)	70.16%	71.13%	68.87%	66.84%	69.68%	72.24%	69.33%	68.58%	66.33%	64.07%	63.40%
Yolalma Momenti (Nm)	55.96	62.92	61.47	67.60	65.25	67.40	64.30	64.40	59.01	59.03	55.60
Devrilme Momenti (Nm)	70.40	77.06	82.1	79.86	77.65	80.13	77.99	84.94	74.74	84.10	75.29
Devrilme Zamanı (milisaniye)	786	242	51	129	205	236	353	376	552	642	689
Devrilme Deviri (rpm)	892	945	850	1002	978	932	977	908	908	920	814
Anma Momenti (Nm)	52.54	51.93	55.56	54.41	58.34	56.96	56.01	54.32	52.62	55.83	50.64
Anma Zamanı (milisaniye)	3425	545	106	230	382	469	675	809	1828	2018	4000
Anma Deviri (rpm)	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300

Bu bölümde Radyal Akılı 3 farklı çapa sahip (Çap:190mm, 235mm, 280mm ve Uzunluk:150mm) motorlar ile Şekil 6.1’de verilen uzunlukları 150mm olan ve koniklik açısı değiştirilmiş 9 farklı Radiaxial motor, ANSYS Maxwel 3D ile analiz edilmiştir. Bu Motorlar için alınan ANSYS Maxwel 3D sonuçları tam yükte alınan sonuçlar Tablo 6.1’de, yüksüz analiz için alınan sonuçlar Tablo 6.2’de verilmiştir. Ayrıca EK-C ‘de bu motorlara ait moment –hız grafikleri, mesh görünümleri, ve manyetik akı yoğunluklarına ilişkin tam yükte elde edilen sonuçlar verilmiştir. EK-D’de ise bu motorlara ait moment –hız grafikleri ve manyetik akı yoğunluklarına ilişkin yüksüz modunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Standart tip radyal akılı motorlar için yapılan analiz sonuçları, Tablo 6.1. üzerinden değerlendirildiğinde;

* Güç faktörünün motor çap artışı ile arttığı görülmektedir, bu sonucun alınma nedeni ise çap arttıkça çıkışta elde edilcek tork seviyesinin moment kolu parametresinin artması dolayısıyla daha az güç tüketimi ile bu çıkış torkunun sağlanması olarak tanımlanmıştır. Ayrıca motor çapının artması ile artan eylemsizlik momentide çap artışı ile Güç faktörünün doğru orantılı artmasından ziyade eksponansiyel bir formda doyuma ulaşması şeklinde bir grafik çizmektedir.

* Verimin motor çapına bağlı olarak değiştiği gözükmemektedir. Fakat bu değişim linear bir özellik göstermemiştir. En büyük motor çapında (280mm) alınan verim en küçük motor çapında (190mm) alınan verimden daha büyüktür, bu noktada en önemli konu ise orta büyüklükte motor çapına (235mm) sahip olan motorun en yüksek verimi göstermesidir. Buradaki verim mekanik çıkış gücünün elektriksel giriş gücüne oranını temsil etmektedir. Dolayısıyla çıkış gücünü sabit bir kriter olarak kabul ettiğimizde , giriş gücüne bağlı bir değişim gözükmemektedir. Giriş gücü, aynı torku sağlayabilmek adına en büyük motor çapına (280mm) sahip olan motor için daha kolay ulaşmaktadır ve diğer motorlar için ise çapları daha küçük oldukları için (235mm) ve (190mm) daha yüksek giriş gücü gerektirecektir. Bu durumda doğal olarak verimin çap artması ile artacağı anlamına gelmektedir. Fakat buradaki motor rotorun eylemsizlik momenti motor çapının artması ile artacağı için bir paradoks oluşturmaktadır. Eylemsizlik momenti için küçük çaptan büyük çapa doğru olan oran 1, 2.34, 4.71 dir. Dolayısıyla problemi optimizasyon yani rotor çapının ortalama bir

değer aldığı noktada verimi en yüksek yapmasına neden olmuştur.

* Yolalma momenti için ise motor çapının artması negatif bir etken oluşturmıştır. Eylemsizlik momentinin üstel bir şekilde artması motor çapının artmasına bağlı yolalma momentini üstel bir formda düşmesine neden olmuştur.

* Devrilme momenti de yolalma momenti gibi ekponansiyel bir formda motor çapının artışı ile düşüş göstermiştir.

* Devrilme zamanı, devrilme momentine ulaştığı anı temsil etmektedir ve rotor çapı düşük olan motorlar için daha hızlı bir şekilde devrilme momentine ulaştığı anlamına gelmektedir.

* Devrilme devri ise motor çapının artması ile artmıştır. Elde edilen sonuçlar devrilme devrinin de eylemsizlik momenti ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Eylemsizlik momentinin büyük olduğu motor çapları için devrilme değerine geç ulaşp daha yüksek bir değerde devrilmeside fiziksel anlamda birbirini desteklemektedir.

* Anma momenti de eylemsizlik momenti ile motor çaplarının optimizasyon noktasında en yüksek tork değerine ulaşmıştır.

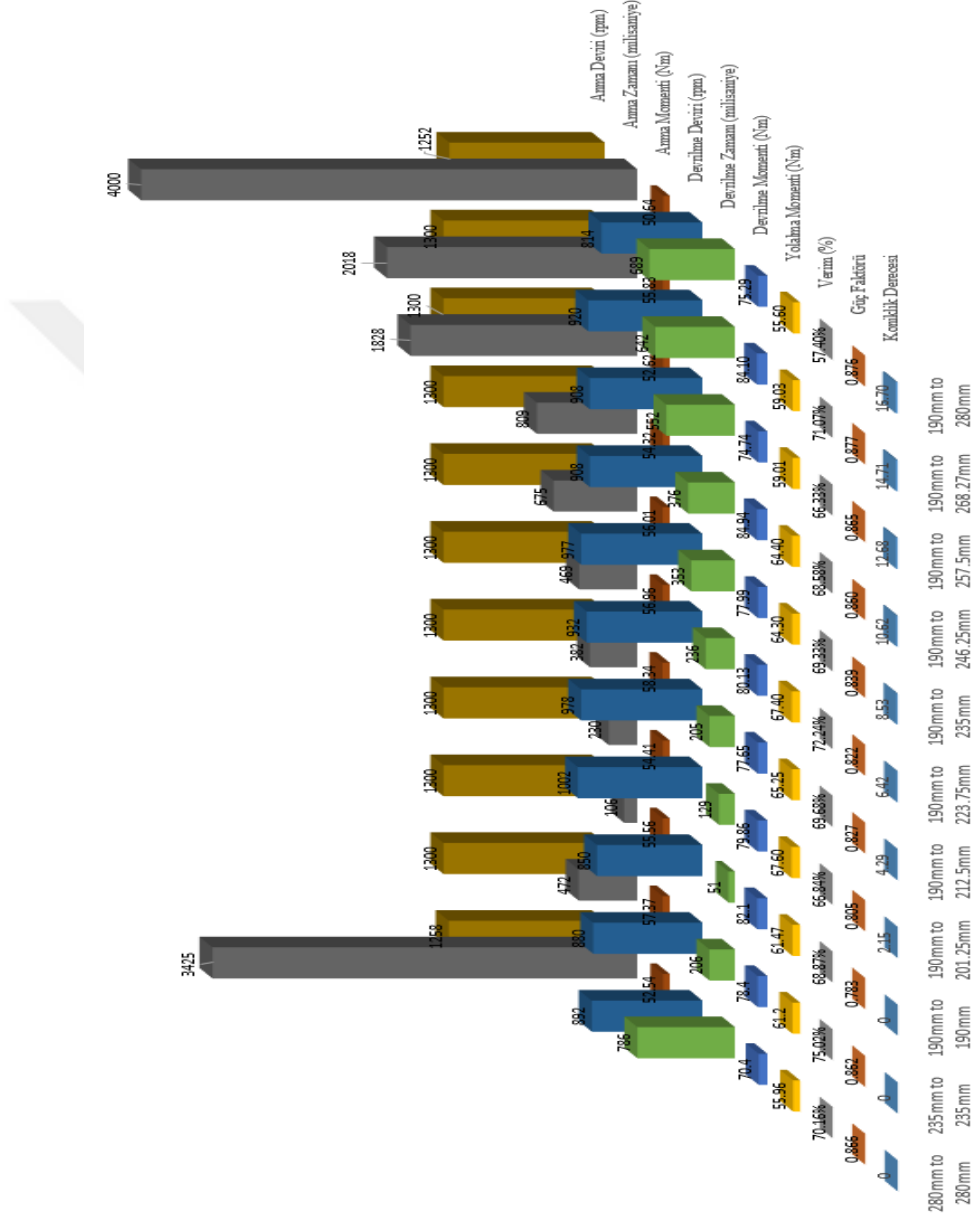
* Anma momentine ulaşma zamanı da motor çapının artması ile doğru orantılı olacak biçimde artmıştır. Fiziksel büyüklüğün anma hızına erişme zamanını değiştireceği eylemsizlik momentinden kaynaklanan bir durumdur.

*Anma devri ve anma momenti bu çalışmada kritik noktalardır. 10Nm ve 1300RPM beklentisi üzerine tasarlanmıştır. Anma Devri her motor için aynı olduğu ana yani 1300 devre ulaşana kadar bu analizler gerçekleştirilmiştir. 190mm lik ve 235mm lik motorlar için anma devrine ulaşma süresi gayet makul bir seviyede (zaman olarak) gerçekleşmiştir. Özellikle motor çapının artması ile eylemsizlik momentinden kaynaklanan gecikme motor için Anma Devrine ulaşmada doğru orantı göstermiştir. Fakat 280mm lik çapa sahip motor ise 1258RPM de doyuma ulaşmıştır ve bu seviyede devam ettiği için analiz sonlandırılmıştır.

Radiaxial akıllı motorlar için yapılan analiz sonuçları Tablo 6.1 üzerinden

değerlendirildiğinde;

* Güç faktöründe, radyal akıllı motorlara benzer bir sonuç eğilimi göstermiştir ve motor çapının bir tarafta sabit 190mm diğer tarafta kademeli olarak artması ile Güç faktöründe arttığı görülmüştür. Şekil 6.2’de bu durum net olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Performans Değerlerinin Tam Yükteki Kıyas Grafiği

* Verim için radiaxial akıllı motorun koniklik açısının artması ile çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Motorun fiziksel büyüklüğü ve rotorun eylemsizlik momenti

düşünüldüğünde radiaxial akılı motor için koniklik açısı verim için bir noktada optimum (maksimum) değere ulaşmaktadır.

* Yolalma momenti ise radiaxial akılı motorda koniklik açısının artması ile radyal akılı motorlar ile benzer sonuç göstererek düşme eğilimi sağlamıştır. Yine eylemsizlik momenti koniklik açısının artması ile artar ve yolalma momentininde negatif yönde etkiler nitelikte olmuştur.

* Devrilme momenti radiaxial akılı motorda koniklik açısının değişimi ile varyasyon göstermiştir. Fakat bu varyasyonların linear (doğru yada ters orantılı) yada eksponansiyel (doğru yada ters eksponansiyel) ifadelerle belirtmek alınan ölçümlerde tanımlanamamıştır.

*Devrilme zamanı ise beklenen bir şekilde hem radiaxial akılı motorda hemde radyal akılı motorda benzerlik göstermiştir ve koniklik açısının artması ile devrilme momentine erişme süresi uzamıştır.

* Devrilme deviri ise radiaxial akılı motor için koniklik açısının artması ile ters orantı göstererek düşme eğilimine girmiştir. Bu durum radyal akılı motorlarda farklılık göstererek motor çapının artması ile doğru orantılı olarak devrilme devrinde artmasına neden olmuştur.

* Anma momenti radiaxial akılı motor için koniklik açısının değişimi ile değişim göstermiştir. Elde edilen sonuçlarda, eylemsizlik momentinden kaynaklanan optimum bir değer belirli bir koniklik açısında elde edilmiştir.

* Anma momentine ulaşma zamanı ise radiaxial akılı motorlarda radyal akılı motorlar gibi benzerlik göstererek koniklik açısının artması ile artma eğiliminde olmuştur.

*Anma deviri ise radiaxial akılı motorlarda 190mm den 280mm'ye olan motor hariç 1300RPM e ulaşmıncaya kadar koşturularak sonuçlar elde edilmiştir. Fakat 190mm'den 280mm'ye olan radiaxial akılı motorda ise 1252RPM de doyuma ulaşıldığı için analiz sonlandırılara elde edilen veriler buradan değerlendirilmiştir.

Tablo 6.2. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Yüksüz Modunda Performans Değerlerinin Gösterimi

Motor Tipleri	Standart Tip Radyal Akılı Asenkron Motor			Radiaxial Akılı Asenkron Motor							
Motor Çapları	280mm - 280mm	235mm - 235mm	190mm - 190mm	190mm - 201.25mm	190mm - 212.5mm	190mm - 223.75mm	190mm - 235mm	190mm - 246.25mm	190mm - 257.5mm	190mm - 268.27mm	190mm - 280mm
Koniklik Derecesi	0	0	0	2.15	4.29	6.42	8.53	10.62	12.68	14.71	16.70
Güç Faktörü	0,579	0,598	0,698	0,605	0,596	0,572	0,592	0,564	0,591	0,580	0,579
Verim (%)	77,11	70,03	61,24	64,35	61,89	65,30	66,68	65,89	60,62	65,54	58,21
Yolalma Momenti (Nm)	51,68	58,64	60,88	61,79	62,72	61,85	62,12	62,25	55,28	55,71	51,19
Devrilme Momenti (Nm)	70,73	71,12	83,43	70,60	78,97	76,22	75,80	79,92	70,69	79,65	74,38
Devrilme Zamanı (milisaniye)	472	155	22	81	116	166	189	269	330	368	498
Devrilme Deviri (rpm)	1009	990	408	1017	912	962	868	1056	970	951	1061
Anma Momenti (Nm)	49,67	52,52	58,72	60,51	55,26	54,23	55,30	51,57	49,29	48,75	43,34
Anma Zamanı (milisaniye)	600	201	53	103	162	220	275	330	435	493	606
Anma Deviri (rpm)	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300

Standart tip radyal akılı motorlar için yapılan analiz sonuçları, Tablo 6.2. üzerinden değerlendirildiğinde;

* Güç faktörünün motor çapının azalması ile artmaktadır. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre ters bir ilişki oluşturmuştur.

*Verim ise motor çapının artması ile doğru orantılı olarak değişen bir davranış göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Yolalma momenti için ise motor çapının artması negatif bir etken oluşturmuştur. Eylemsizlik momentinin üstel bir şekilde artması motor çapının artmasına bağlı yolalma momentini üstel bir formda düşmesine neden olmuştur. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Devrilme momenti de yolalma momenti gibi ekponansiyel bir formda motor çapının artışı ile düşüş göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Devrilme zamanı, rotor çapı düşük olan motorlar için daha hızlı bir şekilde devrilme momentine ulaştığı anlamına gelmektedir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Devrilme devri için alınan sonuçlar eylemsizlik momenti ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Eylemsizlik momentinin büyük olduğu motor çapları için devrilme değerine geç ulaşp daha yüksek bir değerde devrilmeside fiziksel anlamda birbirini desteklemektedir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Anma momenti de eylemsizlik momenti ile motor çapının optimizasyon noktasında en yüksek tork değerine ulaşmıştır. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Anma momentine ulaşma zamanı da motor çapının artması ile doğru orantılı olacak biçimde artmıştır. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

*Anma deviri 1300RPM kriterini sağlamaktadır. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

Radiaxial akılı motorlar için yapılan analiz sonuçları Tablo 6.2 üzerinden değerlendirildiğinde;

* Güç faktöründe, koniklik açısının değişimine bağlı olarak fakat doğrusal olmayan bir şekilde değişim göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer lik sağlamamıştır.

* Verim de güç faktörüne benzer bir doğrusal olmayan davranış göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer lik sağlamamıştır.

* Yolalma momenti ise radiaxial akılı motorda koniklik açısının artması benzer sonuç göstererek düşme eğilimi göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Devrilme momenti radiaxial akılı motorda koniklik açısının değişimi ile varyasyon göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

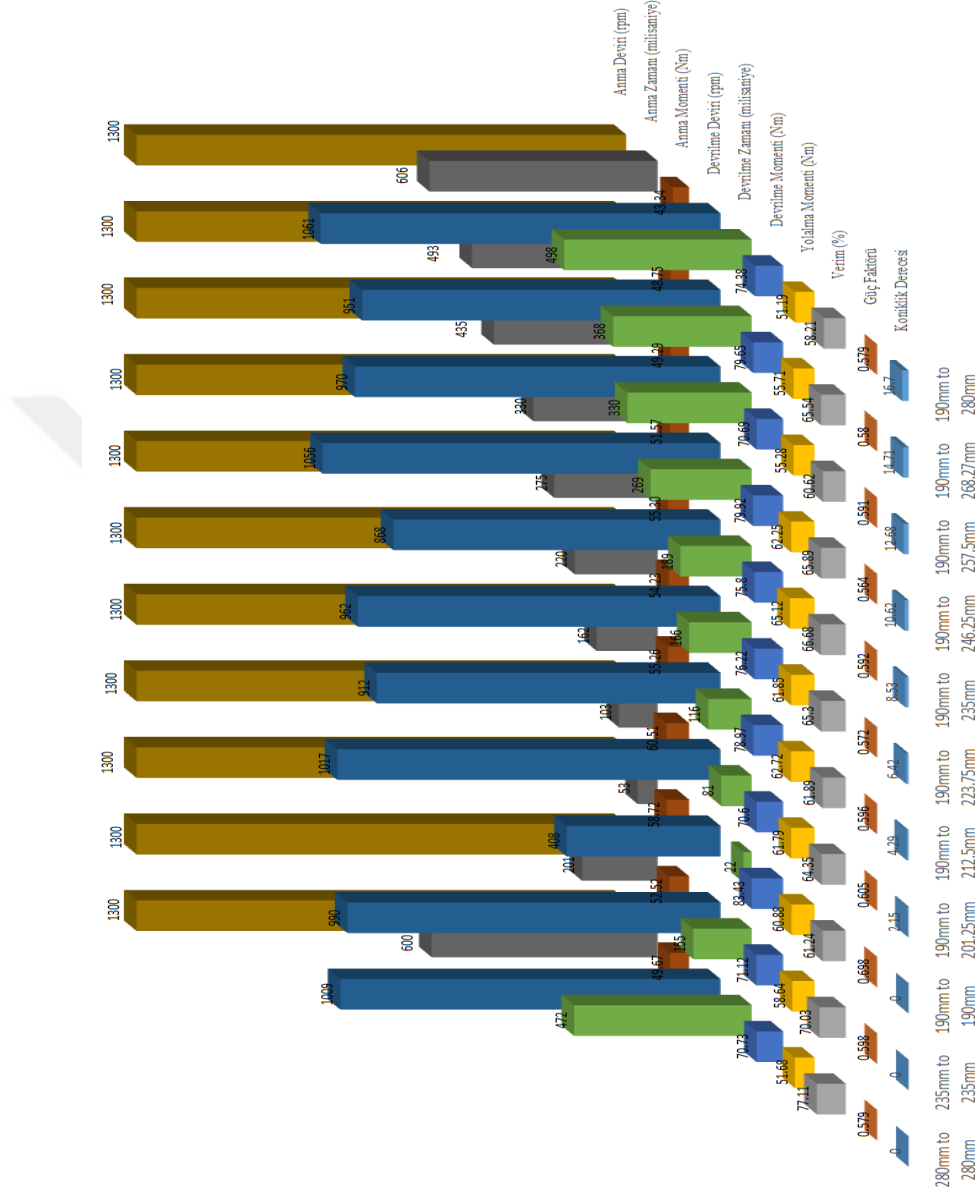
*Devrilme zamanı ise beklenen bir şekilde hem radiaxial akılı motorda hemde radyal akılı motorda benzerlik göstermiştir ve koniklik açısının artması ile devrilme momentine erişme süresi uzamıştır. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

* Devrilme deviri radiaxial akılı motorda koniklik açısının değişimi ile varyasyon göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzerlik sağlamamıştır.

* Anma momenti koniklik açısının artması ile düşme eğilimi göstermiştir. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer lik sağlamamıştır.

* Anma momentine ulaşma zamanı ise radiaxial akılı motorlarda radyal akılı motorlar gibi benzerlik göstererek koniklik açısının artması ile artma eğiliminde olmuştur. Bu durum tam yükte çalıştırılan analize göre benzer bir ilişki oluşturmuştur.

*Anma deviri ise radiaxial akılı motorlarda 190mm den 280mm’ye olan motor hariç 1300RPM e ulaşincaya kadar koşturularak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6.3’de bu durumlar bar grafikleri halinde verilmiştir.



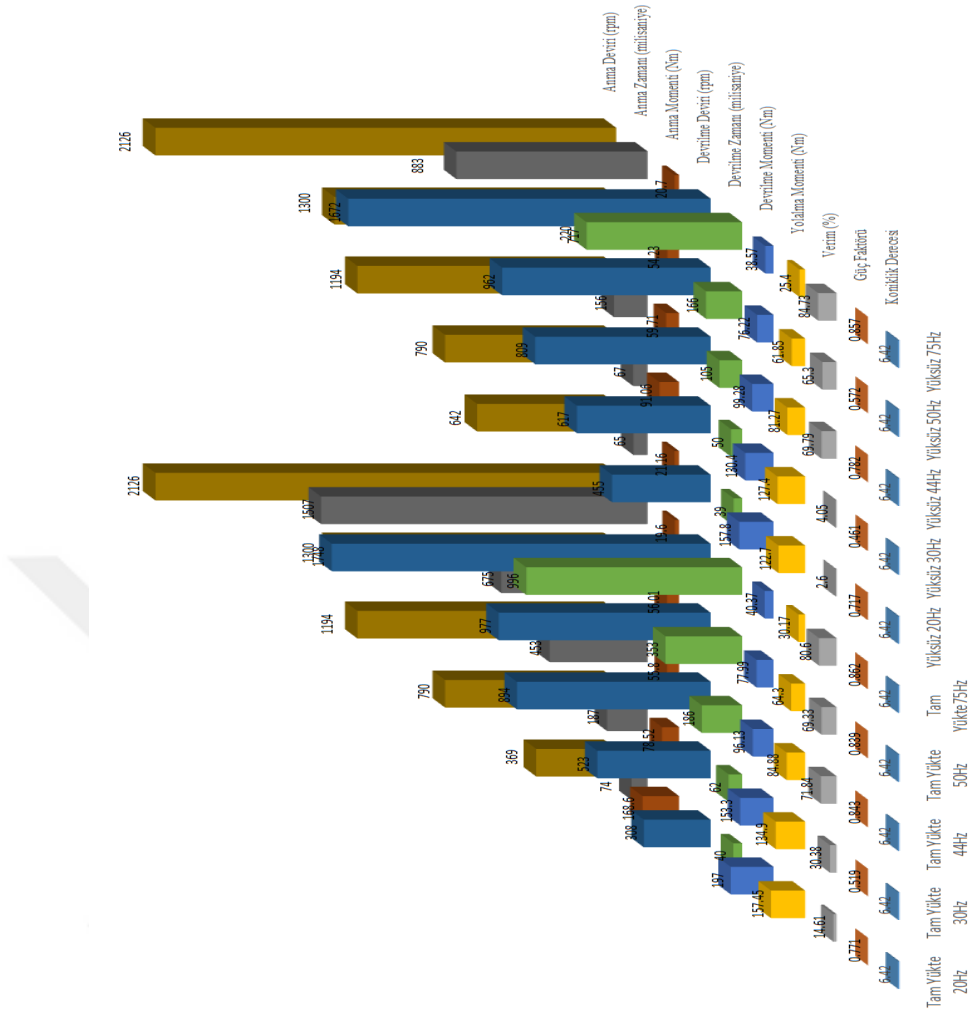
Şekil 6.3. Elektrikli Bir Araç için Tasarlanan Radiaxial ve Standart Tipteki Motorların Performans Değerlerinin Yüksüz Modundaki Kıyas Grafiği

Buraya kadar yapılan analizler Radiaxial akılı motor için optimum sonucu veren motorun 190mm den 223.75mm ye çapa sahip olan motor olduğunu göstermiştir. Buradan hareketle çeşitli çalışma frekansları için bu motor yeniden analiz edildiğinde elde edilen sonuçlar Tablo 6.3’de verilmiştir. Analiz detayları (Moment, Devir, Pozisyon, Manyetik Akı Yoğunluğu Görselleri) ise EK-E ‘de verilmiştir.

Tablo 6.3. Optimum Radiaxial Motorun Farklı Çalışma Frekanlarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Gösterimi (Çap 190mm'den 223.75mm' ye, 6.42°)

Çalışma Modları	Tam Yükte					Yüksüz				
Çalışma Frekansları	20Hz	30Hz	44Hz	50Hz	75Hz	20Hz	30Hz	44Hz	50Hz	75Hz
Güç Faktörü	0,771	0,519	0,843	0,839	0,862	0,717	0,461	0,782	0,572	0,857
Verim (%)	14,61	30,38	71,84	72,24	80,60	2,6	4,05	69,79	65,30	84,73
Yolalma Momenti (Nm)	157,45	134,9	84,88	64,30	30,17	122,7	127,4	81,27	61,85	25,40
Devrilme Momenti (Nm)	197,0	153,3	96,13	77,99	40,37	157,8	130,4	99,28	76,22	38,57
Devrilme Zamanı (milisaniye)	40	62	186	353	996	39	50	105	166	717
Devrilme Deviri (rpm)	308	523	894	977	1748	455	617	809	962	1672
Anma Momenti (Nm)	168,6	78,52	55,80	56,01	19,60	21,16	91,06	59,71	54,23	20,70
Anma Zamanı (milisaniye)	74	187	453	675	1507	65	67	156	220	883
Anma Deviri (rpm)	369	790	1194	1300	2126	642	790	1194	1300	2126

Tablo 6.3 ve Şekil 6.4' te verilen frekans değişiminin motor çalışması üzerine etkisidir. Burada çalışma frekansının artması güç faktöründe ve verimde artışı sağlarken moment değerlerinde düşüş ve moment değerlerine ulaşma zamanlarında artışa neden olmaktadır. Frekansın etkisi ile değişen parametreler doğal olarak beklenen sonuçları yansıtmaktadır. Radyal akılı geleneksel motorlarda frekans değişimi ile benzer sonuçlar sağlamaktadır. Burada değişken frekanslı bir sürücü kullanarak parametreleri optimize etmek mümkün olacaktır.



Şekil 6.4. Optimum Radial Motorun Farklı Çalışma Frekanlarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Kıyas Grafiği

Analizleri yapılan Radial akılı ve Radyal akılı motorlar stator ve rotorlarının ohmik kayıpları, nüve kayıpları, hava aralığı gücü ve çıkış gücü açısından değerlendirildiğinde alınan sonuçlar Tablo 6.4'deki gibidir. Buradaki P_{IN} giriş gücünü, P_{SCL} stator ohmik kaybını, P_{CORE} nüve kaybını, P_{RCL} rotor ohmik kaybını, P_{AG} hava aralığı gücünü ve P_{OUT} çıkış gücünü temsil etmektedir.

Tablo 6.4. Stator ve Rotor Ohmik Kayıpları, Nüve Kayıpları ile Hava Aralığı Gücü

Motor Çapları	P_{IN} (Watt)	P_{SCL} (Watt)	P_{CORE} (Watt)	P_{RCL} (Watt)	P_{AG} (Watt)	P_{OUT} (Watt)	Verim (%)
280mm-280mm	9866.61	1208.80	670.25	1065.01	7987.56	6922.56	0.70
235mm-235mm	9940.27	1136.35	645.65	1087.77	8158.26	7070.50	0.71
190mm-190mm	10994.81	1512.16	745.98	1164.89	8736.66	7571.78	0.69
190mm-201.25mm	11090.85	1493.80	1043.42	1140.48	8553.62	7413.14	0.67
190mm-212.5mm	11396.72	1533.16	699.94	1221.82	9163.61	7941.80	0.70
190mm-223.75mm	11044.02	1494.67	344.31	1227.34	9205.03	7977.70	0.72
190mm-235mm	11000.49	1460.54	740.49	1173.26	8799.46	7626.20	0.69
190mm-246.25mm	10784.26	1367.07	883.41	1137.84	8533.78	7395.95	0.69
190mm-257.5mm	10800.39	1387.17	1147.01	1102.16	8266.21	7164.05	0.66
190mm-268.75mm	10697.18	1355.44	1062.68	1076.97	8079.32	7202.08	0.67
190mm-280mm	11571.47	1627.24	1076.51	1466.13	8867.71	7401.59	0.64

Burada $P_{F\&W}$ sürtünme ve rüzgar kayıpları (60 watt), P_{misc} (85 watt) dağılım kayıpları olarak kabul edilmiştir. Standart tip radyal akılı motorlarda da radiaxail akılı

motorlarda alınan sonuçlarda, çıkış gücü sabit kabul edilirse aynı gücü elde etmek için motor çapının azalmasına bağlı olarak giriş gücünün artması gerekmektedir. Motor çapının artması hem stator hemde rotor ohmik kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Hava aralığı gücü ise radyal akıllı motorlarda motor çapının azalmasına ters orantılı olarak değişmektedir. Radiaxial akıllı motorda hava aralığı gücü ise optimum bir noktada maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Nüve kaybı ise radiaxial akıllı motorlar için optimum bir noktada minimum olmaktadır. Bu sonuç maksimum verimi sağlayan radiaxial akıllı (190mm-223.75mm) çapa sahip olan motorun analizlerini doğrular niteliktedir.

Tablo 6.5. Motor Ağırlıklarının Kıyaslanması

Motor Çapları	Ağırlık (kg)						(Watt/kg)
	Stator Nüve	Rotor Nüve	Stator Bakır	Rotor Bar	Rotor Halka	Toplam	Birim Güç Miktarı
280mm-280mm	23.01	33.90	2.10	0.56	0.33	59.90	115.56
235mm-235mm	17.86	19.91	1.91	0.56	0.25	40.49	174.62
190mm-190mm	12.71	9.27	1.72	0.56	0.18	24.44	309.81
190mm-201.25mm	13.35	10.60	1.74	0.56	0.19	26.44	280.37
190mm-212.5mm	13.99	11.93	1.77	0.56	0.20	28.45	279.14
190mm-223.75mm	14.64	13.26	1.79	0.56	0.21	30.46	261.90
190mm-235mm	15.28	14.59	1.81	0.56	0.22	32.46	234.94
190mm-246.25mm	15.93	15.92	1.84	0.56	0.22	34.47	214.56
190mm-257.5mm	16.57	17.25	1.86	0.56	0.23	36.48	196.38
190mm-268.75mm	17.21	18.58	1.88	0.56	0.24	38.48	187.16
190mm-280mm	17.86	19.91	1.91	0.56	0.25	40.49	182.80

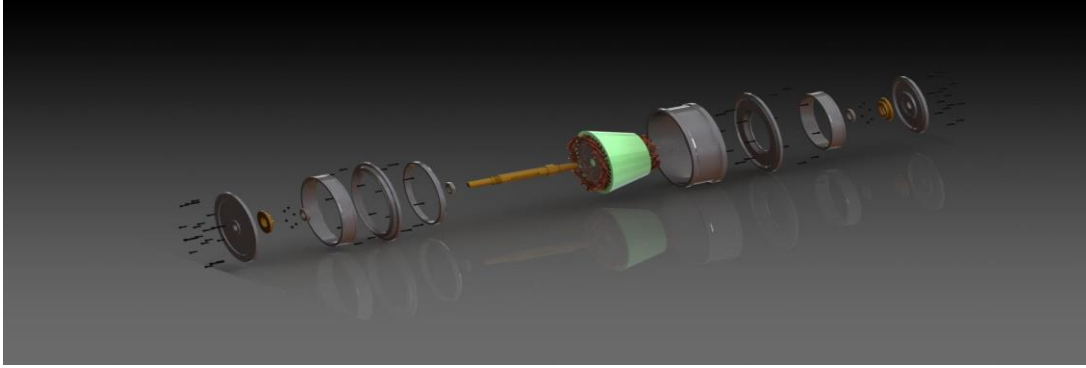
Analizleri yapılan Radiaxial akıllı ve Radyal akıllı motorlar ağırlıkları bakımında ele alındıklarında elde edilen sonuçlar ve detayları Tablo 6.5'deki gibi olmaktadır. Burada Optimum sonuçları veren Radiaxial akıllı (190mm-223,75mm) motor ve standart motorlardan en iyi sonucu veren Radyal akıllı motor (235mm-235mm) yeşil ile vurgulanmıştır. Sadece bu nokta ele alındığında bile Radiaxial akıllı motor %25 lik bir ağırlık hafifletme faydası ile bir araçta 10kg x 2üründen, 20kg lık bir ağırlık azaltma faydası sağlamaktadır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

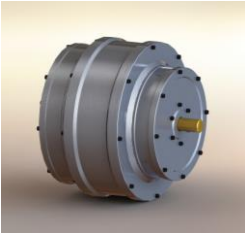
Bu bölümde Radiaxial akıllı tekerlek içi asenkron motorun prototip ve test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölüm 6 da belirtilen 190mm den 280mm ye doğru büyüyen 150mm lik bir boyu olan Radiaxial akıllı asenkron motorun prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototip imalatı yapılan model performans parametreleri, araç gereksinimleri ve simülasyon sonuçları ile kıyaslama yapabilmek için bir dizi test senaryosuna tabi tutularak, test sonuçları kayıt altına alınmıştır.

7.1. Prototip Çalışmaları

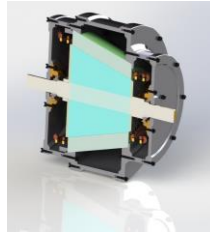
Prototip çalışmaları ilk olarak 3 boyutlu katı modelleme çalışmaları ile başlamıştır. Burada motor konstrüksiyonu, bağlantı noktaları/elemanları ve yataklamaları ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Şekil 7.1’de 3 boyutlu katı modelleme çalışmalarına ilişkin görseller verilmiştir.



Radiaxial Akıllı Motor un Patlatılmış Görseli



Montaj Görseli



Motorun Kesit Görseli



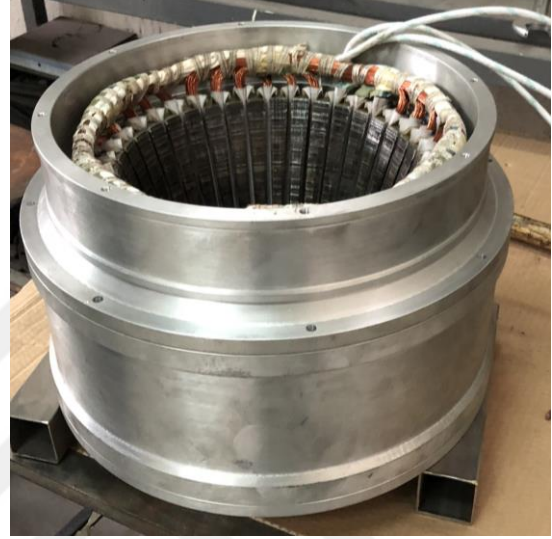
Motor Şaftı Kesit Görseli

Şekil 7.1. Radiaxial Motorun için 3B Katı Model Çalışmaları

Bu tez çalışması Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FEN-C-DRP-090217-0057 nolu proje kodu ile desteklenmiştir. Bu kapsamda 3B katı modelleri çalışılan motor için prototip çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Prototip çalışmalarına ilişkin alınan görsellerden bazıları Şekil 7.2’de verilmiştir.



Prototip Stator Görseli



Prototip Stator Montaj Görseli



Prototip Rotor Görseli

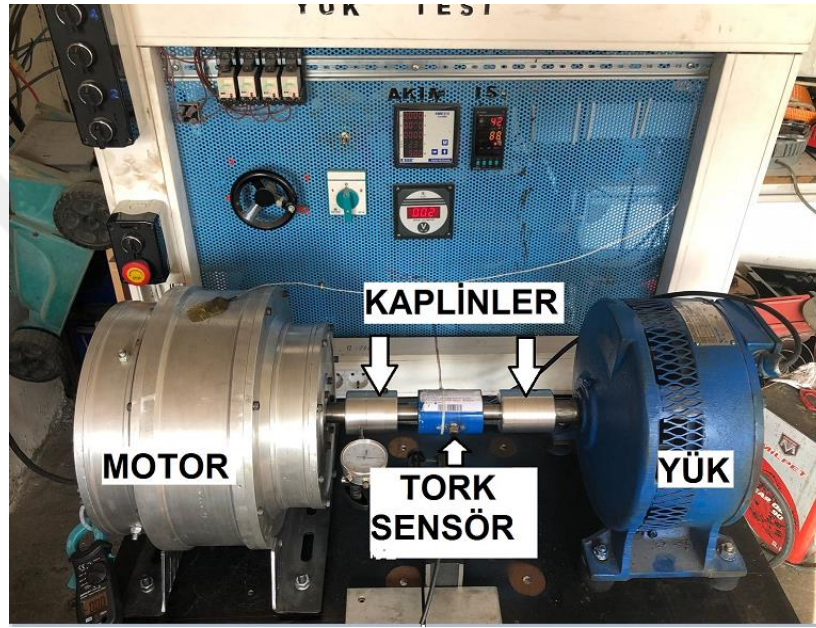


Prototip Montaj Görseli

Şekil 7.2. Radiaxial Akıllı Motorun Prototip İmalatı ve Montaj Çalışmaları

7.2. Test Çalışmaları

Şekil 7.2 de görselleri verilen prototip çalışması Şekil 7.3’de gösterilen deney düzeneği üzerinde sabitlenerek montajı yapılmıştır. Deney düzeneği üzerinde prototip motor, torkmetre, kaplinler ve yük bulunmaktadır. Prototip motor çalışması yüklü ve yüksüz modlarda test edilmiştir. Ayrıca boşta çalışma ve kilitli rotor deneyleri ile prototip motorun indirgenmiş eşdeğer devre modeli de oluşturulmuştur ve bu değerler Tablo 7.1 de verilmiştir.



Şekil 7.3. Radiaxial Akıllı Motor Yükleme Test Düzeneği

Tablo 7.1. Radiaxial Akıllı Motor için Deneylerden Hesaplanan İndirgenmiş Eşdeğer Devre Parametreleri

Referans	Ölçümden Hesaplanan Değer	Birim
Stator Direnci	2,03036	Ohm
Stator Kaçak İndüktansı	0,00479	H
Rotor Direnci	1,1625	Ohm
Rotor Kaçak İndüktansı	0,00685	H
Ortak İndüktans	0,115655	H

Tablo 7.2. Prototip Radiaxial Akıllı Motorun Farklı Çalışma Frekanslarındaki Yüklü ve Yüksüz Performans Değerlerinin Gösterimi (Çap 190mm'den 280mm'ye, 16.7°)

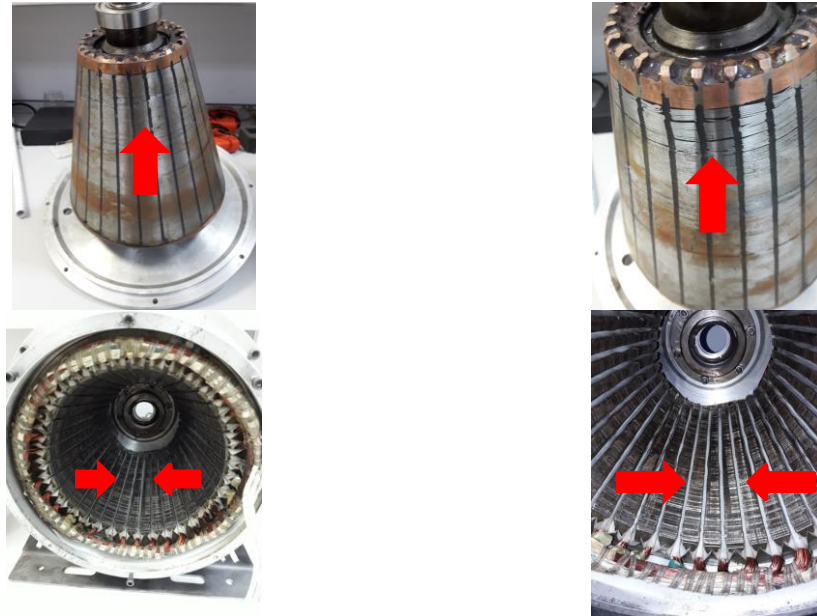
Çalışma Modları	Tam Yükte				Yüksüz			
Çalışma Frekansları	20Hz	30Hz	44Hz	50Hz	20Hz	30Hz	44Hz	50Hz
Güç Faktörü	0,66	0,69	0,76	0,82	0,70	0,73	0,75	0,76
Verim (%)	52	54	55	57	12	34	46	53
Yolalma Momenti (Nm)	98	104	64	48	147	101	72	52
Devrilme Momenti (Nm)	219	136	79	66	313	150	70	65
Devrilme Zamanı (milisaniye)	306	257	766	3536	26	102	335	511
Devrilme Deviri (rpm)	339	491	935	1092	176	503	931	1137
Anma Momenti (Nm)	170	70	36	39	313	30	11	4
Anma Zamanı (milisaniye)	496	504	1078	4061	84	195	505	749
Anma Deviri (rpm)	504	833	1255	1401	600	900	1318	1498

Tablo 7.2’de 190mm den 280mm ye doğru artan bir çapa sahip olan Radiaxial akıllı motor için çeşitli çalışma frekanslarına ait test sonuçları verilmiştir. Bu çalışmalara ilişkin test detayları (Moment, Devir) EK-F’de verilmiştir. Çalışma frekansının artması güç faktöründe ve verimde artışı sağlarken moment değerlerinde düşüş ve moment değerlerine ulaşma zamanlarında artışa neden olmaktadır. Radyal akıllı geleneksel motorlarda frekans değişimi ile benzer sonuçlar sağlamaktadır. Simülasyon sonuçları ile benzerlik sağlanmıştır.

