



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN
FİRASIZ DOĞRU AKIM MOTOR TASARIMI**

NURULLAH ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2020

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN
FİRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTOR TASARIMI

NURULLAH ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2020

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nurullah ASLAN



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:2020/1-4YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU TASARIMI(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

NURULLAH ASLAN

ÖZET

Bu tez çalışmasında, ulaşım aracı olarak hızla hayatımızda yer almaya başlayan elektrikli araçlar için yüksek verim, yüksek moment, sessiz çalışma ve kolay kontrol edilebilir olmalarından dolayı kullanılan fırçasız DA motor tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Tasarım işlemi “ANSYS Rmxprt and Magnet” programı kullanılarak mekanik parçaların üç boyutlu çizimleri, oluk ve kutup sayıları tespit edilerek diğer teknik özellikleri de belirlenmiştir. Motor gerekli testlere tabi tutularak sağlamlığı, verimi, kullanılabilirliği kontrol edilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Böylelikle elektrikli araçlar için yeni bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Fırçasız Doğru Akım Motoru, Yerli Üretim, Otomotiv Sektörü

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran / 2020

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Sayfa sayısı:54

**DESING A BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR(BDCM)
FOR ELECTRIC VEHICLES
(M.Sc. THESIS)**

NURULLAH ASLAN

ABSTRACT

In this thesis, the brushless motor used for the electric vehicles, which started to take place in our lives as a means of transportation, due to their high efficiency, high torque, silent operation and easy control, was designed and manufactured. By using the design process “ANSYS Rmxprt and Magnet” program, three-dimensional drawings of mechanical parts, groove and pole numbers were determined and other technical properties were determined. The engine has been subjected to necessary tests and its durability, efficiency and usability have been checked and made ready for use. Thus, a new brushless DC motor was designed for electric vehicles.

Key Words: Electric Vehicles, Brushless Direct Current Motor, Domestic Production, Automotive Industry

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Elecrical Electronics Engineer June/ 2020

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Page number:54

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, yardımcı olan ve tezimin son halini almasında yol gösterici olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ'ye şükranlarımı sunmak istiyorum. Ayrıca bu çalışmayı destekleyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine, Mühendislik Fakültesi Dekanlığına ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığına içten teşekkürlerimi sunarım.

Her şeyden öte, eğitimim süresince bana her konuda tam destek veren aileme ve bana hayatlarıyla örnek olan tüm hocalarımıza saygı ve sevgilerimizi sunarız.



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Elektriksel yükleme, A/mm
B	Manyetik akı yoğunluğu, T
Motorun çakışık konumda aldığı maksimum akı yoğunluğu değeri, T	
β_r	Rotor kutup yay açısı, rad
β_s	Stator kutup yay açısı, rad
D	Rotor dış çapı, mm
Do	Stator dış çapı, mm
Di	Stator iç çapı, mm
Te	Üretilen moment, Nm
AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
DAM	Doğru Akım Makinesi
EMK	Elektro Motor Kuvvet
FDAM	Fırçasız Doğru Akım Motoru
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu
SMSM	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor
Sabit Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motoru	
A.M.RMxprrt	AnsysMaxwell-RMxprrt
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Ayrton ve Perry'nin 1882 İlk Elektrikli Araçlardan Birisi.....	6
Şekil 2.2. Toyota Prius Modeli.....	7
Şekil 2.3. 2018-Q1 Elektrikli Araç Satışları-Dünya Geneli	8
Şekil 2.4. Hibrid Elektrikli Araçlar (HEA) Çalışma Prensibi	9
Şekil 2.5. Elektrikli Araç (EA)Çalışma Prensibi.....	10
Şekil 3.1. Dış Rotorlu FDAM Ana Bileşenleri.....	11
Şekil 3.2. Stator Yapısı.....	12
Şekil 3.3. Rotor Konumuna Göre FDAM Türleri	13
Şekil 3.4. İç Rotorlu FDAM Farklı Mıknatıs Yerleşimleri	13
Şekil 3.5. FDAM Elektriksel Eşdeğer Devresi.....	11
Şekil 4.1. İç Rotorlu FDAM'ın Bazı Analitik Parametreleri	17
Şekil 4.2. Dış Rotorlu FDAM'ın Bazı Analitik Parametreleri.....	18
Şekil 5.1. ANSYS Maxwell Giriş Arayüzü	15
Şekil 5.2. FDAM Rmxprt Modeli.....	16
Şekil 5.3. Rmxprt Benzetim Değerleri Arayüzü.....	16
Şekil 5.4. Rmxprt Benzetim Kontrol Menüsü.....	17
Şekil 5.5. Rmxprt Sonuçlar Menüsü.....	17
Şekil 6.1. Tasarım Akış Diyagramı	26
Şekil 6.2. FDAM a) Genel Görünümü, Rotor, Stator, Mıknatıs Yapısı Tasarım b)Stator Sargı Yapısı	30
Şekil 6.3. Motor Sarımının Şeması.....	31
Şekil 6.4. FDAM Manyetik Akı Yoğunluğu Dağılımı.....	31
Şekil 6.5. FDAM Manyetik Akı Dağılımı.....	32
Şekil 6.6. FDAM Akım Yoğunluğu	32
Şekil 6.7. Benzetim Sonucu Çıkış Momenti-Hız Grafiği	33
Şekil 6.8. Benzetim Sonucu Çıkış Gücü-Hız Grafiği	33
Şekil 6.9. Benzetim Sonucu Giriş Akımı-Hız Grafiği.....	34
Şekil 6.10. Benzetim Sonucu Verim-Hız Grafiği.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Bazı Miknatıs Grupları	14
Çizelge 6.1. Tekerlek İçi FDAM Benzetim Çalışması Tasarım Değerleri.....	27
Çizelge 6.2. Stator Malzemelerinin Ansys Maxwell Analiz Sonuçları	29
Çizelge 6.3. Tekerlek İçi FDAM Benzetim Çalışması Tasarım Değerleri.....	30



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	2
1.2.Kapsam	2
1.3. Literatür Taraması	2
1.4. Tezin Organizasyonu	4
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	6
2.1. Elektrikli Araç Tarihçesi.....	6
2.2. Elektrikli Araçların Çalışma Prensipleri	8
3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	11
3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Yapısı	11
3.1.1. Stator	11
3.1.2. Rotor	12
3.1.2.1. Dış rotorlu fırçasız doğru akım motoru	13
3.1.2.2. İç rotorlu fırçasız doğru akım motoru	13
3.1.2.3. Disk tipi fırçasız doğru akım motoru	14
3.1.3. Sabit mıknatıslar	14
3.2. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Matematiksel Modelinin Elde Edilmesi	14
4. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU BOYUTLANDIRMA ÇALIŞMALARI	17
4.1. Boyutlandırma Hesaplamaları	17
5.ANSYS MAXWELL RMXprt PROGRAMI VE TASARIM ARAYÜZÜ TANITIM	20

6.TEKERLEK İÇİ FDAM VERİM ANALİZİ	24
6.1. İki Boyutlu Benzetim Çalışmaları	29
7. SONUÇLAR	36
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	42



1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak insan yaşamını kolaylaştırmak için yüksek verimli ve doğa dostu araçların tasarlanması ve kullanılmaya başlaması ar-ge çalışmalarıyla desteklenmeye başlanmıştır. Ayrıca hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara alternatif çözümler arayan birçok sektörün en önemlilerinden birisi de otomotiv sektörüdür. Tüm bunlar göz önüne alındığında kullanımı artan elektrikli bisikletler, elektrikli arabalar da bunlara paralel olarak verilebilecek örneklerdendir.

Sanayide ve özellikle otomotiv sektöründe kontrol edilebilir hız değişkenlerine ihtiyaç duyulmasının yanında ucuz, sağlam ve bakım maliyetinin az olması da istenilmektedir. Tüm bu özellikleri sağlamak için motor seçimi önemli hale gelmektedir.

1900'lü yıllardan günümüze kadar geçen sürede güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler ve çalışmalarla fırçasız doğru akım makinaları (FDAM) diğer elektrik makinalarına oranla daha az anahtarlama elemanına ihtiyaç duyması, yüksek verime sahip olması, boyutsal avantajlarıyla yüksek tork gerektiren uygulamalarda kullanımı artmıştır [1]. Birçok akademik çalışmanın da desteklediği gibi FDAM diğer elektrik motorlarıyla karşılaştırıldığında birçok uygulamada kullanılabilmektedir.

Motor tasarımına ihtiyacımız olan ve değerine göre tasarıma başlayacağımız güç faktörünü belirleyerek başlanmıştır. Bu tasarım da güç bileşenimiz 1.5 kW yeterli görülmüştür. Tasarımın bundan sonraki aşamalarında belirli varsayımlar kabul edilerek motorun fiziksel boyutlarını belirlemek adına analitik hesaplar yapılarak boyutlandırma çalışması nihayete erdirilmiştir. Boyutlandırma işleminden sonra tasarımda kullanılacak malzemelerin çok çeşitli ve farklı olmasından dolayı daha önce yapılan çalışmalarından da yararlanarak belirlenmiştir. ANSYS Maxwell programından tüm yapılanlar birleştirilip program alt yapısında analiz edilerek en uygun tasarım elde edilmeye çalışılmıştır.

Tasarım aşamaları alt bölümlerde detaylarıyla beraber anlatılmıştır. Her bir bölümde ilgili tasarımla ilgili bilgilere ulaşmak mümkündür.

Tasarımı yapılan FDAM yeni nesil yüksek verime sahip elektrikli araçlarda kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım yapılırken elektrik makinaları üretilirken yapılan tasarım ve benzetim ilkeleri sırasıyla uygulanmıştır. Tasarımdan sonra yapılan testlerle klasik fırçasız motorlara göre çıkış momenti, verim vb. gibi özellikleri daha uygun olduğu ve amaçlanan modelin elektrikli otomobiller için yüksek verim ve momentin gerekli olduğundan bu uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür.

1.1. Amaç

Bu tezde; İlk olarak bir elektrik makinasının tasarım aşamalarıyla beraber ele alınarak elektrikli araçlar için kullanılabilecek yüksek verimli bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Bu tasarım çalışmasının amaçlarından biri de ilerde motor tasarımı yapmak isteyecek olan genç mühendis adayı ve meraklılarına rehber olacak bir kaynak sağlamaktır. Böylece literatür manasında sağlam bir kaynak oluşturulmuş olacaktır.

1.2. Kapsam

Tez, elektrikli araçlar için sıkça tercih edilen bir elektrik makine türü olan FDAM'ın tasarım hesaplamaları, malzeme seçimi ki hangi malzemenin motor tasarımını daha verimli hale getirdiği gibi ANSYS Maxwell programıyla programsal denemelerle uygun çalışma benzetimleriyle en uygun tasarımı sunmak üzere çalışmalardan oluşmaktadır.

1.3. Literatür Taraması

FDAM ilk olarak T.G. Wilson ve Trivkey'in "DC Machine With Solid State Commutation" isimli 1962 yılında yayınladıkları çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmada bir da motorunun komütatör işlemi için gerekli parametreler incelenmiş ve fırça ilişkisi konusunda birtakım sonuçlara varılmıştır [2]. 1980'den sonra güç elektroniği ve malzeme bilimindeki gelişmelerle beraber mıknatıs malzemelerindeki gelişmelerle elektrik motorları ve kontrolleri konusunda daha fazla incelenmeye başlanmıştır.

Bu gelişmelere bağlı olarak FDAM motorlarının kontrolü konusunda birçok çalışma inceleme ve uygulama yapılmıştır. Gazi Üniversitesinde 2013 yılında Cemil OCAK tarafından sunulan doktora tezinde yeni bir FDAM tasarlanmış ve üretilmiştir. Ayrıca manyetik alan sensörleri yardımıyla mosfetlerin sürülmesiyle motorun kontrol işlemi yani sürücü devresi yapılmıştır [3].

Bir başka çalışma da ise Demir ve Aydın (2012)sürekli mıknatıslı doğru akım motoru tasarımı, tasarım aşamaları ve kullanılan yazılımlarla motor tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Fırçasız DC ve fırçasız AC motorlar arasındaki performans farklılıkları açıklanmış, tasarım yöntemi üç farklı özel yazılım ile tanıtılmıştır. Bu tip motorların tasarımında manyetik analizler ile yapısal ve ısı analizlerin maliyet ve performans açısından önemine vurgu yapılmış ve seri üretim öncesi tasarımda nasıl bir yol izleneceği açıklanmıştır [4].

Ayrıca FDAM'ın savunma sanayinde de kullanılmaya başlanmasıyla bu sektörde de çalışmalar olmaktadır. Bunlardan bir tanesi Aselsan çalışanları (2014) tarafından askeri bir füze fırlatma sisteminde kullanılan 3 fazlı fırçasız bir DC motor, faz değişkenleri yöntemi

ile mosfet sürücü yapısı ise gerçek zamana uyumlu bir şekilde modellenmiş, iç içe hız ve akım kontrol döngüleri tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm prototip ise farklı tork değişkenleri altında, değişken hızlarla denenmiştir ve gerçek durumla karşılaştırılmıştır[5].

Carunaiselvane.C ve S.Jeevananthan (2012) tarafından yayınlanan makalede genel olarak bir FDAM'ın dizaynının genel prosedürleri hakkında bilgi vermişlerdir. Bu makalede ANSYS programının bir menüsü olan Maxwell kullanılarak tasarımın analizi yapılmıştır. Sonuç olarak 750 W gücünde 27 oluk, 8 kutuptan oluşan bir FDAM tasarımı genel işlemler açıklanarak tamamlanmıştır [6].