Tablo 7.3. Prototip ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma Modları	Tam Yükte (50 Hz)		
Çalışma Tipi	Simülasyon	Prototip	Mutlak Hata
Güç Faktörü	0,876	0,82	%6
Verim(%)	63,40	57	%10
Yolalma Momenti (Nm)	55,60	44	%13
Devrilme Momenti (Nm)	75,29	66	%12
Anma Momenti (Nm)	50,64	39	%22
Ortalama Hata Yüzdesi			%12,6

Elde edilen simülasyon sonuçları ile test verileri kıyaslandığında ortaya çıkan mutlak hatalar ve ortalama hata değerine ilişkin sonuçlar Tablo 7.3’ de listelenmiştir. Tablo 7.3’ deki sonuçlarda analiz modeli ile prototip çalışmasının %12,6 hata başarımı ile birbirlerini doğruladığını göstermektedir. %12,6 lık hatalı başarımlar ise prototip üretiminden kaynaklanmaktadır. Üretim hatalarına ilişkin görseli Şekil 7.4’ de verilmiştir.

**Şekil 7.4.** Prototip Motor için Üretim Hataları

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında eksenel ve radyal akılı motor yapıları incelenmiştir. Elektrikli bir araçta doğrudan tahrik sağlayacak tekerlek içi motor çalışmaları ve standartlarda yer alan teker ölçüleri üzerinde durulmuştur. Standartlarda yer alan ve boyutları Türkiye pazarında en çok kullanılan teker ölçüleri de incelenmiştir. Türkiye pazarında yer alan binek araçlar ve motor performans parametreleri de incelenerek muhtemel elektrikli araç dönüşüm proseslerinde gerekli olan motor isterlerine ait parametrelerde belirlenmeye çalışılmıştır. Tezin konusu olan asenkron motorlar üzerinde durulmuş, asenkron motor tasarım parametreleri ve hesaplamaları incelenmiştir. Bölüm 4'te Türkiye pazarında muhtemel elektrikli araç dönüşümü sağlayabilecek bir araç için motor parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca Taguchi'nin deney tasarım metodu ile ihtiyaç duyulan motor'a ulaşılabilmek için kritik tasarım parametreleri belirlenerek optimizasyon sağlanmıştır. Bölüm 4'te ihtiyaç duyulan 75kW'lık motor üretim açısından herhangi bir problem teşkil etmemektedir. Bununla beraber bu 75kW'lı motor için 4x4 lük bir çekiş sistemi düşünüldüğünde ihtiyaç duyulan motor gücü 17,5kW'a düşmektedir. Fakat 17,5kW'lık bir motoru test edebilecek bir laboratuara sahip olunmadığından dolayı daha küçük kapasiteli ve daha küçük motor gücüne sahip bir araç üzerine odaklanılmıştır. Bölüm 5'te iki yolcu kapasiteli elektrikli bir araç için ihtiyaç duyulan motor performans parametreleri belirlenmiş ve buna uygun bir araç tekeri için motor uzunluğu, minimum ve maksimum motor çapları gözönüne alınarak ihtiyaç duyulan motor performans parametrelerine ulaşılması çalışılmıştır. Bu bölümdeki iki yolcu kapasiteli araç için motor ihticacı 13kW'tır. Bu araç için düşünülen çekiş sistemi 4x2 olduğu için ihtiyaç duyulan motor gücü 6.5kW olmaktadır. Tezin konusu olan radiaxial geometri fikri, bölüm 5'te rotor ve stator malzemelerine (M19) bağlı doyma akısına varmaksızın belirlenmiş maksimum ve minimum motor çapları ile motor uzunluğu üzerinden kurugulanmıştır. Bölüm 6'da radiaxial akılı asenkron motor için konikli açısına bağlı motor performans parametrelerinin değişimi analiz edilmiştir. Bu bölümde koniklik açısının değişimini inceleyebilmek için öncelikle 8 farklı (190m'den 280m'ye kadar değişen çaplara sahip motorlar için belirlenen açılar) açığa sahip radiaxial motor ile 3 farklı (190mm, 235mm ve 280mm çaplar) çapa sahip standart asenkron motor analiz edilmiştir.

Yapılan analizde bu motorların tam yükte ve yüksüz çalışma modlarındaki performansları incelenmiştir. Ayrıca optimal sonuçları veren radiaxial motor (190mm'den 223,75mm'ye çapa sahip ve 6.42°) için farklı çalışma frekanslarında (20Hz, 30Hz, 44Hz, 50Hz ve 75Hz) tam yükte ve yüksüz çalışma modlarında da analizler yapılmıştır. Bununla beraber bölüm 6 daki tüm motor kombinasyonları için stator ve rotor ohmik kayıpları, nüve kayıpları ile hava aralığı güçleride incelenmiştir. Son olarak bu bölümdeki motorlar ağırlıkları bakımından kıyaslanmış ve birim ağırlık başına verebildikleri güçler hesaplanmıştır. Bölüm 7'de ise prototip ve test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Prototipi üretilen motor (190mm'den 280mm'ye) için boşa çalışma ve kilitli rotor deneyleri ile eşdeğer devre parametreleri çıkartılmıştır. Ayrıca prototip motor farklı çalışma frekanslarında (20Hz, 30Hz, 44Hz, 50Hz ve 75Hz) tam yükte ve yüksüz çalışma modlarında da test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları ile analiz sonuçları kıyaslanarak korelasyon incelenmiştir. Analiz sonuçları ele alındığında radyal akılı motorlardan 235 mm çapa sahip motor, radiaxial akılı motorlarda ise Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de yer alan optimum değerler ışığında radiaxial motorun koniklik açısı 6.42 derece olduğu 190mm den 223.75mm ye olan motor kıyaslandığında;

* Güç faktörü açısından radyal akılı motor (%3.2) daha iyi performans sağlamaktadır.

* Verim açısından ise radyal ve radiaxial akılı motorlar bir birine çok yakın performans göstermekle beraber, Radiaxial akılı motor (%1.5) daha iyi performans sağlamaktadır.

* Yolalma (%7) ve Devrilme momentinde (%3.9) ise radiaxial akılı motor daha iyi performans sağlamaktadır.

* Devrilme zamanı ve Devrilme Deviri açısından ise radyal akılı motor daha uzun (%2.5) sürede ve yüksek devir sağlamaktadır. Bununla beraber boşa çalışmada (yüksüz modda) radiaxial akılı motor daha uzun sürede ve yüksek devir sağlamaktadır.

* Anma momentinde ve Anma zamanında radiaxial akılı daha yüksek moment (%9)

ve daha kısa sürede (%16) tepki sağlamaktadır. Bu durum boşta çalışma deneyinde tersi ile sonuçlanmaktadır

* Genel olarak ise üretim zorluğu ve uzun işçilik maliyetlerinden kaynaklanacak sebepler radyal akılı motorun bir seçim sebebi olurken, %25'e kadar araç ağırlıklarının azaltılması (10kg+10kg=20kg) ve ham madde kullanımı azalmasına olanak sağlayan radiaxial akılı motor bir tercih sebebi olabilecektir.

*Ayrıca asenkron motorlarda kalkış momentinin yüksek istenmesi gibi durumlar içinde radiaxial akılı motor % 7'lik daha yüksek kalkış torku ile bir avantajı sahiptir.

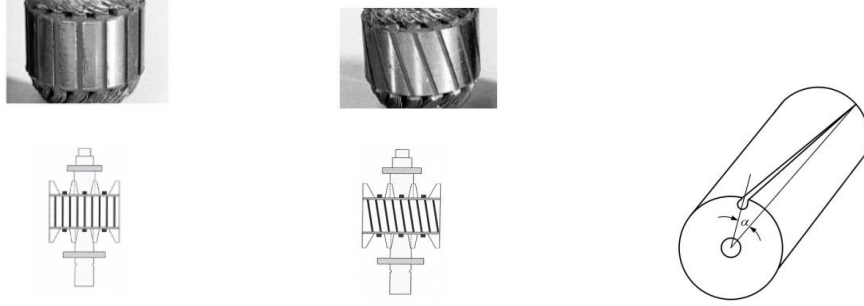
*Radiaxial akılı motor (344,31 watt), radyal akılı motora (645,65 watt) nispeten demir kayıplarının %87'ye kadar azaltarak, hava aralığı gücünün %13' e kadar artmasını da sağlayarak verimi arttırdığı görülmüştür.

*Bununla beraber radiaxial akılı motor (261,90 watt/kg), kg başına düşen güç miktarı bakımından radyal akılı motora (174,62 watt/kg) göre yaklaşık %50 avantaj sağlamaktadır.

*Yapılan test ve analiz çalışmaları değerlendirildiğinde ortalama hata %12,6 lık bir başarı oranı ile analiz modelini doğrulamıştır.

Endüstride kullanılan standart tip asenkron motorların, bu tez çalışmasına nispeten verimleri yüksek gözükmemektedir. Bu durum standart bir asenkron motorun elektrikli araç uygulamalarında kullanılabilirliği sorusunun değerlendirilmesine yol açmaktadır. Fakat bu tez çalışmasındaki 6.5 kW'lık Radiaxial akılı motorun elektrikli bir araçtan beklenen 0 km/h den 45 km/h hıza çıkmasının maksimum 6 saniyede gerçekleşmesi gerekliliği ile beraber, 10 derece eğime sahip bir yolda aynı aracın ihtiyaç duyulan yolalma momentini sağlayabilmeside gereklidir. Bu koşullar göz önüne alındığında standart tip asenkron motorların stator ve rotor oluk geometrileri ile stator ve rotor sargılarında bazı modifikasyonların yapılarak ihtiyaç duyulan performansın yakalanabildiği görülmektedir. Bu modifikasyonlar sağlandığında ise motor verimi Radiaxial akılı asenkron motorun ki ile benzerlik göstermektedir.

8.2. Öneriler



a) Düz Rotor

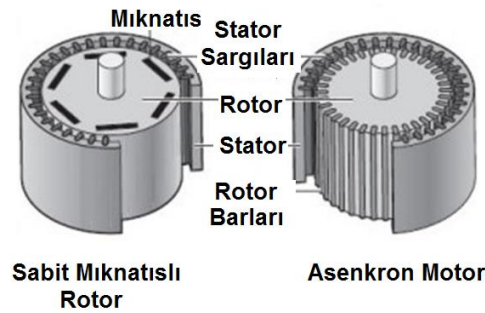
b) Skewed Rotor

c) Skew Açısı

Şekil 8.1. Skew Açılı ve Düz Rotor'un Kıyaslanması

Bu tez çalışmasında ele alınan radial akı konik geometrili motor için manyetik harmoniklerden oluşan torsiyon etkisini azaltmak için bir skew açısını rotor üzerinde uygulamak bu problemin çözümüne bir olanak sağlayabilir. Skew açısına yönelik gösterimler ve kıyaslamalar Şekil 8.1'de verilmiştir.

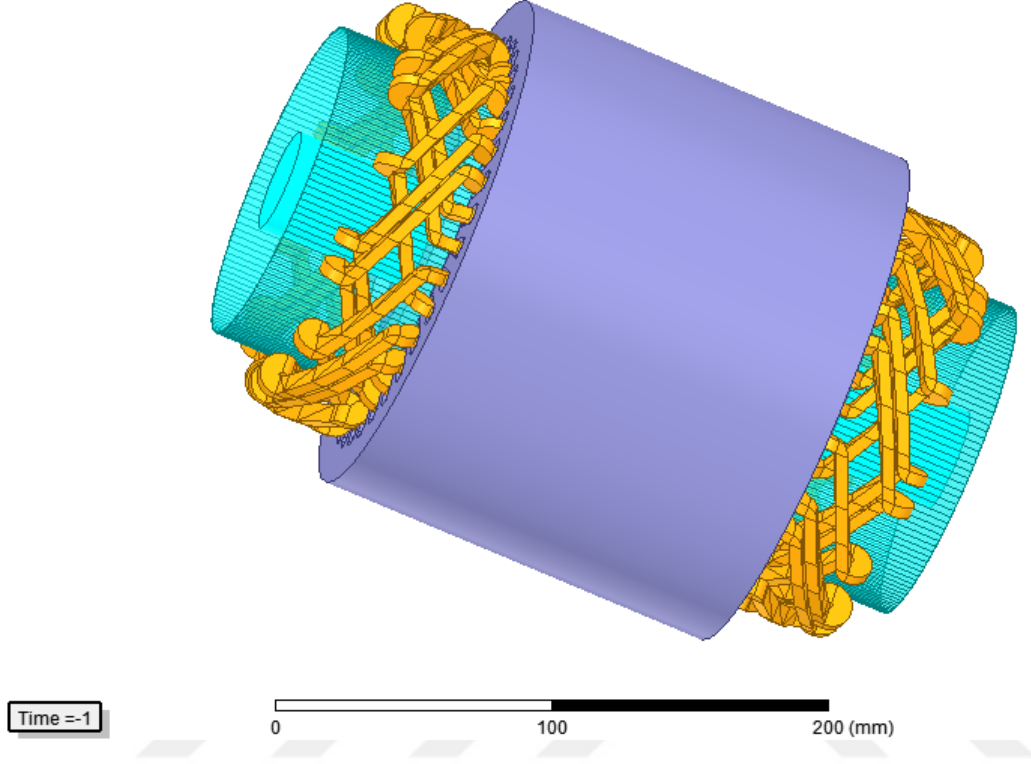
Ayrıca daha küçük hacimlerde daha yüksek performans elde etmek için rotor üzerine yerleştirilecek sabit mıknatıslar bunu sağlayabilmektedir. Bu durumu anlatmaya ilişkin görsel Şekil 8.2'de verilmiştir.



Şekil 8.2. Sincap Kafesli Asenkron Motor ve Şebeke Yol Vermeli Sabit Mıknatıslı Rotor Sahip Motorun Kıyaslanması

Şekil 8.1' ve Şekil 8.2'de verilen öneriler bu tez çalışmasında elde edilen kazanımlar ile birleştirilerek daha küçük hacimli yüksek performansa sahip ve manyetik harmonikleri bastırılabilen bir motor modeli elde edilebilir.

EK-A Radial Akılı Motorlara Ait 3D Görünümler, Tasarım ve Analiz Parametreleri

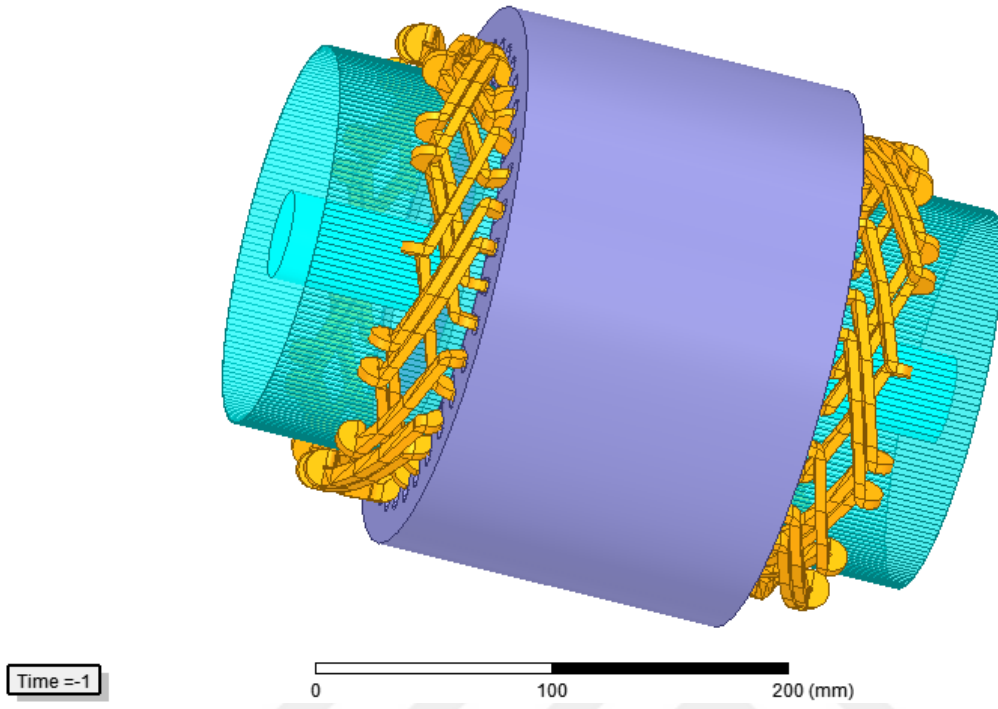


EK-A : Şekil 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D görüntüsü

EK-A : Tablo 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için Analiz ve Tasarım

Parametreleri

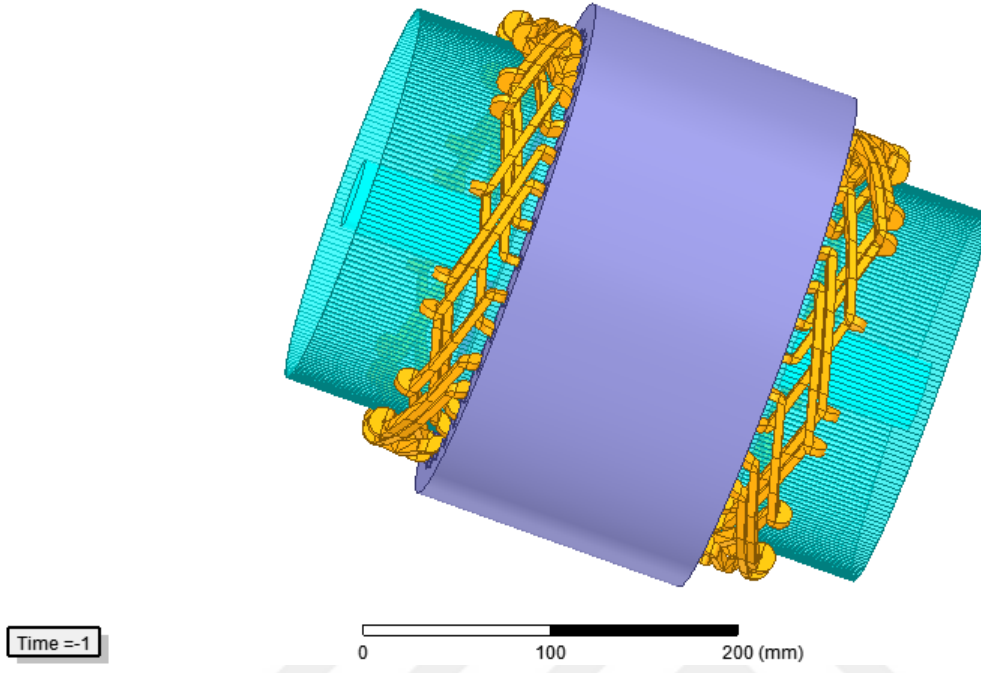
Parametre	Değeri	Birimi
Faz Gerilimi L-L	380	V
Çalışma Frekansı	50	Hz
Faz Dirençleri (R1,R2,R3)	1,66903	Ohm
Eylemsizlik Momenti	0,0238183	km.m2
Sönümleme	0,0121938	Nm.sec/rad
Yük Torku (Nm)	if(speed<116.239,-0.47365*speed,-6399.71/speed)	
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Stator Dış Çap	190	mm
Stator İç Çap	121	mm
Motor Uzunluğu	150	mm
Rotor Çapı	120	mm
Şaft Çapı	55	mm
Stacking Faktör	0.92	-
Sarım Sayısı	22	-
Tel Çapı	1,08	mm
Rotor Bilezik Genişliği	6	mm
Rotor Bilezik Yüksekliği	17	mm
Rotor Bar Malzemesi	cast_aluminum_75C	-
Stator ve Rotor Nüve Malz.	M19_24G	-
Stator Oluk Hs0	0,8	mm
Stator Oluk Hs1	0,58	mm
Stator Oluk Hs2	15,09	mm
Stator Oluk Bs0	3	mm
Stator Oluk Bs1	5,5	mm
Stator Oluk Bs2	8,14	mm
Stator Oluk Hs0	0,5	mm
Stator Oluk Hs01	0	mm
Stator Oluk Hs1	0,66	mm
Stator Oluk Hs2	14,34	mm
Stator Oluk Bs0	1	mm
Stator Oluk Bs1	3,3	mm
Stator Oluk Bs2	3,3	mm



EK-A : Şekil 2. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D görüntüsü

EK-A : Tablo 2. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için Analiz ve Tasarım Parametreleri

Parametre	Değeri	Birimi
Faz Gerilimi L-L	380	V
Çalışma Frekansı	50	Hz
Faz Dirençleri (R1,R2,R3)	1,8476	Ohm
Eylemsizlik Momenti	0,0851376	km.m2
Sönümleme	0,012566	Nm.sec/rad
Yük Torku (Nm)	if(speed<117.81,-0.461117*speed,-6399.9/speed)	
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Stator Dış Çap	235	mm
Stator İç Çap	166	mm
Motor Uzunluğu	150	mm
Rotor Çapı	165	mm
Şaft Çapı	55	mm
Stacking Faktör	0.92	-
Sarım Sayısı	22	-
Tel Çapı	1,08	mm
Rotor Bilezik Genişliği	6	mm
Rotor Bilezik Yüksekliği	17	mm
Rotor Bar Malzemesi	cast_aluminum_75C	-
Stator ve Rotor Nüve Malz.	M19_24G	-
Stator Oluk Hs0	0,8	mm
Stator Oluk Hs1	0,58	mm
Stator Oluk Hs2	15,09	mm
Stator Oluk Bs0	3	mm
Stator Oluk Bs1	5,5	mm
Stator Oluk Bs2	8,14	mm
Stator Oluk Hs0	0,5	mm
Stator Oluk Hs01	0	mm
Stator Oluk Hs1	0,66	mm
Stator Oluk Hs2	14,34	mm
Stator Oluk Bs0	1	mm
Stator Oluk Bs1	3,3	mm
Stator Oluk Bs2	3,3	mm



EK-A : Şekil 3. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D görüntüsü

EK-A : Tablo 3. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için Analiz ve Tasarım Parametreleri

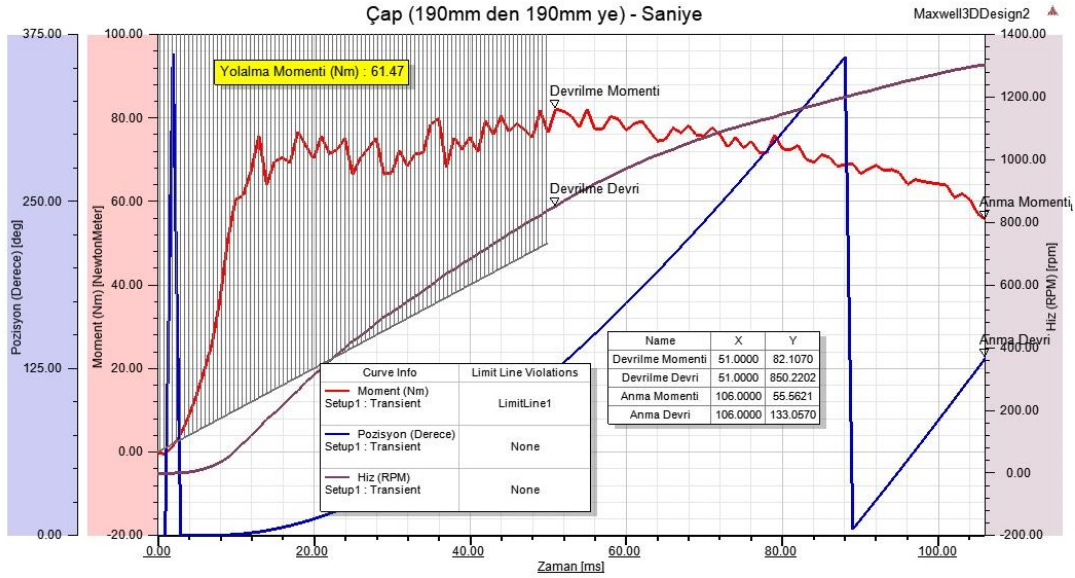
Parametre	Değeri	Birimi
Faz Gerilimi L-L	380	V
Çalışma Frekansı	50	Hz
Faz Dirençleri (R1,R2,R3)	2,03036	Ohm
Eylemsizlik Momenti	0,22339	km.m2
Sönümleme	0,0133735	Nm.sec/rad
Yük Torku (Nm)	if(speed<117.81,-0.461096*speed,-6399.61/speed)	
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Stator Dış Çap	280	mm
Stator İç Çap	211	mm
Motor Uzunluğu	150	mm
Rotor Çapı	210	mm
Şaft Çapı	55	mm
Stacking Faktör	0.92	-
Sarım Sayısı	22	-
Tel Çapı	1,08	mm
Rotor Bilezik Genişliği	6	mm
Rotor Bilezik Yüksekliği	17	mm
Rotor Bar Malzemesi	cast_aluminum_75C	-
Stator ve Rotor Nüve Malz.	M19_24G	-
Stator Oluk Hs0	0,8	mm
Stator Oluk Hs1	0,58	mm
Stator Oluk Hs2	15,09	mm
Stator Oluk Bs0	3	mm
Stator Oluk Bs1	5,5	mm
Stator Oluk Bs2	8,14	mm
Stator Oluk Hs0	0,5	mm
Stator Oluk Hs01	0	mm
Stator Oluk Hs1	0,66	mm
Stator Oluk Hs2	14,34	mm
Stator Oluk Bs0	1	mm
Stator Oluk Bs1	3,3	mm
Stator Oluk Bs2	3,3	mm

EK-B Radiaxial Akıllı Motorlara Ait Analiz ve Tasarım Parametreleri

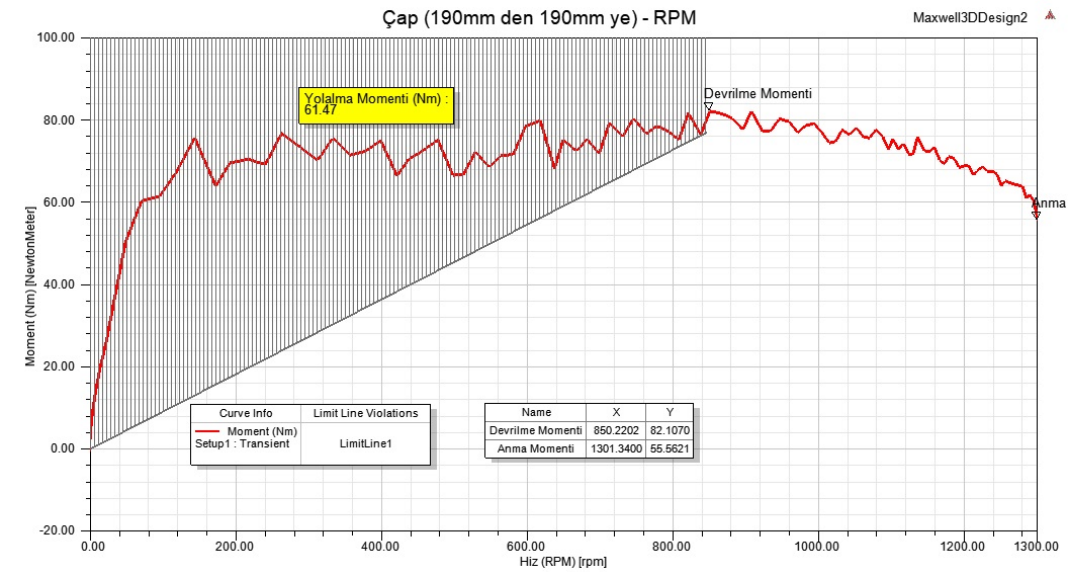
EK-B : Tablo 1. Radiaxial Akıllı ve Uzunluk:150mm olan Motor için Analiz ve Tasarım Parametreleri

Parametre	Değeri	Birimi
Faz Gerilimi L-L	380	V
Çalışma Frekansı	50	Hz
Faz Dirençleri (R1,R2,R3)	1,66903 - 2,03036	Ohm
Eylemsizlik Momenti	0,0238183 - 0,22339	km.m2
Sönümleme	0,0121938 - 0,0133735	Nm.sec/rad
Yük Torku (Nm)	if(speed<116.239,-0.47365*speed,-6399.71/speed)	-
	if(speed<117.81,-0.461096*speed,-6399.61/speed)	
Stator Oluk Sayısı	36	-
Rotor Oluk Sayısı	26	-
Stator Dış Çap	190 - 280	mm
Stator İç Çap	121 - 211	mm
Motor Uzunluğu	150	mm
Rotor Çapı	120 - 210	mm
Şaft Çapı	55	mm
Stacking Faktör	0.92	-
Sarım Sayısı	22	-
Tel Çapı	1,08	mm
Rotor Bilezik Genişliği	6	mm
Rotor Bilezik Yüksekliği	17	mm
Rotor Bar Malzemesi	cast_aluminum_75C	-
Stator ve Rotor Nüve Malz.	M19_24G	-
Stator Oluk Hs0	0,8	mm
Stator Oluk Hs1	0,58	mm
Stator Oluk Hs2	15,09	mm
Stator Oluk Bs0	3	mm
Stator Oluk Bs1	5,5	mm
Stator Oluk Bs2	8,14	mm
Stator Oluk Hs0	0,5	mm
Stator Oluk Hs01	0	mm
Stator Oluk Hs1	0,66	mm
Stator Oluk Hs2	14,34	mm
Stator Oluk Bs0	1	mm
Stator Oluk Bs1	3,3	mm
Stator Oluk Bs2	3,3	mm

EK-C Radial Akılı ve Radiaxial Akılı Motorlara için Yapılan Tam Yüklü Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları, Mesh ve Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



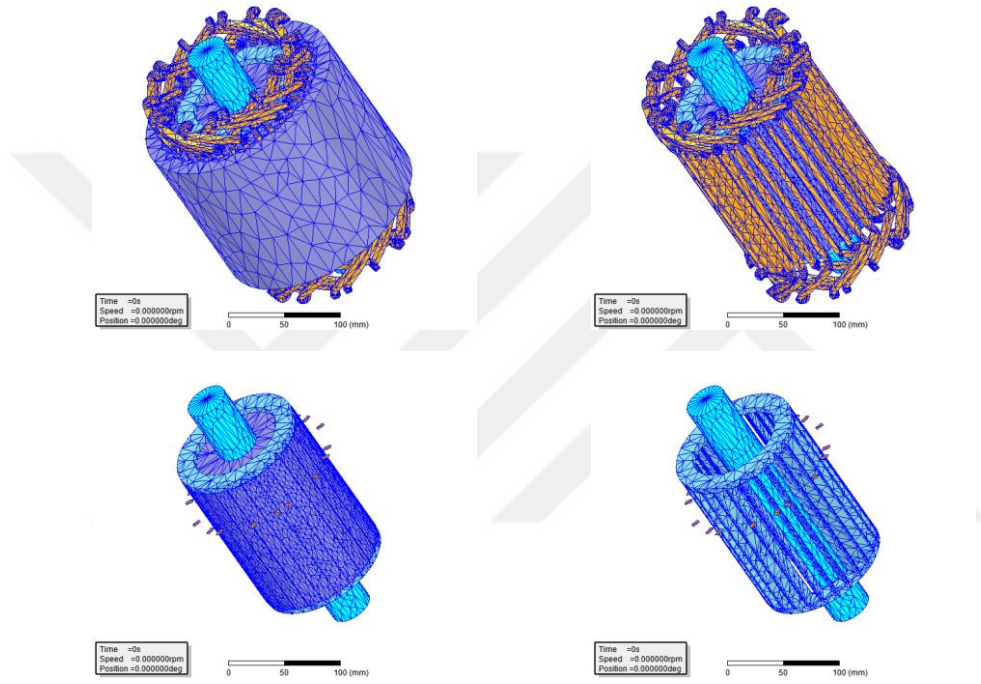
EK-C : Şekil 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



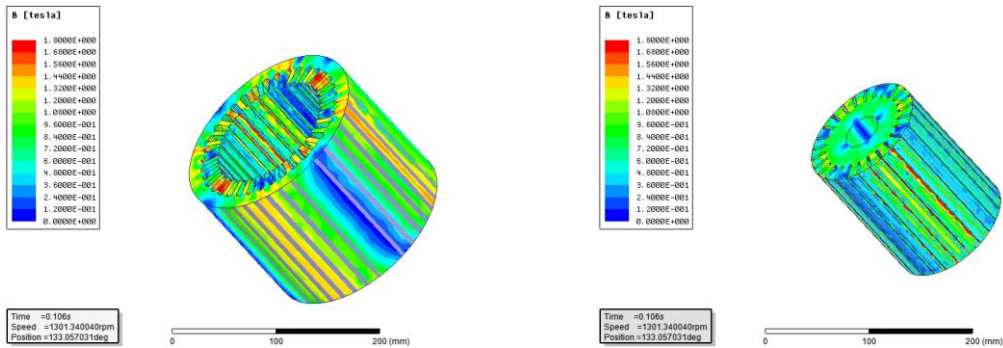
EK-C : Şekil 2. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

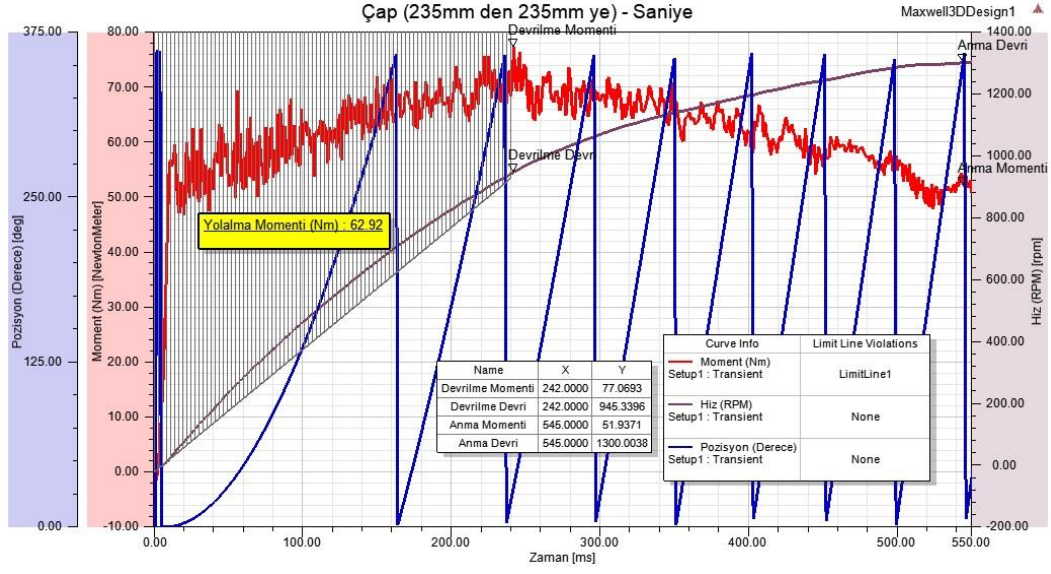
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,783	-	-	-	-	-
Verim	68,87	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	61,47	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	82,1	Nm	850	RPM	51	Milisanıye
Anma Momenti	55,56	Nm	1300	RPM	106	Milisanıye



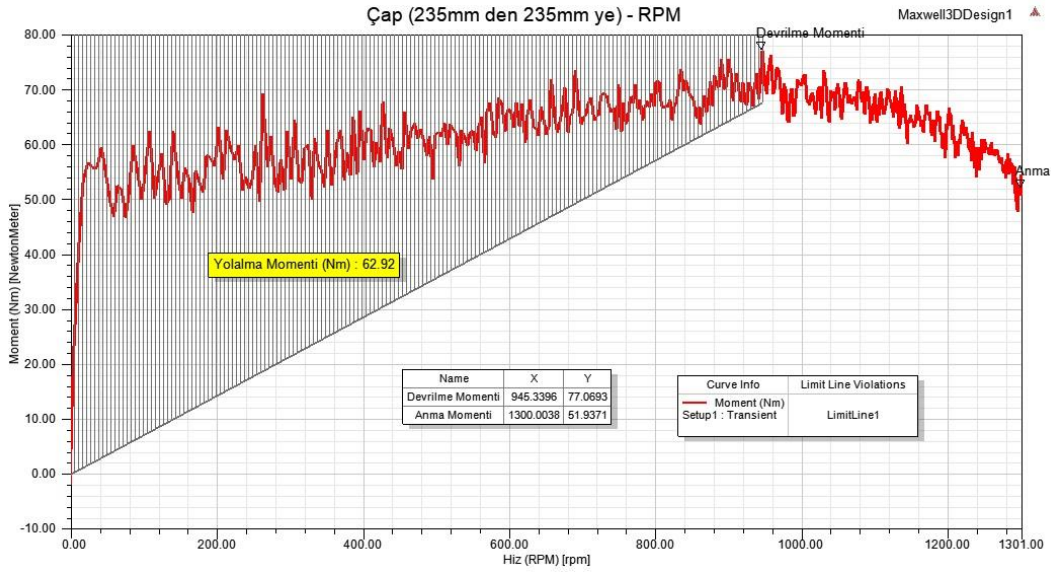
EK-C : Şekil 3. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 4. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



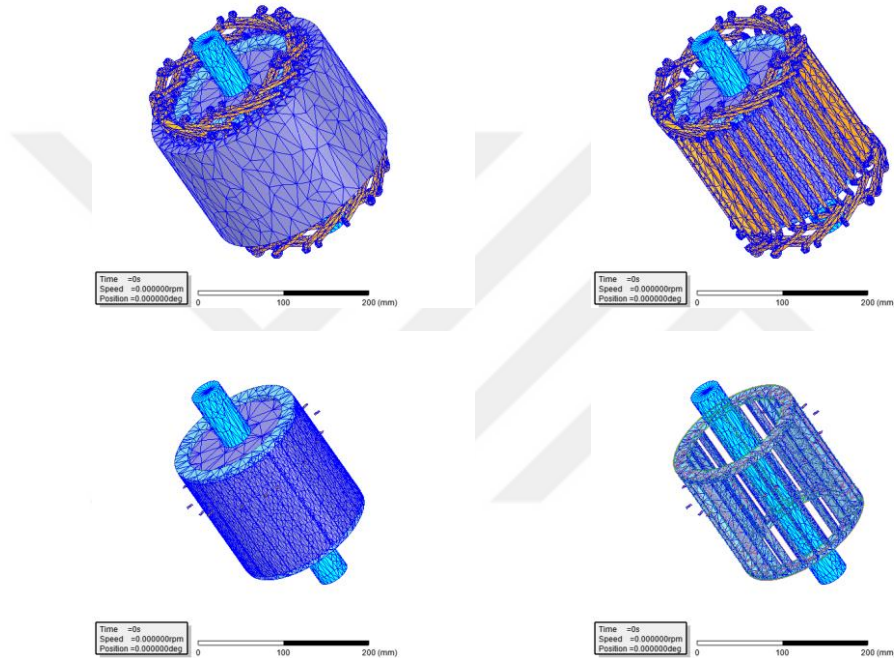
EK-C : Şekil 5. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



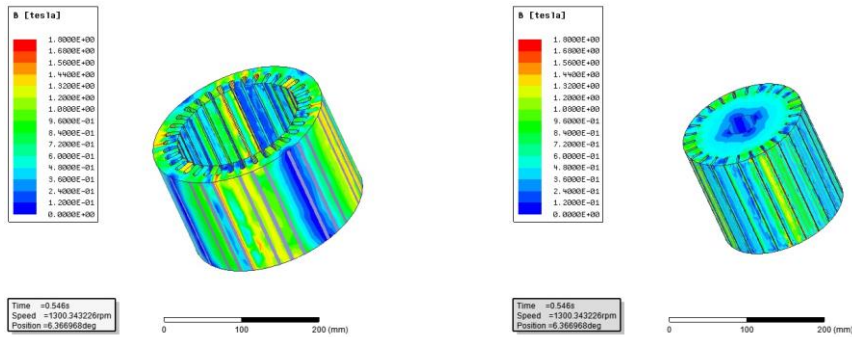
EK-C : Şekil 6. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 2. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

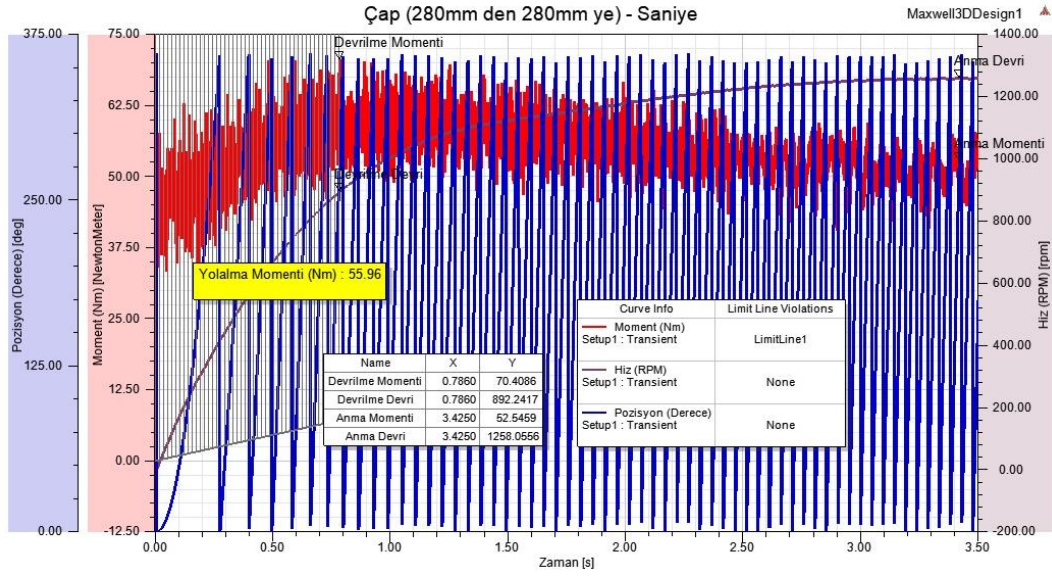
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,859	-	-	-	-	-
Verim	71,13	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	62,92	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	77,06	Nm	945	RPM	242	Milisaniye
Anma Momenti	51,93	Nm	1300	RPM	545	Milisaniye



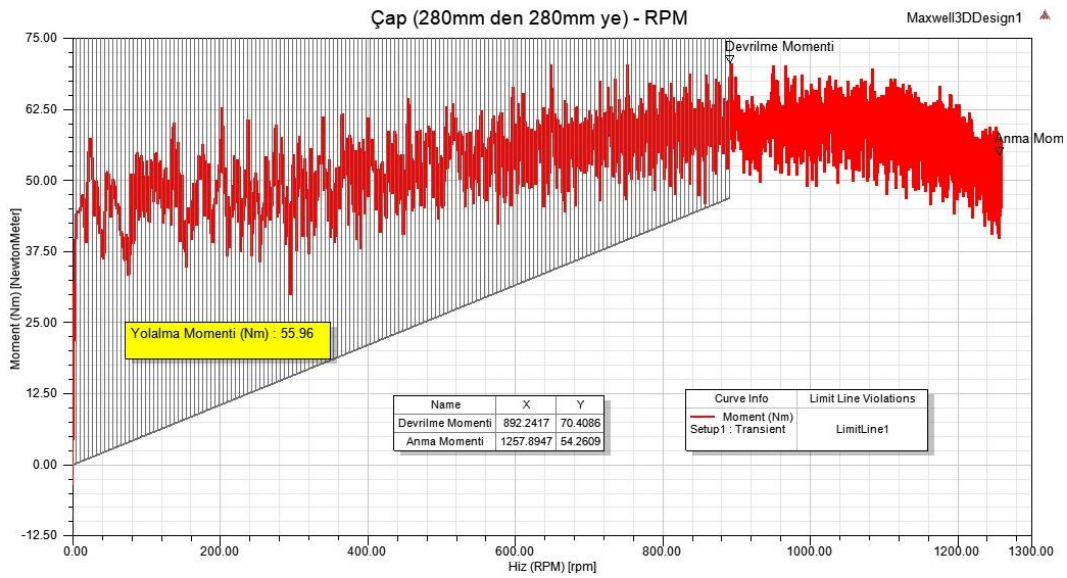
EK-C : Şekil 7. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 8. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



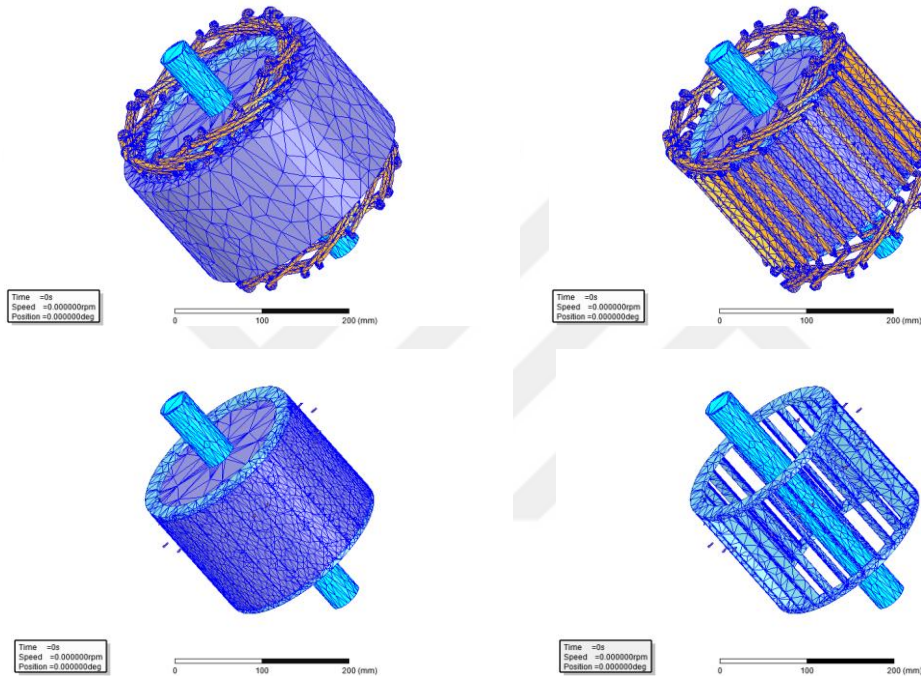
EK-C : Şekil 9. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



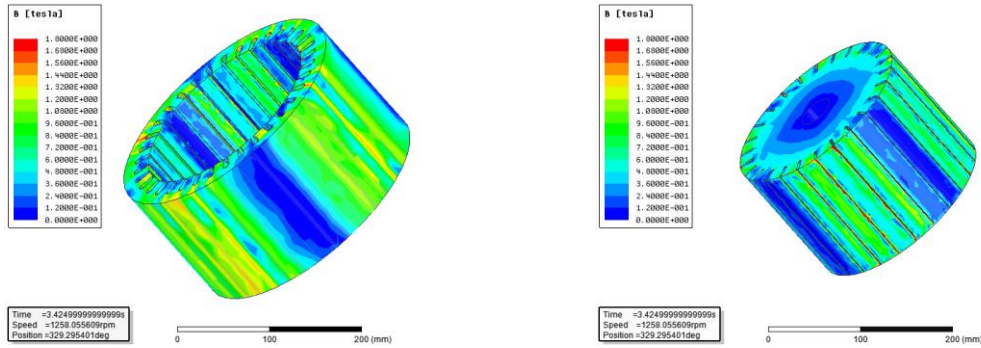
EK-C : Şekil 10. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 3. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

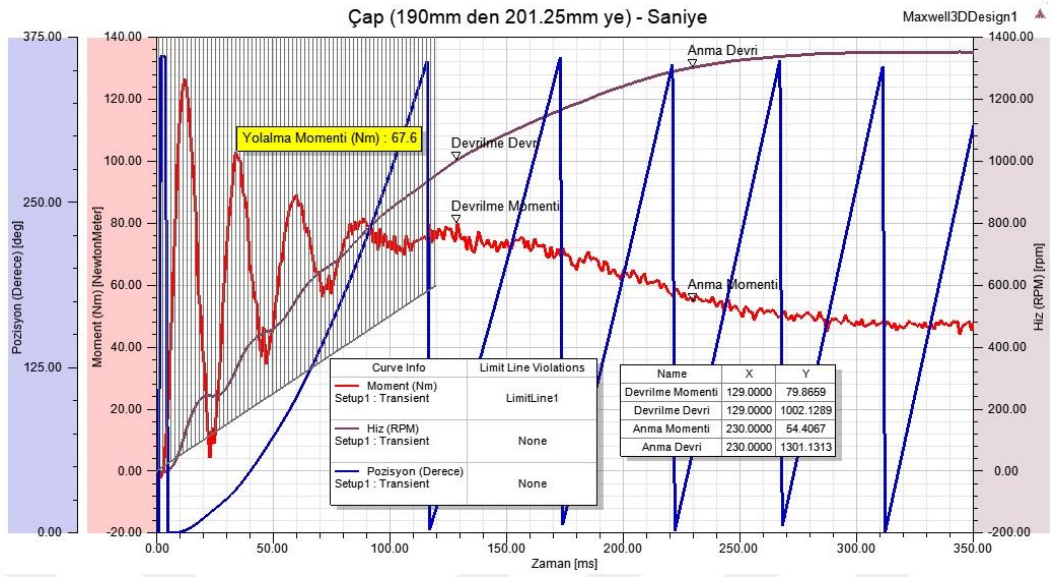
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,866	-	-	-	-	-
Verim	70,16	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	55,96	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	70,40	Nm	892	RPM	786	Milisaniye
Anma Momenti	52,54	Nm	1258	RPM	3425	Milisaniye



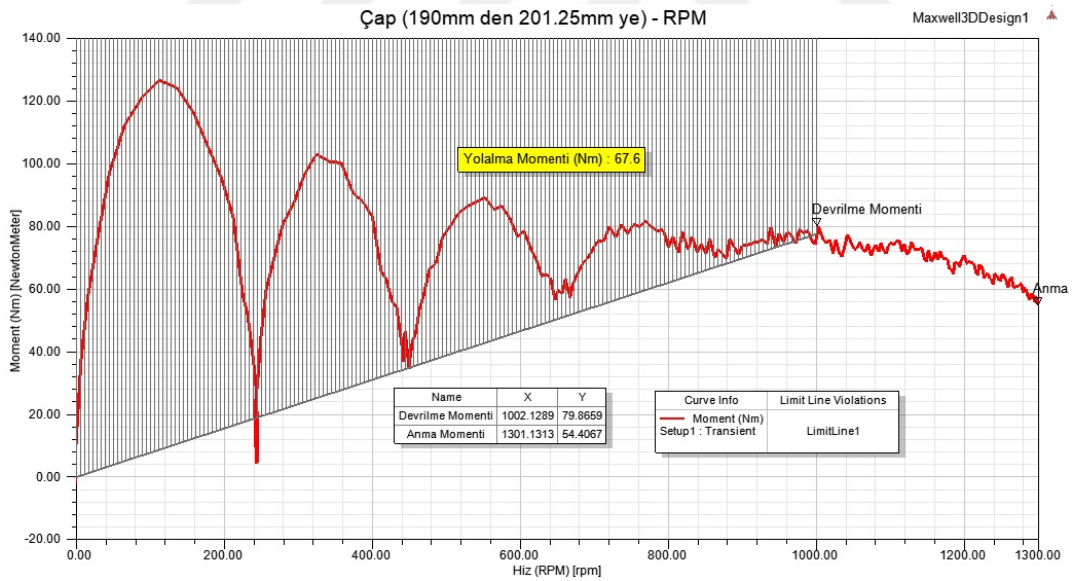
EK-C : Şekil 11. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 12. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



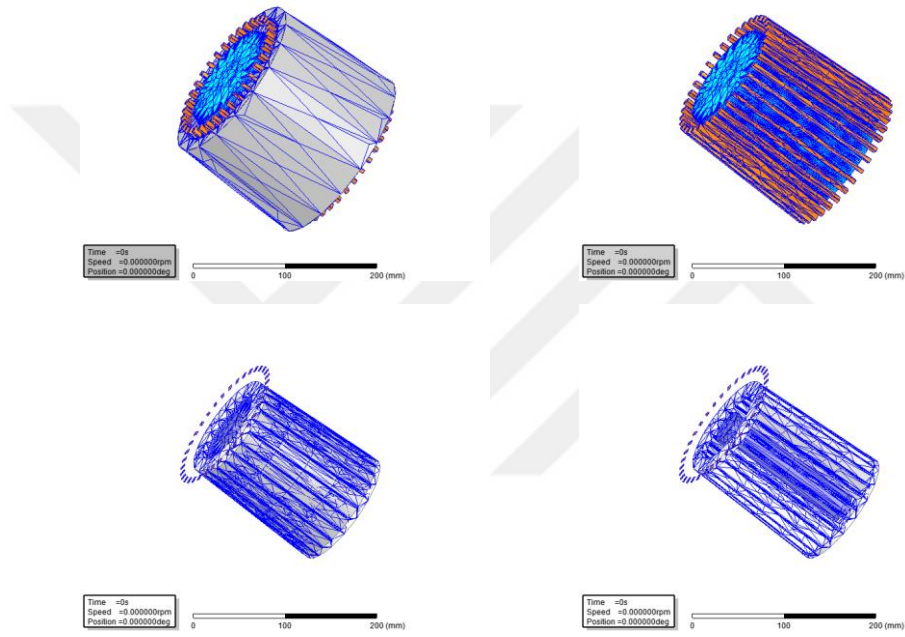
EK-C : Şekil 13. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



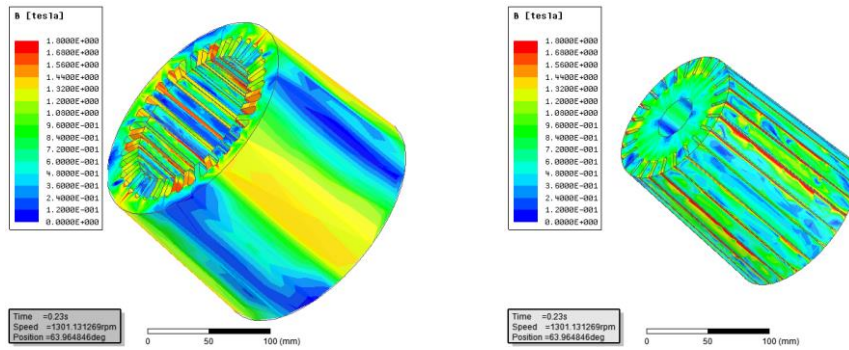
EK-C : Şekil 14. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 4. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

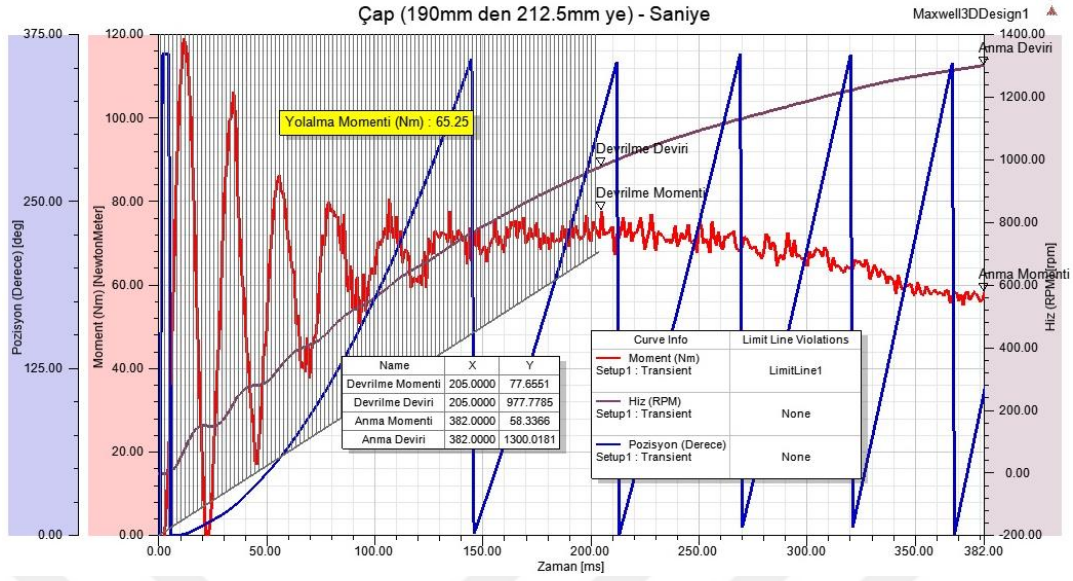
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,805	-	-	-	-	-
Verim	66,84	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	67,6	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	79,86	Nm	1002	RPM	129	Milisaniye
Anma Momenti	54,41	Nm	1300	RPM	230	Milisaniye



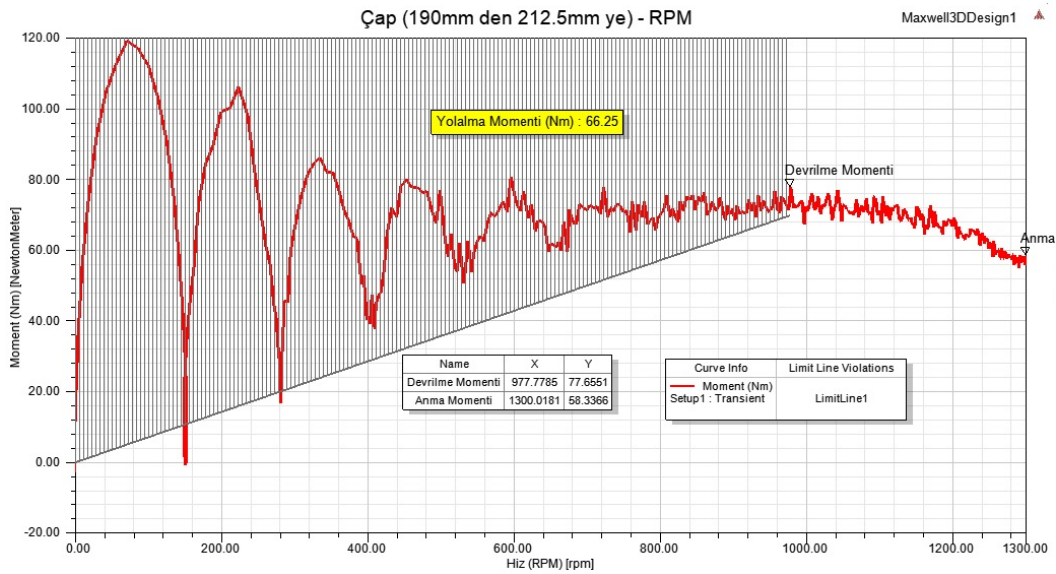
EK-C : Şekil 15. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 16. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



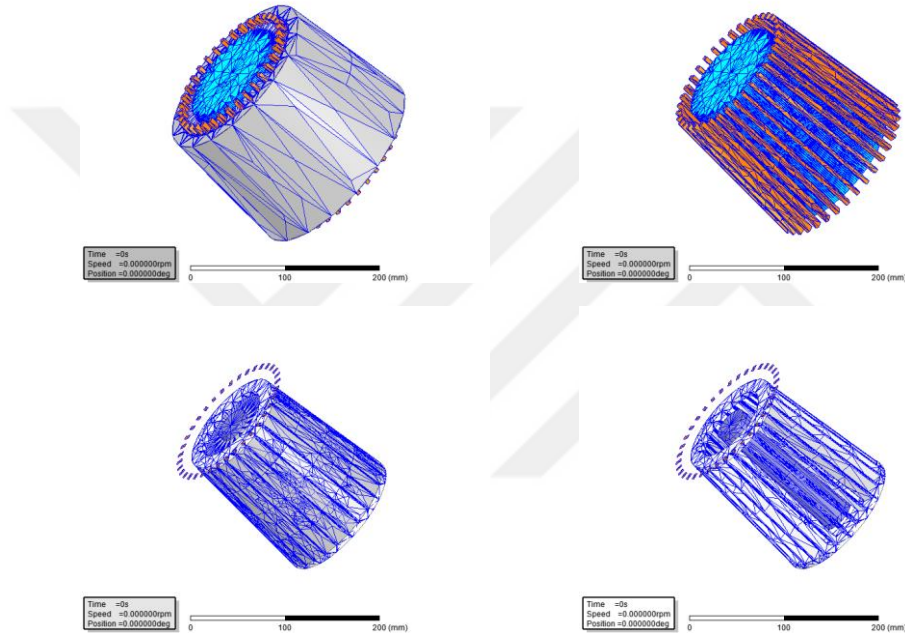
EK-C : Şekil 17. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



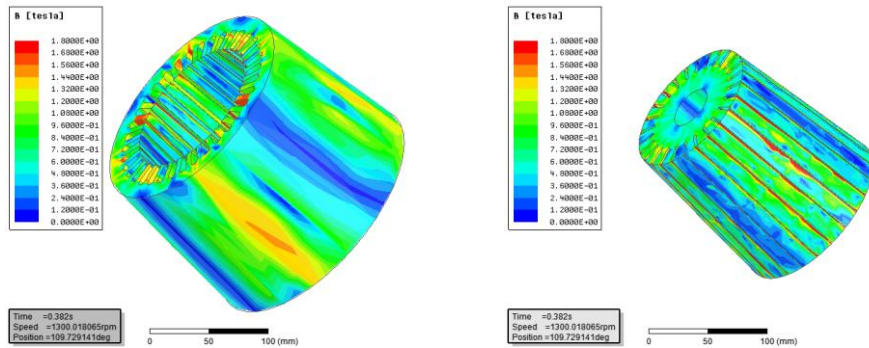
EK-C : Şekil 18. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 5. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

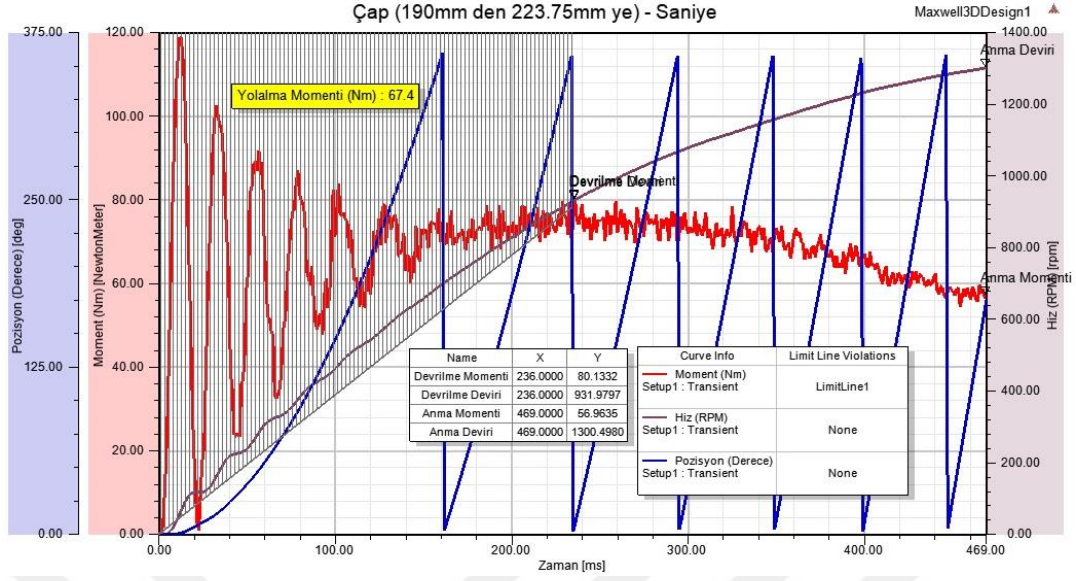
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,827	-	-	-	-	-
Verim	69,68	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	65,25	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	77,65	Nm	978	RPM	205	Milisanıye
Anma Momenti	58,34	Nm	1300	RPM	382	Milisanıye



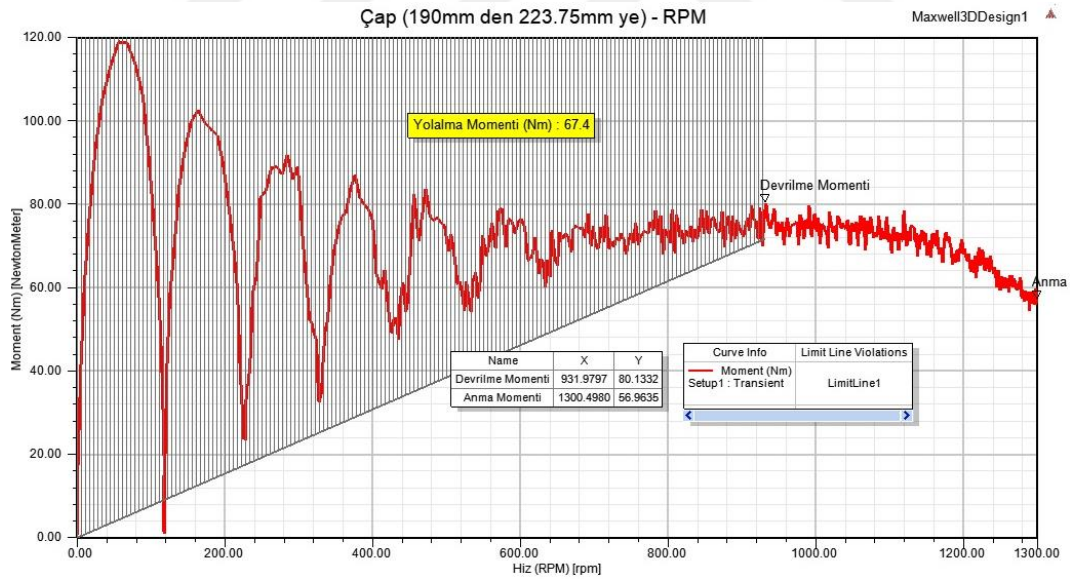
EK-C : Şekil 19. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 20. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



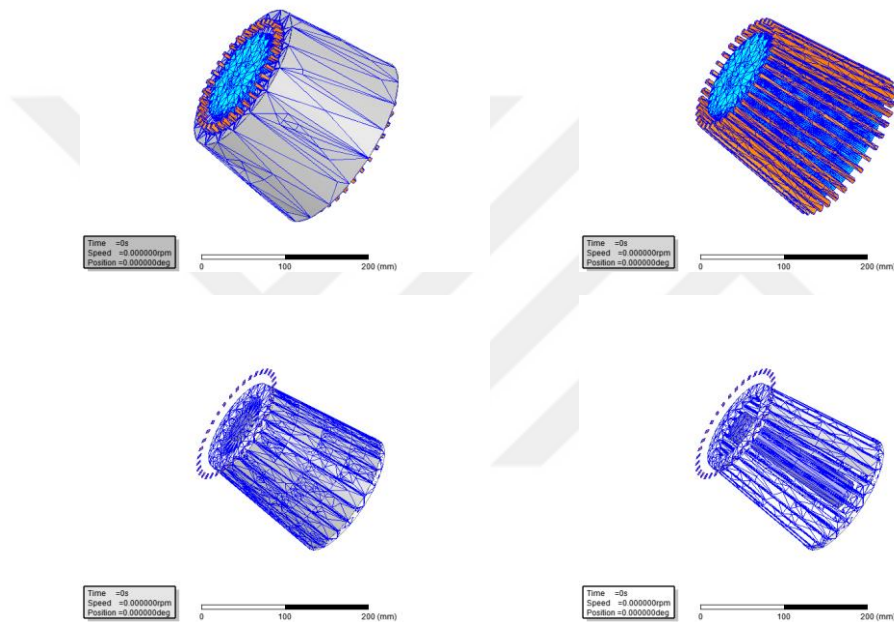
EK-C : Şekil 21. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



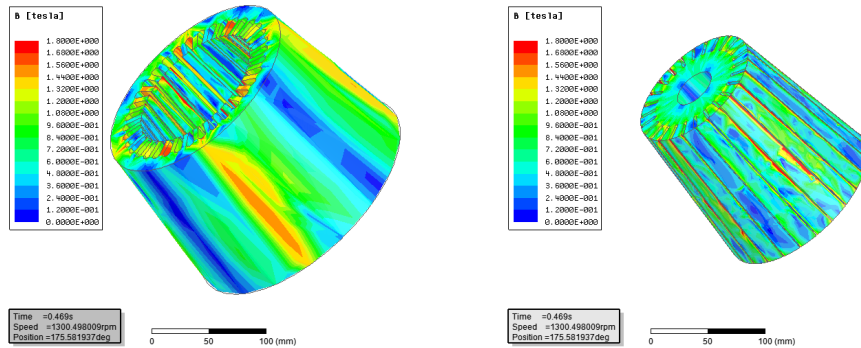
EK-C : Şekil 22. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 6. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

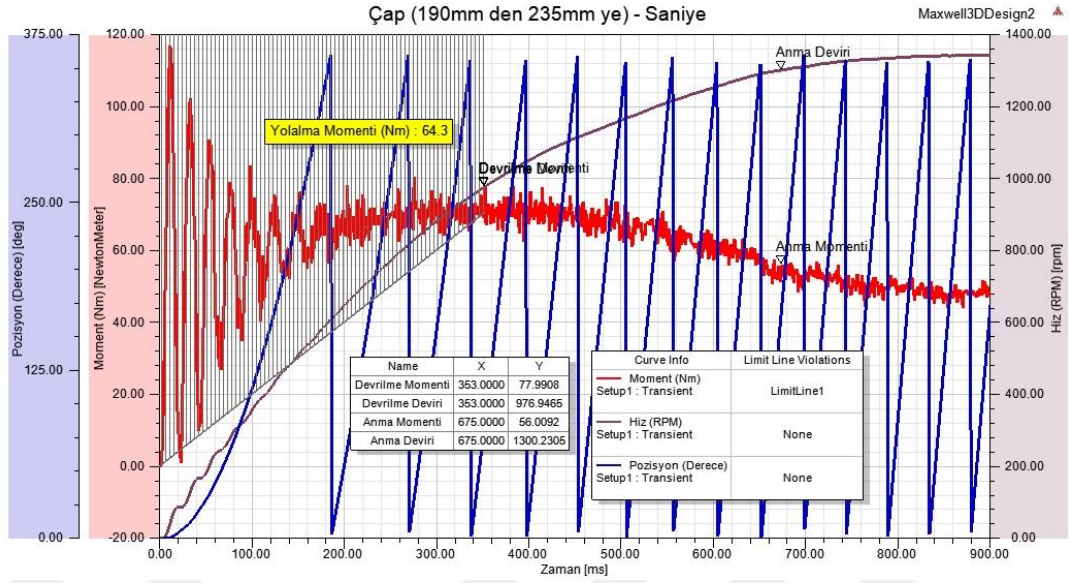
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,832	-	-	-	-	-
Verim	72,24	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	67,4	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	80,13	Nm	932	RPM	236	Milisaniye
Anma Momenti	56,96	Nm	1300	RPM	469	Milisaniye



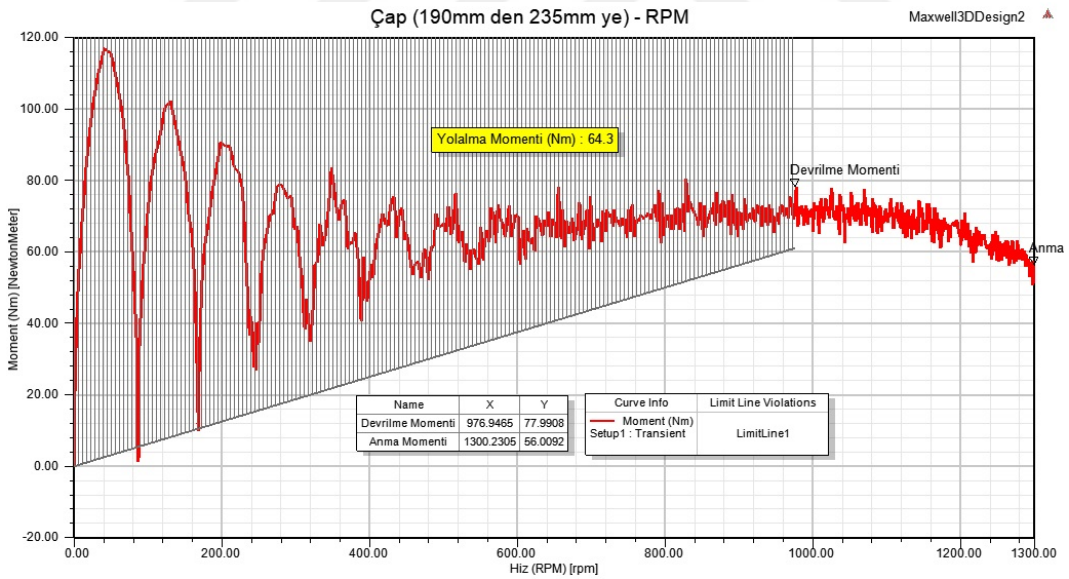
EK-C : Şekil 23. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 24. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



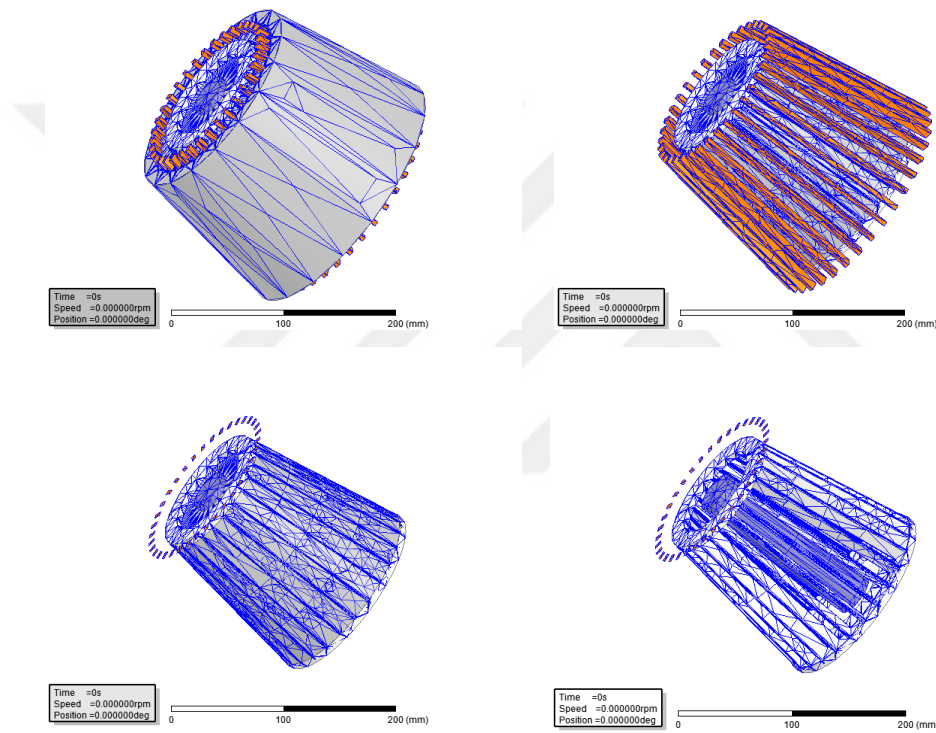
EK-C : Şekil 25. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



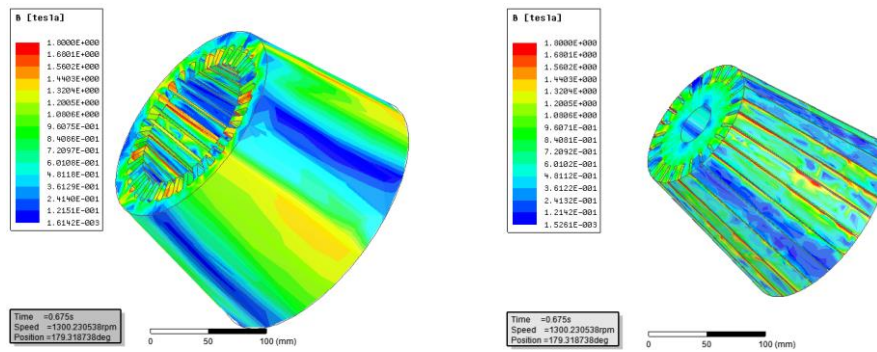
EK-C : Şekil 25. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 7. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

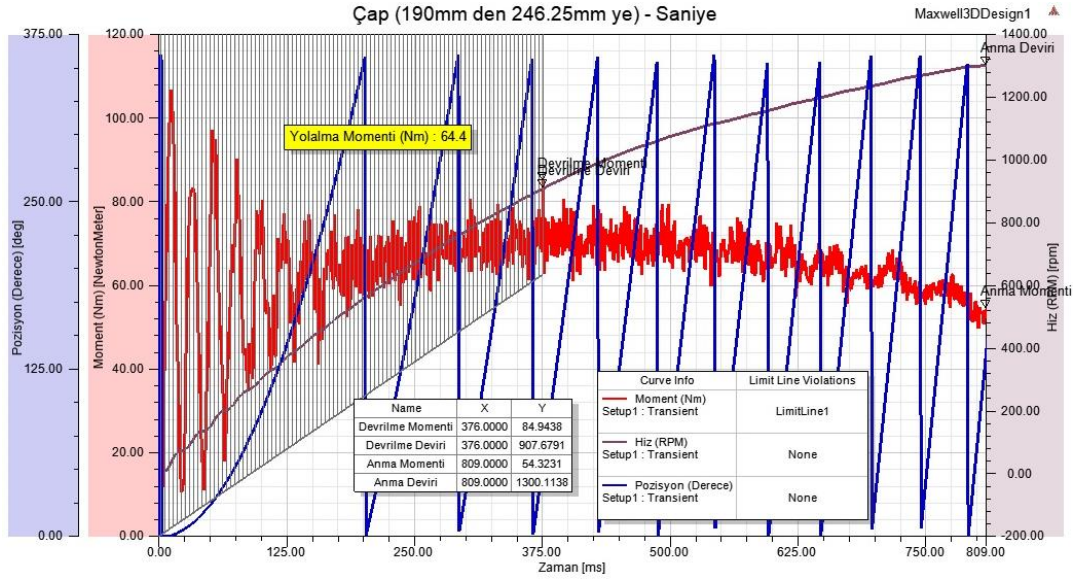
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,839	-	-	-	-	-
Verim	69,33	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	64,3	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	77,99	Nm	977	RPM	353	Milisanıye
Anma Momenti	56,01	Nm	1300	RPM	675	Milisanıye



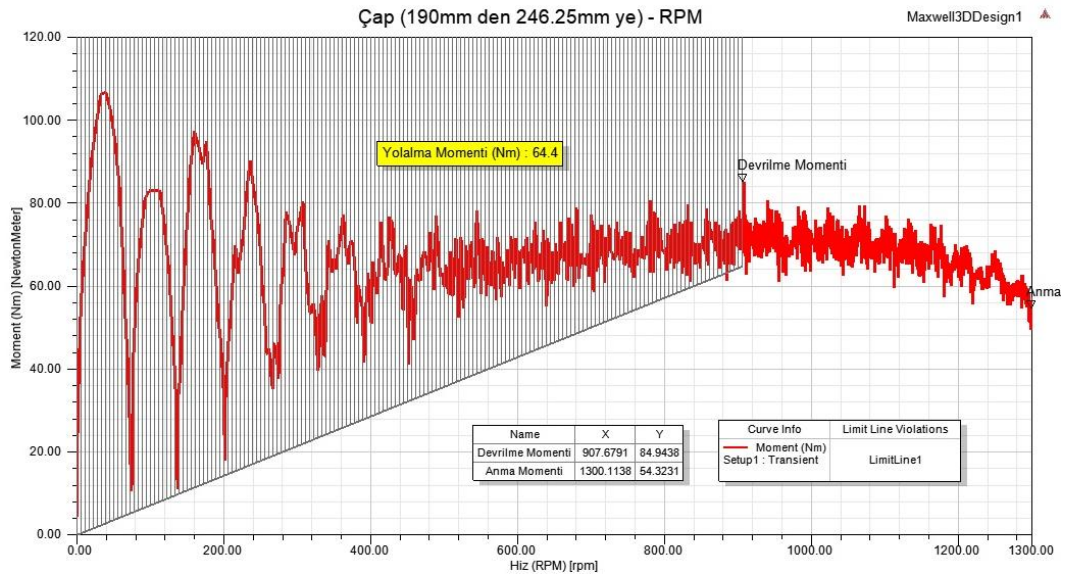
EK-C : Şekil 26. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 27. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