Durmuş Uygun ve Selim Solmaz (2015) tarafından kaleme alınan bir çalışmada elektrikli araçlar için tekerlek içi dış rotorlu bir FDAM tasarımı ve elektromanyetik ve sayısal analizleri yapılmıştır. Özellikle motorun sarım sayısı, oluk, kutup sayısı rotor ve stator yapı hesapları yapılarak sonlu elemanlar yöntemi ile performans testleri yapılarak 6 kW gücüne sahip dış rotorlu bir FDAM tasarımı gerçekleştirilmiştir [7].

Benzer şekilde Mr. Vipin Kumar Singh, Prof. Sanjay Marwaha, ve Mr. Ashish Kumar Singh (2017) yayınladıkları bir makalede 1,5 kW gücünde bir motor için benzer işlemleri yaparak tasarımını tamamlamışlardır [8].

Esra Kandemir ve arkadaşları (2004) yapılan çalışmada bir FDAM sistemi uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışmada, daha önceden tasarlanmış olan, mıknatıslı bir senkron motor, konum algılayıcılar ile senkronize çalışan bir evirici üzerinden beslenerek mıknatıslı motorun fırçasız doğru akım motoru olarak çalıştırılması sağlanmıştır [9].

Ali Sinan Çabuk ve arkadaşlarının (2018) yapmış olduğu bir çalışmada hafif elektrikli araçlar için tasarlanan tekerlek içi FDAM'ın verimsel olarak en iyi sonuçları verecek kutup-oluk sayısı ilişkisi incelenerek 2,5 kW gücünde bir motor tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonuçları neticesinde motorun imalatı yapılmıştır. Deneysel sonuçlarla prototip motor performansı karşılaştırılarak kutup-oluk sayısının iyileştirme sonuçları ortaya konulmuştur [10].

Chengyuan He ve Thomas Wu (2018) tarafından yapılan bir çalışmada elektrikli araçlar için tasarım öneri verilmiştir. ANSYS programı yardımıyla tasarım tamamlanarak çeşitli analizleriyle (termal, manyetik) sunulmuştur [11].

FDA motorlarında önemli sorunlardan bir tanesi de moment dalgalanmasıdır. Bu sorun verim önemli ölçüde etkilemektedir. Zarko D. ve arkadaşları (2016,2018) moment dalgalanmasına sebep olarak oluk yapısının ve manyetik kutupların etkisini ortaya koymuştur [12,13].

Nair S.S. ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan moment dalgalanmasına oluk tasarımının ve mıknatıs kalınlığının parametrelerinin etkilediğini sonucuna “Cedrat-Flux” programını kullanarak ulaşmışlardır [14].

Zhu Z. ve arkadaşları da (2000) kutup sayısındaki değişimin moment dalgalanmasına etkisini çalışmalarında göstermiştir [15].

Markovic M. Ve arkadaşları (2009) tarafından benzetim ve deneysel olarak iki aşamada yapılan çalışmada motor için kullanılan evirici hesaplamalarıyla ölçüm sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür [16].

Starschich E. ve Muetza A. (2007) farklı dişli gruplarının verime olan etkisini ortaya koymuştur [17].

FDA motorlarında moment dalgalanmalarının motorda titreşim ve gürültüye sebep olduğu bilinmektedir. Park S.J. ve arkadaşları (2000) sayısal işaret işleyici (DSP) kullanarak moment dalgalarının azaldığını gözlemlemişlerdir [18].

Bayındır R. ve arkadaşları (2011) farklı stator diş yapısının motorun çıkış momentine etkisini araştırmışlardır. Ayrıca farklı boyutlardaki kullanılan mıknatısların çıkış momentine etkisini ve verime olan etkilerini incelemişlerdir [19].

Aynı şekilde Norhisam M. ve arkadaşları da (2010) benzer bir inceleme yaparak en yüksek momenti elde etmelerine rağmen motorun veriminin aynı oranda artmadığı görülmüştür [20].

Motor tasarımı yapılırken verime etkiyen önemli bir etken de saç çeliğidir. Tsai W.C. (2011) çeşitli saç yapısını inceleyerek bunların çekirdek kaybı ve yük momenti değişimine neden olduklarını göstermiştir [21].

Tuncay R.N. ve arkadaşları (2011) hibrit ve elektrikli araçlar için tekerlek içi FDAM üzerine incelemeler yapmışlardır. Tasarım olarak dış rotorlu, NdFeB mıknatısına sahip yüksek verimli DGM kontrollü bir FDAM tercih edilmiştir. ANSYS-Maxwell 2D programıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizi yapılmıştır. Ayrıca motor için yol testi de uygulanarak sonuçları kaydedilmiştir. Sonuç olarak tasarlanan FDAM’ın hibrit ve elektrikli araçlar için uygun bir motor olacağı sonucuna varılmıştır [22].

1.4. Tezin Organizasyonu

Tez, yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; tez konusu ile ilgili genel giriş bilgileri verilerek konuyla ilgili literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tezin amaç ve kapsamına da yer verilmiştir. İkinci bölümde; elektrikli araçlar hakkında genel bir bilgilendirme yapılmış ayrıca çalışma prensiplerine değinilerek kapsayıcı bir bilgi verilmeye

alışılmıştır. Üçüncü bölümde; FDAM hakkında geçmişten günümüze kadar gelişmelerle beraber matematiksel modeli verilerek çalışma mantığı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde; FDAM'ın boyutlandırma işlemlerinin nasıl yapıldığı genişçe yer almıştır. Beřinci bölümde; Ansys Maxwell programının kullanımı üzerinde durulmuştur. Altıncı bölümde; üçüncü ve dördüncü bölüm verileri kullanılarak tasarımın benzetim çalışması ve sonuçlarının bölümünü oluşturmaktadır. Yedinci ve son bölümde, tasarımı gerçekleştirilen FDAM çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilmiş ve bu sonuçların başarısı tartışılmıştır.



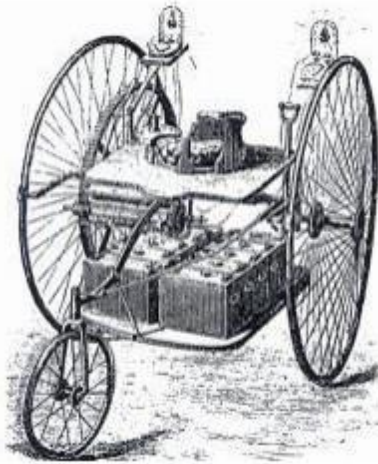
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Bu bölümde elektrikli araç tarihçesi, gelişmeleri ve elektrikli araçların çalışma prensiplerine yer verilecektir.

2.1. Elektrikli Araç Tarihçesi

Son yıllarda adından sıkça söz ettiren elektrikli araçların üretimi ve satışı hızlanarak devam etmektedir. Özellikle petrol ve türevi yakıtların çevreye ve havaya verdiği zararlar alternatif kaynaklara yönelmede etkili olmuştur. Bu nedenlerle elektrikli araçlar için otomobil firmaları ar-ge çalışmalarını geliştirerek bu sektöre yönelik orta ve uzun vadedeki planlarını sıralamaya başladılar. Böylece elektrikli araçlara olan ilgi artarak müşterek çalışmalar da hızla devam etmektedir.

İlk elektrikli aracı modeli Hollanda'da 1835 yılında Profesör Straitingh tarafından geliştirilmiştir [23]. Aynı zamanda (1834-1836) Amerika'da Thomas Davenport tarafından bir elektrikli aracın geliştirildiği raporlanmıştır. Bu araç üç tekerlek ve şarj edilemeyen bataryalardan meydana gelmekteydi. 1800 yılların ortasından sonra kurşun-asit bataryalar üretilmiştir.



Şekil 2.1. Ayrton ve Perry'nin 1882 İlk Elektrikli Araçlardan Birisi[24]

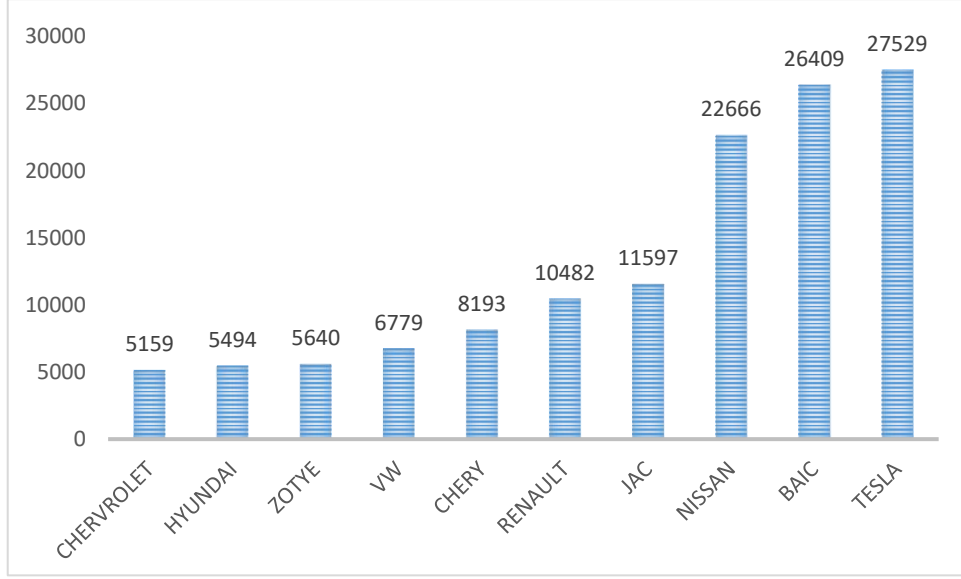
1890'lara gelindiğinde Avrupa ve ABD'de bazı şirketler elektrikli araçlar üretip satmaktaydı. Dahası 1900'lü yıllarda Amerika'da elektrikli araç sayısı benzinli araç sayısından fazlaydı. Daha sonra her iki yakıtın beraber kullanılması fikriyle bugünkü hibrit araç konusu denenmeye başlanmıştır. Ancak ilerleyen zamanlarda gerek benzin fiyatlarındaki düşüş gerekse marş motorunun Charles Kettering tarafından bulunması ve Amerika'daki yolların eskisinden daha iyi ve mesafelerin artması nedeniyle Henry Ford tarafından içten yanmalı motorların seri üretimine geçilmesiyle uzun mesafelere

yolculuk mümkün olmuştur. Fakat bu gelişmeler elektrikli araçlara olan ilgiyi azalmış ve içten yanmalı motorların ve araçların popaliretesini artırmıştır [25]. 1960 yılında içten yanmalı motorların hava kirliliğine sebep olduğu anlaşıldığında elektrikli araçlara olan tekrar başlamıştır. Avrupa’da araba üretiminde önde gelen ülkelerde özellikle İngiltere, Fransa Ve ABD’ de meydana gelen petrol kriziyle elektrikli araçların üretimi konusuna hız verildi. Daha sonra çevre dostu olan elektrikli araçlara devlet teşvikleri de verilmeye başlandı. 2000 yıllara gelindiğinde Toyota şekil 2.2’ deki Prius modeliyle ilk seri üretim hibrit aracı piyasaya sürüldü. Son yılların en çok satan hibrit aracı haline gelmiştir.



Şekil 2.2. Toyota Prius Modeli[26]

Bazı özel markaların özellikle elektrikli araçlar üzerine yoğunlaşması elektrikli araçların gündeme gelmesinde etkili olmuştur. Bunlardan biri olan Tesla Motors’un üreteceğini duyurmuş olduğu; tam şarjla 330 km yol alabilecek elektrikli aracı üretmesini duyurmasıdır. Tesla Motors’un yapmış olduğu bu atılım diğer şirketlere de örnek olarak gelişmeleri hızlandırdı. Böylece 2010 yılında Chevy Volt ve Nissan Leaf üretilerek piyasaya sunuldu. Aynı gelişmeler dünya çapındaki ekonomik rekabetle dünya geneline yayılarak Çin’de 200 bini geçen bir elektrikli araç satıldı. Türkiye’ye ise Çin’den ithal edilen elektrikli araçlar ise görücüye çıkarak ilgiyi üstüne çekmeyi başarmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak şekil 2.3’ te oluşan tablo ortaya çıkarak şirketler 2022 yılına kadar satış hedeflerini 1 milyon araca çıkarmış bulunmaktadır [27].



Şekil 2.3. 2018-Q1 Elektrikli Araç Satışları-Dünya Geneli [27]

Bu gelişmelere ülkemiz içinde destek olmak ve ülke gençlerini bu konuya dikkatini çekmek adına TÜBİTAK kurumu da üniversiteler arası elektrikli araç yarışmaları düzenleyerek katkı sağlamaktadır. Böylece gelecekte üretilecek yerli elektrikli araç çalışmalarında yer alabilecek genç mühendis adayları çekirdekten yetişmeye başlayacaktır.