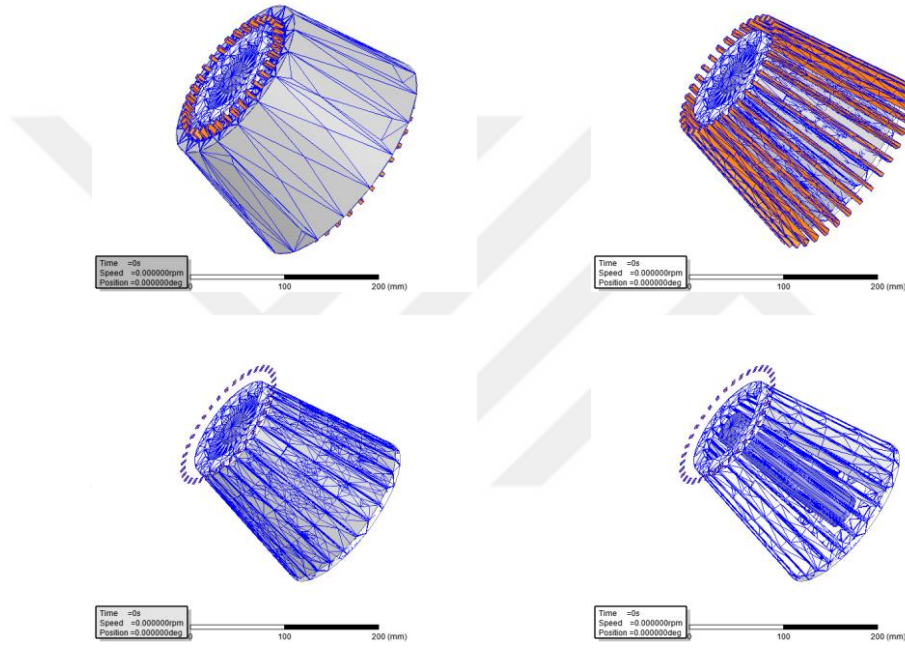
EK-C : Şekil 28. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



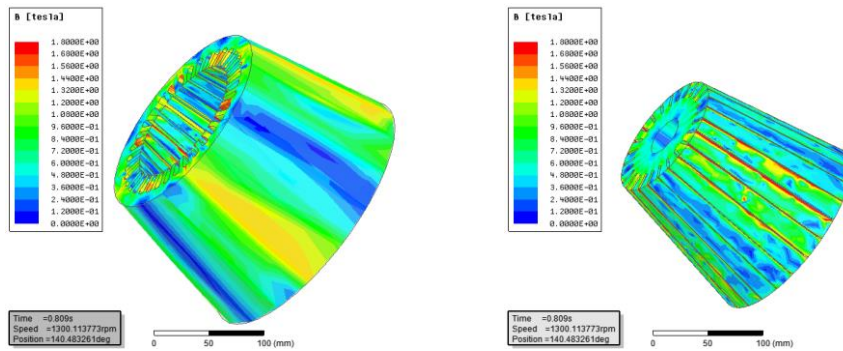
EK-C : Şekil 29. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 8. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

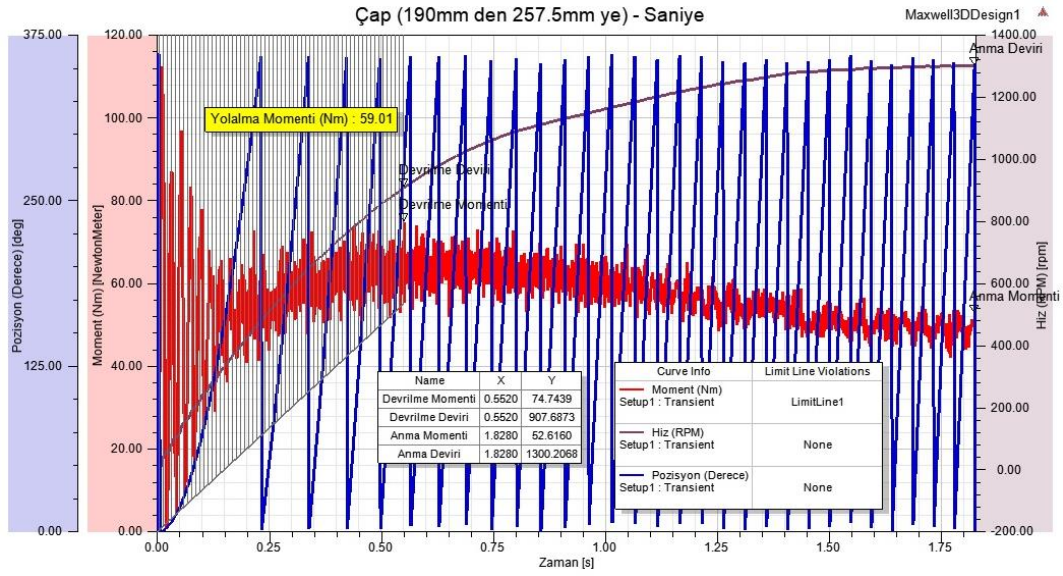
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,860	-	-	-	-	-
Verim	68,58	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	64,4	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	84,94	Nm	908	RPM	376	Milisaniye
Anma Momenti	54,32	Nm	1300	RPM	809	Milisaniye



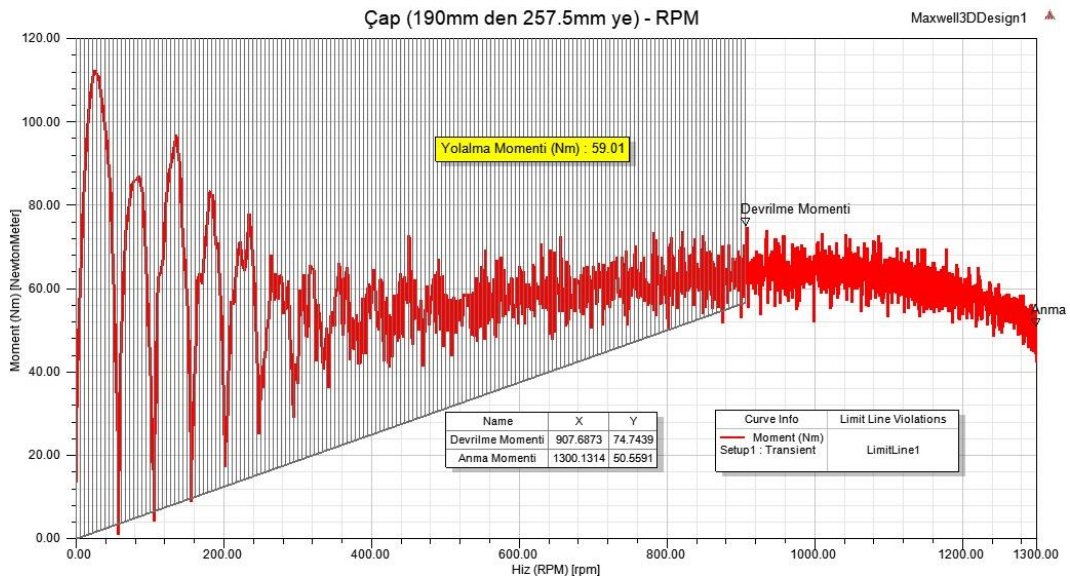
EK-C : Şekil 30. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 31. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



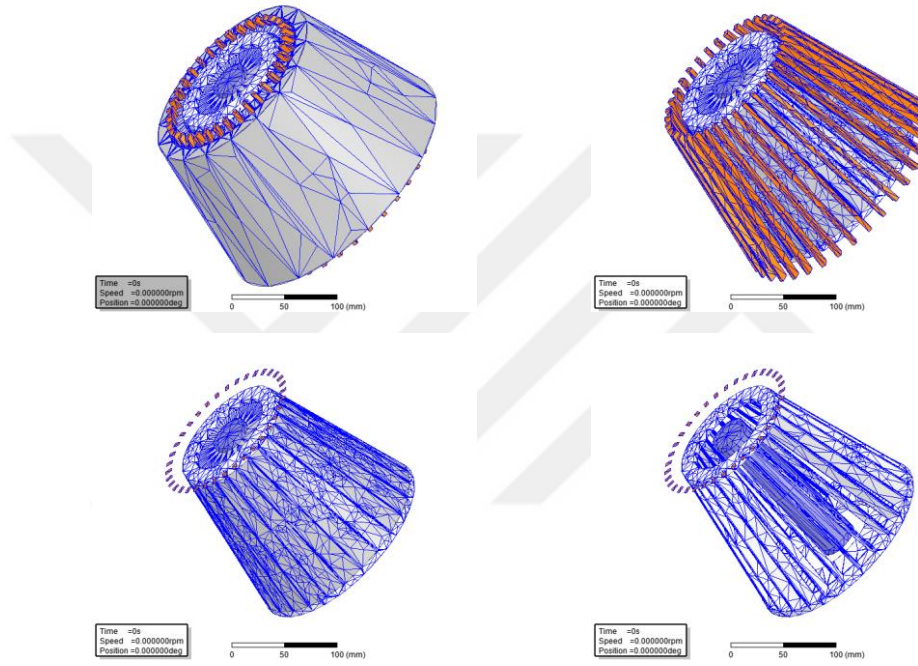
EK-C : Şekil 32. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



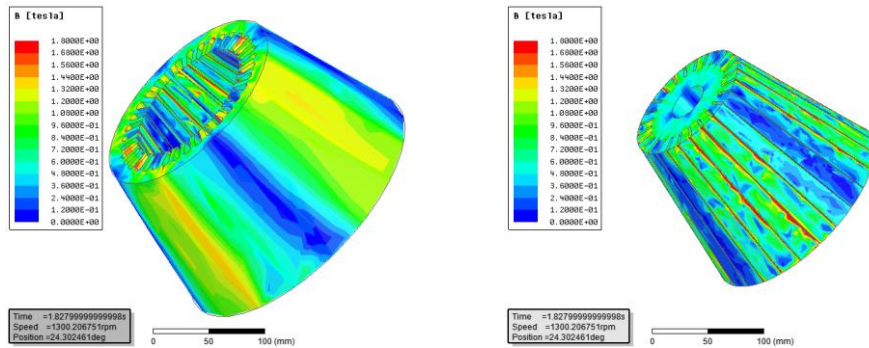
EK-C : Şekil 33. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 9. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

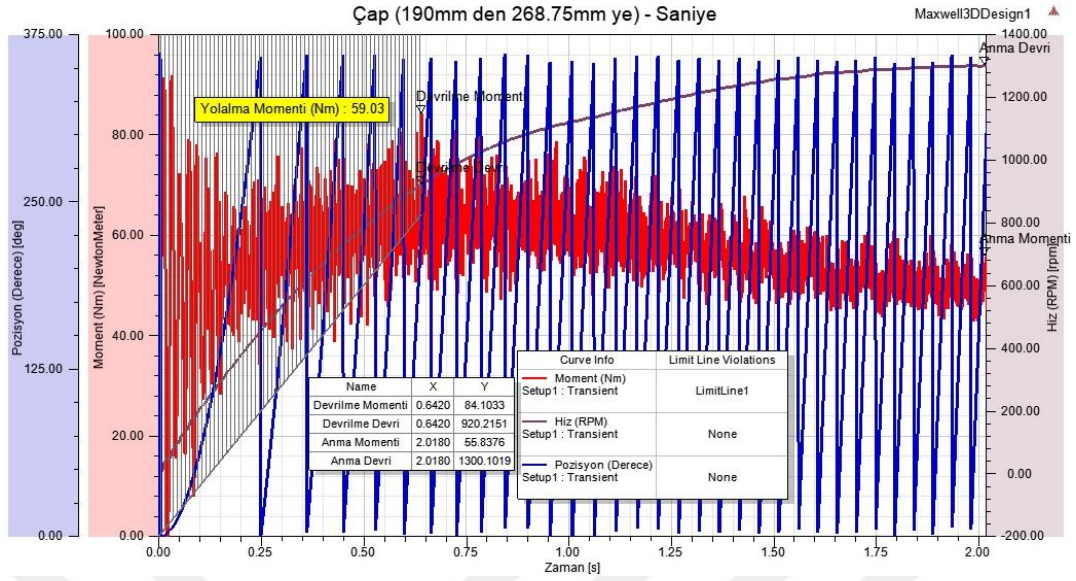
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,865	-	-	-	-	-
Verim	66,33	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	59,01	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	74,74	Nm	908	RPM	552	Milisaniye
Anma Momenti	52,62	Nm	1300	RPM	1828	Milisaniye



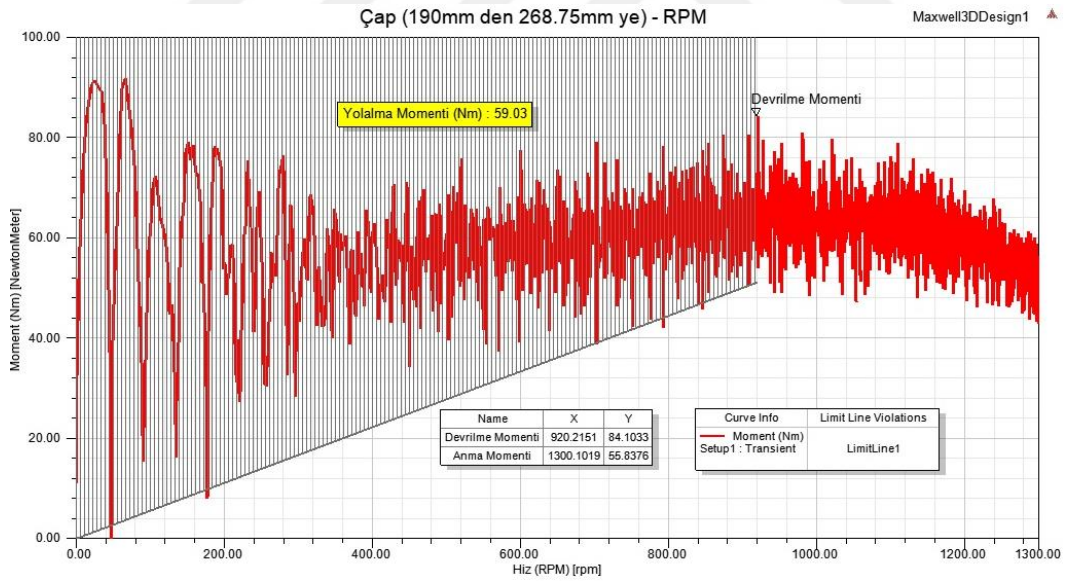
EK-C : Şekil 34. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 35. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



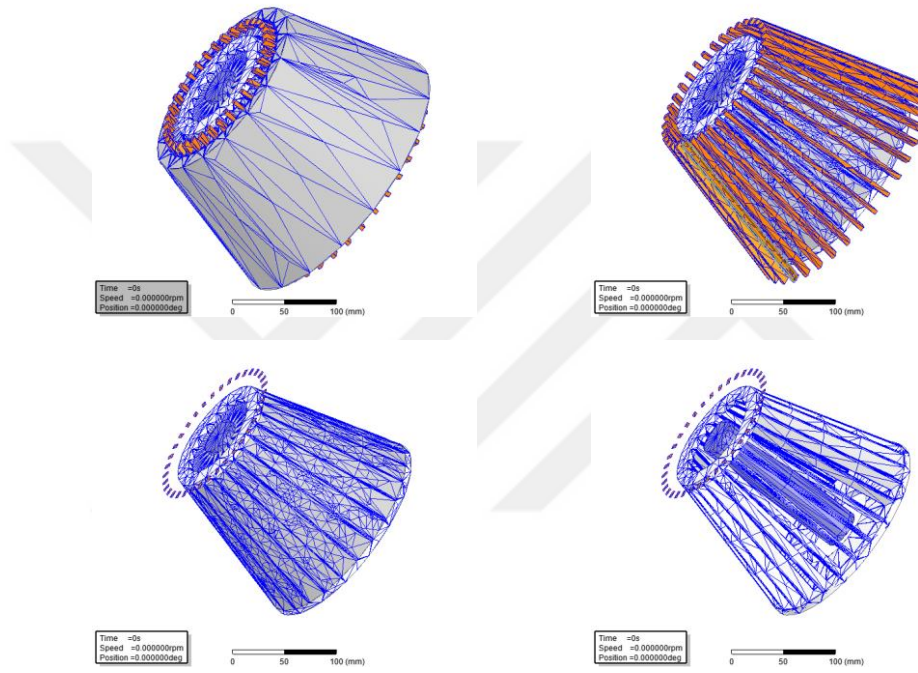
EK-C : Şekil 36. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğırsi



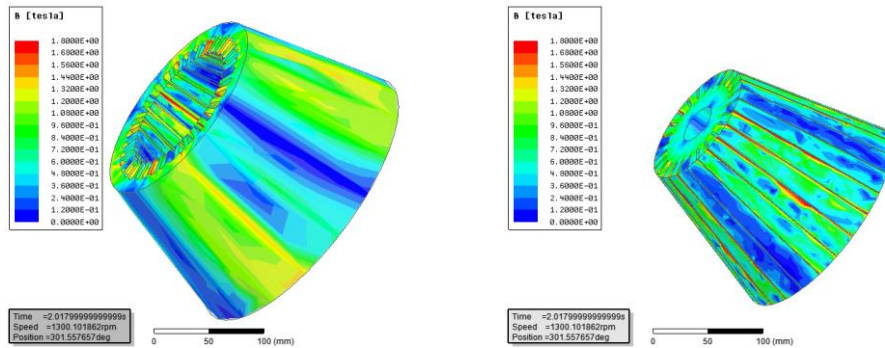
EK-C : Şekil 37. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğırsi

EK-C : Tablo 10. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

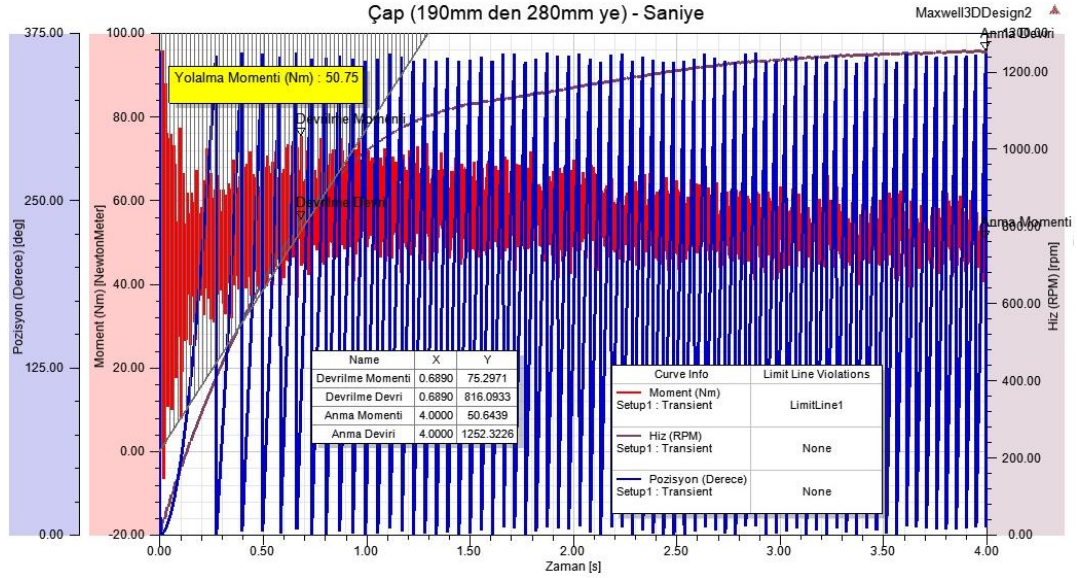
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,877	-	-	-	-	-
Verim	64,07	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	59,03	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	84,10	Nm	920	RPM	642	Milisaniye
Anma Momenti	55,83	Nm	1300	RPM	2018	Milisaniye



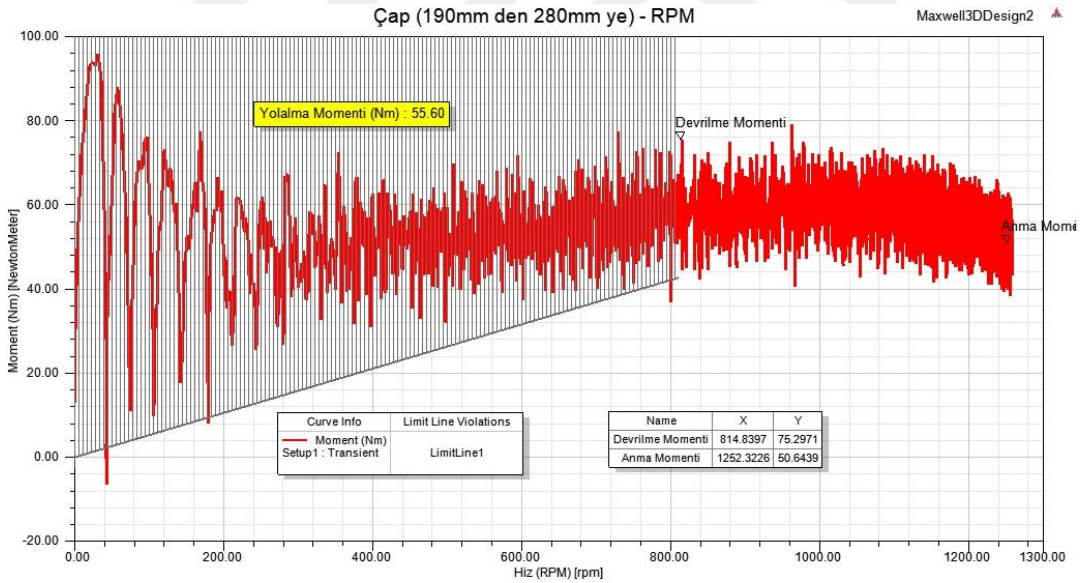
EK-C : Şekil 38. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri



EK-C : Şekil 39. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



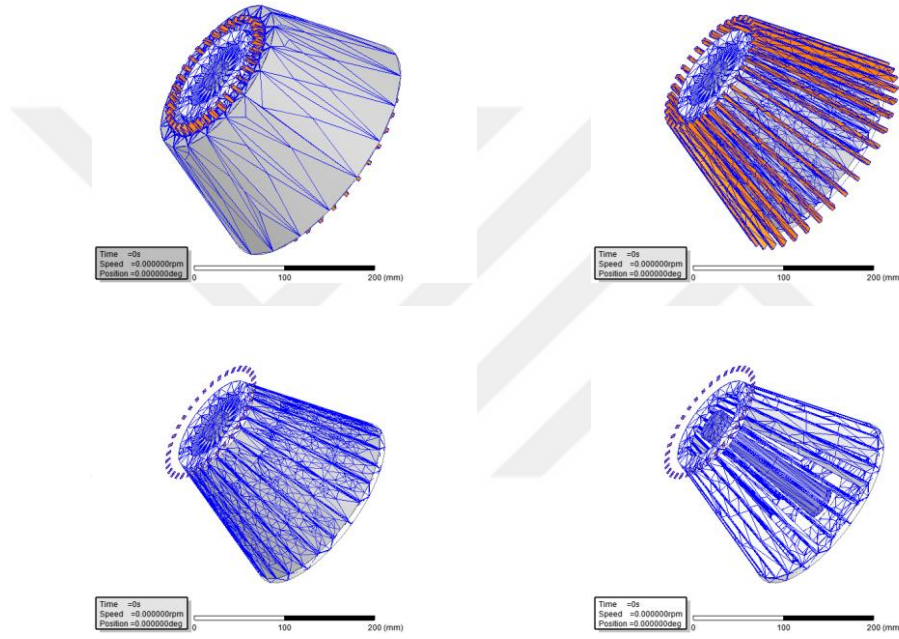
EK-C : Şekil 40. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



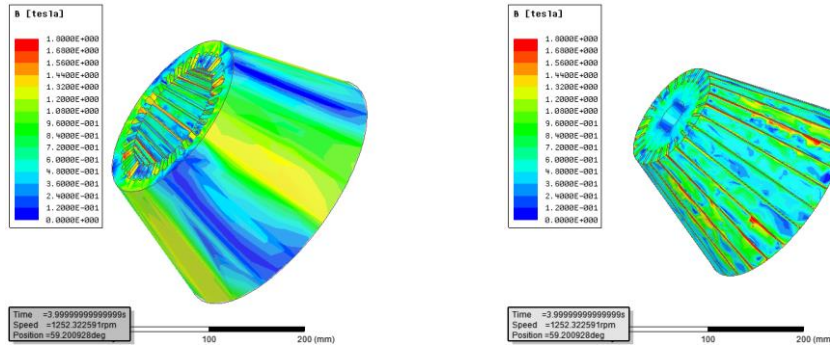
EK-C : Şekil 41. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-C : Tablo 11. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,876	-	-	-	-	-
Verim	63,40	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	55,60	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	75,29	Nm	814	RPM	689	Milisaniye
Anma Momenti	50,64	Nm	1252	RPM	4000	Milisaniye

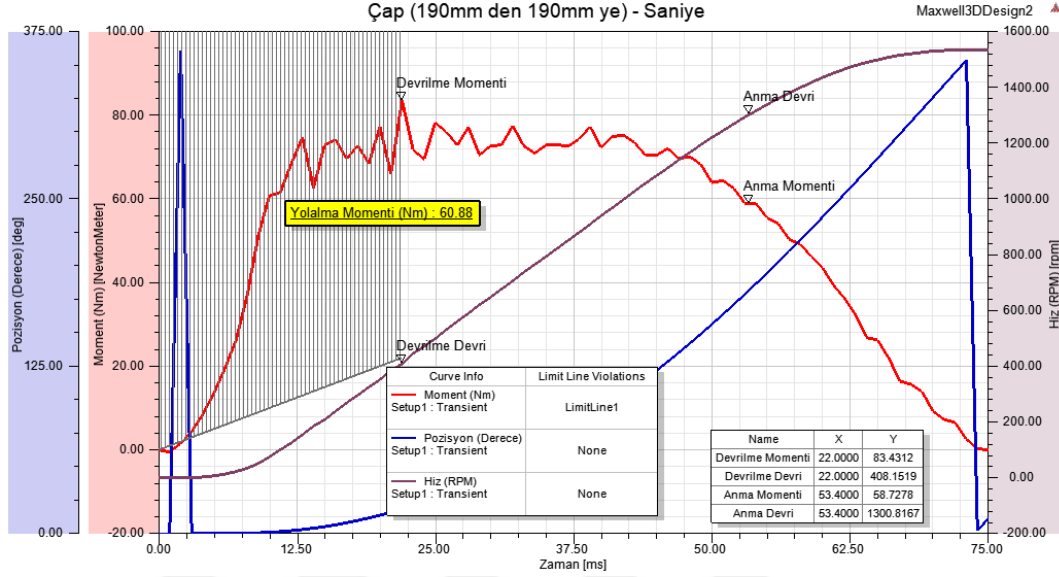


EK-C : Şekil 42. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Mesh Görünümleri

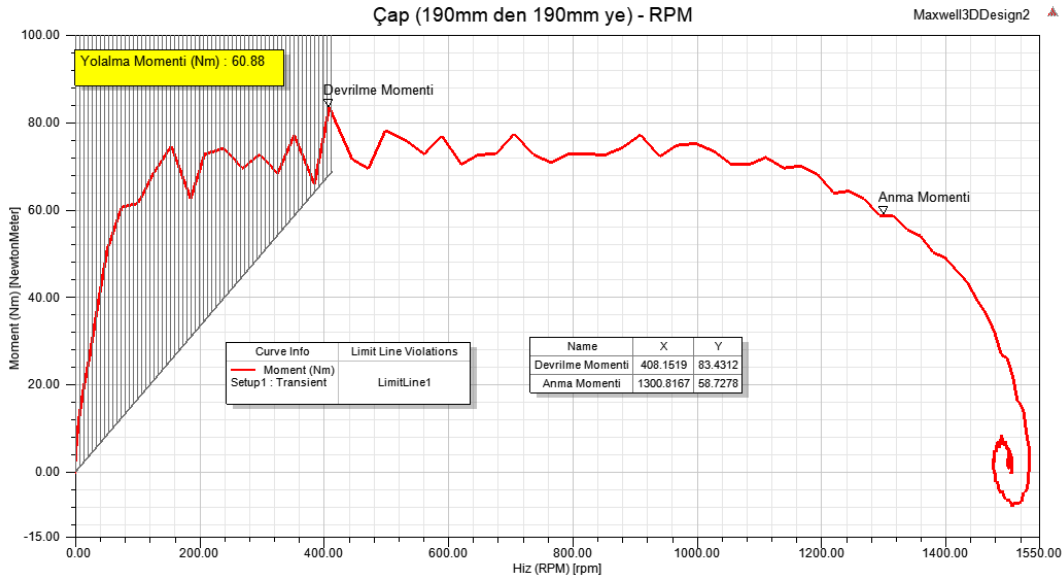


EK-C : Şekil 43. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri

EK-D Radial Akı ve Radiaxial Akı Motorlara için Yapılan Yüksüz Modunda Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları, Mesh ve Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



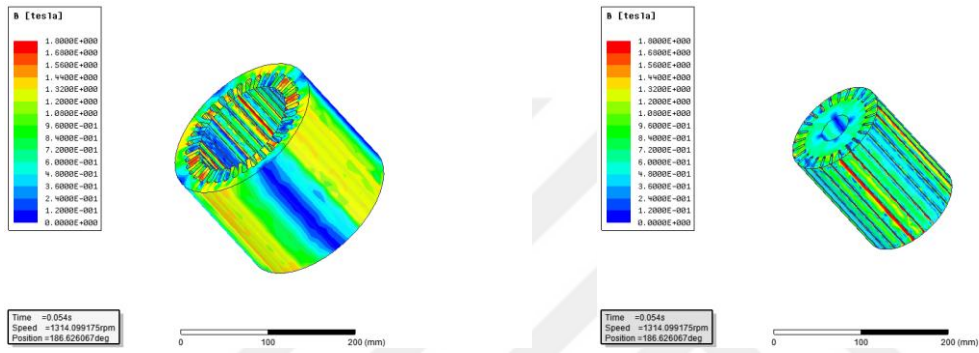
EK-D : Şekil 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



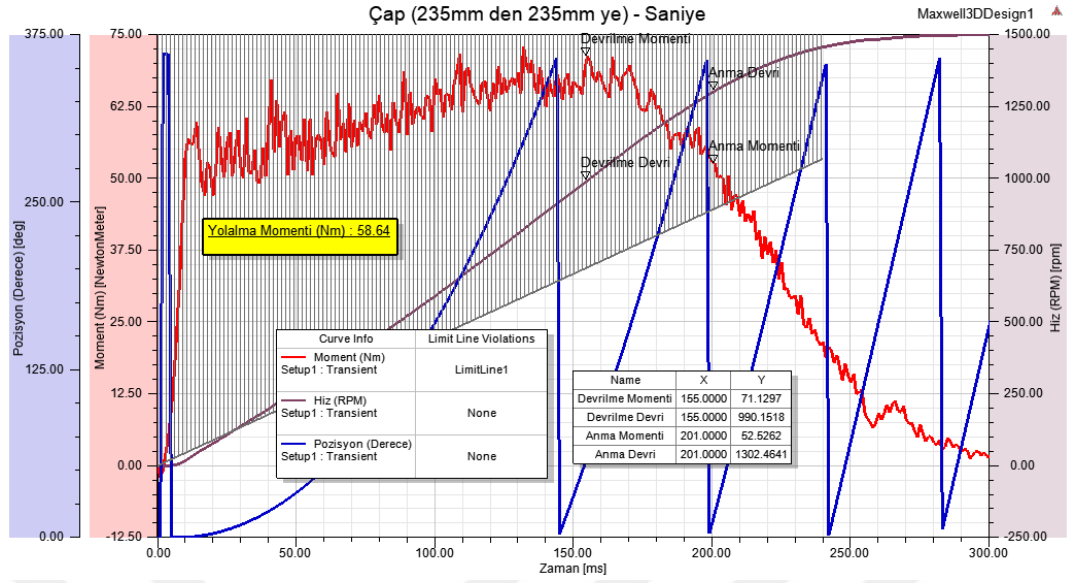
EK-D : Şekil 2. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 1. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

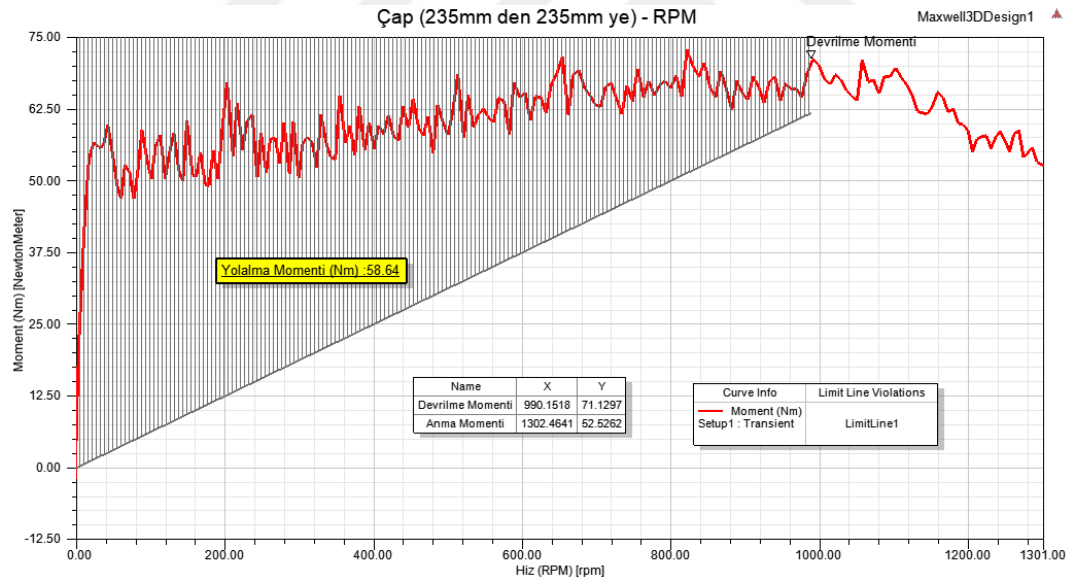
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,698	-	-	-	-	-
Verim	61,24	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	60,88	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	83,43	Nm	408	RPM	22	Milisaniye
Anma Momenti	58,72	Nm	1300	RPM	53	Milisaniye



EK-D : Şekil 3. Çap:190mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



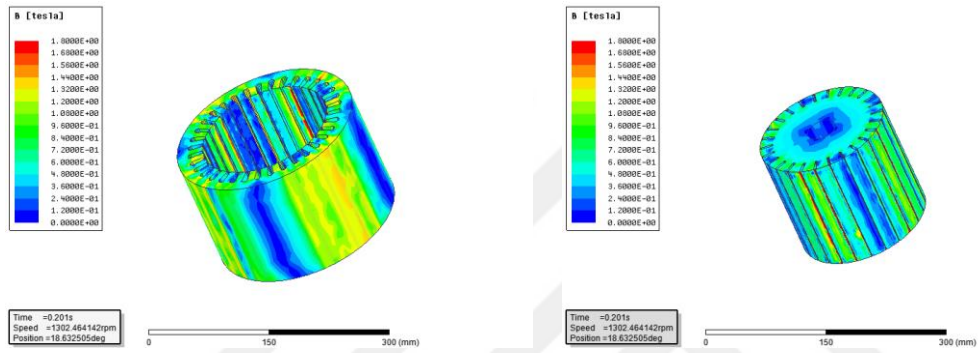
EK-D : Şekil 4. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



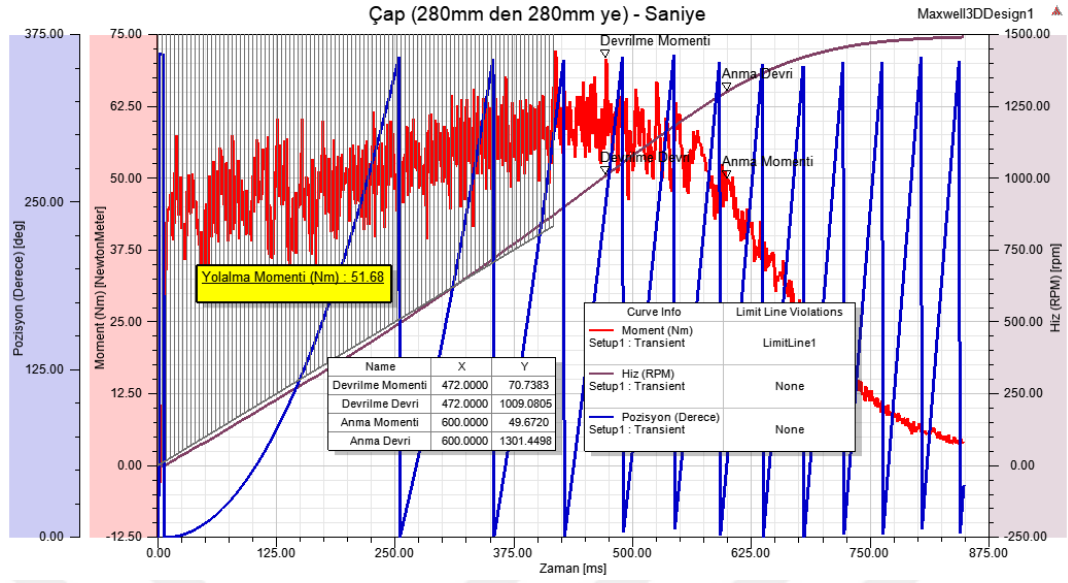
EK-D : Şekil 5. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 2. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

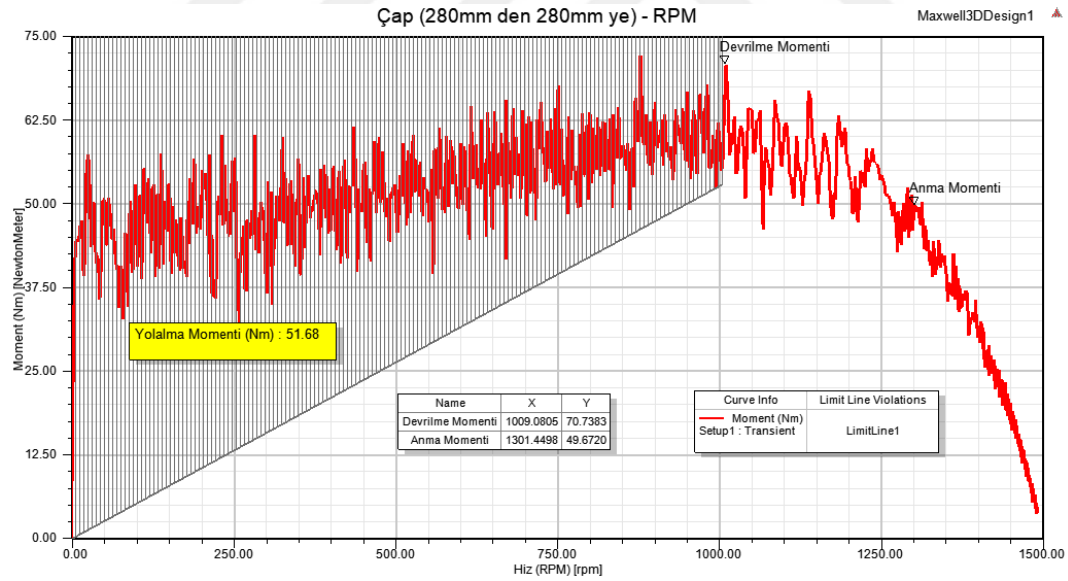
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,598	-	-	-	-	-
Verim	70,03	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	58,64	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	71,12	Nm	990	RPM	155	Milisaniye
Anma Momenti	52,52	Nm	1300	RPM	201	Milisaniye



EK-D : Şekil 6. Çap:235mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



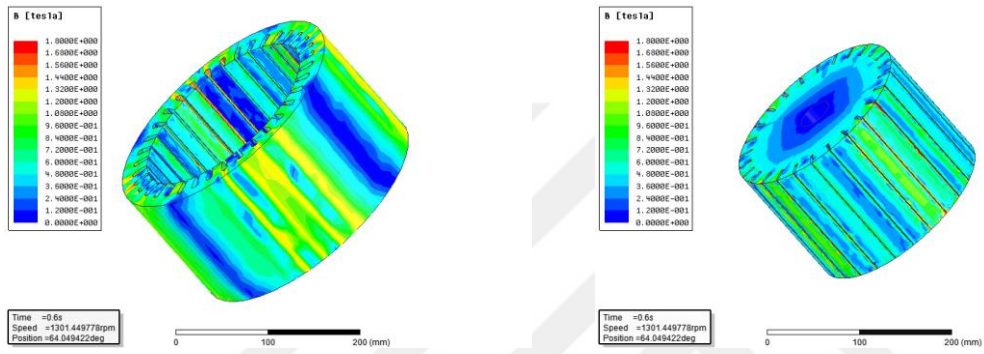
EK-D : Şekil 7. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



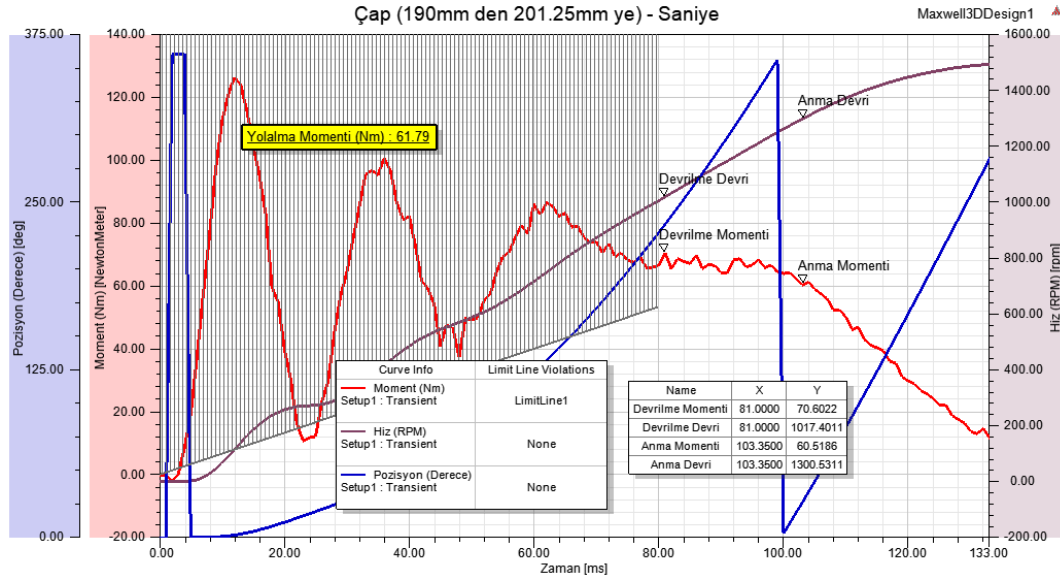
EK-D : Şekil 8. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 3. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

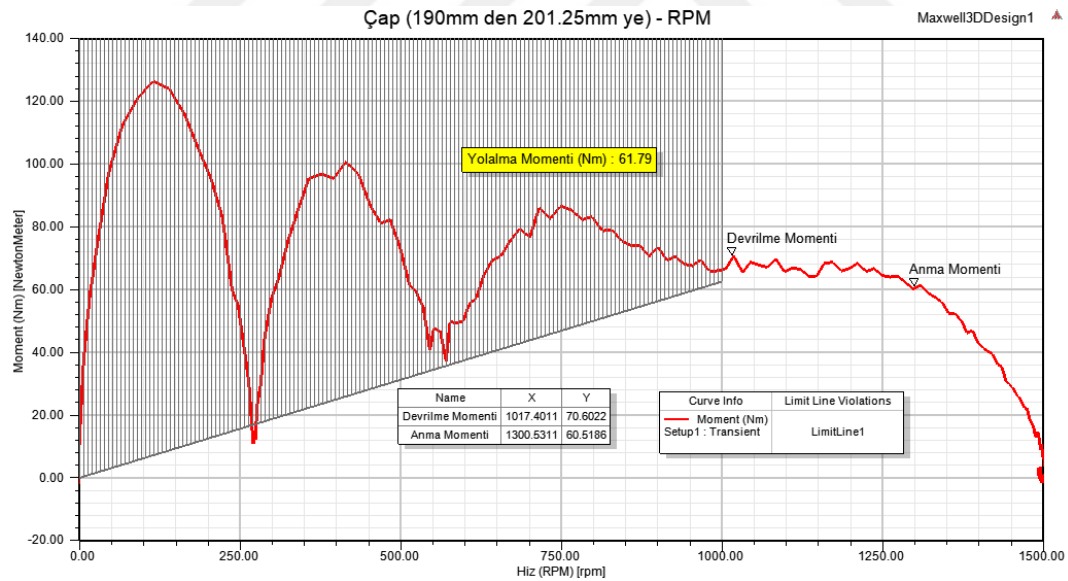
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,579	-	-	-	-	-
Verim	77,11	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	51,68	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	70,73	Nm	1009	RPM	472	Milisaniye
Anma Momenti	49,67	Nm	1300	RPM	600	Milisaniye



EK-D : Şekil 9. Çap:280mm ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



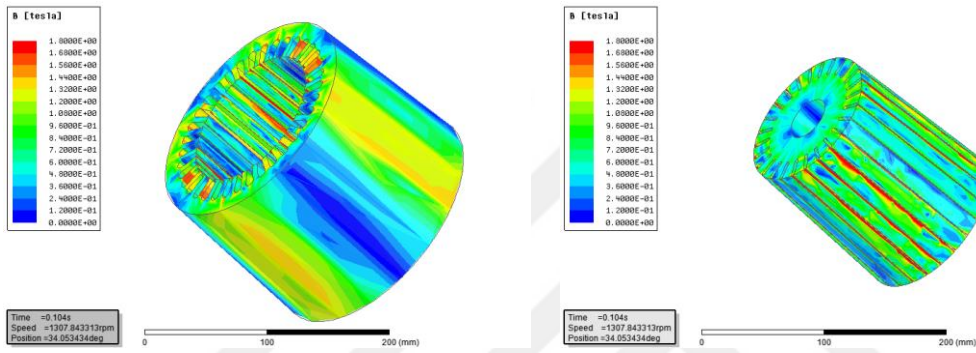
EK-D : Şekil 10. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



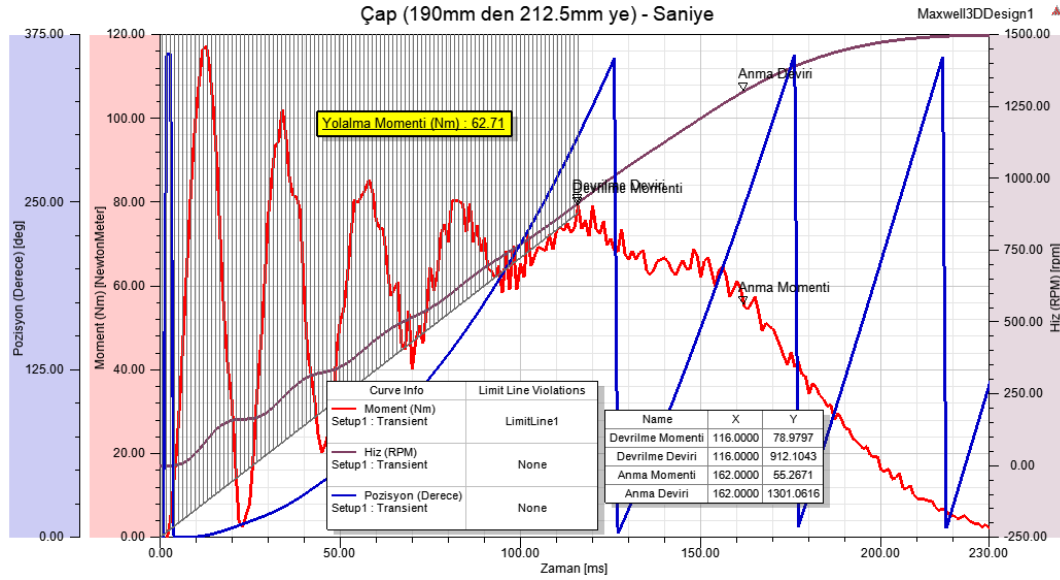
EK-D : Şekil 11. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 4. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

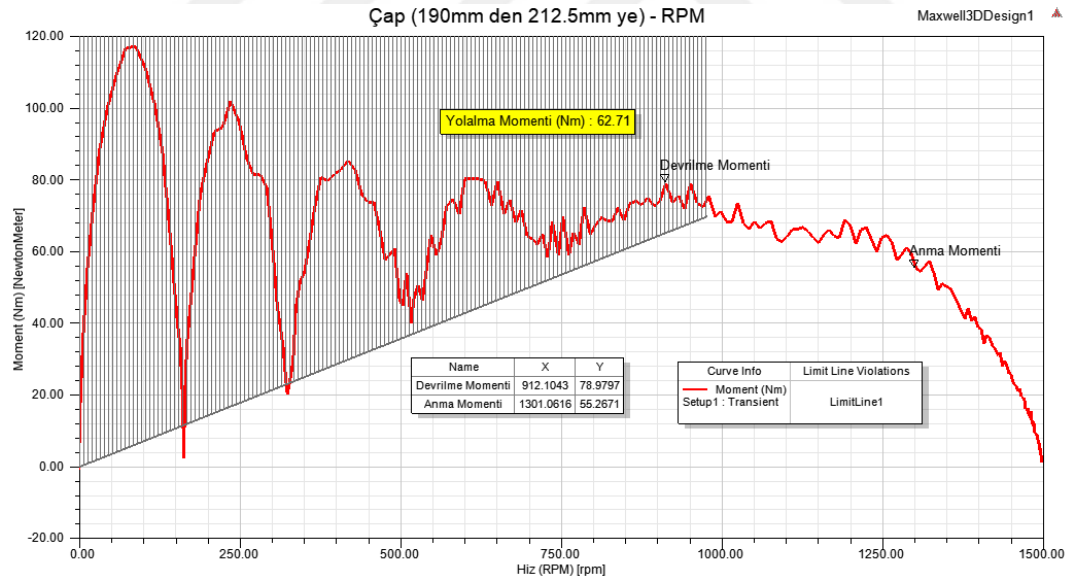
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,605	-	-	-	-	-
Verim	64,35	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	61,79	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	70,60	Nm	1017	RPM	81	Milisaniye
Anma Momenti	60,51	Nm	1300	RPM	103	Milisaniye



EK-D : Şekil 12. Radiaxial Çap:190mm'den 201.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



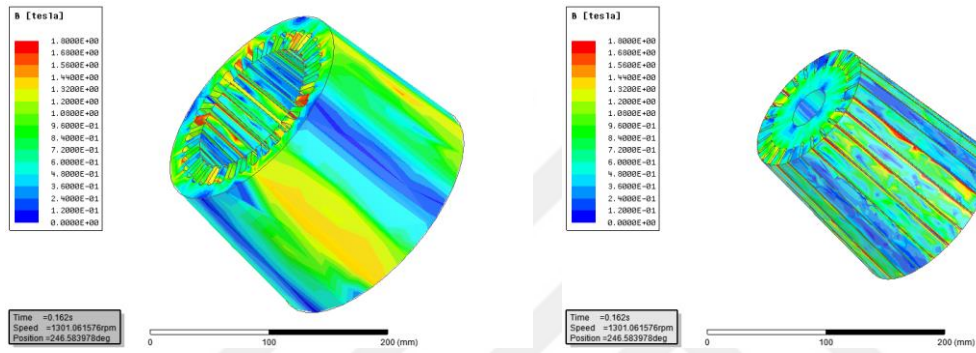
EK-D : Şekil 13. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



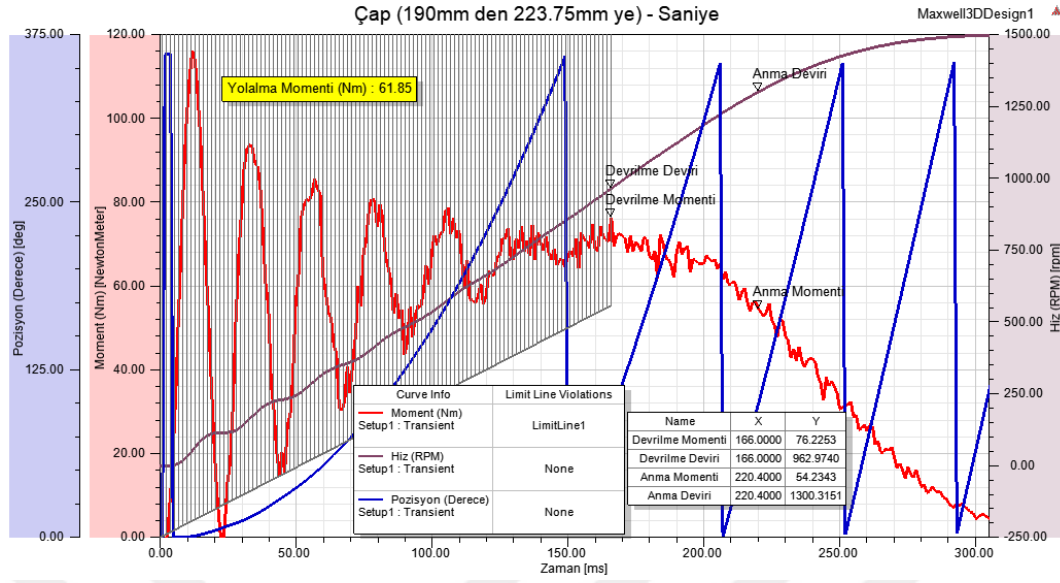
EK-D : Şekil 14. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 5. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

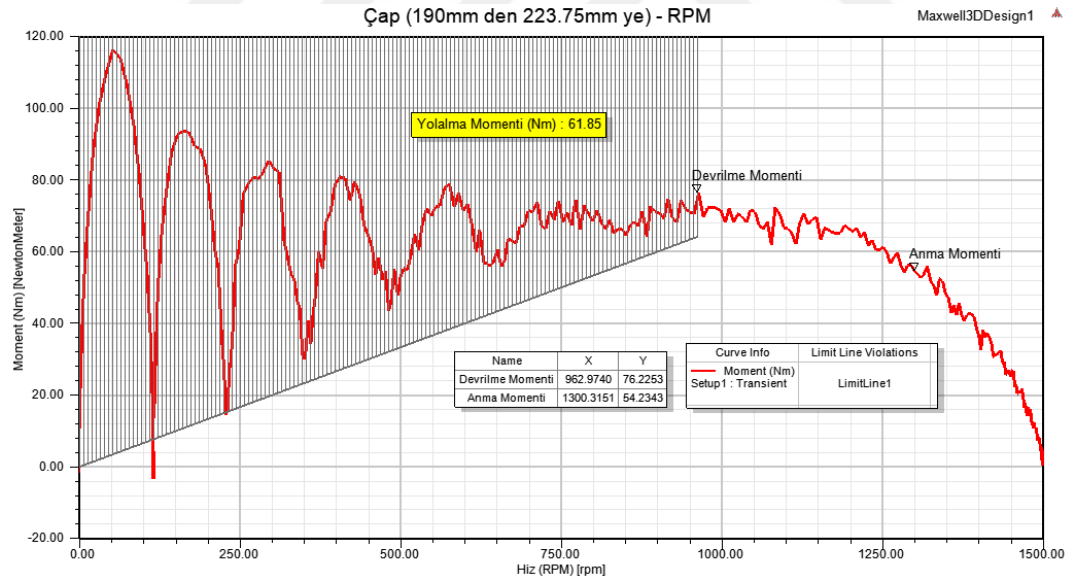
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,596	-	-	-	-	-
Verim	61,89	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	62,71	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	78,97	Nm	912	RPM	116	Milisaniye
Anma Momenti	55,26	Nm	1300	RPM	162	Milisaniye



EK-D : Şekil 15. Radiaxial Çap:190mm'den 212.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



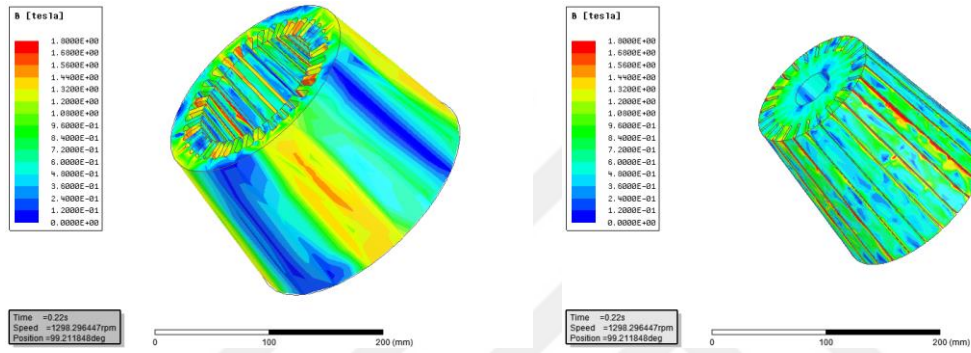
EK-D : Şekil 16. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



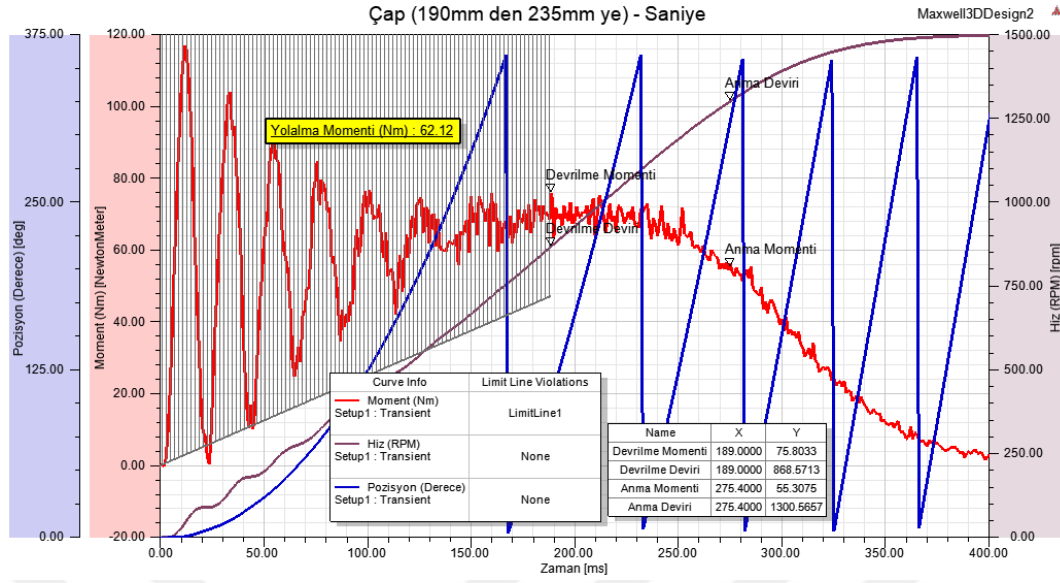
EK-D : Şekil 17. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 6. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

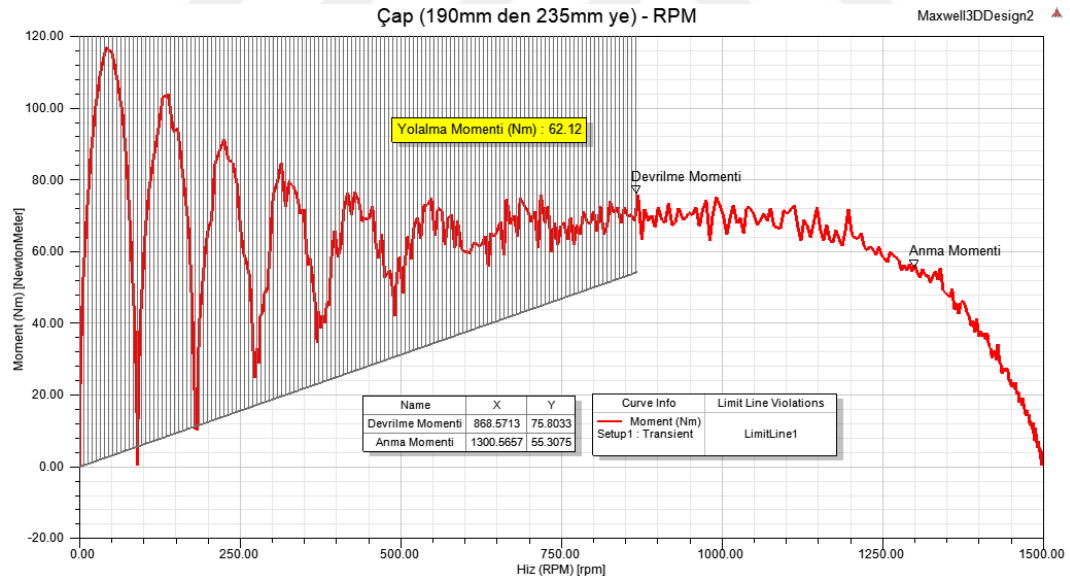
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,572	-	-	-	-	-
Verim	65,30	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	61,85	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	76,22	Nm	962	RPM	166	Milisaniye
Anma Momenti	54,23	Nm	1300	RPM	220	Milisaniye



EK-D : Şekil 18. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



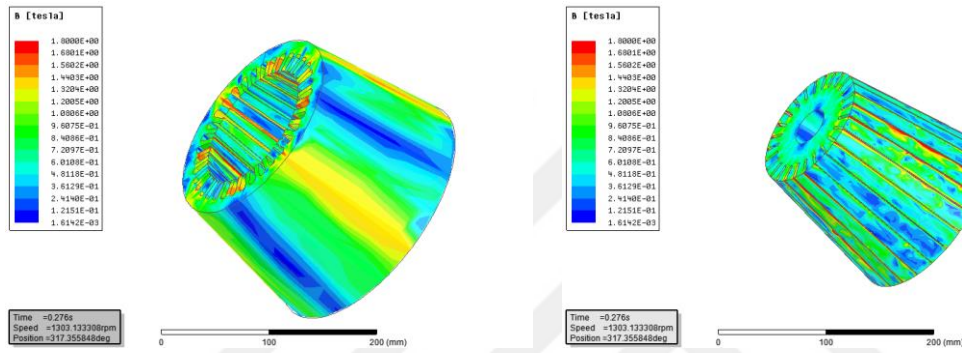
EK-D : Şekil 19. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



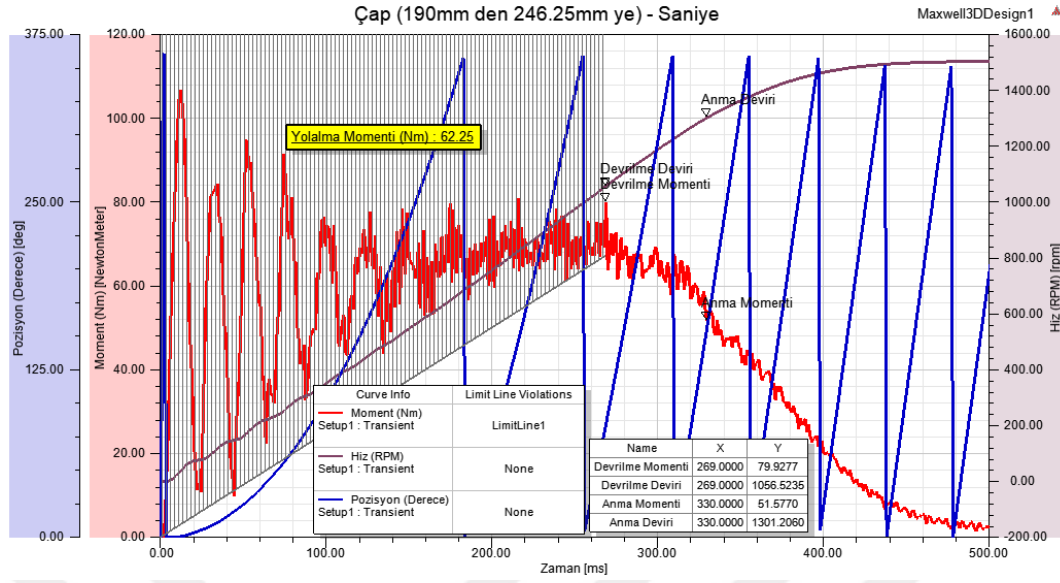
EK-D : Şekil 20. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 7. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

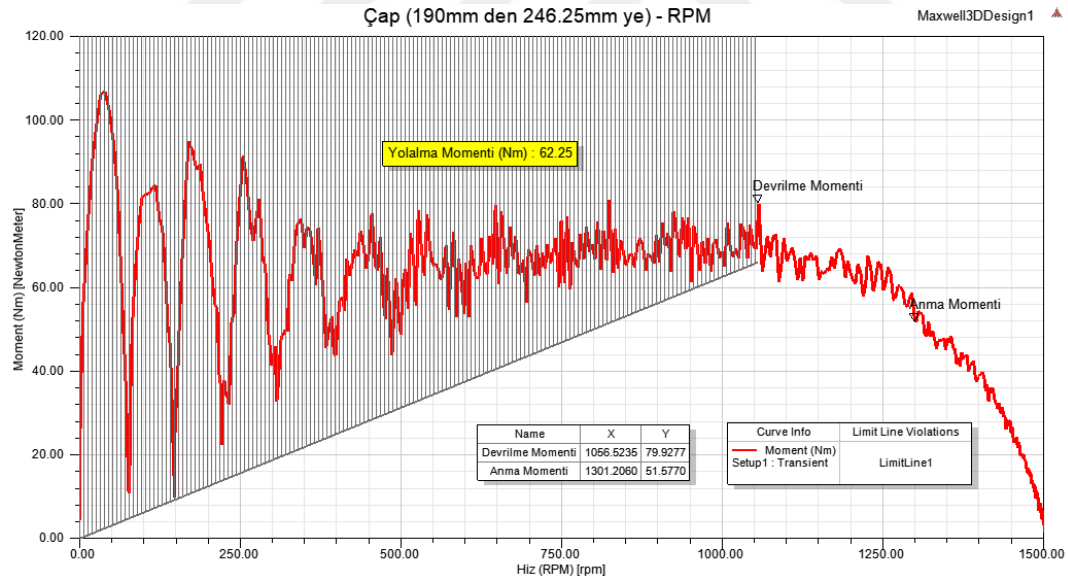
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,592	-	-	-	-	-
Verim	66,68	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	62,12	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	75,80	Nm	868	RPM	189	Milisaniye
Anma Momenti	55,30	Nm	1300	RPM	275	Milisaniye



EK-D : Şekil 21. Radiaxial Çap:190mm'den 235mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



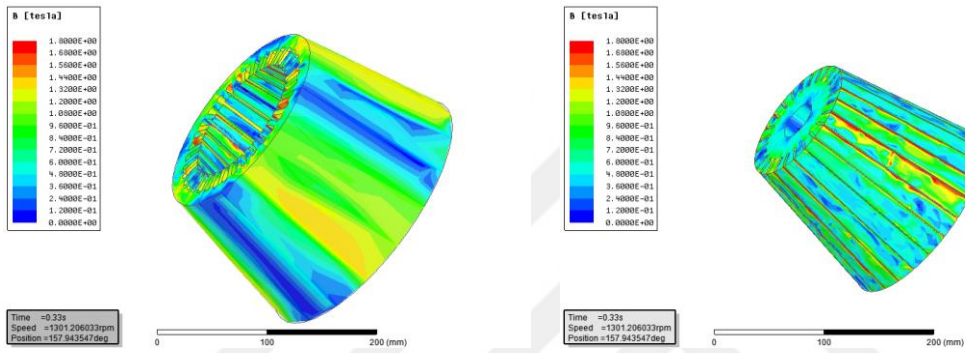
EK-D : Şekil 22. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



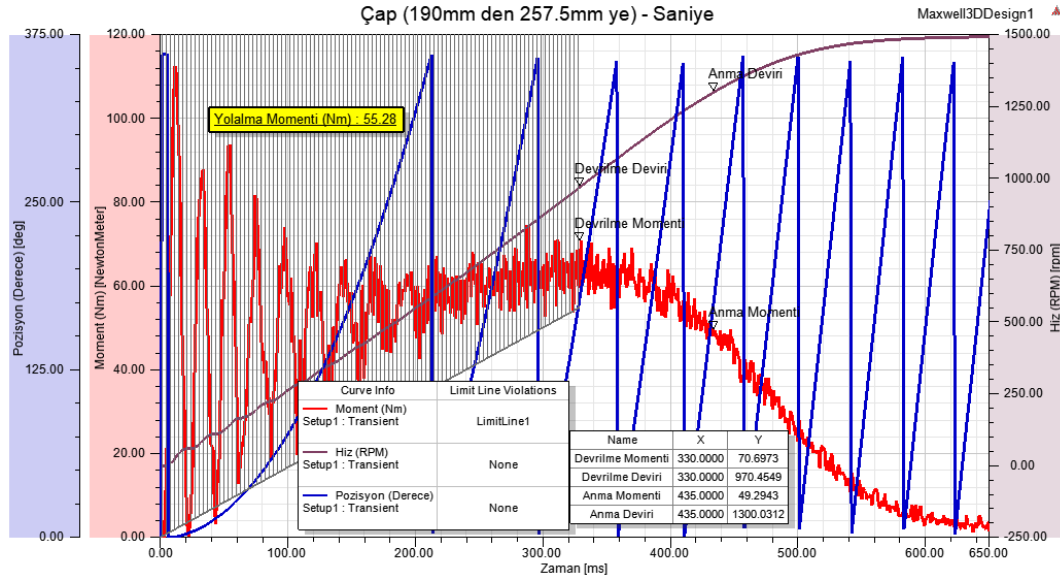
EK-D : Şekil 23. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 8. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

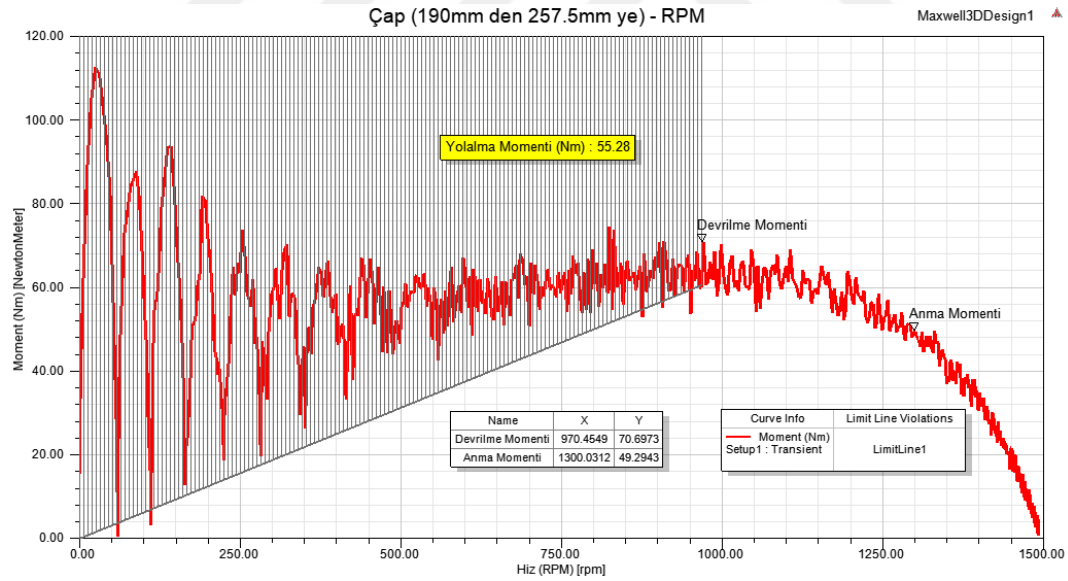
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,564	-	-	-	-	-
Verim	65,89	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	62,25	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	79,92	Nm	1056	RPM	269	Milisaniye
Anma Momenti	51,57	Nm	1300	RPM	330	Milisaniye



EK-D : Şekil 24. Radiaxial Çap:190mm'den 246.25mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



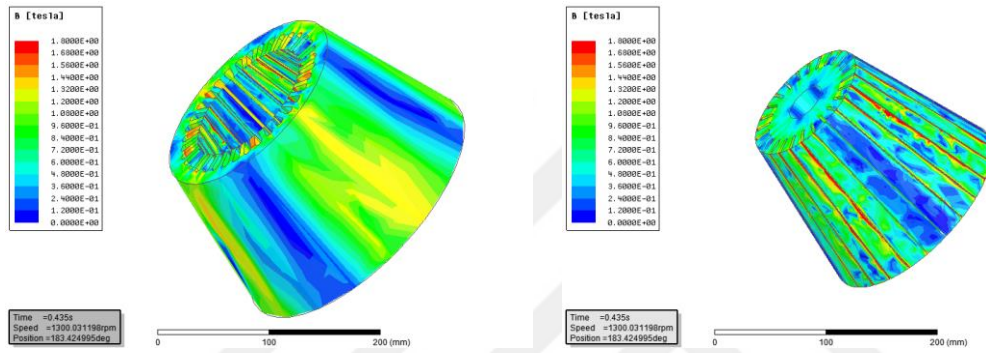
EK-D : Şekil 25. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



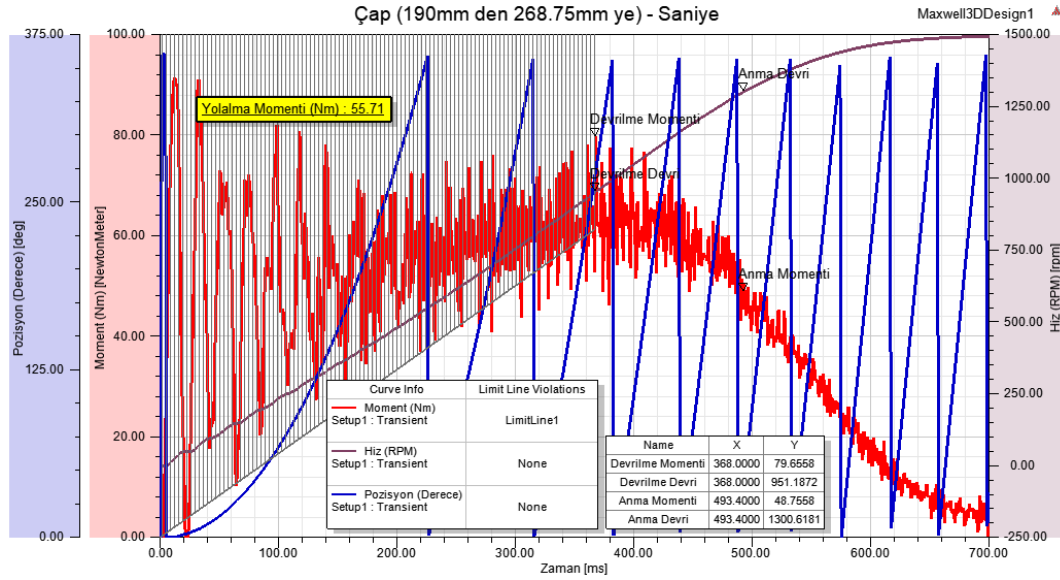
EK-D : Şekil 26. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 9. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

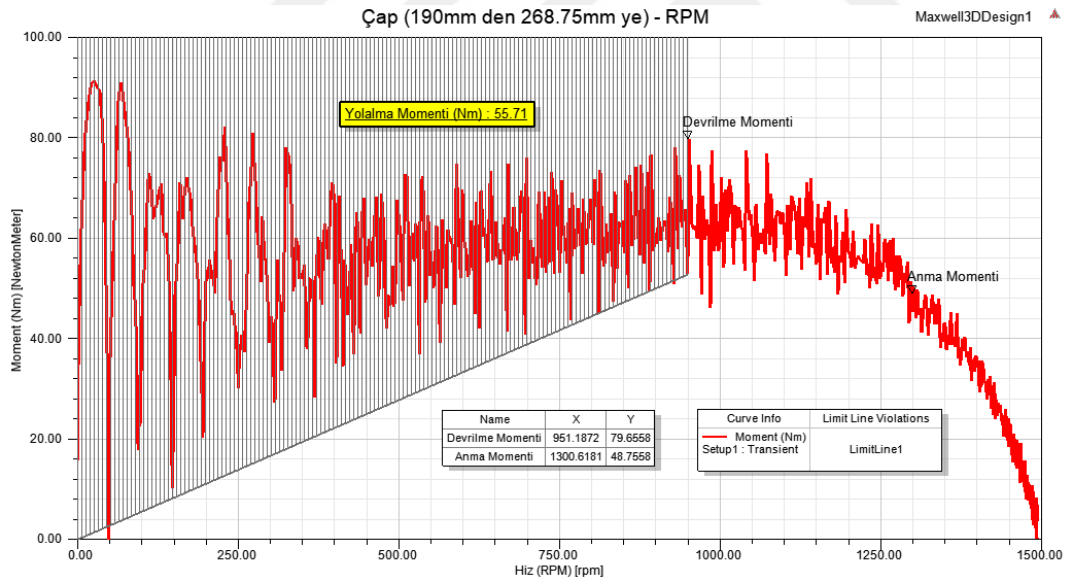
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,591	-	-	-	-	-
Verim	60,62	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	55,28	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	70,69	Nm	970	RPM	330	Milisaniye
Anma Momenti	49,29	Nm	1300	RPM	435	Milisaniye



EK-D : Şekil 27. Radiaxial Çap:190mm'den 257.5mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



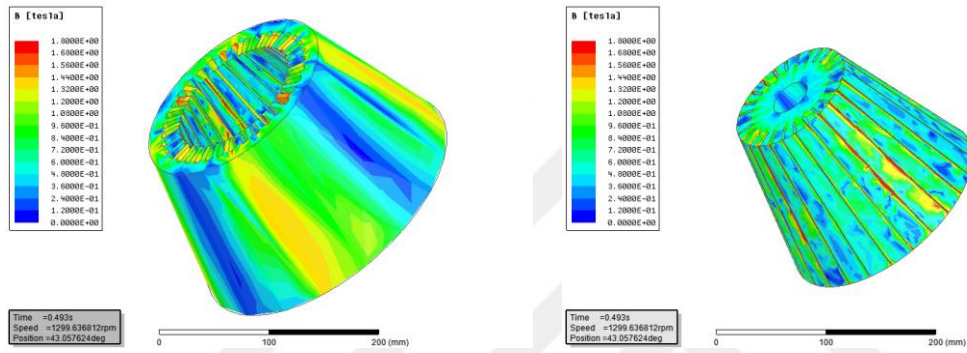
EK-D : Şekil 28. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



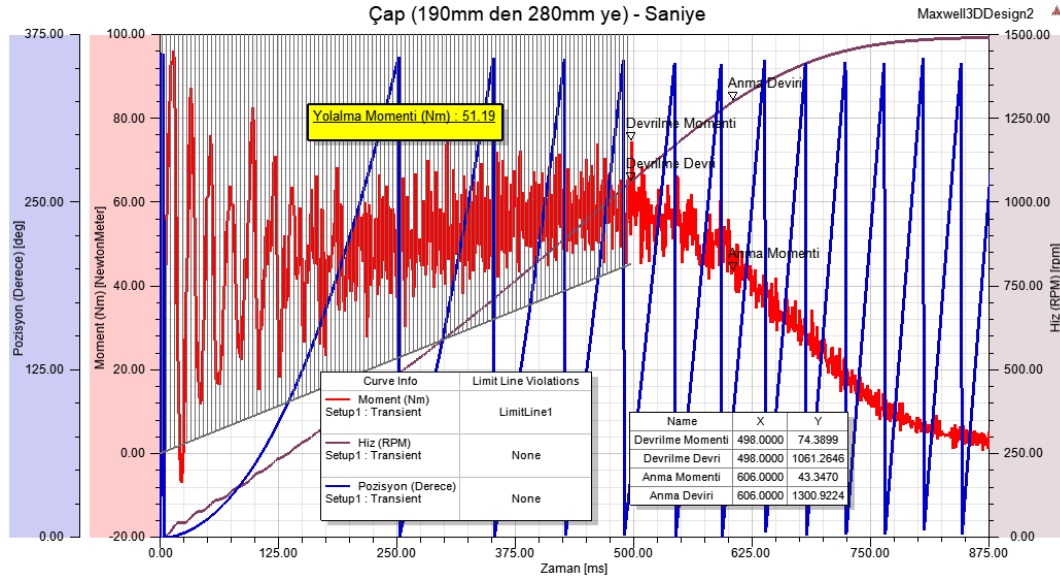
EK-D : Şekil 29. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

EK-D : Tablo 10. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

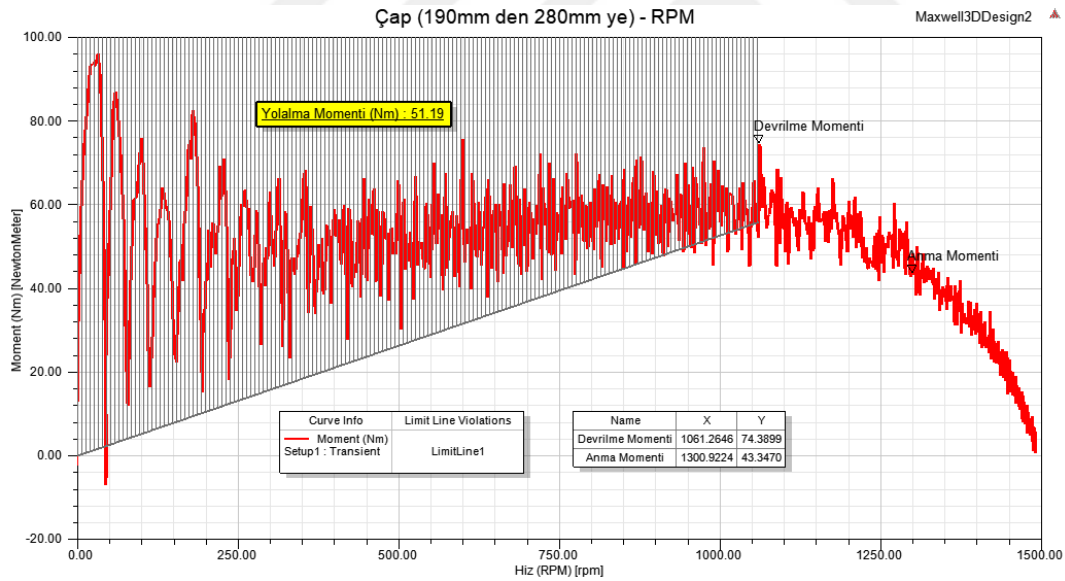
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,58	-	-	-	-	-
Verim	65,54	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	55,71	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	79,65	Nm	951	RPM	368	Milisaniye
Anma Momenti	48,75	Nm	1300	RPM	493	Milisaniye



EK-D : Şekil 30. Radiaxial Çap:190mm'den 268.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