2.2. Elektrikli Araçların Çalışma Prensipleri

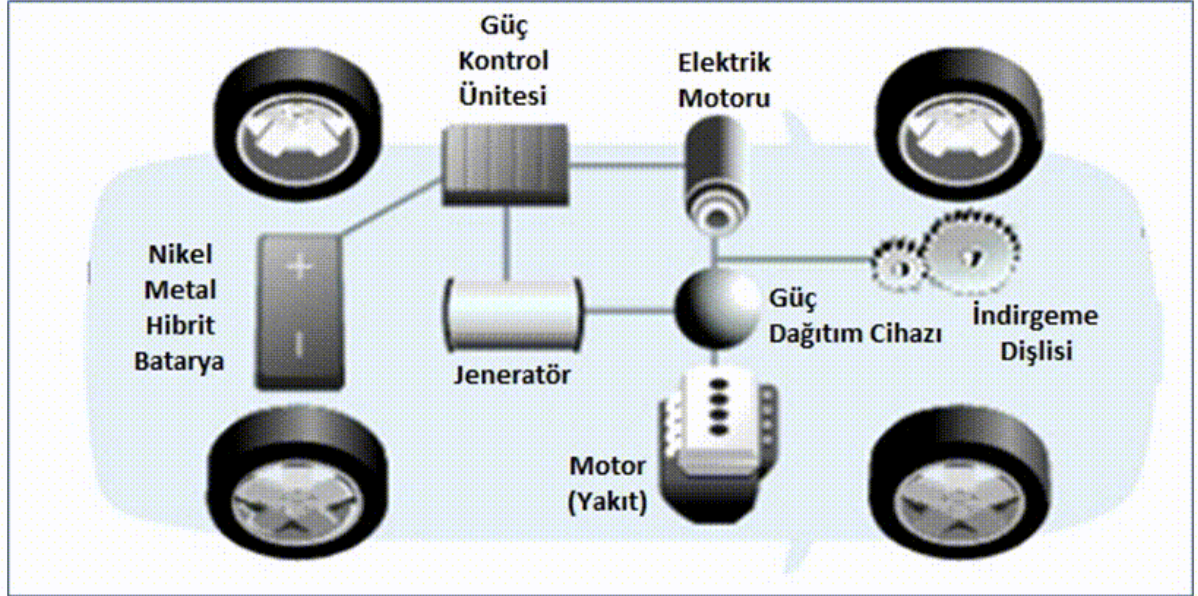
Elektrikli araç; elektrik motoru yardımıyla elektriksel enerjinin kinetik (hareket) enerjiye çevrildiği tekerlekli araçlardır. Bu araçlarda bataryadan (akü) alınan elektrik enerjisi elektrik motoru aracılığıyla mekanik olarak tahrik sistemleriyle tekerleklere aktırılarak harekete dönüşmesi olayının bütünleşik halidir. Bu bütünün parçaları ise; enerji depolama birimi (akü veya batarya), elektrik motoru (bu tez için FDAM), jeneratör, mekanik iletim parçaları ve güç elektroniği devrelerinden oluşan kontrol devreleri olarak sayılabilir.

Elektrikli araçlarda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motorlarla desteklenmektedir. Böylece piyasada iki türlü elektrikli araç türü görmek mümkün olmuştur.

Elektrikli araçlarda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motorlarla desteklenmektedir. Böylece piyasada iki türlü elektrikli araç türü görmek mümkün olmuştur.

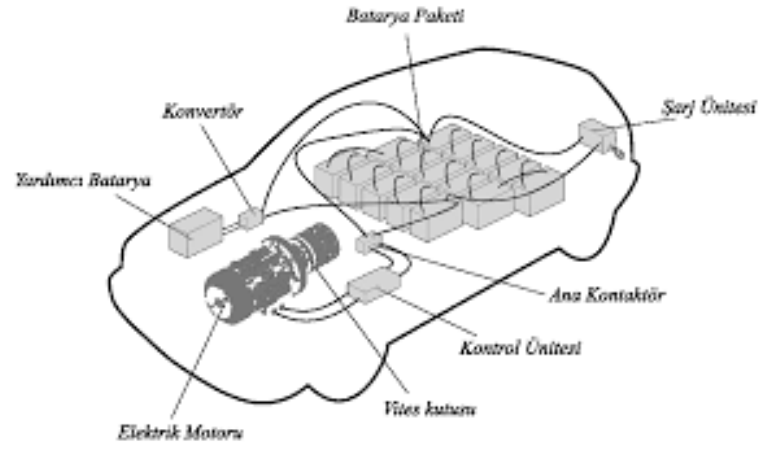
Hibrid Elektrikli Araçlar (HEA); bu araçlarda içten yanmalı motor, elektrik motoru, ayrıca dışardan yenilenebilir enerji kaynaklarını (güneş gibi) kullanabilen batarya şarj sistemine sahiptirler. Bu ana parçalar şekil 3.4'te gösterilmiştir. Aracın kullanımı esnasında enerji verimliliğini artırmak adına motorları ayrı ayrı kullanabildiği gibi ikisini senkron

olarak da kullanabilmektedir. Elektrik motoru tek başına kullanıldığında batarya 4-16 kWh kadar dayanım gösterebilmektedir. İçten yanmalı motor sayesinde de uzun menzillerde batarya sorununa bir çözüm üretebilmektedir [28].



Şekil 3.4. Hibrid Elektrikli Araçlar (HEA) Çalışma Prensibi[29]

Elektrikli Araçlar (EA);sadece elektrik motoru bulunan araçlardır. Batarya kapasitelerine göre yol almaktadır. Bu sistem şekil 3.5’ te gösterilmiştir. Yeniden yola devam edilebilmesi için bataryalarının şarj istasyonlarında şarj edilmesi gerekir. Üretilen elektrikli araçların menzilleri tam şarjla 450-500 km’ye ulaşmıştır. Fakat şarj ederken bekleme süresi ve batarya kapasitesi bu araçların tercih edilmesini etkileyen önemli faktörlerdir. Aynı zaman da bu olumsuzluklar ar-ge çalışmalarına bir kaynak oluşturarak sektörde iş imkanını da beraberinde getirmektedir. Ayrıca ar-ge çalışmalarında bu sorunların çözümüne yönelik atılacak hamleler de otomotiv piyasasında güçlü bir ses ve dolayısıyla ekonomik değer artışını sağlayarak rekabette çözümü sunanları ön sıralara taşıyacaktı.



Şekil 2.5. Elektrikli Araç (EA)Çalışma Prensibi[30]

3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

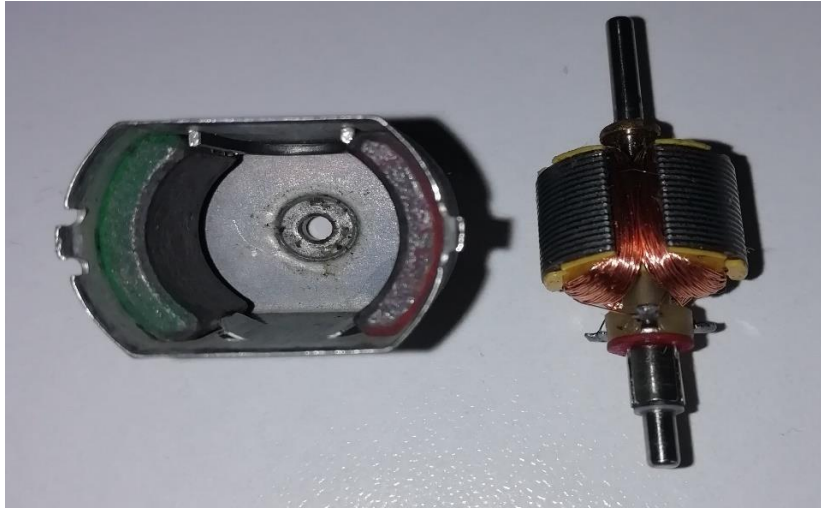
Bu bölümde tezin ana konusu olan fırçasız doğru akım motoru hakkında genel bilgiler verilerek elektrik motorunu tanıtılmaya çalışılacaktır. Böylece boyutlandırma dolayısıyla tasarım aşamasında tüm parçalar tanıtılmış olarak çalışmaya devam edilmiş olacaktır.

3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Yapısı

FDAM; manyetik alan teorisine dayalı rotora yerleştirilmiş sabit mıknatıslarla stator üzerine sarılmış sargılarda meydana gelen manyetik alan etkileşimiyle enerji dönüşümü(elektriksel enerji →mekanik enerjiye) sağlayan elektrik makinalarıdır.

FDAM’da moment üretiminde kullanılan fırça ve kollektör takımı yerine bu işi üstlenen güç elektroniği anahtarlama elemanları kullanılmaktadır. Bu nedenle fırçalı elektrik motorlarına göre FDAM fırça- kollektör takımından kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmıştır. Bu takımın bulunmaması ayrıca rotor kısmının küçülmesine, statorun sargıları üzerinde bulundurulması da ayrıca rotor ağırlığını azaltmıştır. Böylece FDAM endüstriyel ve elektrikli araç teknolojisi uygulamalarda sıkça kullanılmasına olanak sağlamaktadır [29,31].

FDAM klasik elektrik motorları Şekil 3.1’ deki gibi stator ve rotor adı verilen iki ana bileşenden meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. Dış Rotorlu FDAM Ana Bileşenleri

3.1.1. Stator

FDAM’da stator eksenel olarak kesilmiş saç levhaların preslenmesiyle meydana gelmiş iç stator tarafında yine eksenel olarak kesilmiş oluklara yerleştirilmesiyle Şekil 3.2’ deki statoru oluşturan parçalar görülmektedir. Genel olarak FDAM üç adet stator sargısından oluşur. Her üç sargı da diğer elektrik makinalarında olduğu bobinlerin bir araya gelmesiyle

oluşur. Her bir oluğa stator sargıları yerleştirilerek tasarım hesaplarına uygun olarak birbirine bağlanır.

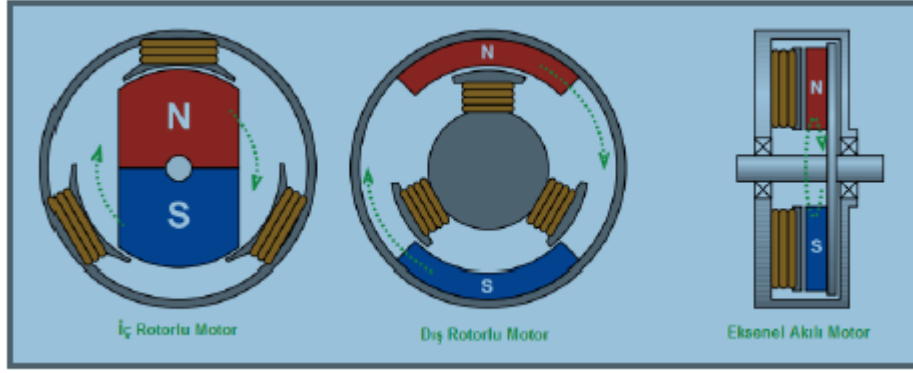


Şekil 3.2. Stator Yapısı

3.1.2. Rotor

Fırçasız doğru akım motorlarında rotor sabit mıknatıslardan oluşur. Rotorun moment üretebilmesi için gerekli manyetik akı yoğunluğu tasarımda seçilecek olan sabit mıknatıslar belirlemektedir. Rotor yapımında genellikle maliyeti ucuz olması nedeniyle ferrit mıknatıslar kullanılmaktadır. Fakat bu mıknatısların manyetik akı yoğunlukları nedeniyle avantajını kaybetmektedir. Gelişen malzeme bilimiyle ortaya çıkan alaşımlı mıknatısların manyetik akı yoğunlukları oldukça fazladır. Aynı boyuttaki ferrit mıknatısa göre alaşımlı mıknatıslar daha fazla manyetik akı dolayısıyla da daha büyük moment elde etmek mümkündür. Böylece daha küçük boyutlu motorlarla aynı momenti elde etmek mümkün hale gelmektedir. Rotorda bulunan bu mıknatıslar yapıştırılarak rotora sabitlenebildiği gibi rotora gömülü halde de bulunabilirler. Elektrikli araç uygulamalarında yüksek akı yoğunluğu ihtiyacına gerek duyulduğu için **NdFeB** ve **SmCo** mıknatıslar tercih edilmektedir [31]. FDAM şekil 3.3' te görüldüğü gibi rotor konumuna göre üç grupta incelemek mümkündür;

- Dış Rotorlu FDAM
- İç Rotorlu FDAM
- Disk Tipi FDAM



Şekil 3.3. Rotor Konumuna Göre FDAM Türleri[3]

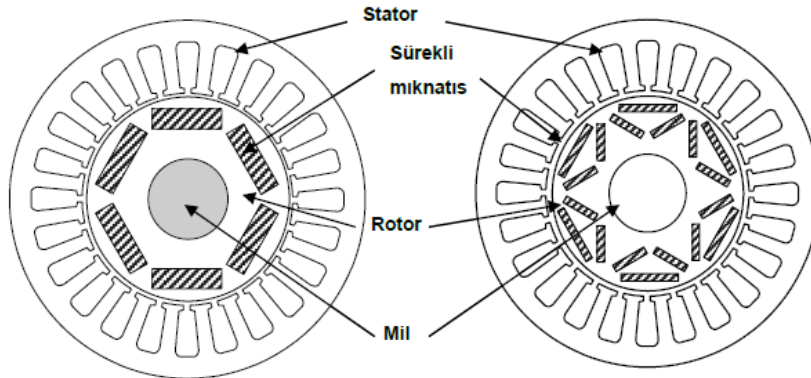
Bu rotor konumuna göre belirlenmiş FDAM dış rotorlu FDAM tasarım için kullanacağımız FDAM'dır. Yapılacak tüm hesaplamalar ve benzetim çalışmalarında bu motor türüne göre yapılacaktır. Bu nedenle bu türler hakkında kısaca bilgilere değinilecektir.