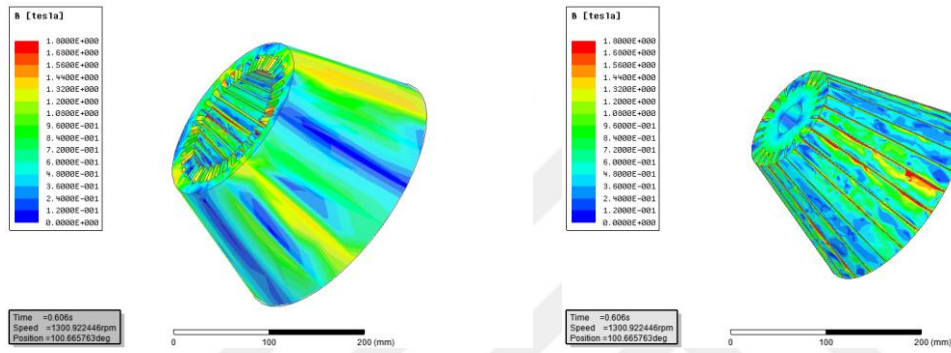
EK-D : Şekil 31. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi



EK-D : Şekil 32. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi

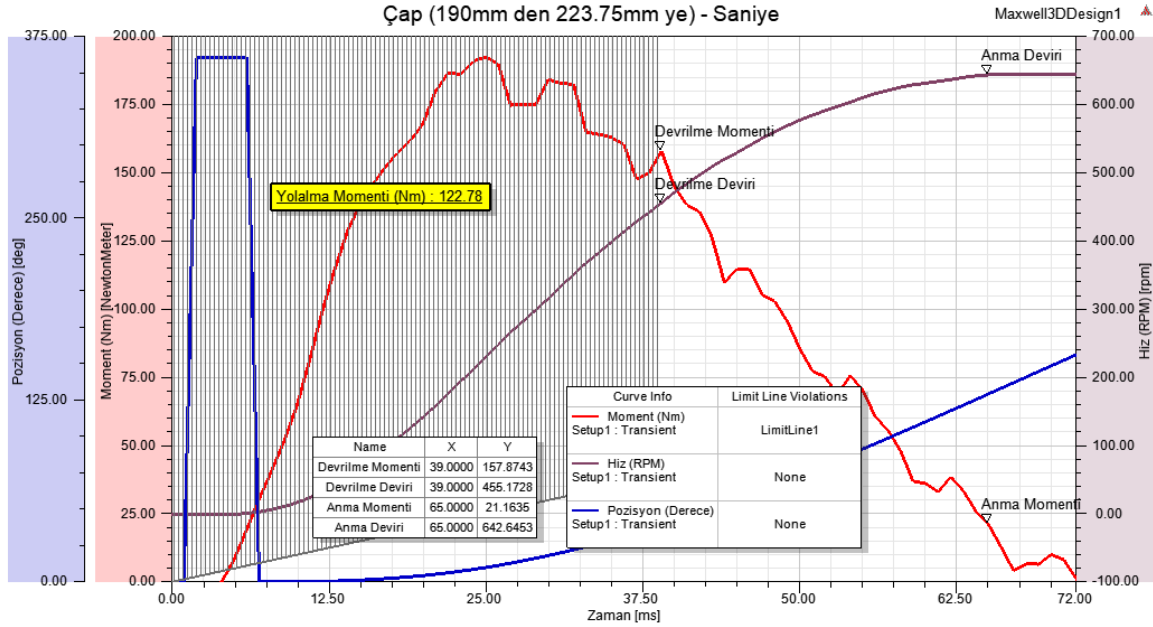
EK-D : Tablo 11. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları

Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,579	-	-	-	-	-
Verim	58,21	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	51,19	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	74,38	Nm	1061	RPM	498	Milisaniye
Anma Momenti	43,34	Nm	1300	RPM	606	Milisaniye

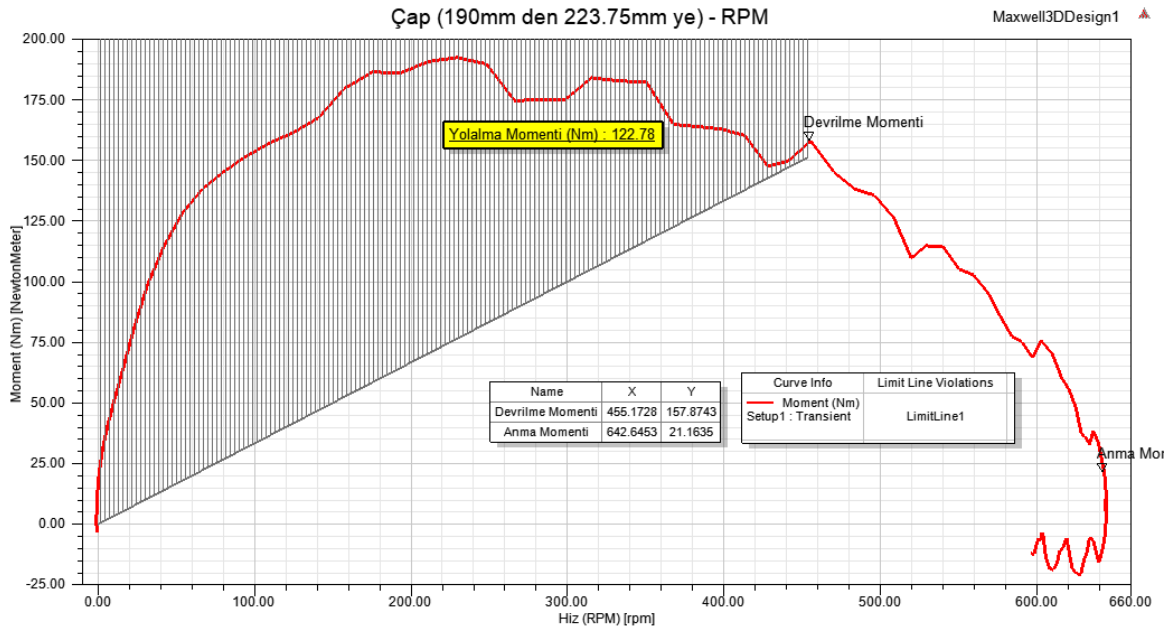


EK-D : Şekil 33. Radiaxial Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri

EK-E Optimum Sonuç Sağlayan Radiaxial Akılı Motorlara için Yapılan Yüklü ve Yüksüz Çeşitli Frekanslarda Geçiş (Transient) Analizlerine Ait Sonuçları ile Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri



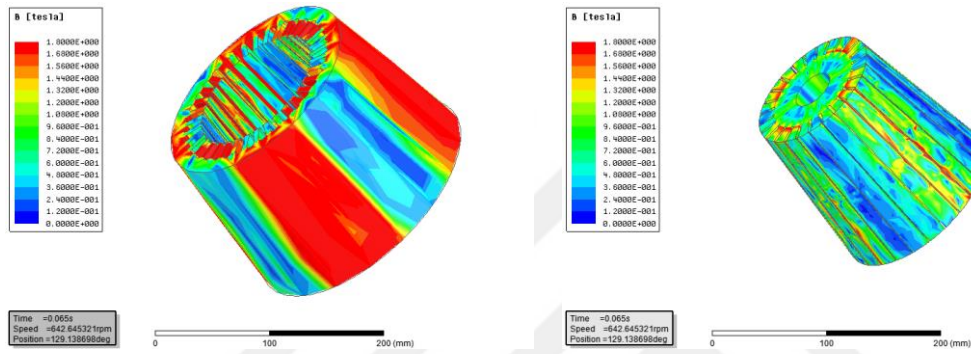
EK-E : Şekil 1. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (20Hz, Yüksüz)



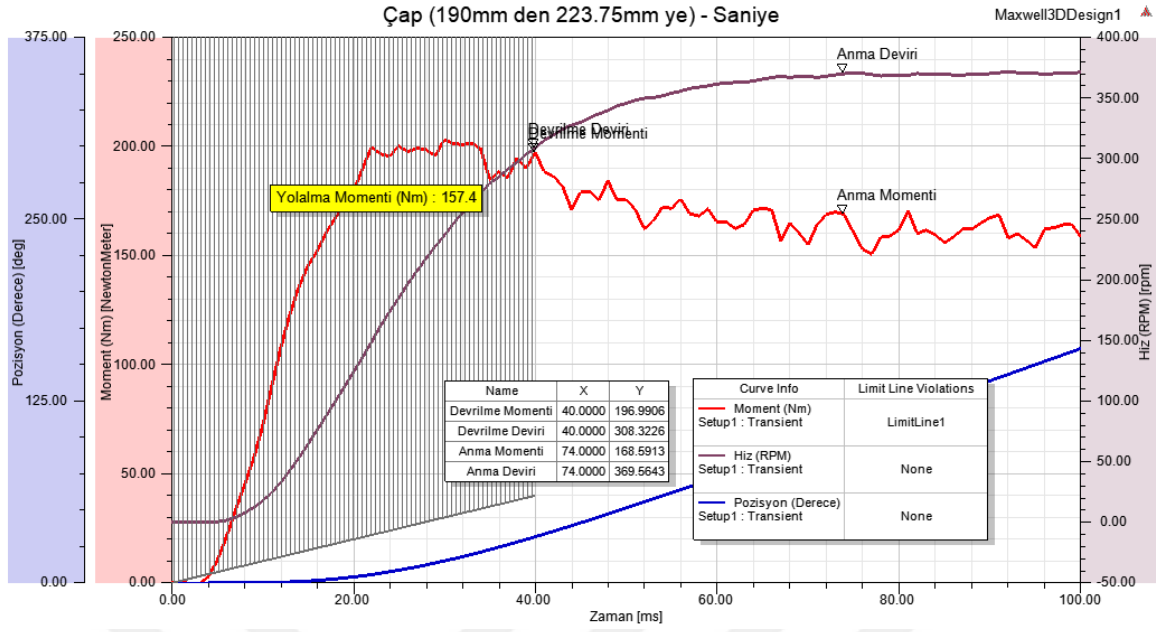
EK-E : Şekil 2. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (20Hz, Yüksüz)

EK-E : Tablo 1. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (20Hz, Yüksüz)

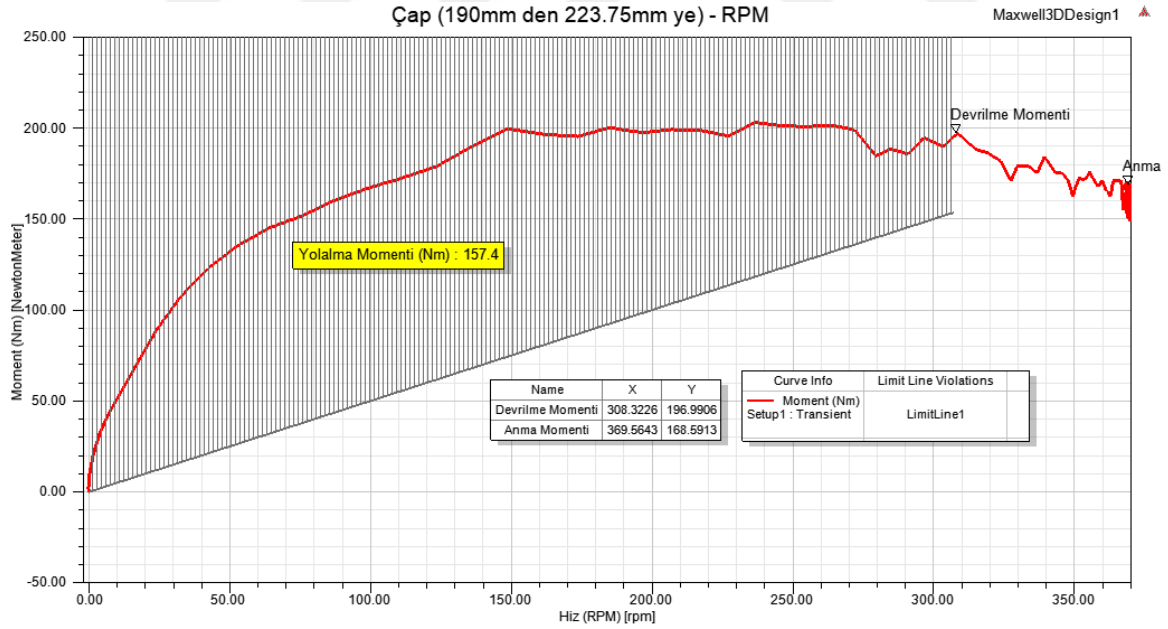
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,717	-	-	-	-	-
Verim	2,60	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	122,7	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	157,8	Nm	455	RPM	39	Milisanıye
Anma Momenti	21,16	Nm	642	RPM	65	Milisanıye



EK-E : Şekil 3. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (20Hz, Yüksüz)



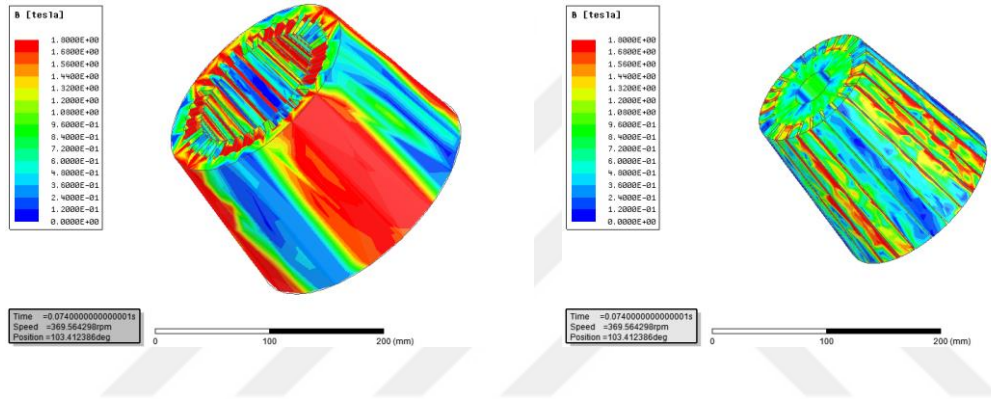
EK-E : Şekil 4. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (20Hz, Yüklü)



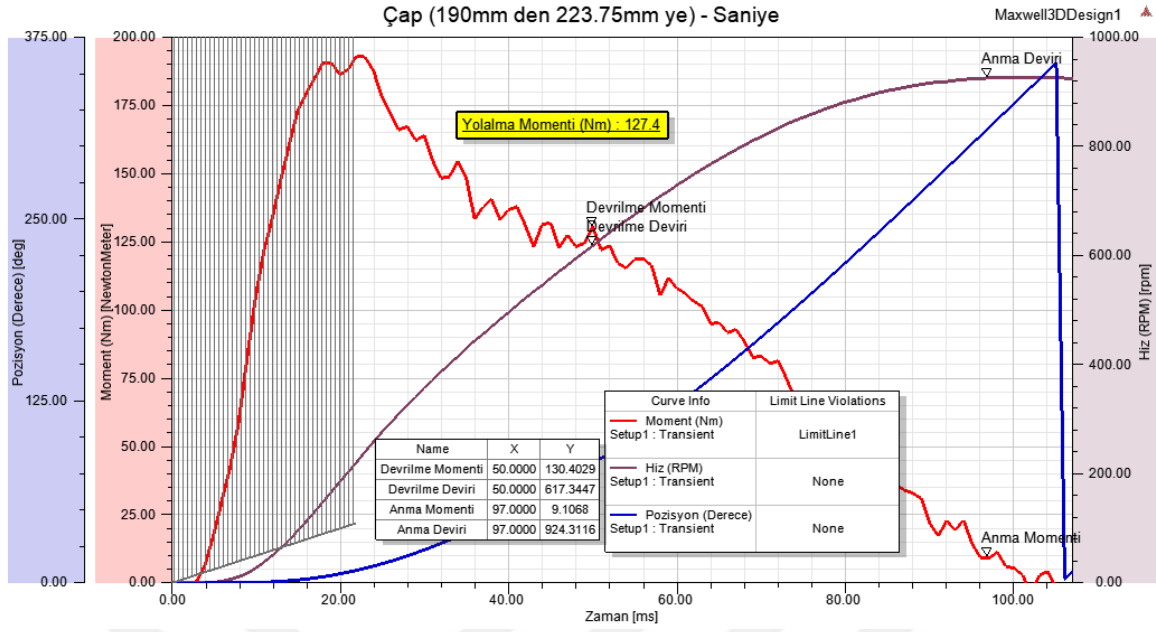
EK-E : Şekil 5. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (20Hz, Yüklü)

EK-E : Tablo 2. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (20Hz, Yüklü)

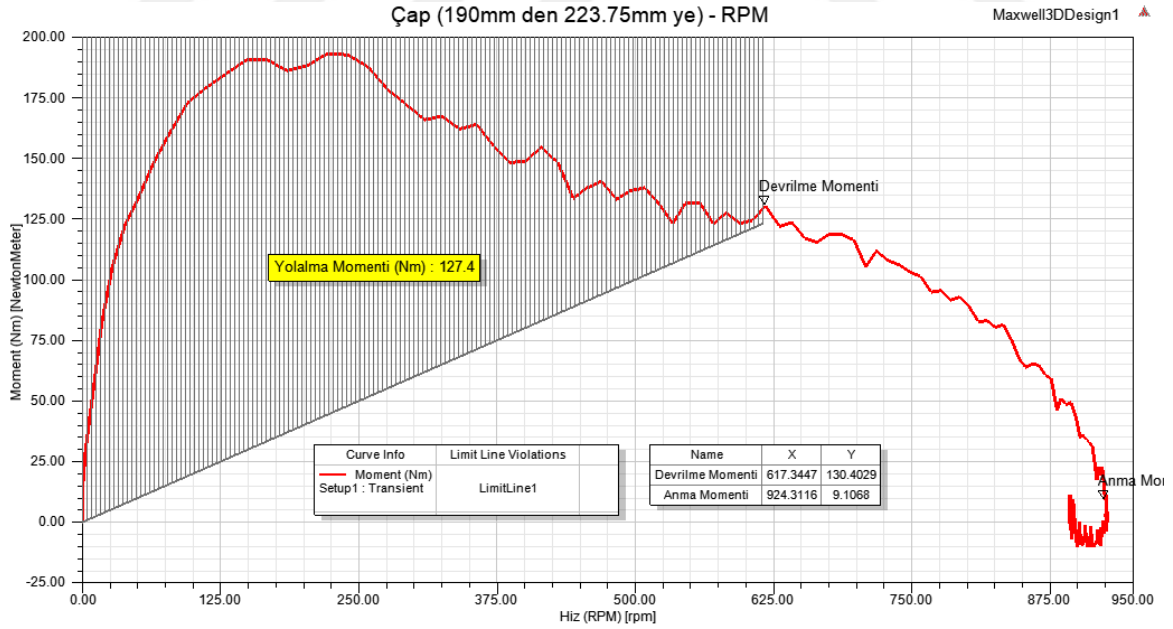
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,771	-	-	-	-	-
Verim	14,61	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	157,45	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	197,0	Nm	308	RPM	40	Milisaniye
Anma Momenti	168,6	Nm	369	RPM	74	Milisaniye



EK-E : Şekil 6. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (20Hz, Yüklü)



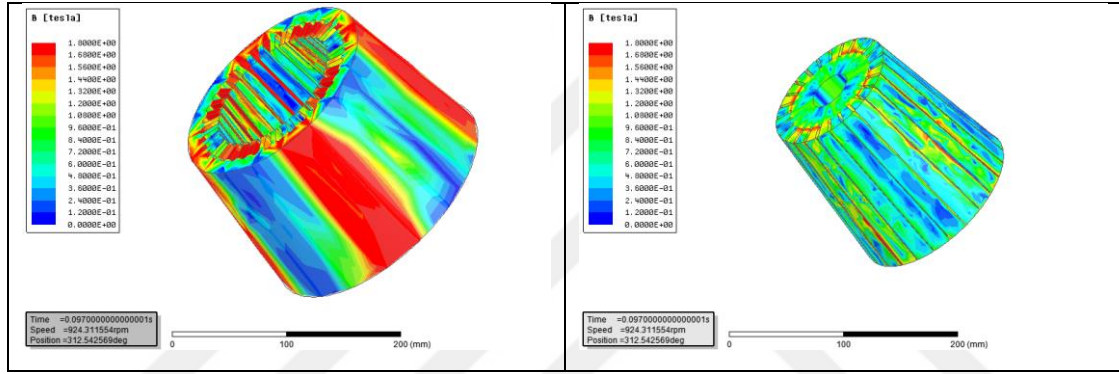
EK-E : Şekil 7. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (30Hz, Yüksüz)



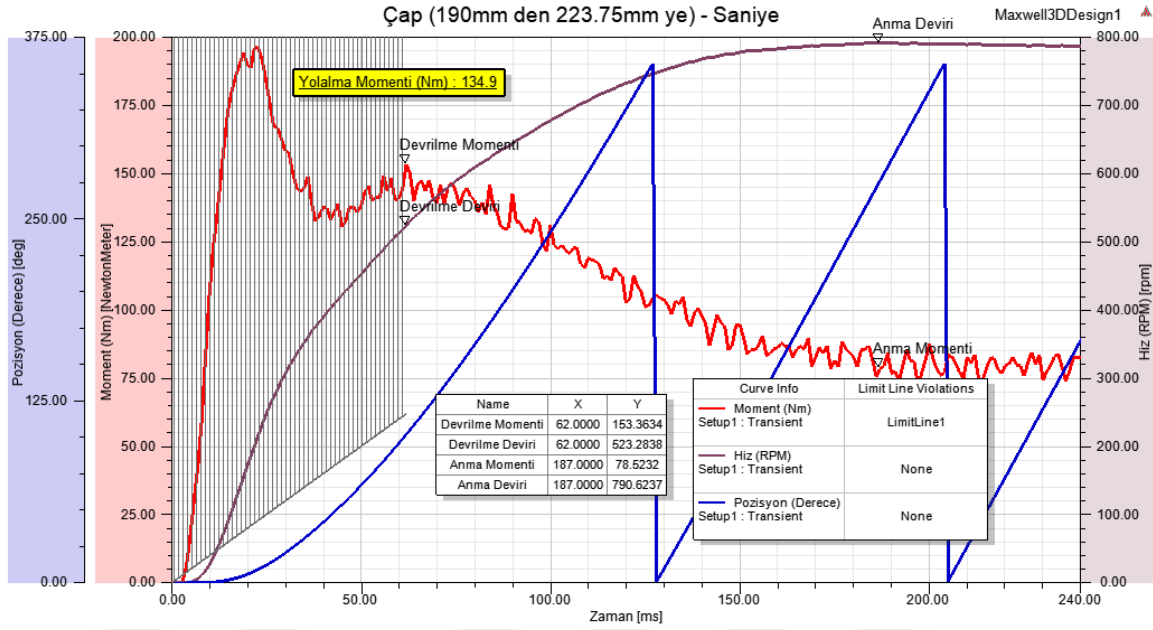
EK-E : Şekil 8. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (30Hz, Yüksüz)

EK-E : Tablo 3. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (30Hz, Yüksüz)

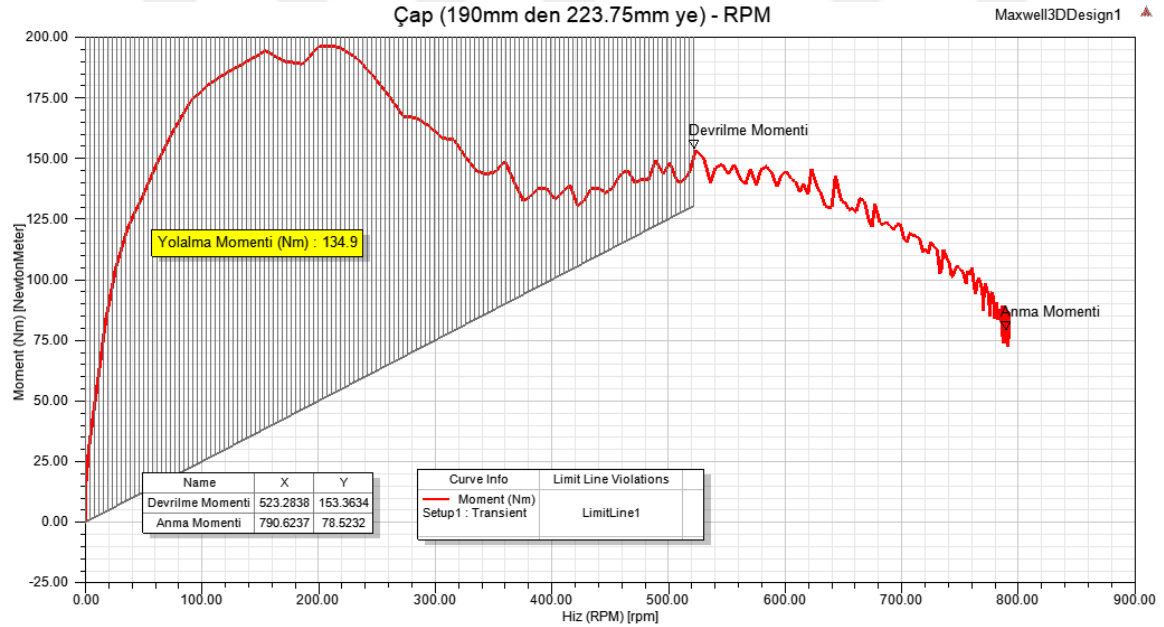
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,461	-	-	-	-	-
Verim	4,05	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	127,4	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	130,4	Nm	617	RPM	50	Milisaniye
Anma Momenti	91,06	Nm	790	RPM	67	Milisaniye



EK-E : Şekil 9. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (30Hz, Yüksüz)



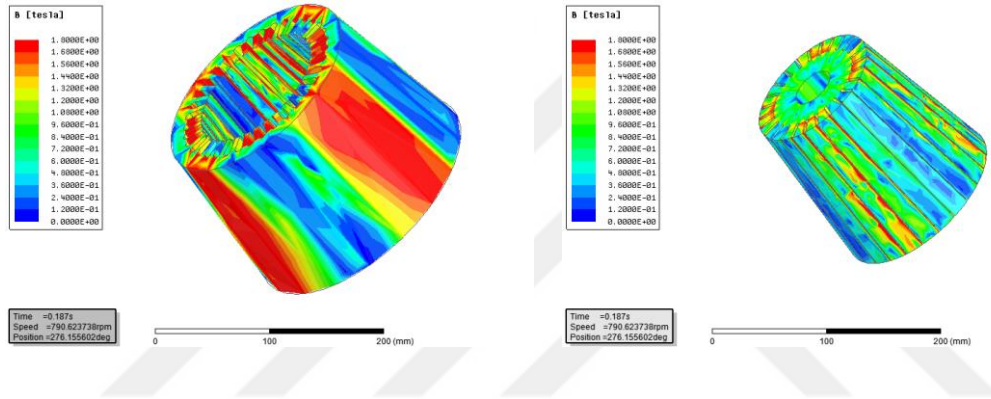
EK-E : Şekil 10. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (30Hz, Yüklü)



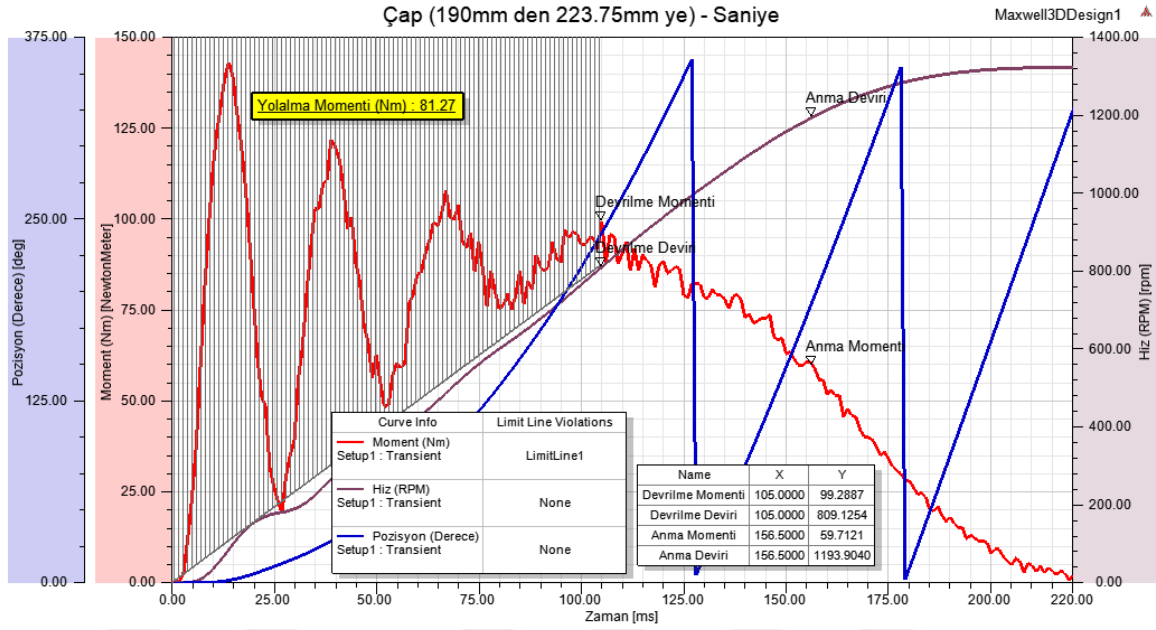
EK-E : Şekil 11. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (30Hz, Yüklü)

EK-E : Tablo 4. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (30Hz, Yüklü)

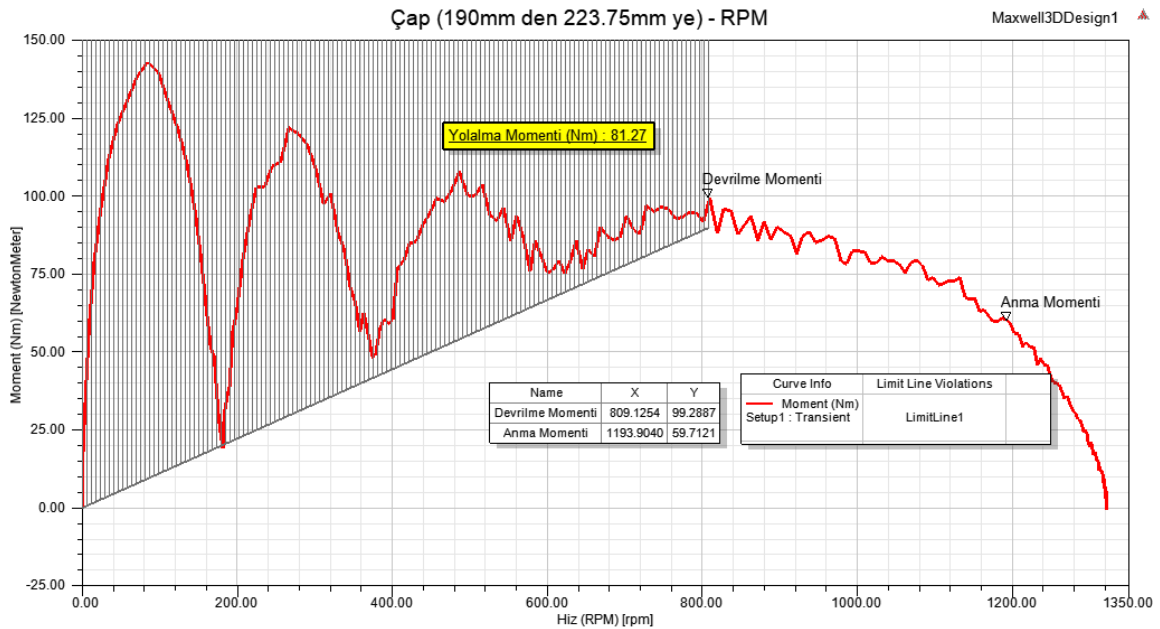
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,519	-	-	-	-	-
Verim	30,38	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	134,9	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	153,3	Nm	523	RPM	62	Milisaniye
Anma Momenti	78,52	Nm	790	RPM	187	Milisaniye



EK-E : Şekil 12. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (30Hz, Yüklü)



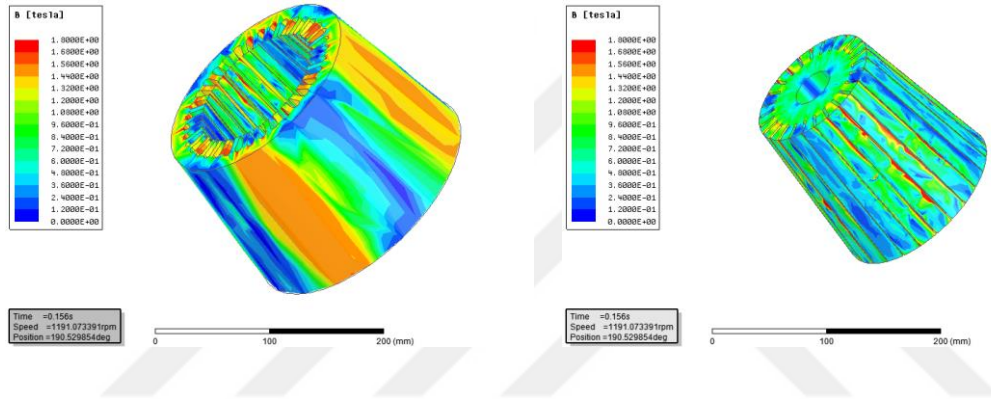
EK-E : Şekil 13. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (44Hz, Yüksüz)



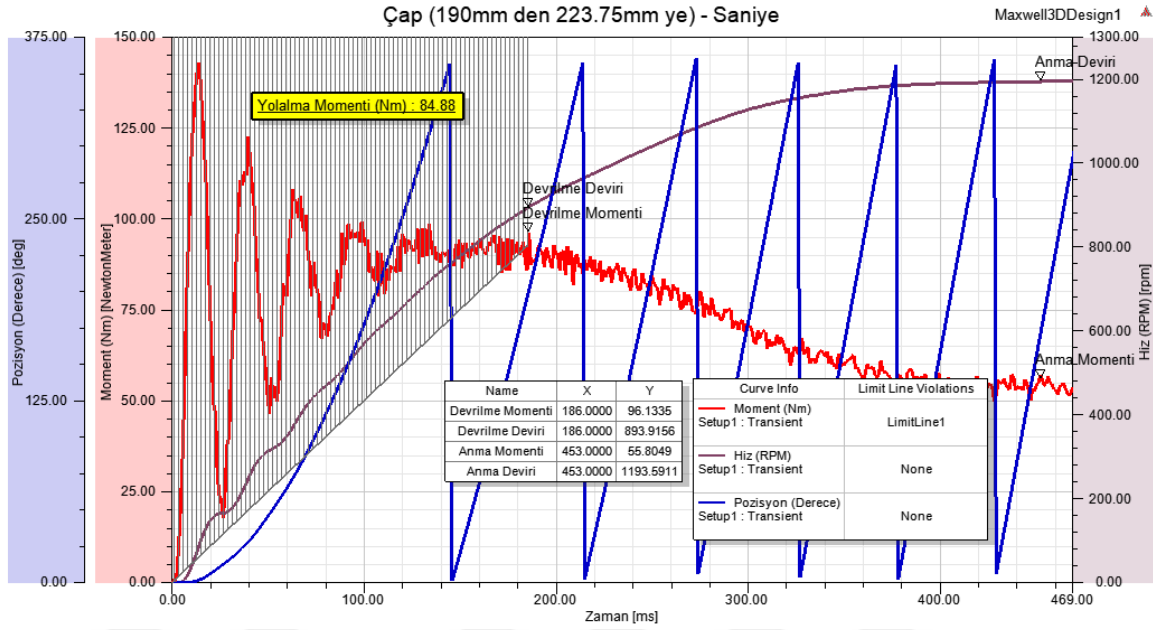
EK-E : Şekil 14. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (44Hz, Yüksüz)

EK-E : Tablo 5. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (44Hz, Yüksüz)

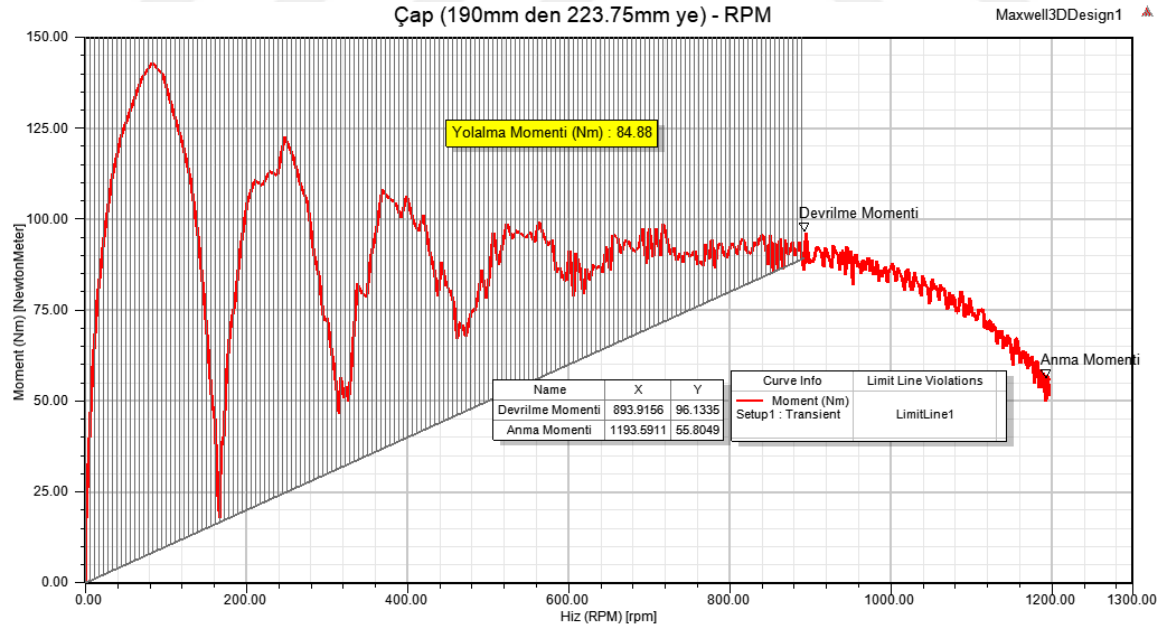
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,782	-	-	-	-	-
Verim	69,79	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	81,27	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	99,28	Nm	809	RPM	105	Milisaniye
Anma Momenti	59,71	Nm	1194	RPM	156	Milisaniye



EK-E : Şekil 15. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (44Hz, Yüksüz)



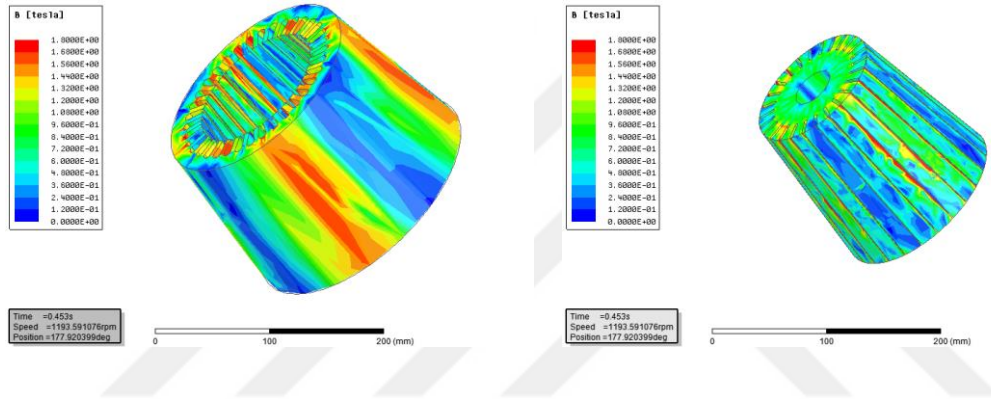
EK-E : Şekil 16. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (44Hz, Yüklü)



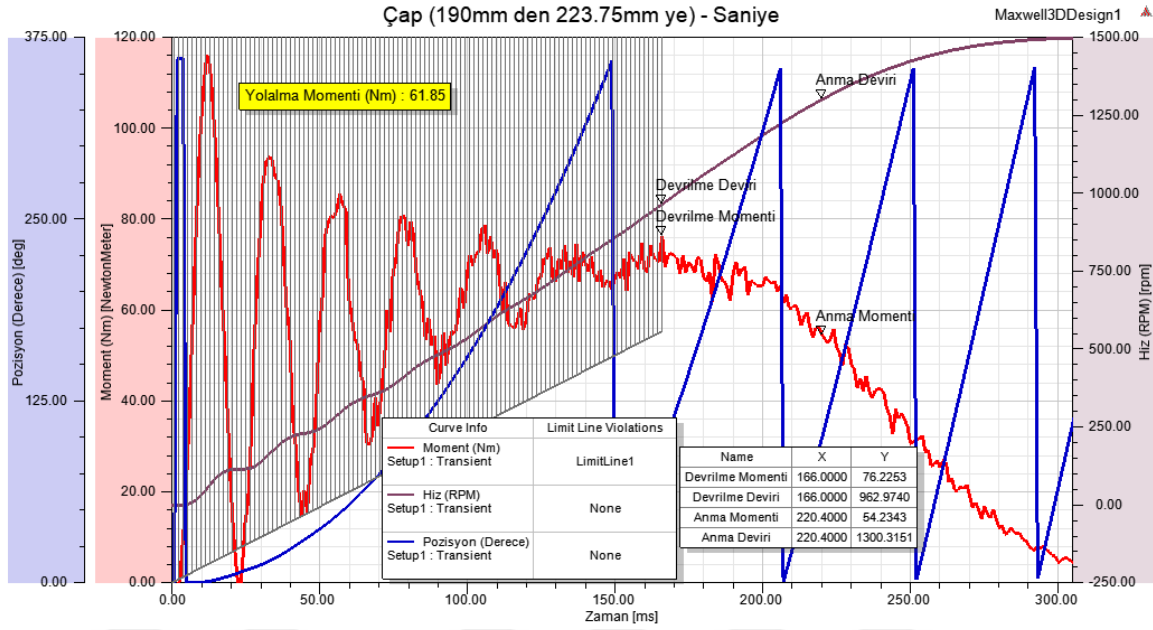
EK-E : Şekil 17. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (44Hz, Yüklü)

EK-E : Tablo 6. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (44Hz, Yüklü)

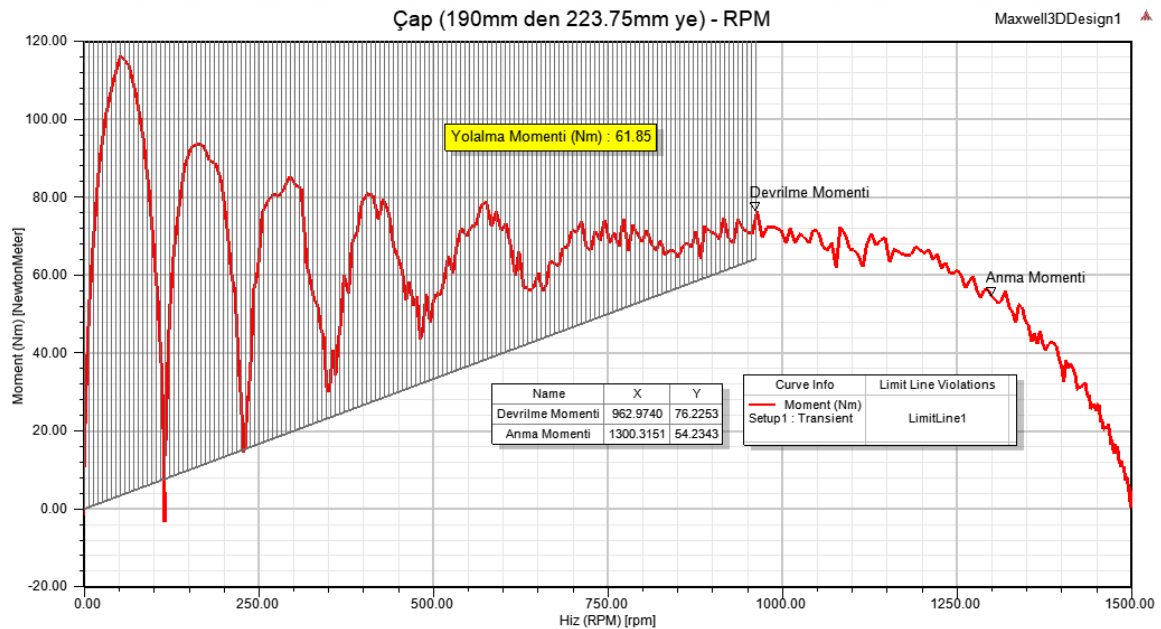
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,843	-	-	-	-	-
Verim	71,84	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	84,88	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	96,13	Nm	894	RPM	186	Milisaniye
Anma Momenti	55,80	Nm	1194	RPM	453	Milisaniye



EK-E : Şekil 18. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (44Hz, Yüklü)



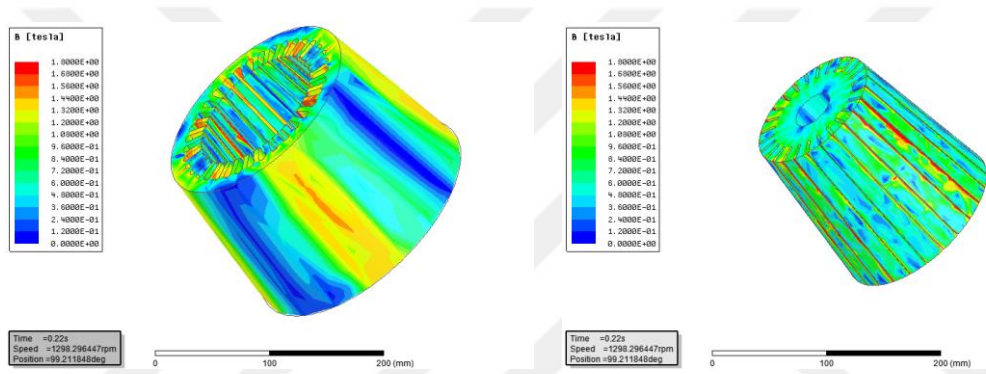
EK-E : Şekil 19. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (50Hz, Yüksüz)



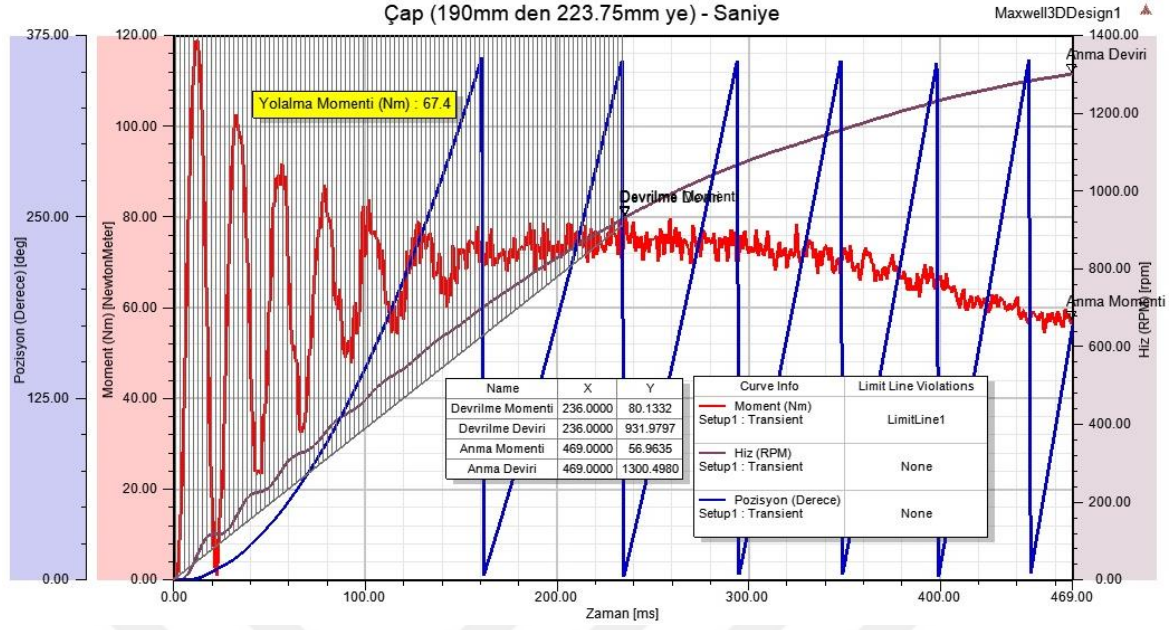
EK-E : Şekil 20. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (50Hz, Yüksüz)

EK-E : Tablo 7. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (50Hz, Yüksüz)

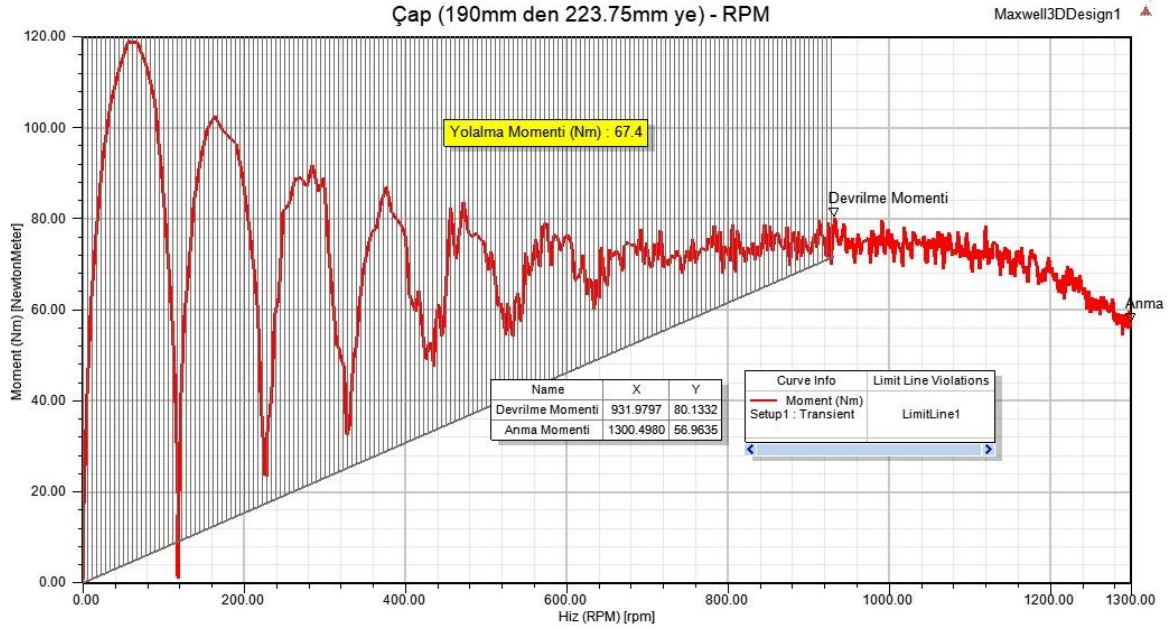
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,572	-	-	-	-	-
Verim	65,30	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	61,85	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	76,22	Nm	962	RPM	166	Milisaniye
Anma Momenti	54,23	Nm	1300	RPM	220	Milisaniye



EK-E : Şekil 21. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (50Hz, Yüksüz)



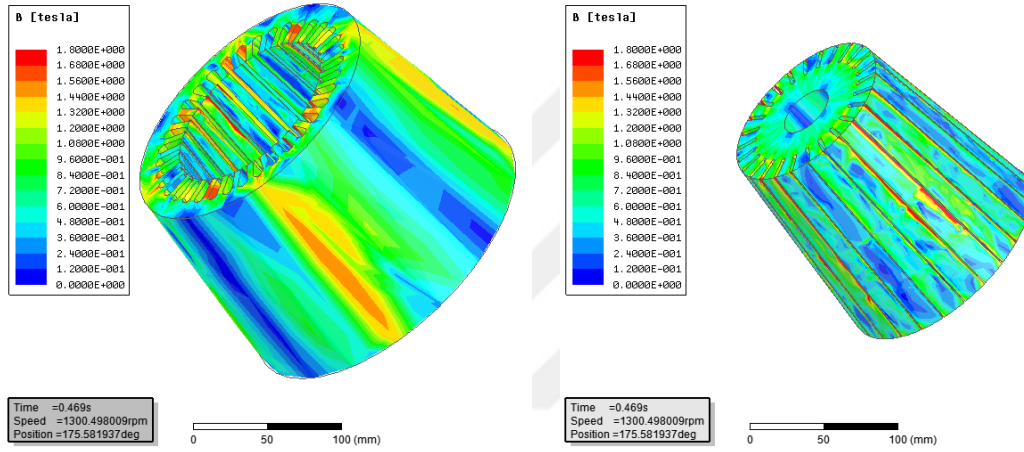
EK-E : Şekil 22. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (50Hz, Yüklü)



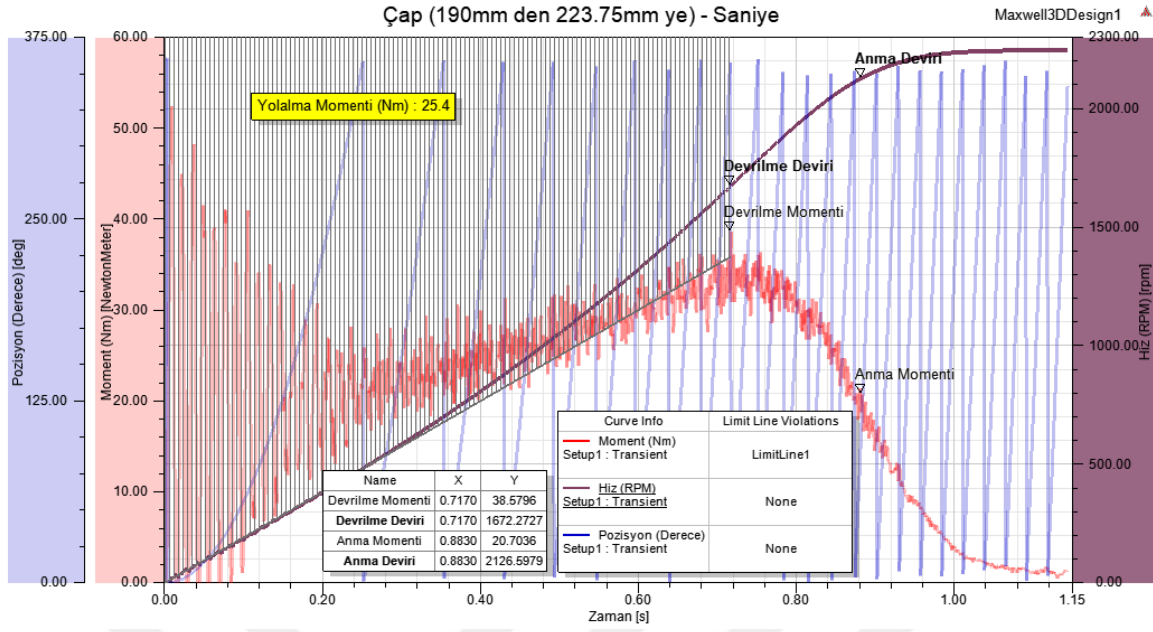
EK-E : Şekil 23. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (50Hz, Yüklü)

EK-E : Tablo 8. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (50Hz, Yüklü)

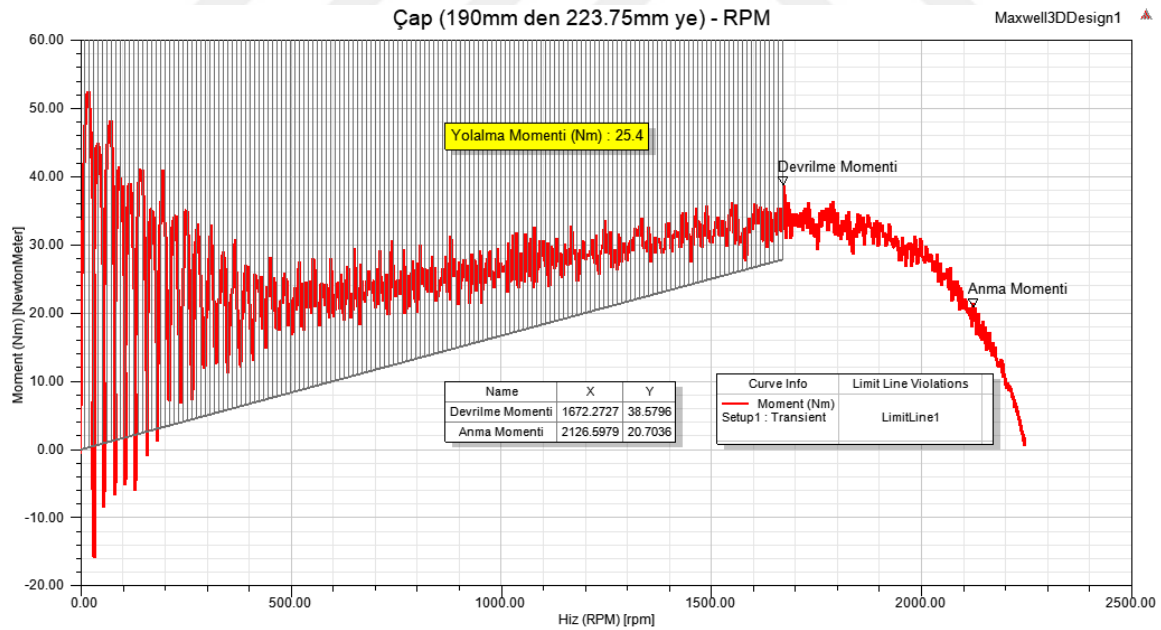
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,832	-	-	-	-	-
Verim	72,24	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	67,4	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	80,13	Nm	932	RPM	236	Milisaniye
Anma Momenti	56,96	Nm	1300	RPM	469	Milisaniye



EK-E : Şekil 24. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (50Hz, Yüklü)



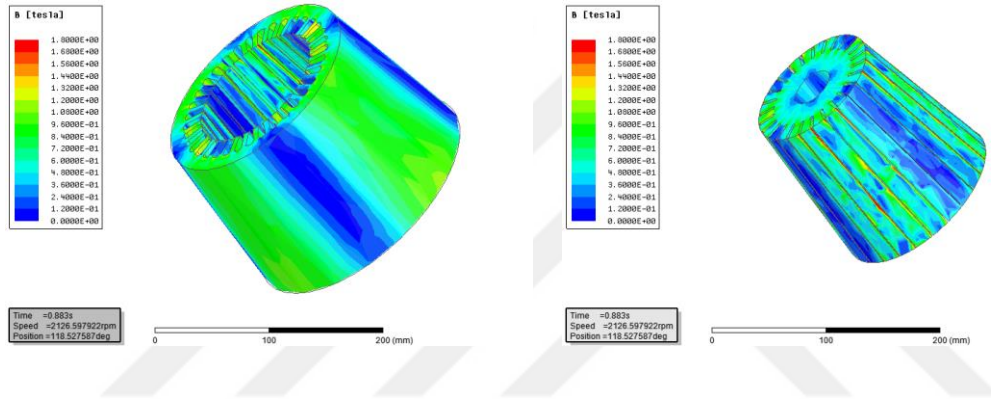
EK-E : Şekil 25. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (75Hz, Yüksüz)



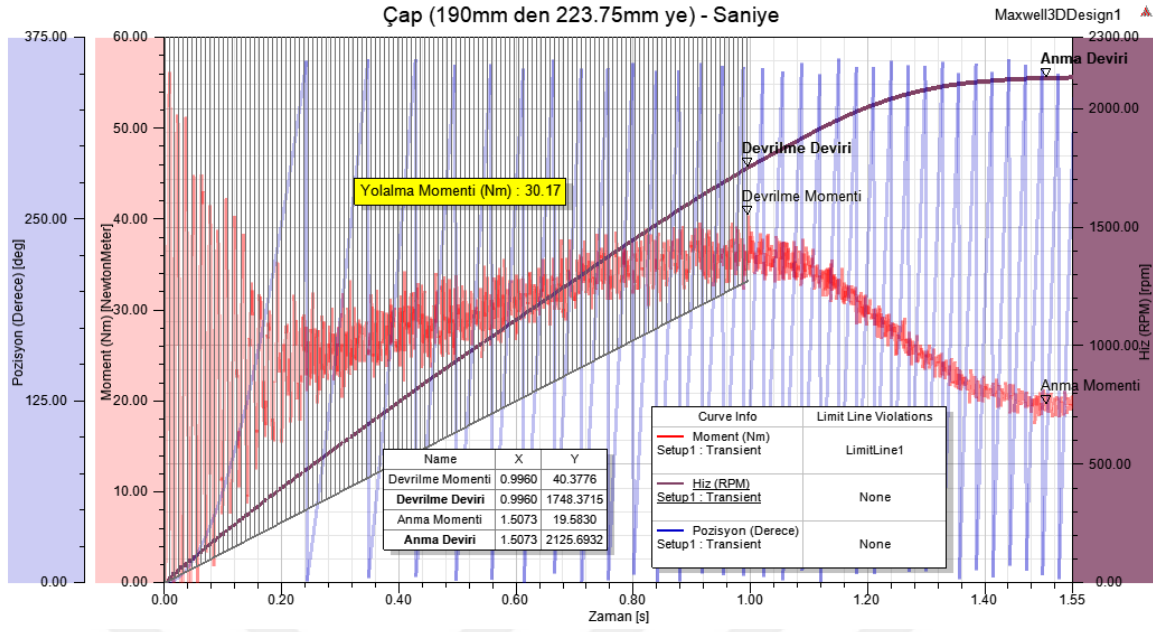
EK-E : Şekil 26. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (75Hz, Yüksüz)

EK-E : Tablo 9. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (75Hz, Yüksüz)

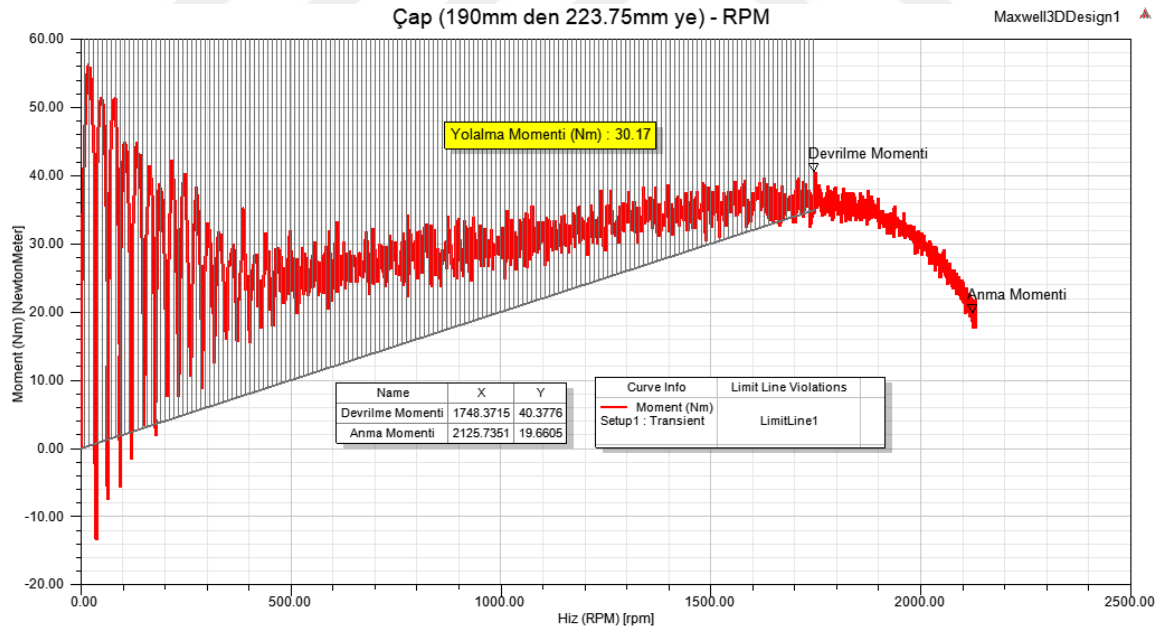
Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,857	-	-	-	-	-
Verim	84,73	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	25,40	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	38,57	Nm	1672	RPM	717	Milisaniye
Anma Momenti	20,70	Nm	2126	RPM	883	Milisaniye



EK-E : Şekil 27. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (75Hz, Yüksüz)



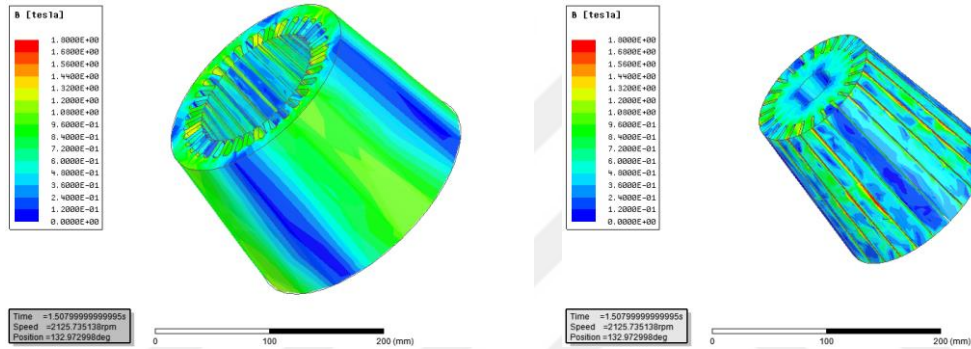
EK-E : Şekil 28. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment-Devir-Pozisyon / Zaman Eğrisi (75Hz, Yüklü)



EK-E : Şekil 29. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Moment / Devir Eğrisi (75Hz, Yüklü)

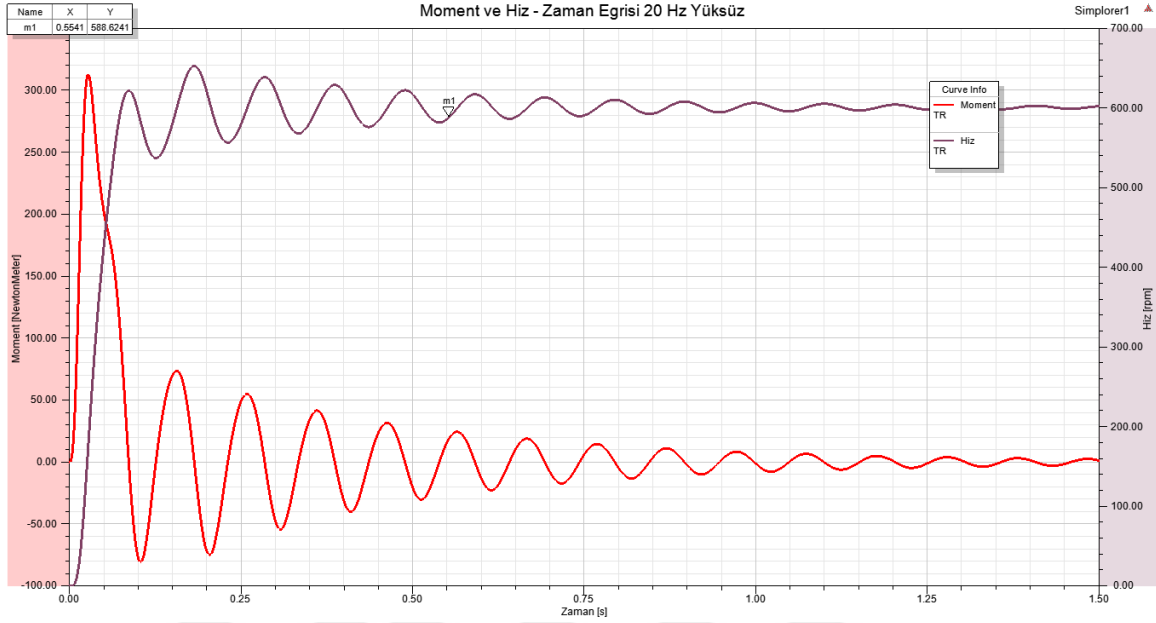
EK-E : Tablo 10. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Analiz Sonuçları (75Hz, Yüklü)

Parametre	Değeri	Birimi	Devir	Birimi	Zaman	Birim
Güç Faktörü	0,862	-	-	-	-	-
Verim	80,60	%	-	-	-	-
Yolalma Momenti	30,17	Nm	-	-	-	-
Devrilme Momenti	40,37	Nm	1748	RPM	996	Milisaniye
Anma Momenti	19,60	Nm	2126	RPM	1507	Milisaniye

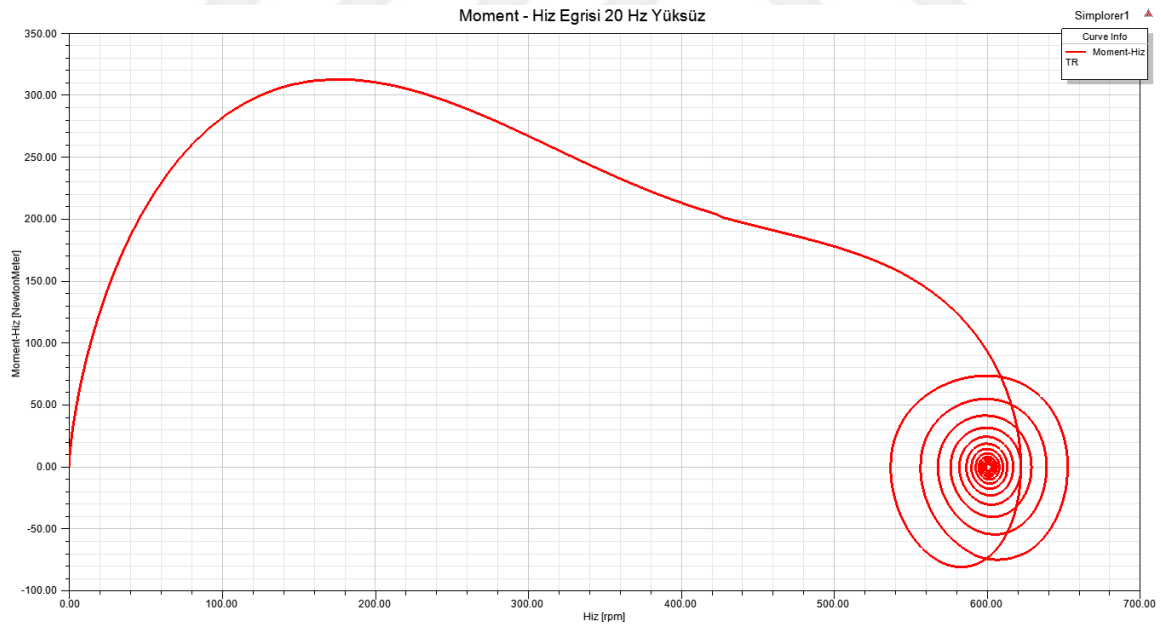


EK-E : Şekil 30. Radiaxial Çap:190mm'den 223.75mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için ANSYS Maxwell 3D Manyetik Akı Yoğunluğu Görünümleri (75Hz, Yüklü)

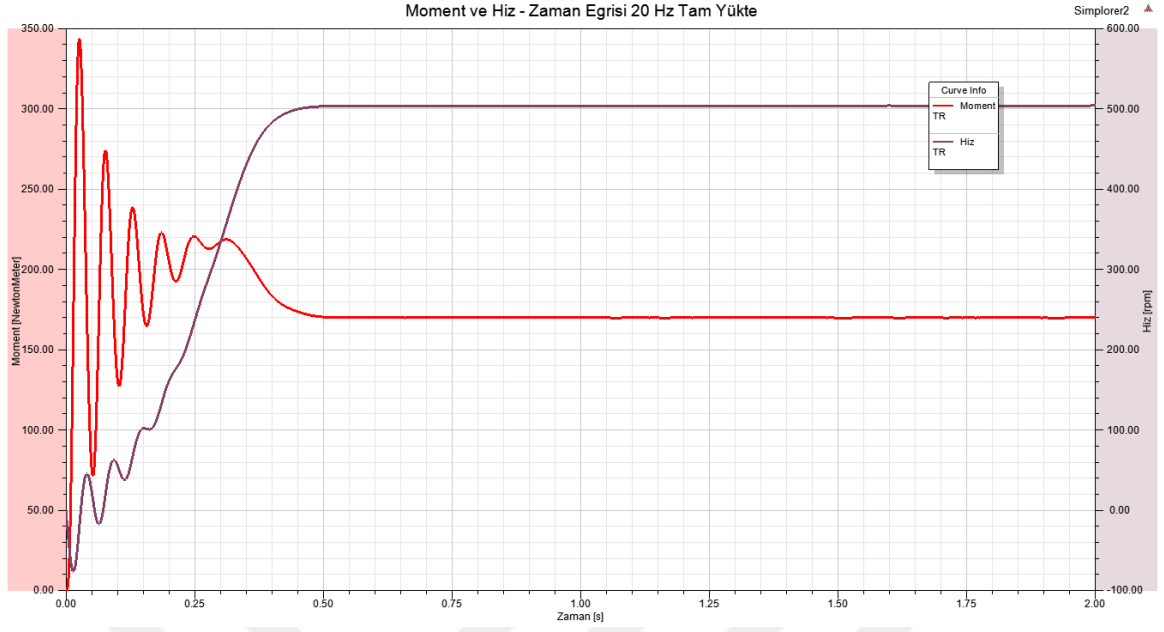
EK-F Prototip Motor Test Sonuçlarına İlişkin Grafikler



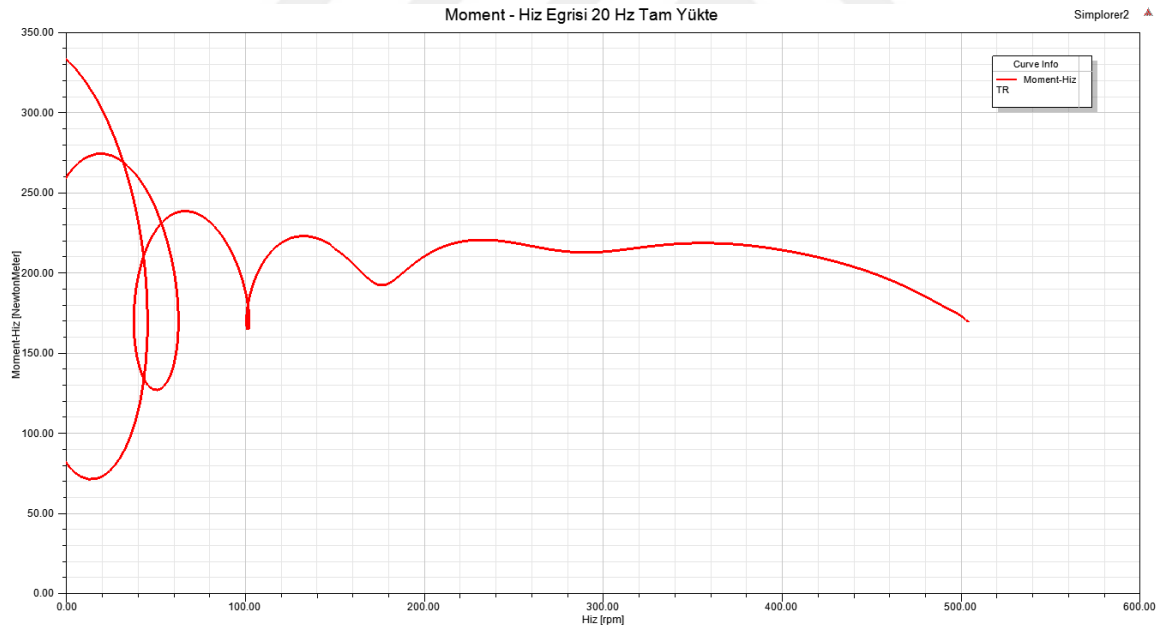
EK-F : Şekil 1. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (20Hz, Yüksüz)



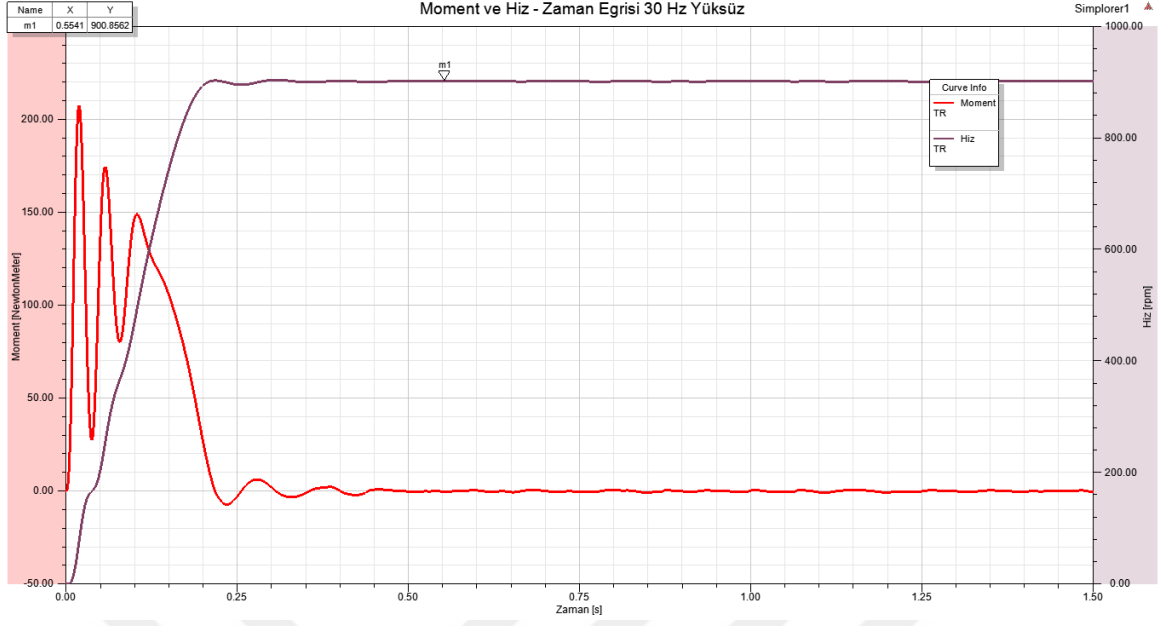
EK-F : Şekil 2. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (20Hz, Yüksüz)



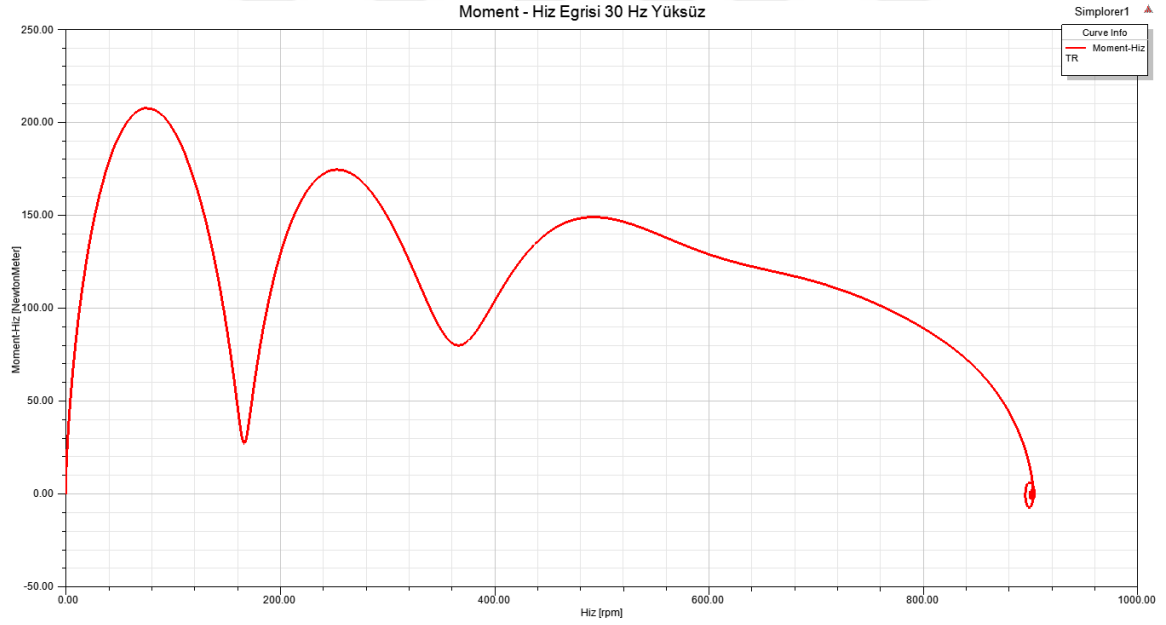
EK-F : Şekil 3. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (20Hz, Tam Yükte)



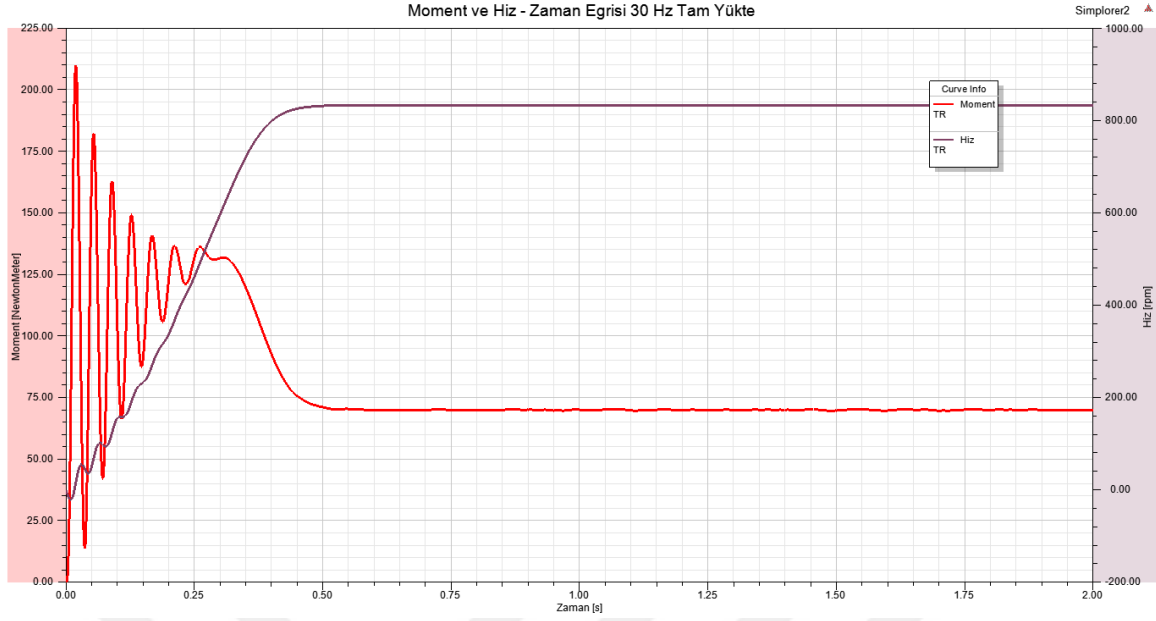
EK-F : Şekil 4. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (20Hz, Tam Yükte)