3.1.2.1. Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru

Dış rotor tipinde sargılar statorda bulunurken mıknatıslar statoru kapsayan rotorun iç yüzeyinde bulunmaktadır. Böylece dönen kısmın ağırlığı artmakta ve atalet momentinin artmasına neden olmaktadır. Bu da hız değişimini etkileyerek azaltmaktadır. Mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirilebilmesi nedeniyle düşük maliyetli mıknatıs kullanımına olanak sağladığı gibi ayrıca mıknatısların rotor yüzeyine yapıştırılarak monte edilebilmesi de üretim kolaylığı sağlamaktadır. Tasarım da dış rotorlu FDAM'dan yapılacaktır.

3.1.2.2. İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru

Piyasada en çok kullanılan FDAM'dır. Rotor statorun iç tarafında yer almaktadır. Mıknatıslar rotorun içinde Şekil 3.4' teki gibi farklı şekillerde yerleştirilebilmektedir.



Şekil 3.4. İç Rotorlu FDAM Farklı Mıknatıs Yerleşimleri[3]

3.1.2.3. Disk Tipi Fırçasız Doğru Akım Motoru

Mıknatıslar rotorun yüzeyine disk şeklinde yerleştirilmiştir. Stator sargılarıyla mıknatıslar birbirini karşı yerleştirilmiştir. Genel olarak düşük hızlı uygulamalarda tercih edilirler. Yüksek hızlara çıkıldığında rotor ve stator çeliklerinde ısı problemleri çıkabilmektedir.

3.1.3. Sabit Mıknatıslar

Fırçasız doğru akım motorunun önemli parçalarından biri olan mıknatıslar yıllar boyunca insanların ilgisini çekmiş ve birçok alanda kullanılmıştır. 1930 yılların başında AlNiCo mıknatısların bulunmasıyla bu ilgi başlamış ve alaşım mıknatıslar üzerinde devam eden günümüz çalışmalarına kadar devam edip gelmektedir.

Sabit mıknatıslar elektrik makinalarında manyetik uyarımın sağlanmasında kullanılır. Avantajları ise manyetik enerjiyi bünyesinde bulundurup bu enerjinin makinaların çalışmasında kullanıldığında tükenmemesidir. Normal çalışma şartlarında bu enerji sonsuz bir zaman diliminde sağlayabilmektedirler.

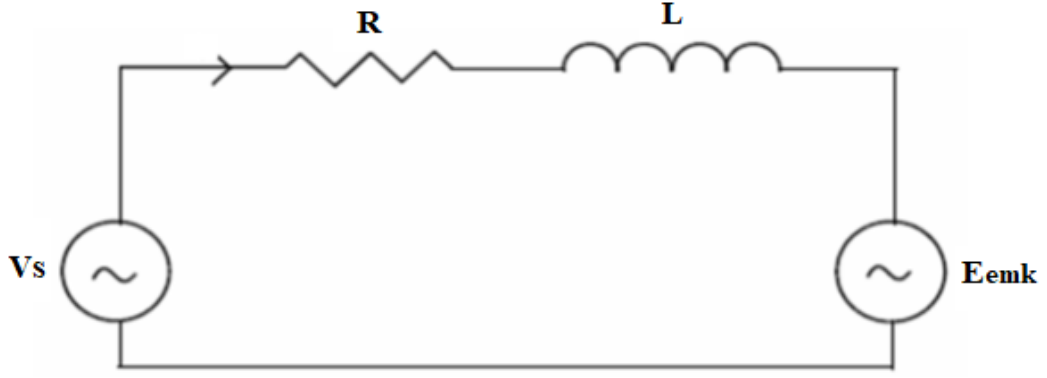
Çizelge 3.1’de bazı mıknatıs gruplarının manyetik özellikleri ve birim enerji başına düşen maliyetleri gösterilmiştir. Her bir grupta birçok mıknatıs bulunduğu için maksimum enerji çarpımı (BH) geniş aralığa sahip olmaktadır. Kalıcılık (Br) ve gidericilik (Hc) elektrik motorlarında sıkça kullanılan türler için ortalama değerler belirlenerek bunlara yer verilir.

Çizelge 3.1. Bazı Mıknatıs Grupları

Mıknatıs grubu	(BH)max(kJ/m ³)	Br(T)	Hc(kA/m)	Birim Enerji Başına fiyat (\$/J)
Nd-Fe-B	200-290	1,20	870	3,5
SmCo₅	130-190	0,97	750	8,5
Sm₂Co₁₇	180-240	1,05	660	7,7
AlNiCo	70-85	1,1	130	4
Seramikler(ferrit)	27-35	0,4	240	0,5

3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Matematiksel Modelinin Elde Edilmesi

FDAM’ın matematiksel modelinin elde edilmesi için öncelikle eşdeğer devresinin verilmesi gerekir. Şekil 3.5’ te verilen FDAM’ın elektriksel eşdeğer devresi kullanılarak devre analizi işlemleriyle matematiksel modellemeyi çıkarmak mümkün olmaktadır.



Şekil 3.5. FDAM Elektriksel Eşdeğer Devresi [1]

$$V_s = L \frac{di}{dt} + RI + E_{emk} \quad (3.1)$$

Burada E_{emk} zıt-emk gerimi, L faz endüktansı, R faz direncidir.

$$E_{emk} = k_E \omega_m \quad (3.2)$$

k_E , zıt emk sabiti;

olmak üzere ilk formülde yerine yazıldığında;

$$V_s = L \frac{di}{dt} + RI + k_E \omega_m \quad (3.3)$$

Manyetik alanın sabit olduğunu kabul eder ve manyetik akının akım cinsinden ifadesini yazdığımızda;

$$T = k_T I \quad (3.4)$$

Burada k_T : moment sabitidir.

Motorun temel momentini oluşturan atalet momenti J_m ve sürtünme momenti T_f ' dir. Sürtünme hızın doğrusal olmayan bir fonksiyonudur ve en azından hıza oransal bağlı kısmını göstermek üzere viskoz sabiti D_{wm} adı verilen bir terim şeklinde ifade edilir. Yük ise sabit tersinir moment T_L ve buna ek olarak bir sürtünme J_L ile ifade edilir. Tüm bu değerler hesaba katılarak motorun mekanik denklemi;

$$T=(j_m+J_L)\frac{dw}{dt}+Dw_m+T_f+T_L \quad (3.5)$$

Hız ve uygulanan gerilim cinsinden FDAM'ın transfer fonksiyonunu elde etmek için denklem (3.3) ve denklem (3.5)'in Laplace dönüşümleri alındığında denklemler;

$$V_s=(L_s+R)I + k_E w_m \quad (3.6)$$

$$T=\frac{(v-k_E w_m)k_T}{Ls+R} \quad (3.7)$$

Sürtünme T_f ve yük momenti T_L transfer fonksiyonunu etkilemeyecek olduğundan sıfır olarak alınırsa motorun mekanik denklemi;

$$T=(j_m+J_L)sw_m + Dw_m \quad (3.8)$$

Bu denklem ile denklem (3.6) ile birleştirdiğimizde;

$$V-k_E k_T w_m=(L_s+R)w_m[(j_m+J_L)s + D] \quad (3.9)$$

Denklemini elde edilir. Denklem düzenlendiğinde FDAM'ın transfer fonksiyonu;

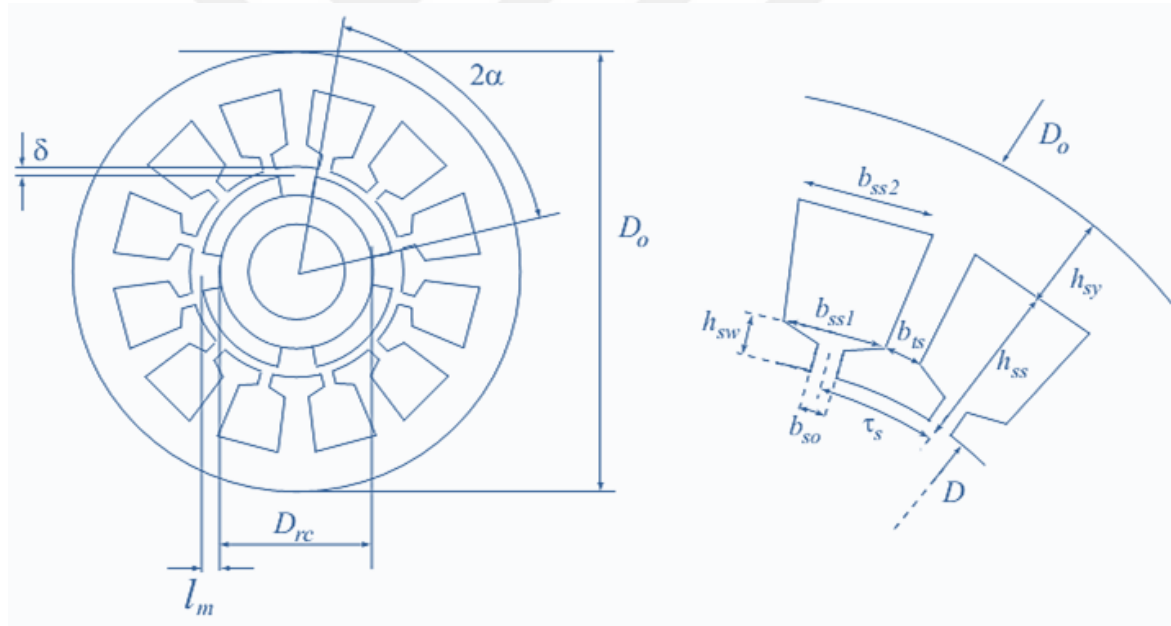
$$\frac{wm(s)}{V(s)} = \frac{1}{(Ls+R)wm[(j_m+J_L)s + D]+k_E k_T} \quad (3.10)$$

4. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU BOYUTLANDIRMA ÇALIŞMALARI

Fırçasız doğru akım motoru tasarımı dünyada birçok firma tarafından belirli güç ve hızlarda yapılmaktadır. Fakat bu tasarımlar yapılırken kullanılan birçok tasarım programı olsa da bunlar genel olarak tasarımın analiz kısmı için kullanılmaktadır. Bununla beraber özel bir tasarım söz konusu olduğundan uzmanlık ve belirli bir süre almaktadır. Özel tasarımlar özel boyutlandırma, analiz (bu tez için sonlu elemanlar analizi) yapılmaksızın tamamlanamayacağından zaman alan hassas bir iştir. Bu bölümde analitik analizlerle FDAM boyutlandırma ve taşıma çalışmaları yapılacaktır.

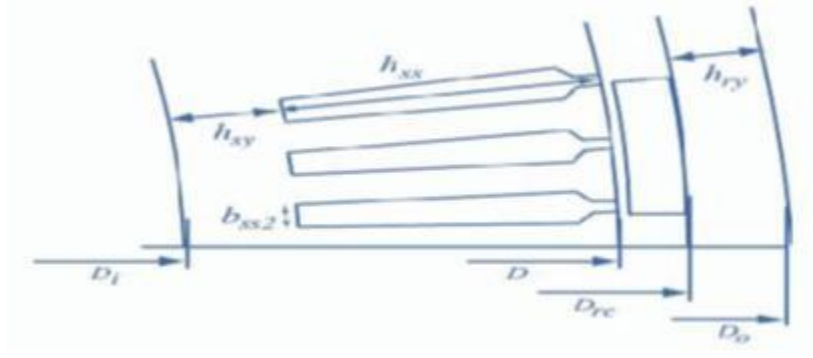
4.1. Boyutlandırma Hesaplamaları

Boyutlandırma hesaplamalarının düzenli bir şekilde ilerlemesi için tasarıma uygun analitik bir yöntem geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1. İç Rotorlu FDAM'ın Bazı Analitik Parametreleri[3]

Tasarıma söz konusu dış rotorlu FDAM olduğu için şekil 5.1' de verilen iç rotorlu bir FDAM'ın ortak parametreleri ve şekil 5.2'de verilen dış rotorlu FDAM'ın stator ve rotor parametreleri dikkatli incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.2. Dış Rotorlu FDAM Bazı Analitik Parametreleri[3]

Boyutlandırma yapılırken dikkat edilmesi gereken üç parametre vardır; rotor, stator çapı ve motor uzunluğudur. Bu parametreler çıkış eşitliklerinin ve performans denklemlerinin gerçekleştirilmesinde sıklıkla karşılaşılan büyüklerdir.

Dış rotorlu bir FDAM'ın stator dış yarıçapı aşağıda verilen denklemle hesaplanabilir;

$$D = D_{rc} - 2lm - 2\delta \quad (4.1)$$

Burada D statorun dış çapını, D_{rc} rotor iç çapını, lm mıknatısın kalınlığını ve δ ise hava aralığının uzunluğunu temsil etmektedir. Tasarım yapılırken oluk tasarımı sargı sarımındaki konfigürasyon ve yapısına bağlı olarak önemli bir hale gelmektedir. Şekil 4.1'de b_{ss1} yani stator oluğunun üst oluk genişliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$b_{ss1} = \pi \frac{D - 2h_{sw}}{Q_s} - b_{ts} \quad (4.2)$$

h_{sw} stator nüvesinin dış kalınlığı, b_{ts} nüvenin dış genişliğini ve Q_s stator oluk sayısını temsil etmektedir. b_{ss2} ise stator oluğunun alt oluk genişlik parametresi olup;

$$b_{ss1} = \pi \frac{D - 2h_{ss}}{Q_s} - b_{ts} \quad (4.3)$$

denklemleriyle hesaplanır. Burada h_{ss} oluk boyunu ifade etmektedir. h_{sy} etkin nüve kalınlığı ifade eder ve şöyle hesaplanır;

$$h_{sy} = \frac{1}{2}(D - D_i - 2h_{ss}) \quad (4.4)$$

Burada D_i statorun iç yarıçapını gösterirken bu durum dış rotorlu FDAM'a özgü bir parametredir.

Toplam oluk alanı A_{s1} ise;

$$A_{sy} = \frac{1}{2} (b_{ss1} + b_{ss2}) (h_{ss} - h_{sw}) \quad (4.5)$$

ifade edilir. Bu arada stator oluk açıklığının oluk genişliğine oranı da göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$k_{open} = b_{so} / b_{ss1} \quad (4.6)$$

b_{so} stator olukları arasındaki mesafeyi göstermektedir.

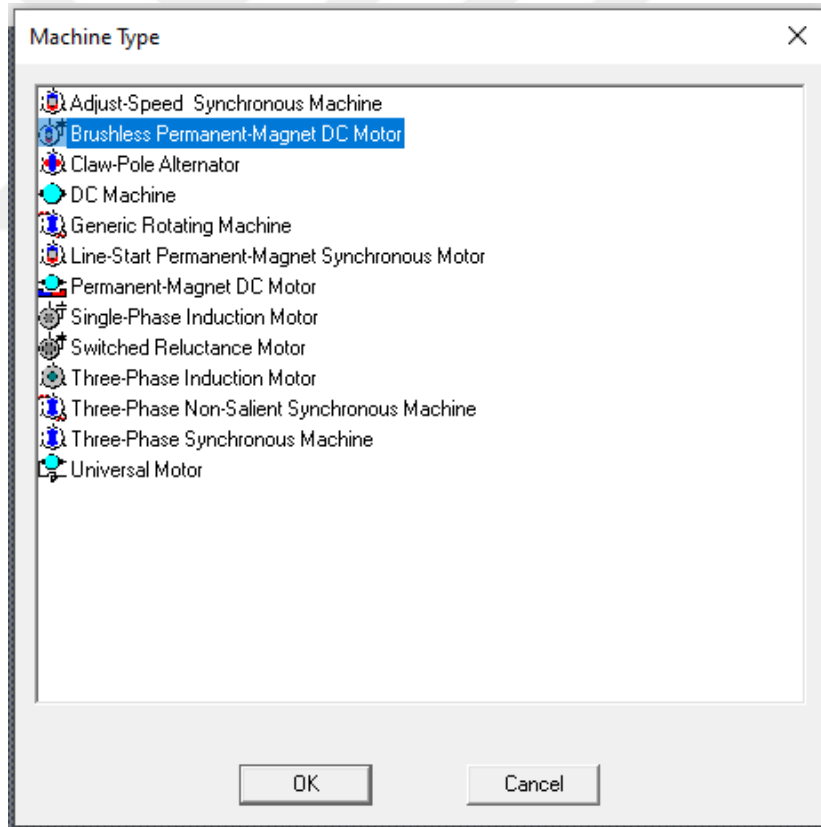


5. ANSYS MAXWELL RMXprt PROGRAMI VE TASARIM ARAYÜZÜ TANITIM

ANSYS programının Electronics versiyonu içinde bulunan Maxwell programının bir menüsü olan “RMxprt”; elektrik makinalarında sıkça kullanılan birçok motor modellerine uygun tasarım seçenekleriyle hizmet vermektedir. Bu motorlardan bazı; tez için tasarımını yaptığımız üç fazlı FDAM, üç ve tek fazlı relüktans, üç fazlı senkron motorlar bunlardan bazılarıdır.

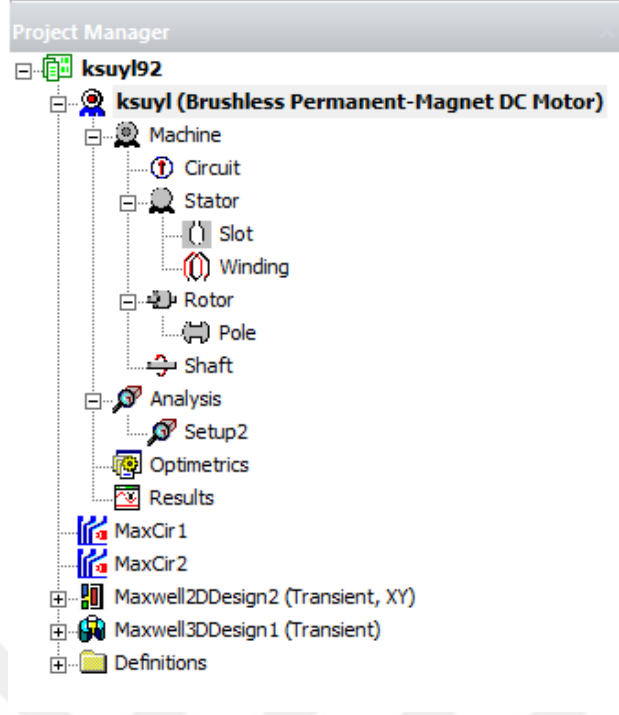
Program gerçekte motorda oluşan birçok senaryoyu benzetim yoluyla gerçekleştirerek motor tasarımını daha özgün ve özel hale getirerek size en uygun tasarım kriterlerini sağlayarak tasarımınızı nihayete erdirmeye yardımcı olmaktadır.

Programı açtığınız sizi şekil 5.1’deki ANSYS programın Electronics giriş arayüzünü görebilirsiniz. Tasarıma başlarken size uygun alt programı seçmeniz ve uygun motor seçeneğini seçmeniz yeterli oluyor.



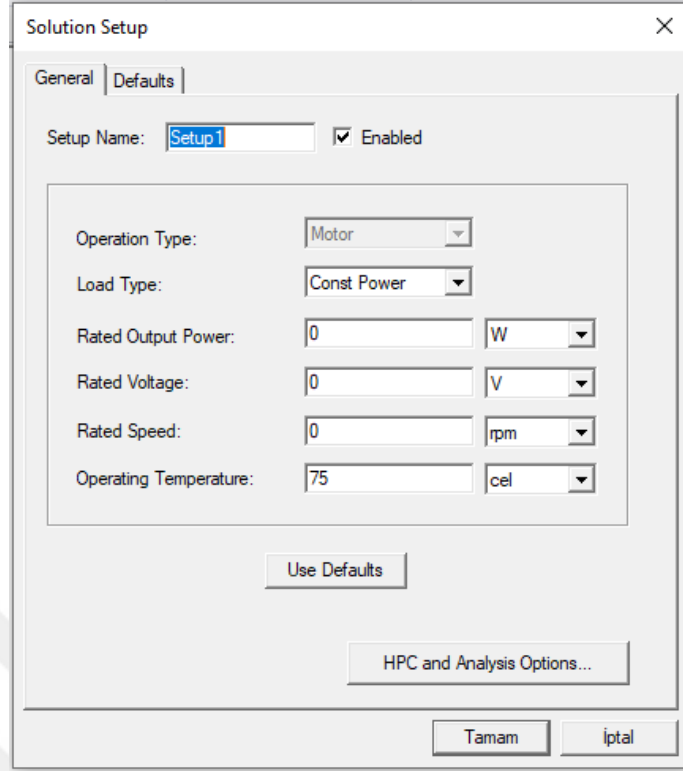
Şekil 5.1. ANSYS Maxwell Giriş Arayüzü

Bu seçiminizi yaptıktan sonra FDAM’ın ana bileşeni olan stator, rotor, sargılar, kutup-oluk sayıları verilerini girebileceğiniz bir arayüzle şekil 5.2’deki karşılaşılıyor. Buraya 4.bölümde yapmış olduğumuz analitik hesaplamalar ve tasarımda kullanılmak üzere belirlediğimiz malzeme türleriyle beraber işleyerek tasarıma devam ediyoruz.



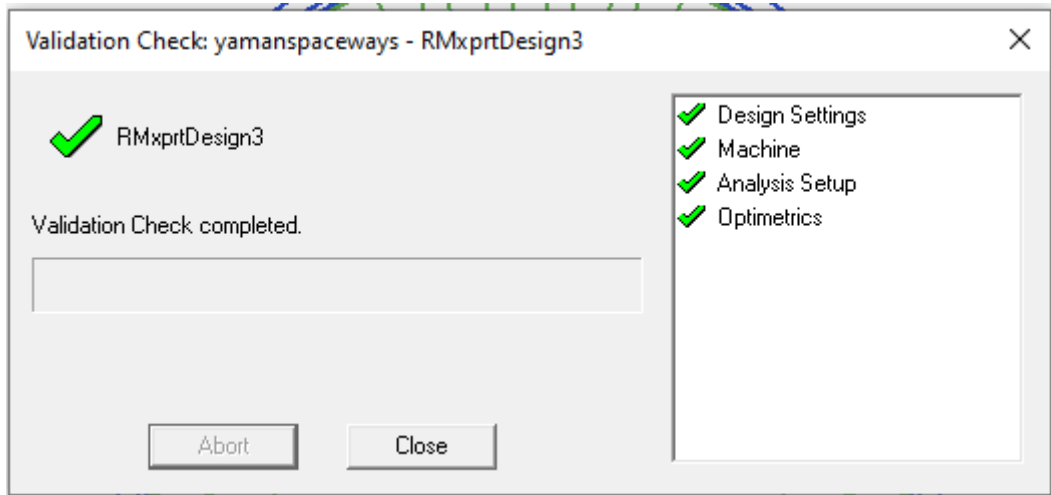
Şekil 5.2. FDAM Rmxprt Modeli

Tasarım için girilmesi gereken değerleri girme işleminiz bittiğinde simülasyon işleminizi gerçekleştirme işleminize başlamanız gerekmektedir. Bunu yaparken Rmxprt arayüzünde sırasıyla Rmxprt-Analysis Setup-Add Solution Setup işlemini yaptığınızda şekil 5.3'deki alt ara yüze ulaşıyorsunuz. Burada tasarımınız için düşündüğünüz hesabını yaptığınız motorunuz gücü, çalışma gerilimi, hızı gibi değerleri girmeniz isteniyor.



Şekil 5.3. Rmxprt Benzetim Değerleri Arayüzü

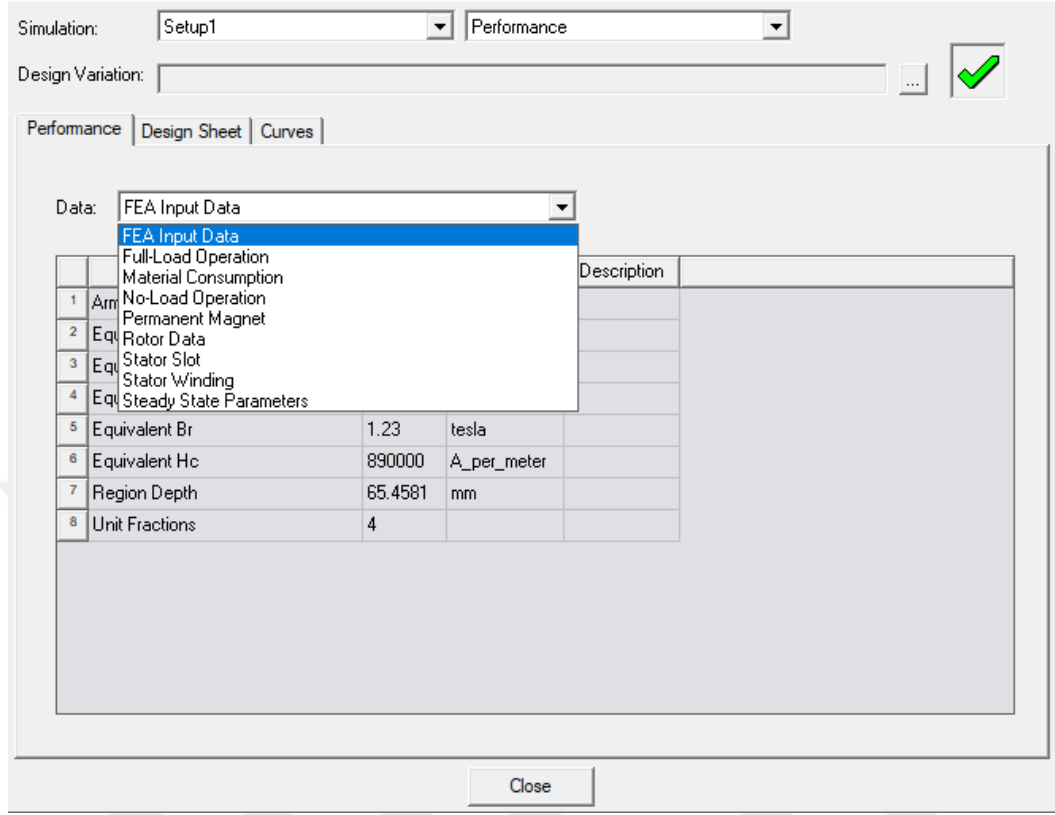
Bu değerler de girildikten sonra tasarım benzetim çalışmasına hazır hale gelip gelmediğini kontrol amaçlı oluşturulmuş olan Simulation menüsünü seçtiğinizde bir alt menü olarak Validate menüsüne tıkladığınızda şekil 5.4'deki sekme açılacaktır. Açılan sekmei incelediğinizde tasarımınızın benzetime hazır olup olmadığını rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 5.4. Rmxprt Benzetim Kontrol Menüsü

Tüm bu işlemleri tamamladığınız zaman benzetiminizin sonuçlarını görmek ve tasarımınızın uygulugunu gerek görsel grafiklerle gerekse manyetik analizlerinizi renkli

olarak görebileceğiniz sonuçlar kısmı şekil 5.5'deki gibi karşınıza çıkmaktadır. Bu sonuçlarla ilgili kısımların detayları 6.bölümde yer almaktadır.