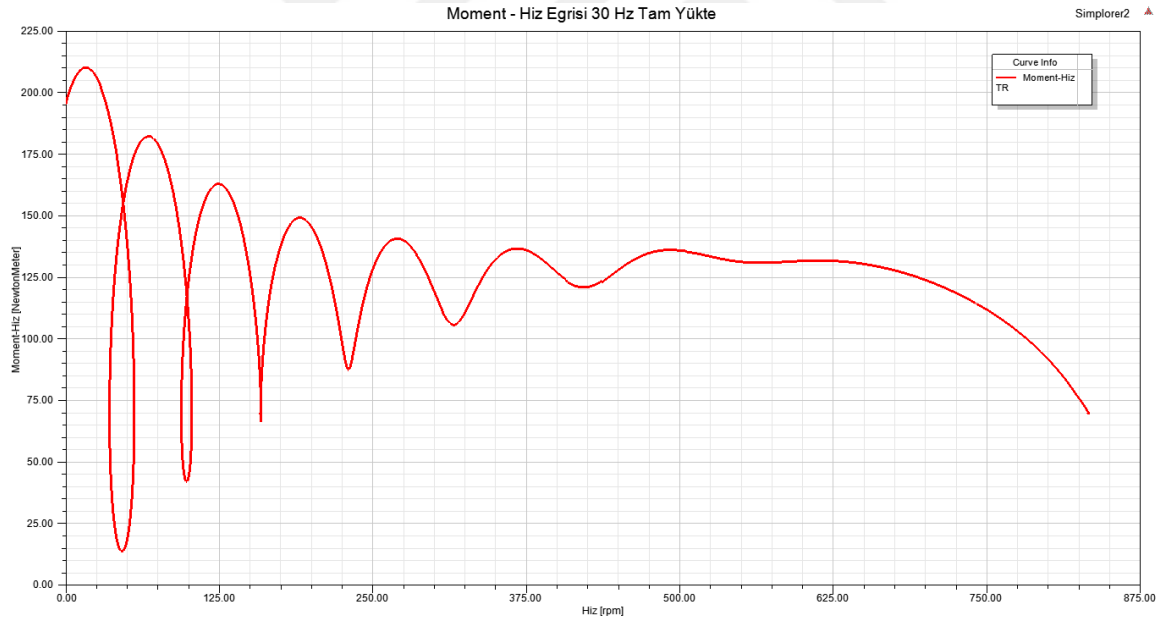
EK-F : Şekil 5. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (30Hz, Yüksüz)



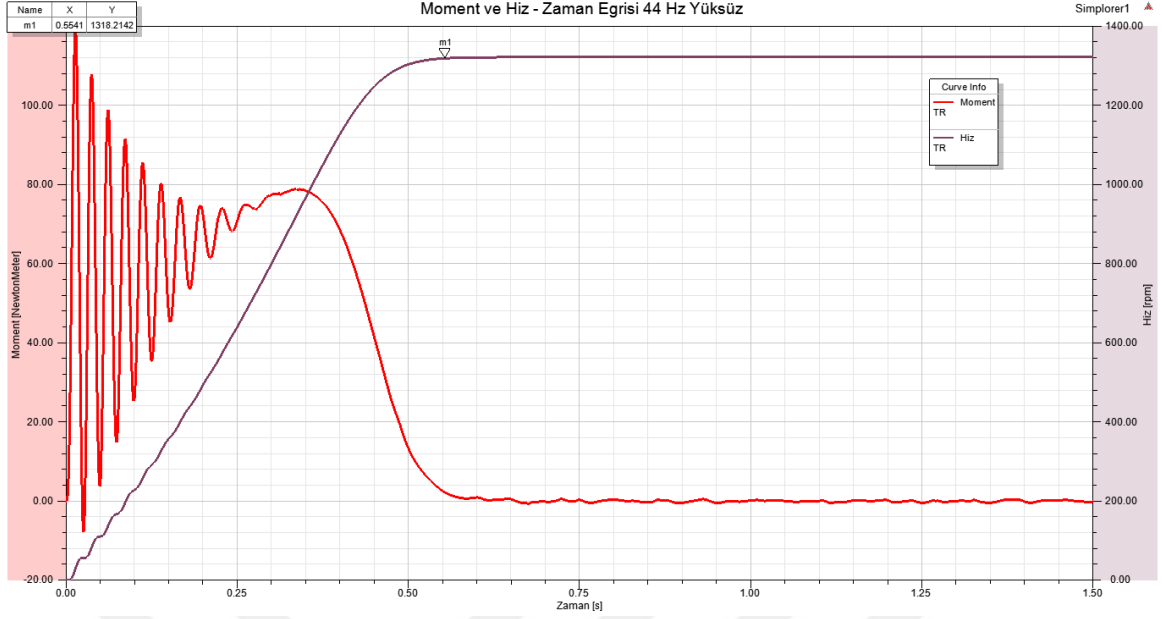
EK-F : Şekil 6. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (30Hz, Yüksüz)



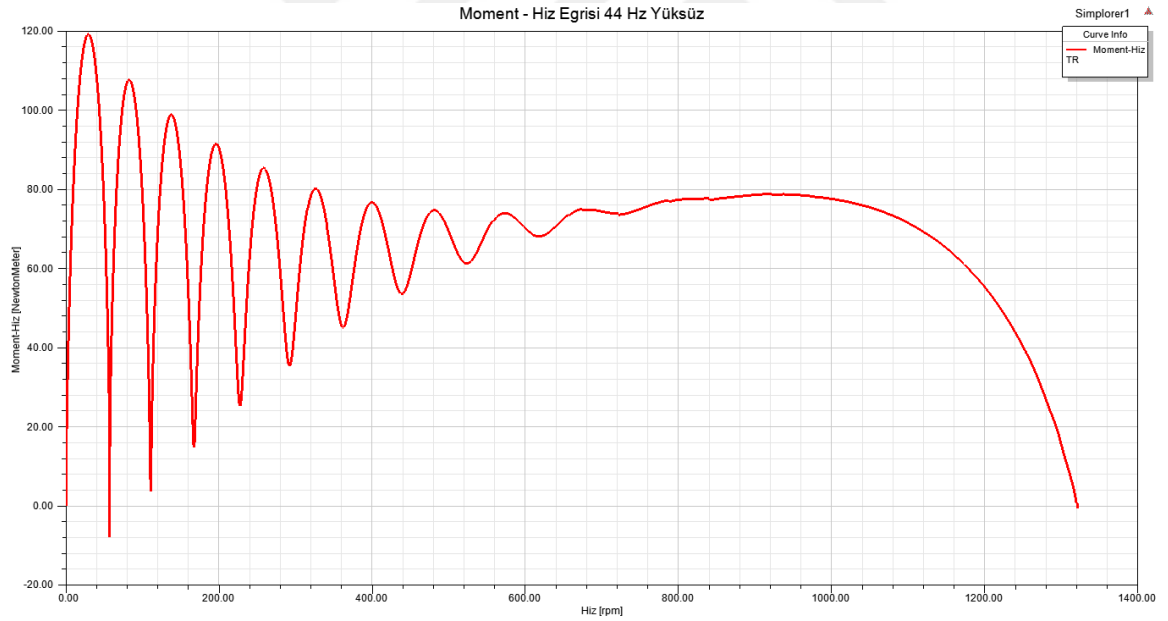
EK-F : Şekil 7. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (30Hz, Tam Yükte)



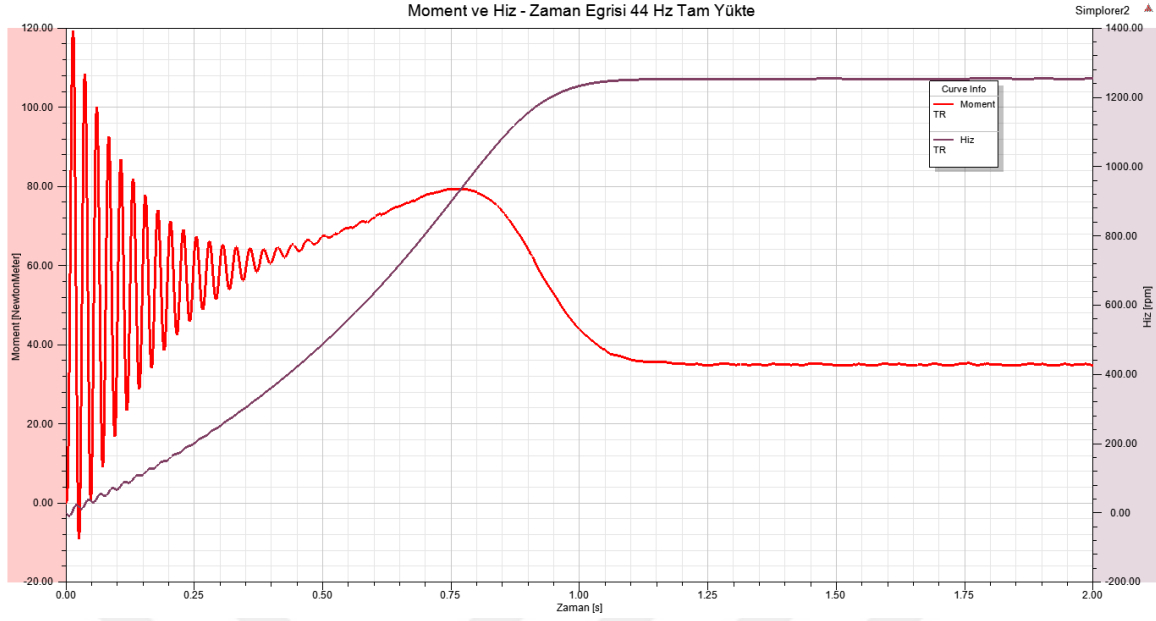
EK-F : Şekil 8. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (30Hz, Tam Yükte)



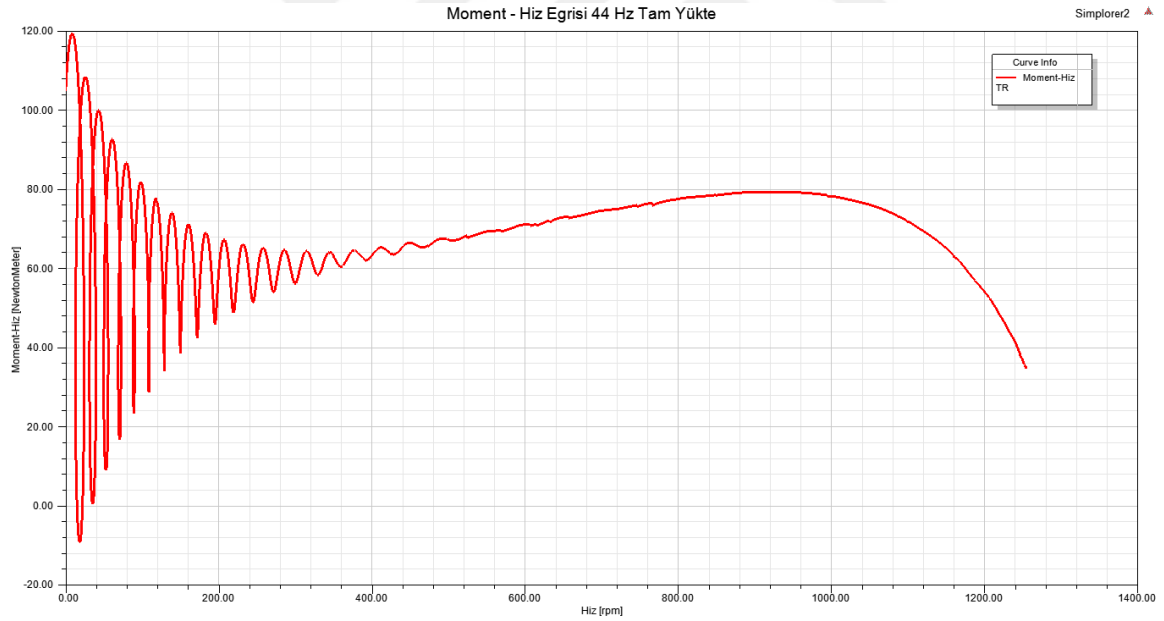
EK-F : Şekil 9. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (44Hz, Yüksüz)



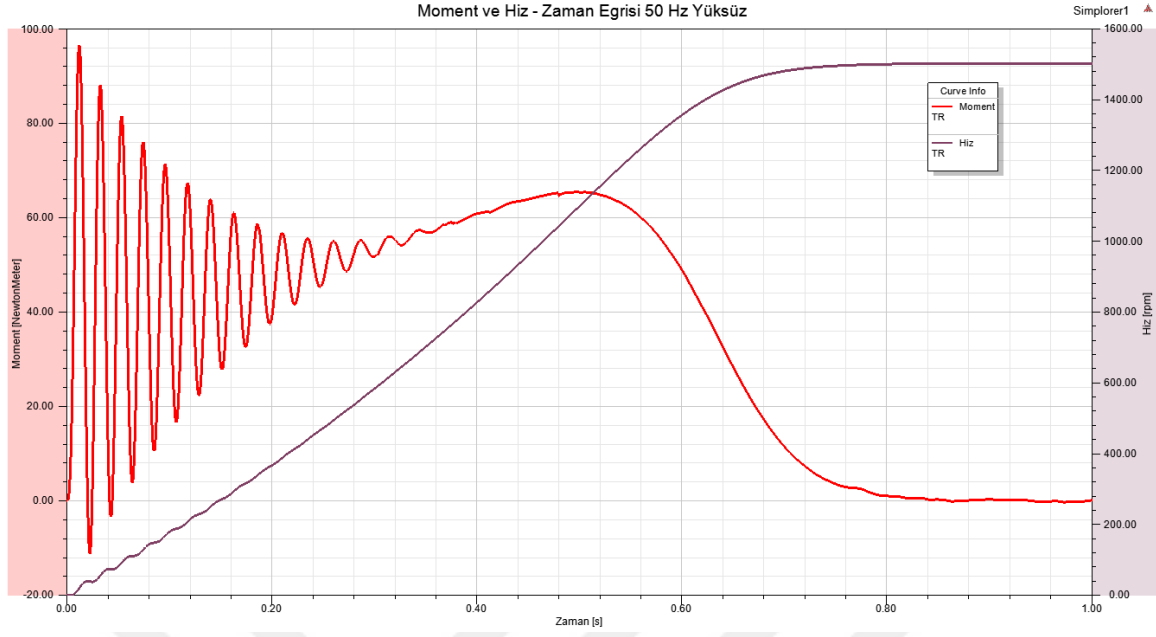
EK-F : Şekil 10. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (44Hz, Yüksüz)



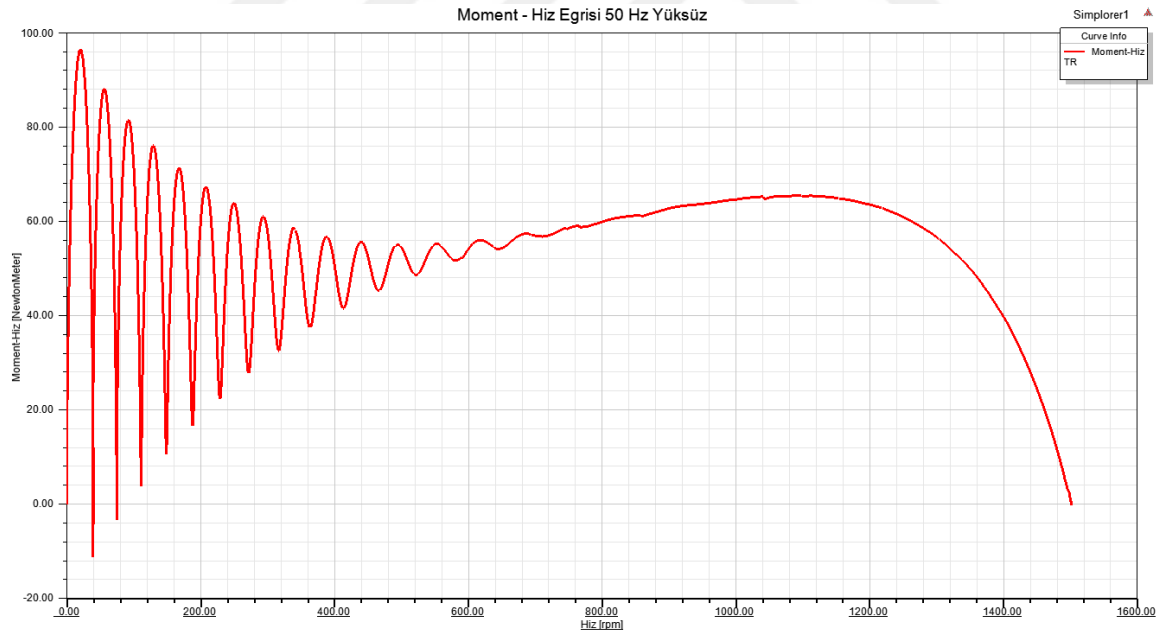
EK-F : Şekil 11. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (44Hz, Tam Yükte)



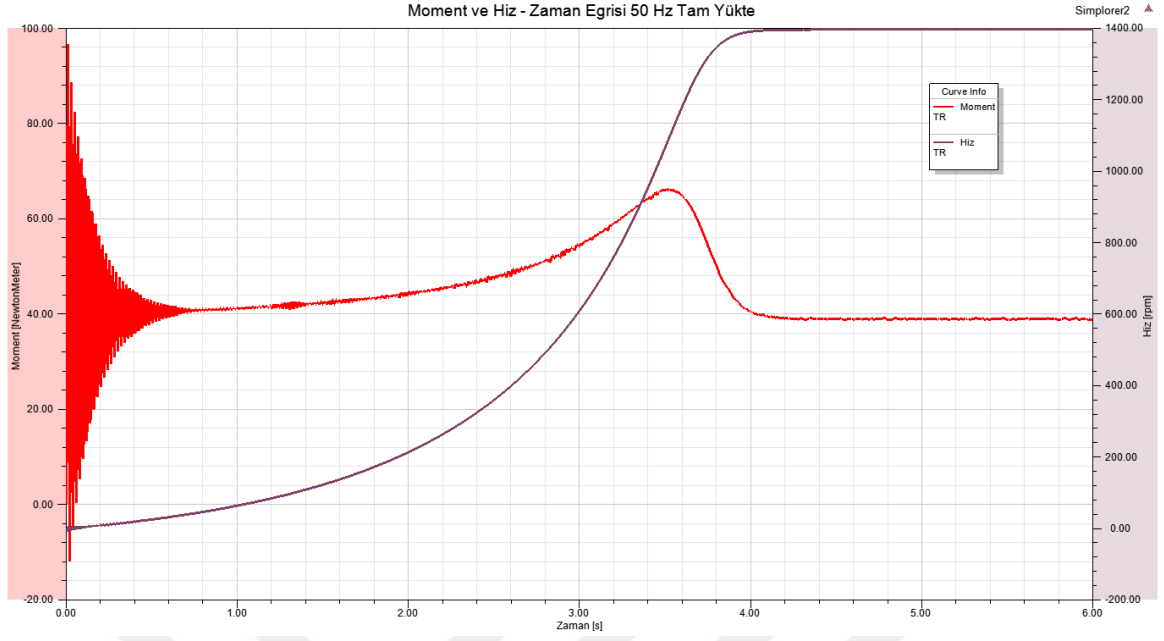
EK-F : Şekil 12. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (44Hz, Tam Yükte)



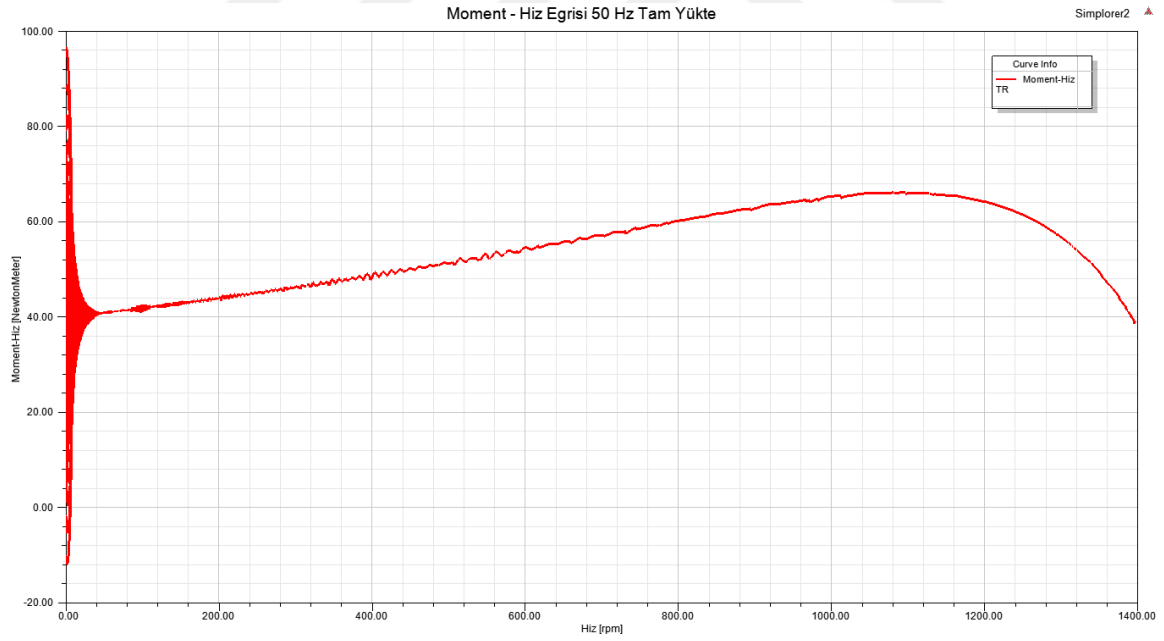
EK-F : Şekil 13. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (50Hz, Yüksüz)



EK-F : Şekil 14. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (50Hz, Yüksüz)



EK-F : Şekil 15. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment-Devir / Zaman Eğrisi (50Hz, Tam Yükte)



EK-F : Şekil 16. Prototip Motor Çap:190mm'den 280mm'ye ve Uzunluk:150mm olan Motor için Test Sonuçları : Moment / Devir Eğrisi (50Hz, Tam Yükte)

KAYNAKLAR

- [1] Ahmad M.Z., Sulaiman E., Kosaka T. (2015) Optimization of Outer-Rotor Hybrid Excitation FSM for In-Wheel Direct Drive Electric Vehicle. Mechatronics (ICM), International Conference, IEEE, 6-8 March.
- [2] Sant, A.V., Khadkikar, V., Xiao, W., Zeineldin, H.H. (2015) Four-Axis Vector-Controlled Dual-Rotor PMSM for Plug-in Electric Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 62(5), 7000535, 3202-3212.
- [3] Chiba, A., Kiyota, K., Hoshi, N., Takemoto, M., Ogasawara, S. (2015) Development of a rare-earth-free SR motor with high torque density for hybrid vehicles. IEEE Transactions on Energy Conversion, 30(1), 6884841, 175-182.
- [4] Chen, L., Hopkinson, D., Wang, J., Cockburn, A., Sparkes, M., O'Neill, W. (2015) Reduced Dysprosium Permanent Magnets and Their Applications in Electric Vehicle Traction Motors, IEEE Transactions on Magnetics, 51(11), 7112486.
- [5] Biltutanu, A., Florea, M.-L. (2015) Modeling and testing of electric vehicle propulsion systems. UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering, 77(3), 201-212.
- [6] Al-Aawar, N., Arkadan, A.-R.A. (2015) Optimal control strategy for hybrid electric vehicle powertrain. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 3(2), 6813621, 362-370.
- [7] Hua, W., Zhang, G., Cheng, M. (2015) Investigation and design of a high-power flux-switching permanent magnet machine for hybrid electric vehicles. IEEE Transactions on Magnetics, 51(3), 7093454.
- [8] Chun, Y.-D., Park, B.-G., Kim, D.-J., Choi, J.-H., Han, P.-W. (2016) Development and performance investigation on 60kW induction motor for EV propulsion. Journal of Electrical Engineering and Technology, 11(3), 639-643.
- [9] Ruuskanen, V., Nerg, J., Pyrhonen, J., Ruotsalainen, S., Kennel, R. (2015) Drive cycle analysis of a permanent-magnet traction motor based on magnetostatic finite-element analysis. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 64(3), 6826544, 1249-1254.
- [10] Yang, Y.-P., Wang, J.-P., Wu, S.-W., Luh, Y.-P. (2004) Design and control of axial-flux brushless dc wheel motors for electric vehicles - Part II: Optimal current

waveforms and performance test IEEE Transactions on Magnetics, 40(4 I), 1883-1891.

[11] Rahman, K.M., Jurkovic, S., Stancu, C., Morgante, J., Savagian, P.J. (2015) Design and Performance of Electrical Propulsion System of Extended Range Electric Vehicle (EREV) Chevrolet Volt. IEEE Transactions on Industry Applications, 51(3), 6928443, 2479-2488.

[12] Shafiei, A., Carli, G., Williamson, S.S. (2014) Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications, 387-421.

[13] Hewu, W., Jiuyu, D., Minggao, O. (2013) Vehicle powertrain technology. Sustainable Automotive Energy System in China, 9783642368479, 59-107.

[14] Beloiu, R., Iorgulescu, M., Savulescu, C. (2014) Dynamic response of electric machines for electric vehicles/hybrid electric vehicles (EV/HEV). Autonomous Vehicles: Intelligent Transport Systems and Smart Technologie, 353-377.

[15] Profumo, F., Zhang, Z., Tenconi, A. (1997) Axial flux machines drives: A new viable solution for electric cars. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 44(1), 39-45.

[16] Hee Nam, K. (2010) AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications. Taylor & Francis, 351.

[17] Shinnaka, S., Takeuchi, S. (2007) A new sensorless drive control system for transmissionless EVs using a permanent-magnet synchronous motor. World Electric Vehicle Journal, 1(1), 1-9.

[18] Rahman, F., Dutta, R. (2013) AC Motor Control Applications in Vehicle Traction. AC Electric Motors Control: Advanced Design Techniques and Applications, 453-486.

[19] Giri, F. (2013) AC Electric Motors Control: Advanced Design Techniques and Applications. AC Electric Motors Control: Advanced Design Techniques and Applications, 555 p.

[20] Nasırı-Gheidari, Z., Lesani, H. (2012) A Survey on Axial Flux Induction Motors. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 88 NR 2/2012.

[21] Ogasawara, T., Goto, H., Ichinokura, O. (2013) A study of rotor pole shape of in-wheel direct drive SR motor. 2013 15th European Conference on Power Electronics and

Applications, EPE, 2-6 Sept.

- [22] Nair, S.S., Shamsuddeen, N., Dhinagar, S.J. (2012) A novel electromagnetic core structure for axial radial flux permanent magnet electric motor. Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), 6th IET International Conference on, 27-29 March.
- [23] Luo, J., . Huang, S., Chen, S., Lipo, T.A. (2001) Design and Experiments of A Novel Axial Flux Circumferential Current Permanent Magnet (AFCC) Machine with Radial Airgap. Industry Applications Conference. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE.
- [24] Nasiri-Zarandi, R., Mirsalim, M., Tenconi, A. (2015) A Novel Hybrid Hysteresis Motor with Combined Radial and Axial Flux Rotors. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63(3), 1684 – 1693.
- [25] Shupe, L., Liwei, S., Size, L., Jingyu, W., Xiaofei, L. (2015) Decoupling Active and Passive Hybrid Axial and Radial Magnetic Bearing. Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), International Conference on, IEEE, 29-31 Oct.
- [26] Parviainen, A., Niemela, M., Pyrhonen, J., Mantere, J. (2015) Performance comparison between low-speed axial-flux and radial-flux permanent magnet machines including mechanical constraints. Electric Machines and Drives, IEEE International Conference, 15-15 May.
- [27] Hui Z., Li, L., Ping Z.; Ranran L., Jing Z. (2008) Research on the Axial-Radial Flux Compound - Structure Permanent - Magnet Synchronous Machine (CSPMSM) Used for HEV. Electrical Machines and Systems, ICEMS 2008. International Conference on, IEEE, 17-20 Oct.
- [28] Seo, J.M., Rhyu, S.H., Jung, I.S., Jung, H.K. (2015) A design of multi flux permanent magnet machine for electrical bicycles. Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), 2015 9th International Conference, 1-5 June.
- [29] Weili, L., Chengyu, S., Junci, C., Liyi, L. (2010) Performance Analysis of Axial-Radial Flux Type Fully Superconducting Synchronous Motor. Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on, IEEE, 24-28 Oct.
- [30] Xubiao, W., Kai, Y., Zhicheng, P., Hongqin, X., Cheng, Z., Yingli, Z. (2014) Design of A Novel Axial-Radial Flux Permanent Magnet Motor. Electrical Machines and Systems (ICEMS), 17th International Conference on, IEEE, 22-25 Oct.
- [31] Jong-Suk, R., Se-Hyun, R., In-Soung, J., Hyun-Kyo, J., Jung Moo, S. (2015) Novel

- Hybrid Radial and Axial Flux Permanent-Magnet Machine Using Integrated Windings for High-Power Density. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(3).
- [32] Yang G., Ou J., Du C., Song B., Qu R., Bi H., Guo W., Wang K., Tang H. (2015) Method for improving motor torque density and radial and axial magnetic flux parallel-connected permanent magnet motor. China Patent , CN104716754A, Feb 16.
- [33] Anders G. F. (1986) Motor arrangement comprising at least three co-planar conical motors. US Patent, US4628220 (A), Dec. 9.
- [34] Alfermann T. J., McGrew A. L., Ahmed M. El-Antably JR. (2010) Permanent Magnet Machine With Conical Stator, US Patent, US2010264768 (A1), Oct. 21.
- [35] Shepard C., Picard J. W. Tapered Rotor Assembly (2013). US Patent, US2013113324 (A1) May 9.
- [36] Kascak P., Jansen R., Dever T. Conical bearingless motor/generator (2006). US Patent, US2006238053 (A1), Oct 26.
- [37] Mohamed A.M., Emad F.P. (1989) Conical Magnetic Bearing With Radial and Thrust Control. *Proceeding of the 28th Conference on Decision and Control*, IEEE, 37(12), 1859 – 1868.
- [38] Mohamed A.M., and Emad F.P. (1992) Conical Magnetic Bearing With Radial and Thrust Control. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 37(12).
- [39] Lin L.C., Gau T.B. (1997) Feedback Linearization and Fuzzy Control for Conical Magnetic Bearings, *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, 5(4).
- [40] Tenhunen A., Benedetti T., Holopainen T.P., Arkkio A. (2003) Electromagnetic Forces of The Cage Rotor in Conical Whirling Motion. *IEE Proc-Electr. Power Appl.*, 150(5).
- [41] Pillai K.P.P., Nair A.S., Bindu G.R. (2008) Unbalanced Magnetic Pull in Train-Lighting Brushless Alternators With Static Eccentricity. *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, 57(1).
- [42] Kascak P., Jansen R., Nagorny A., Lapora K. (2009) Bearingless Five-Axis Rotor Levitation with Two Pole Pair Separated Conical Motors. *Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE IAS.
- [43] Song F., Liu H., Song B., Shao H., Feng H. (2010) Analysis Control Characteristics of Clearance Control Magnetic Dynamic Absorber. *Proceedings of The 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, IEEE, 7-9 July.

- [44] Ghita C., Trifu I. (2011) Aeolian Synchronous Generator with Conical Rotor. 7th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, The Faculty of Electrical Engineering, U.P.B., Bucharest.
- [45] Ghita C., Trifu I. (2011) Linearization of Aeolian Synchronous Generator with Conical Rotor. 7th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, The Faculty of Electrical Engineering, U.P.B., Bucharest.
- [46] Kascak P., Nagorny A., Lapora K. (2011) Levitation Performance of Two Opposed Permanent Pole-Pair Separated Conical Bearingless Motors. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE, 17-22 Sept.
- [47] Kascak P., Jansen R., Dever T., Nagorny A., Lapora K. (2011) Motoring Performance of a Conical Pole-Pair Separated Bearingless Electric Machine. Energytech, IEEE, 25-26 May.
- [48] Munteanu G., Binder A., Dewenter S. (2012) Five-Axis Magnetic Suspension with Two Conical Air Gap Bearingless PM Synchronous Half-Motors. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, IEEE, 20-22 June.
- [49] Xu S., Fang J. (2014) A Novel Conical Active Magnetic Bearing With Claw Structure. Transaction on Magnetics, 50(5), IEEE.
- [50] Abrahamsson J., Ögren J., Hedlund M. (2014) A Fully Levitated Cone-Shaped Lorentz-Type Self-Bearing Machine With Skewed Windings. Transaction on Magnetics, 50(9), IEEE.
- [51] Feng C., Kui Z., Zongyang L., and Lei G. (2015) Flux Weakening Performance of Permanent Magnet Synchronous Motor with a Conical Rotor. Transaction on Magnetics, 53(11), IEEE.
- [52] Guo B.C., Huang Y.K., Guo Y.G., Zhu J.G. (2015-2016) Thermal Analysis of The Conical Rotor Motor Using LPTN Combined with Fluid Simulation. Proceedings of International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, IEEE, 20-23 Nov.
- [53] Roggia S., Cupertino F., Gerada C., Galea M. (2016-2017) Axial Position Estimation of Conical Shaped Motors for Aerospace Traction Application. Transaction on Industrial Applications, 53(6), IEEE.
- [54] Messenger G., Binder A. (2016) Observer-Based Pole Placement Control for a

Double Conical High-Speed Bearingless Permanent Magnet Synchronous Motor. Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe), IEEE, 5-9 Sept.

[55] Guo B.C., Huang Y.K., Guo Y.G., Zhu J.G. (2016) Thermal Analysis of The Conical Rotor Motor Using LPTN with Accurate Heat Transfer Coefficients. Transaction on Applied Superconductivity, 26(7), IEEE.

[56] Basheer J., Bindu G.R. (2017) A Novel Technique to Arrest Unbalanced Magnetic Pull due to Conical Motion in Three Phase Induction Motor Using Feedforward Control. International Conference on Nascent Technologies in The Engineering Field (ICNTE-2017), 27-28 Jan.

[57] Mökükcü M.S. (2014) Electrical Vehicle Design and Implementation. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[58] Calculate metric or inch tire specs and compare to alternate tire sizes, <https://tiresize.com/calculator> , (27.12.2016).

[59] Egea Katalog, <https://otomobil.fiat.com.tr/fiat-egea/egea-sedan/teknik-ozellikler>, Focus Katalog, <https://www.ford.co.uk/content/dam/guxeu/uk/documents/feature-pdfs/FT-Focus.pdf>, Fluence Katalog, https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/TR/global-brochures/Fluence_08.2015.pdf (27.12.2016).

[60] Chapman S.J. (2003) Electric Machinery Fundamentals. 4th Edition, McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering, 773.

[61] Design of Induction Motor. (2010) Visvesvaraya Technological University, 43, Lecturer Notes.

[62] Bodson M., Giri F. (2013) Introduction to AC Motor Control. AC Electric Motors Control: Advanced Design Techniques and Applications, Wiley.

[63] Brisset S., Gillon F., Vivier S., and Brochet P. (2001) Optimization with experimental design: An approach using Taguchi's methodology and finite element simulations. IEEE Transaction on Magnetics, 37 (5), 3530–3533.

[64] Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y. (2004) Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley, 1th edition.

[65] TWIZY Katalog, <https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/TR/global-brochures/TWIZY.pdf> .

ÖZGEÇMİŞ

Uğur Demir, 10 Eylül 1988'de Bursa'da doğmuştur. Lise eğitimini Ali Osman Sönmez Endüstri Meslek Lisesinde, Elektronik programında 2005'de tamamlamıştır. Ardından aynı yıl, Marmara Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Öğr.'ni kazanarak 2009 yılında bu bölümden mezun olmuştur. 2009-2010 yılları arasında askerlik hizmetini yerine getirmiştir. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh. programında Yüksek Lisansa başlamış çeşitli iş fırsatlarından ötürü bu yıl bu programı bırakarak İstanbul'a geri dönmüştür. 2010 yılında Ünüvar Elektronik A.Ş. de ArGe Mühendisi olarak göreve başlarken aynı zamanda Marmara Üniversitesi Mekatronik ABD'de Yüksek Lisans'a kayıt olmuştur. 2013 yılında Marmara Üniverstesine Mekatronik ABD Yüksek Lisans programından mezun olmuştur. Marmara Üniverstesinde Mekatronik ABD de Doktora programı olmadığı için 2013 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Müh. programına kayıt olmuştur. Burada bir dönem doktora eğitimine devam ettikten sonra işyeri yoğunluğu ve çalışma konularının uyuşmamasından ötürü bu programı 2015 yılında bırakmıştır. 2015 yılının sonlarında Marmara Üniversitesi Mekatronik Müh. Doktora Programı açıldığında bu programa kayıt olmuştur ve halen bu programda tez çalışmasına devam etmektedir. 2015 yılında aynı zamanda Rollmech Automotive'de ArGe Ekip Lideri olarak çalışmaya başlayan Uğur Demir bu görevini de 2 yıl sürdürdükten sonra 2017 yılının Kasım ayında Çoşkunöz Holding Şirketinde ArGe Kısım Müdürü olarak göreve başlamıştır. Üniversite eğitimleri ve sektörel tecrübe olarak Uğur Demir, gömülü yazılım sistemleri, yapay zeka uygulamaları, güç ve otomotiv elektroniği, bilgisayarlı modelleme, mekatronik sistemlerin dinamiği, elektrik motorları tasarımı ve analizi ile ilgili projeler ve ArGe çalışmalarında bulunmuş ve bulunmaya devam etmektedir.

Adı Soyadı : Uğur DEMİR
Doğum Yeri /Tarihi : BURSA / 10.09.1988
E-Posta : ugur-demir@outlook.com
Öğrenim Durumu
Lise : Ali Osman Sönmez EML / Elektronik Programı (2005)
Lisans : Marmara Üniversitesi / Elektronik ve Haberleşme Eğt. (2009)
Yüksek Lisans : Marmara Üniversitesi / Mekatronik Programı (2013)
Doktora : Marmara Üniversitesi / Mekatronik Mühendisliği (Devam)

İş Tecrübeleri :

- 1-) Ünüvar Elektronik A.Ş. / ArGe Mühendisi (2010-2015)
- 2-) Rollmech Automotive A.Ş. / ArGe Ekip Lideri (2015-2017)
- 3-) Coşkunöz Holding A.Ş. / ArGe Kısım Müdürü (2017-Devam)

Bu Tez Çalışmasından Çıkan Bilimsel Eserler :

Uluslararası SCI-Exp İndekslerde Taranan Dergileri

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Using Taguchi Method Defining Critical Rotor Pole Data of LSPMSM Considering the Power Factor and Efficiency”
(2017) Tehnicki Vjesnik.

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Elektrikli Bir Araç için Tekerlek İçi Asenkron Motorun Tasarım ve Optimizasyonu”
(2018) Gazi Mühendislik Mimarlık Dergisi.

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Design and Analysis of Radiaxial Induction Motor”
(IN-REVIEW) Springer Electrical Engineering

Uluslararası Hakemli Dergiler

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Calculation of Performance Characteristic of In-Wheel Asynchronous Motor for Electric Vehicle”
(2017) Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi. for ISMSIT 2017 Special Issue

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Analysis of In-Wheel Asynchronous Motor with Conical Geometry for Electric Vehicle”
(2018) Journal of New Results in Science. for ISMSIT 2017 Special Issue

Uluslararası Konferans/Sempozyumlarda Yayınlanan Tam Metin Bildiriler

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Design and Investigation of In-Wheel Asynchronous Motor with Conical Geometry for Electric Vehicle”, (2017), ISMSIT2017

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “Investigation and Improvement of In-Wheel Asynchronous Motor for An Electrical Vehicle Considering Geometric Dimensioning”, (2017), IATS2017

***DEMİR, U. & AKÜNER, M. C. ,** “A New Approach for In-Wheel Asynchronous Motor of Electric Vehicle”, (2017), ISMSIT2017

Patentler

***DEMİR, U. , AKÜNER, M.C. ,** Radiaxial Flux Motor with Conical Stator and Rotor Assembly, (2016), WO2016TR50140 20160512 / “WO2017196269A1” (Uluslararası)