Şekil 5.5. Rmxprt Sonuçlar Menüsü

6. TEKERLEK İÇİ FDAM VERİM ANALİZİ

Elektrik motorlarının tasarımında olduğu gibi FDAM'da da verime etkiyen birçok parametrenin etkisi olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Analitik hesapların doğrulanması için eniyileştirme sonuçlarına bu parametrelerin etkisini ve sonuçlarını yorumlamak gerekmektedir. Yapılan tez çalışmasında benzetim çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi (SEM) tabanlı Ansoft Maxwell RMXprt programı kullanılmıştır. Tekerlek içi FDAM'ın verim analizi için yeni nesil yenilenebilir enerji araçları konulu yarışmalarda özellikle hafif elektrikli araçlarda kullanılan tekerlek yapısı baz alınmıştır. Baz alınan araç şoför dahil 300 kg olarak tasarlanacak olursa buna etki eden sürtünme kuvveti;

$$F_s = m_{\text{araç}} k_s \quad (6.1)$$

Burada F_s sürtünme kuvvetini, $m_{\text{araç}}$ aracın şoför dahil toplam ağırlığını, k_s sürtünme katsayısını temsil etmektedir. k_s binek araçlarda 0,15-0,27 arasında tercih edilir. Bu tasarım için değer 0,30 olarak alınacaktır. Böylece araç için sürtünme ağırlığı;

$$F_s = 300 * 0,30 = 90 \text{ kg}$$

olarak bulunur.

Buna bağlı olarak kuvvet ifademiz;

$$F = ma \quad (6.2)$$

$$F = 90 * 10 = 900 \text{ Nm}$$

olarak hesaplanır.

Aracımızın tekerlek çapı 320 mm olarak alındığında tork hesabımız;

$$T = Fl \quad (6.3)$$

$$T = 900 * 0,16 = 144 \text{ Nm olarak bulunur.}$$

Tork ifadesinden de yola çıkarak güç ifadesi için araç hızımız önem kazanmaktadır. Aracımız 60 km/s ortalama hızla ilerleyeceği düşünüldüğünde 1000 m/dk hızında olacaktır. Aracımızın tekerlek çevresi;

$$C_t = 2\pi r \quad (6.4)$$

ifadesinden

$$C_t = 2\pi \cdot 0,16 = 1 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Hız ifademizi devir/dakika'ya çevirmek içinse hızımızı tekerlek çevresine bölmemiz yeterli olacaktır. Buna göre hızımız devir/dakika(d/dk)cinsinden;

$$w = 1000 / 1 = 1000 \text{ d/dk hesaplanır.}$$

Motor gücümüz P_m ise

$$P_m = T \cdot w / 10000 \quad (6.5)$$

İfadesi kullanılarak

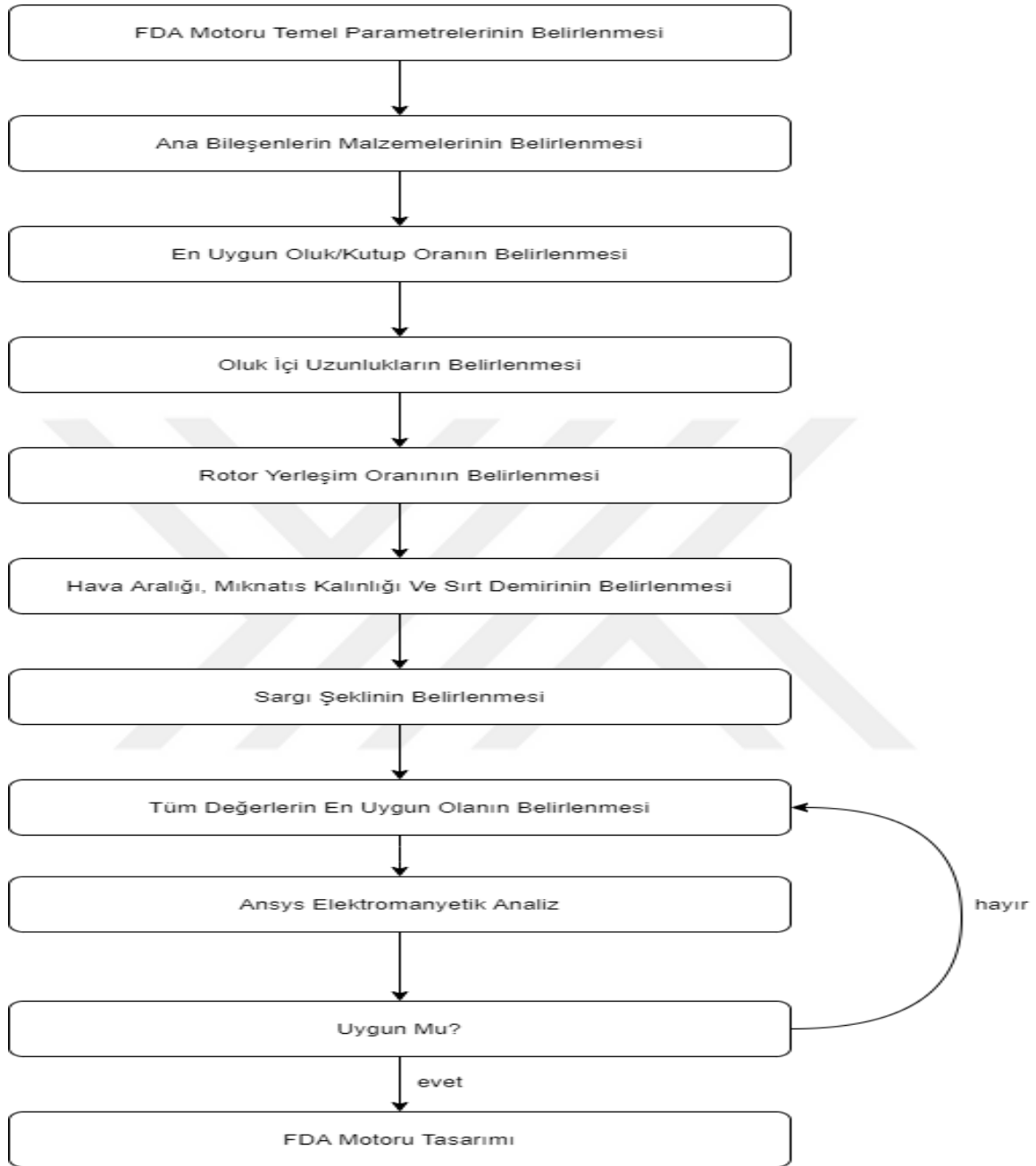
$$P_m = (14.4 \cdot 1000) / 10000$$

$$P_m = 1,44 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Hesaplamalar göz önüne alındığında tasarım için 1500 watt FDAM yeterli olacağından tasarım bu değere göre şekil almış, motorun boyut hesaplamaları bu değerler kullanılarak belirlenmiştir.

En iyi sonuçları elde etmek adına ve en uygun tasarımı tamamlayabilmek için şekil 6.1’ deki akış diyagramı kullanılarak tasarım nihayete ulaştırılacaktır.



Şekil 6.1. Tasarım Akış Diyagramı

Buna uygun olarak yapılan benzetim çalışmasında kullanılacak büyüklükler Çizelge 6.1’ de ve motorun hesaplanan büyüklükleri aşağıdaki formüller ve sonuçlarıyla verilmiştir.

Çizelge 6.1. Tekerlek İçi FDAM Benzetim Çalışması Tasarım Değerleri

Motor Parametreleri	Değer
Güç (W)	1500
Çalışma Gerilimi (V)	90
Aracın Maksimum Hızı (km/s)	60
Minimum Araç Ağırlığı (kg)	200
Tekerlek Çapı [mm]	320
Stator Dış Çapı [mm]	259,3
Rotor Dış Çapı [mm]	290
Rotor Uzunluğu [mm]	40
Rotor Türü	Dış Rotorlu

Verilen çizelge 6.1'e göre bazı büyüklüklerin hesaplamaları aşağıdaki formüllerle şu şekilde yapılmıştır;

$$v = \omega \cdot r \quad (6.6)$$

$$0.16\omega = 60 \times 1000 / 3600 \rightarrow \omega \cong 104 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi n / 60 \quad (6.7)$$

$$104 = 2 \times 3,14 \times n / 60 \rightarrow n \cong 995 \text{ d/dk}$$

Hesaplanan bu değer tasarımı yapılacak motor için **1000 d/dk** olarak düşünülmüştür. Bu duruma göre motor akımı;

$P_N = 1500$ olduğuna göre verim yaklaşık olarak 0,95 olarak tasarımı yapılacağından

$$P_E = 1500 / 0,95 = 1578 \text{ W}$$

$$P = UI \rightarrow 1578 = 90 \times I \rightarrow I = 17,54 \text{ A}$$

Elektrik makinaları tasarımı yapılırken soğutma sistemlerine göre de tasarım hesapları değişmektedir. Buna göre tasarımı yapılan FDA motoru hava soğutmalı olarak düşünüldüğünden iletkenin akım yoğunluğu 4-6 A/m² arasında olması beklenmektedir. Tasarımda bu değer ortalama bir değer olması açısından 5 A/m² olarak kullanılmıştır. Bununla beraber stator sargısında kullanılacak iletken kesiti;

$$\emptyset = I/J \quad (6.8)$$

$$\emptyset = 17.53/5 = 3,5 \text{ mm}^2 \rightarrow \emptyset = \pi d^2/4 \rightarrow d \cong 2 \text{ mm}^2$$

Olarak belirlenmiş ve hesaplamaları değerleri kullanarak motorun momentini;

$$T = P / \omega \quad (6.9)$$

$$T = 1500 / 104 = \mathbf{14,4 \text{ Nm}}$$

olarak bulunur.

Elektrik motorlarının tasarımını etkileyen önemli etkenlerden biri ana bileşenlerin (rotor, stator, mıknatıs vb.) malzemeleridir. Bu malzemelerin inceleme işleminin biraz kolaylaştırmak adına literatürden faydalanmanın yararlı olacağı düşünülmüştür. Yapılan literatür araştırmalarıyla ilgili sonuçlar kullanılarak tasarımın malzeme adına kararları verilmiş bunlar Ansoft Maxwell RMxprt programında simüle edilerek en uygun malzeme seçimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca malzemelerin seçimleri yapılırken hacim ve ağırlıkları, maliyetler, elektriksel kayıpları, mıknatıslar içinde manyetik bozunumlarının göz önünde bulundurulduğu görülmüştür.

Tasarımın bir başka kaidesi de çıkış gücünü sabit tutabilmektir. Bunun yanında oluşturulan sistemin çalışma sıcaklığı olarak 70 °C olarak, sargı tipi ise tam kalıp olarak alınmıştır. İletken akım yoğunluğu daha önce de bahsedildiği gibi 4-6 A/mm² de kalmasına dikkat edilmiştir.

Elektrik motoru tasarımı kapsamında TÜBİTAK tarafından verilen bir bilgilendirme toplantısında kullanılan şu bağlantıyla[31];

$$\lambda = L/\tau p \quad (\tau p = \pi D/P) \quad (6.10)$$

kutup sayısı yaklaşık değeri 22 civarında bulunmuştur. Buna bağlı olarak yine aynı bilgilendirme toplantısında verilen başka bir formülde;

$$P = N_s \pm 2 \quad (6.11)$$

Bu bağlantılar neticesinde kutup/oluk sayısı 20/24 olarak alınmıştır.

Literatür araştırmaları sonucunda rotor için gerekli olan çelik malzemeye en uygun malzemenin steel 1010'un olduğu anlaşılmış ve Ansoft Maxwell RMxprt programında simüle edilerek rotor malzemesi olarak tasarımda kullanılmaya karar verilmiştir. Benzer araştırmalar diğer ana malzeme türleri içinde yapılmıştır [34]. Bu araştırmalar sonucunda,

- 1) Stator malzemesi olarak M15_29G, M19_26G, M19_29G, M27_26G ve M27_29G, M270-50A çelik malzemesidir. Bu malzemelerin Ansys Maxwell program analizleri sonucunda çizelge 6.2 elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. Stator Malzemelerinin Ansys Maxwell Analiz Sonuçları

Malzeme Adı	Verim	Akım Yoğunluğu(A/mm ²)
M15_29G	88	2,235
M19_26G	87	2,235
M19_29G	86	2,235
M27_29G	87,37	2,235
M270_50A	92,25	2,235

- 2) Mıknatıs tipi olarak NdFeB_N32Z_140C, NdFeB_N38H_80C, NdFeB_N45H_110C, NdFeB_N50_110C, SmCo_R26HE_100C ve SmCo_R30_100C

Bu malzemeler için Ansys Maxwell program analizleri sonucunda çizelge 6.3 elde edilmiştir.

- 3) Rotor malzemesi olarak Steel 1010

daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun neticesinde tasarımda hacim ve ağırlıkları, maliyetler, elektriksel kayıpları, mıknatıslar içinde manyetik bozunumları göz önünde bulundurularak rotor malzemesi olarak Steel 1010, stator malzemesi olarak M270-50A çelik ve mıknatıs olarak da çizelge 3.1' den de yararlanılarak NdFeB tercih edilmiştir.

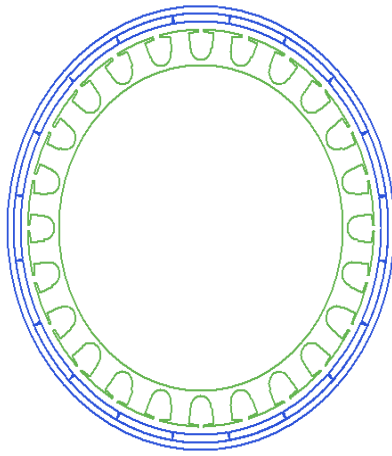
6.1. İki Boyutlu Benzetim Çalışmaları

Bir önceki bölümdeki analitik sonuçlar ve malzeme türleri kullanılarak sonlu elemanlar analizi tabanlı Ansoft Maxwell RMxprt programıyla motor tasarım analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.2' deki bilgiler kullanılarak şekil 7.2'deki ideal motor tasarımı elde edilmiştir. Şekil 6.3' de sarım şeması gösterilmiştir. Ayrıca aynı programla kullanılarak

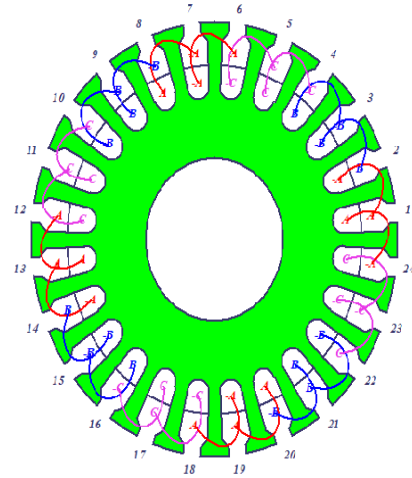
manyetik alan, manyetik akı dağılımları ve akım yoğunluğu sırasıyla şekil 6.4, şekil 6.5 ve Şekil 6.6 gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. FDAM Benzetim Çalışması Tasarımı

Motor Parametreleri	Değer
Güç (W)	1500
Çalışma Gerilimi (V)	90
Aracın Maksimum Hızı (km/s)	60
Minimum Araç Ağırlığı (kg)	200
Tekerlek Çapı [mm]	320
Stator Dış Çapı [mm]	259,3
Rotor Dış Çapı [mm]	290
Rotor Uzunluğu [mm]	40
Rotor Türü	Dış Rotorlu
Rotor Malzemesi	Steel_1010
Stator Malzemesi	M270-50A
Mıknatıs Tipi	NdFeB
Mıknatıs Kalınlığı(mm)	5
Stator Oluk Sayısı	24
Kutup Sayısı	20

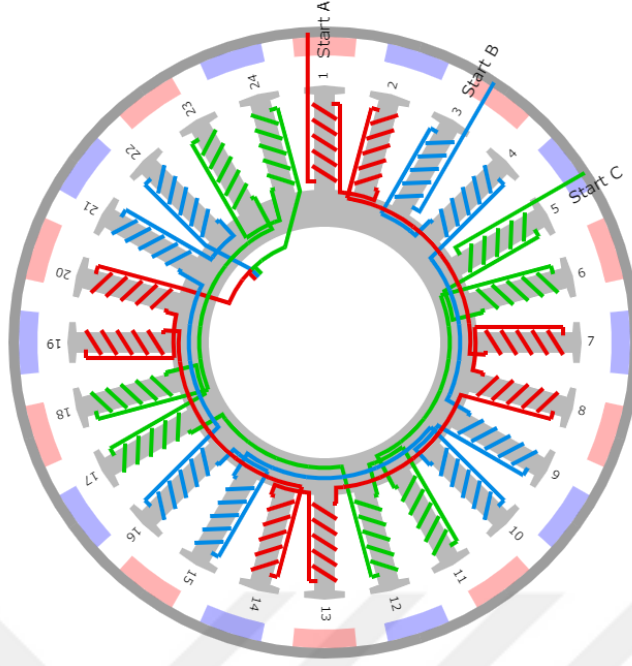


(a)

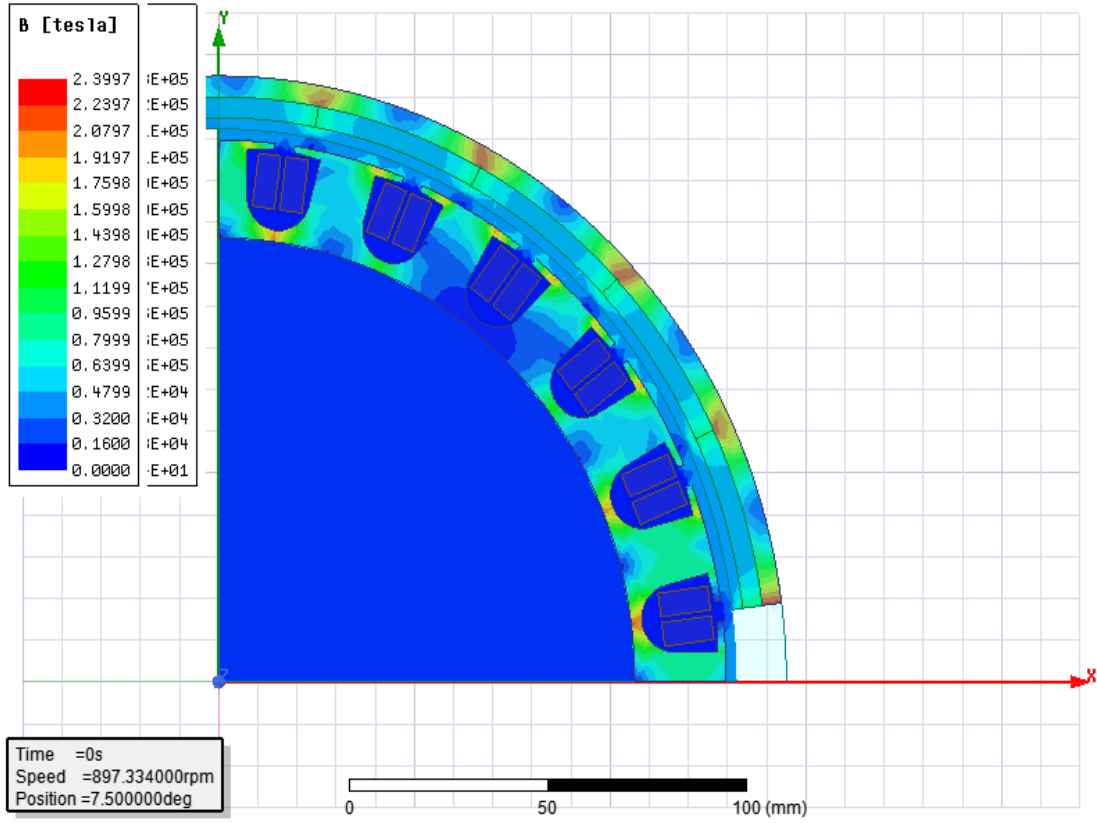


(b)

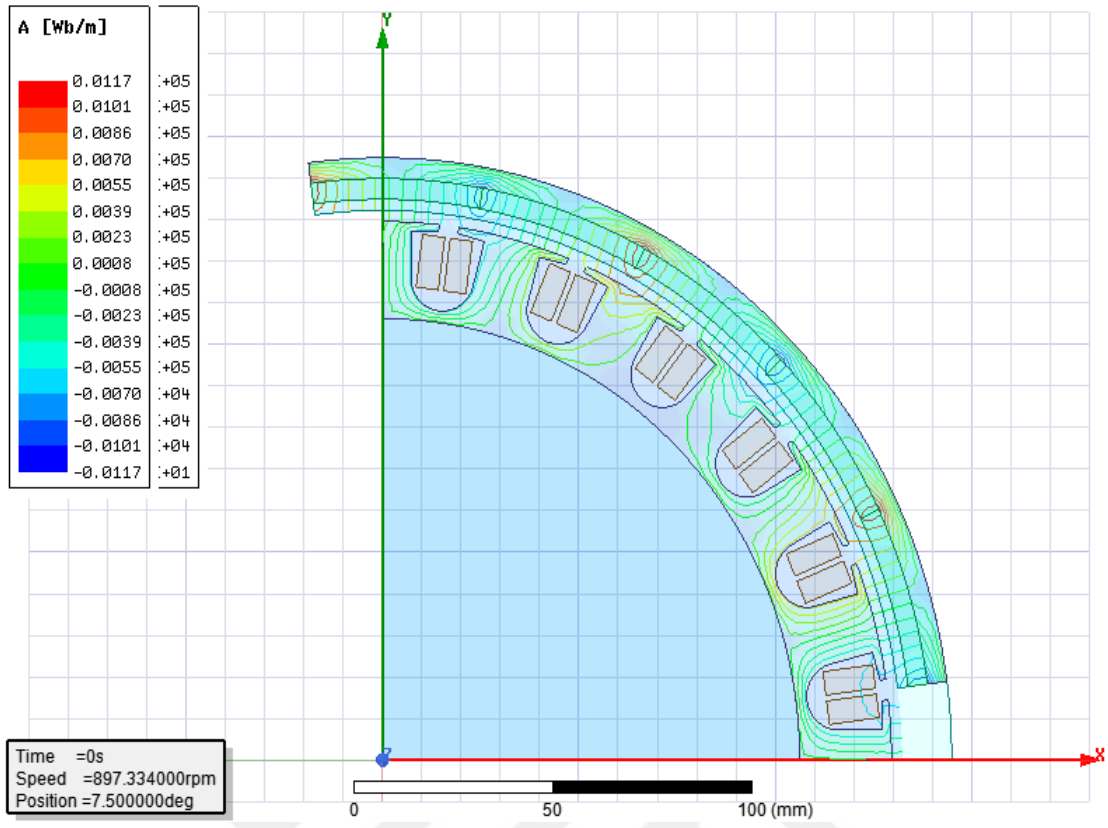
Şekil 6.2. FDAM a) Genel Görünümü, Rotor, Stator, Mıknatıs Yapısı Tasarım b)Stator Sargı Yapısı



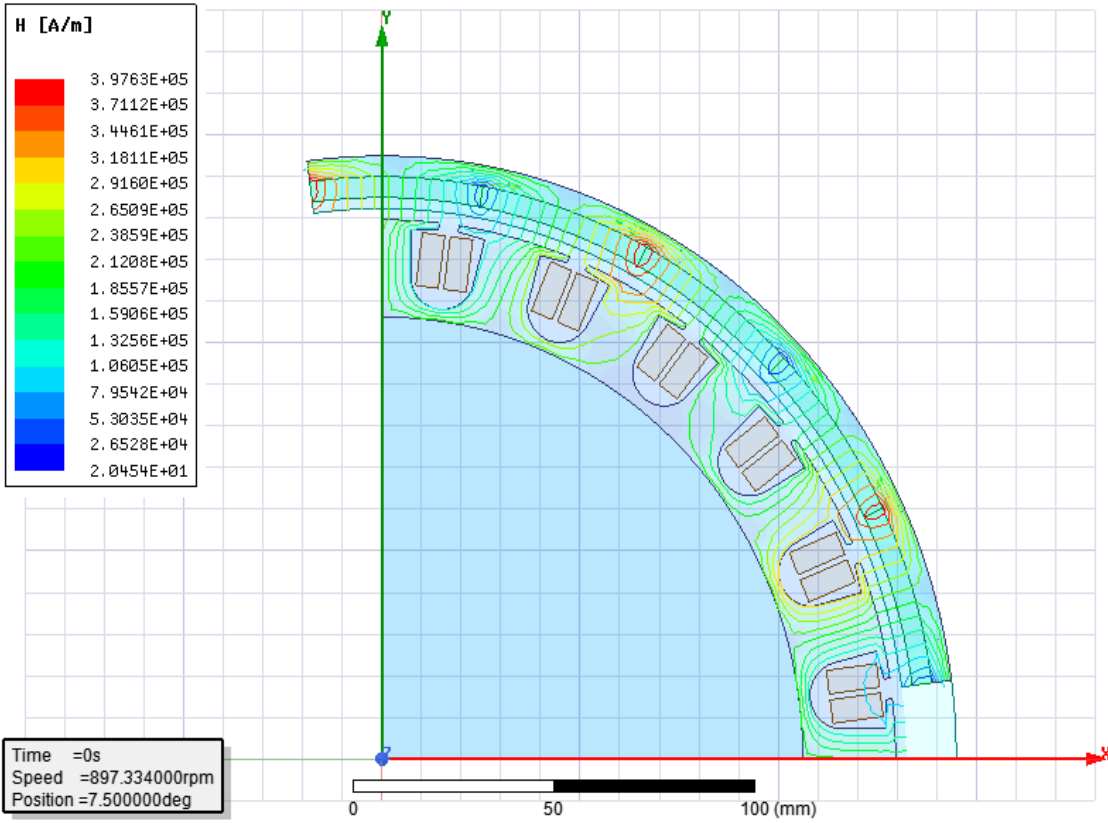
Şekil 6.3. Motor Sarımının Şeması



Şekil 6.4. FDAM Manyetik Akı Yoğunluğu Dağılımı

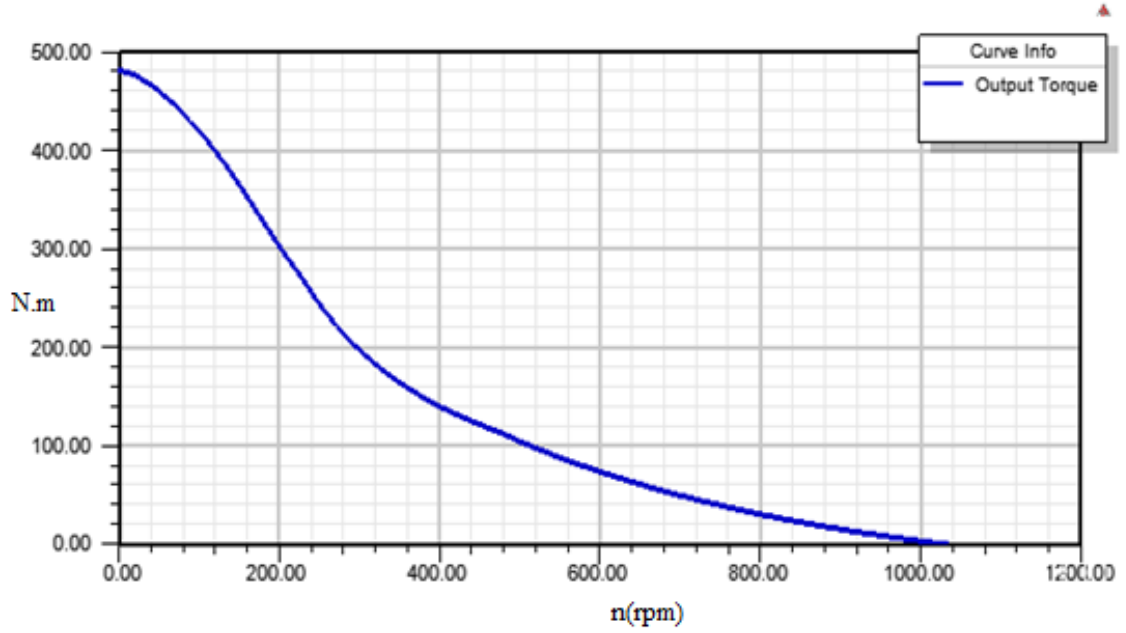


Şekil 6.5. FDAM Manyetik Akı Dağılımı

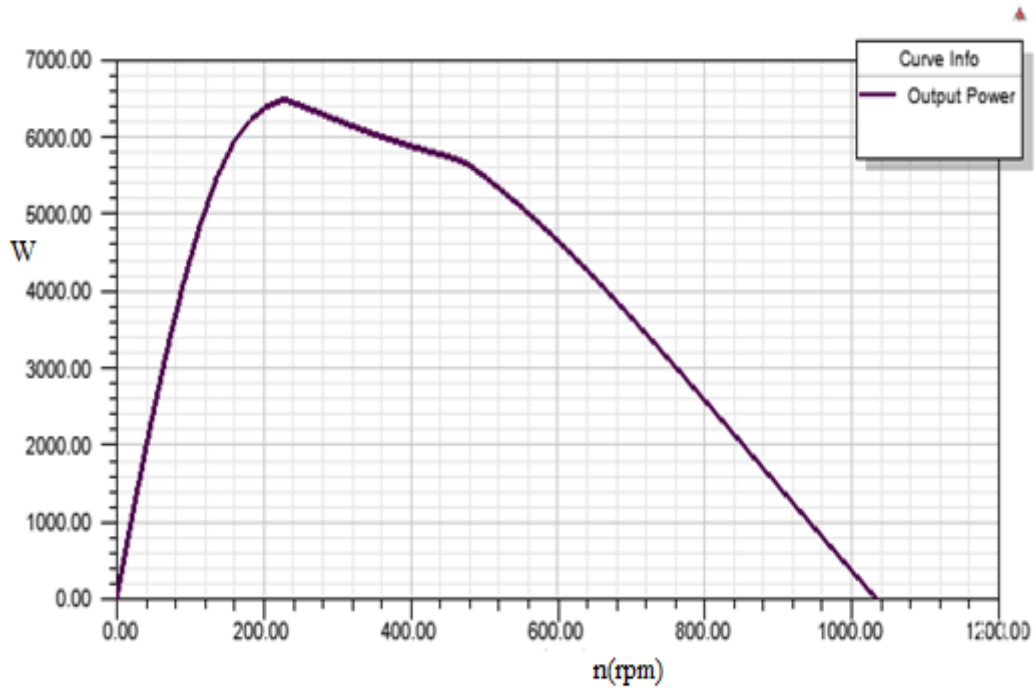


Şekil 6.6. FDAM Akım Yoğunluğu

Ansoft Maxwell RMxprt programı ile yapılan manyetik alan analiz sonucunda manyetik akı dağılımının eşik değerleri geçmeyen bir yapıya içinde olduğu görülmüştür. Manyetik akı çizgilerinin motorun tüm parçaları üzerinden düzgün bir dağılım içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

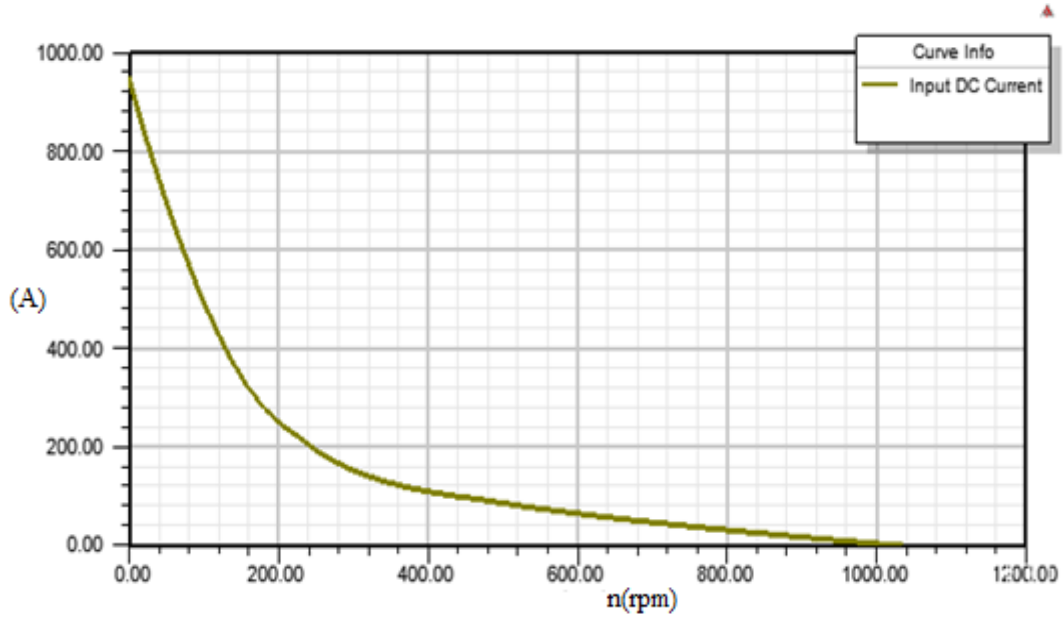


Şekil 6.7. Benzetim Sonucu Çıkış Momenti-Hız Grafiği

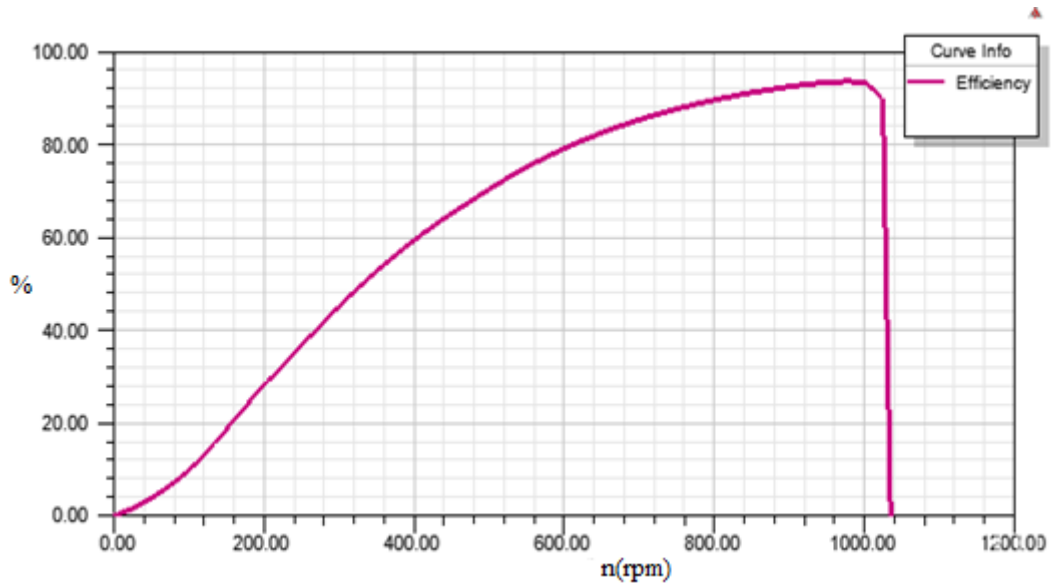


Şekil 6.8. Benzetim Sonucu Çıkış Gücü-Hız Grafiği

FDAM çıkış momenti ile devir sayısı grafiğini veren Şekil 6.7’ de istenen moment-hız eğrisine oldukça yaklaşıldığı sonucuna varılmaktadır. Mil gücünün 1,5 kW ve 1000 devir/dakika hızına sahip olması düşünülen bu tasarımın benzetim çalışması sonucundaki çıkış gücü-hız grafiğine göre bu tasarım değerlerini karşılayabildiği saptanmıştır.



Şekil 6.9. Benzetim Sonucu Giriş Akımı-Hız Grafiği



Şekil 6.10. Benzetim Sonucu Verim-Hız Grafiği

Simülasyon sonucunda elde edilen şekil 6.9’ da gösterilen giriş akımı-hız grafiğinden de anlaşıldığı üzere kalkış akımının olumsuz etkileri motor çalışmaya başladığı ilk anda görülse de FDAM’ın devir kazandıkça bu olumsuz değerlerin istenen seviyelere düşüş

yaptığı görülmektedir. Şekil 6.10’ da gösterilen verim-hız grafiği incelendiğinde planlanan yüksek verime istenen hız seviyelerinde ulaştığı görülmektedir.



7. SONUÇLAR

Bu tez çalışması; elektrikli araçların giderek hayatımızda yer almaya başlaması ve bu araçları oluşturan önemli parçaların yerli ve millileşmesi konusunu ve dahi üretilmesi konularının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca otomotiv sektöründe rekabeti kazanabilmemiz açısından üretim parçalarının yerli üretim olması da elzemdir. Bu amaçlarla kullanım alanları giderek genişleyen, elektrikli araçların en önemli parçalarından biri olan FDAM tasarımının yapılmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda öncelikle daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiş, gerekli notlar alınarak çalışmaya başlanmıştır. Ayrıca bu çalışmalar yapılırken yazarların ne gibi sıkıntılar yaşadığı da göz önüne alınarak tasarıma genel şekli verilmiştir. Tasarım yapılırken Ansoft Maxwell RMXprt programı dünya genelinde kullanılan bir tasarım programı olduğu için tercih edilmiştir. Bu program sayesinde benzetimi yapılan FDAM'ın manyetik analizleri gözlemlenmiş ayrıca parametre değerleri de benzetim sonuçlarıyla beraber değerlendirilmiştir. Tasarımın nihayete erdirilmesi doğrultusunda yapılan işlemler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

İlk olarak; motorun geometrik boyutlarının belirlenmesi için analitik hesaplamalar yapılmıştır,

FDM'in ana parametreleri belirlenmiştir,

Stator, rotor ve mıknatıs için kullanılacak malzemeler belirlenmiştir,

Analitik hesaplamalarla ortaya çıkan yaklaşık oluk/kutup oranı oluşturulmuştur,

Verimi etkileyen önemli etmen olan sargı yapısı belirlenmiştir,

Hesaplar ve belirlenen parametreler neticesinde tasarımın ön değerlendirmesi yapılmıştır,

Ön değerlendirme sonucu Sonlu Elemanlar Yöntemi yardımıyla modellenerek Ansoft Maxwell RMXprt programıyla benzetimi yapılarak manyetik alan analizi ortaya çıkarılmıştır.

Benzetim çalışmaları sonucunda tasarım için düşünülen verim değerine ulaşılmıştır. Bu verime ulaşmak için seçilen malzemelerinde verime etkileri benzetim sonuçları sonucuna göre değerlendirilerek seçimleri yapılmıştır ve uygunluğu benzetimle test edilmiştir. Sonuç

olarak; motor tasarımının iyi bir birikiminin sonucu olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca birçok bilim dalının da içinde bulunduğu bir süreçtir. Bununla beraber daha önceki literatür çalışmalarını incelemenin de yapılacak çalışmalara sunduğu katkılar gözlemlenmiştir. Ayrıca daha önce kullanılmayan bir program olan Ansoft Maxwell RMXprt programı da genel hatlarıyla öğrenilmiştir. Genel olarak motor tasarımının evreleri tek tek ele alınarak bundan sonra yapılacak tasarım çalışmalarına katkı sunması beklenmektedir. Böylece tasarım nihayete erdirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Yedamale, P. (March 15 2009), *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamental*. Chandler, AZ: Microchip Technology, Inc.
- [2] Wilson, T. G. and Trickey, P. H. (1962), *DC Machine With Solid-State Commutation*, Duke University Electrical Engineering, 81 (11): 879 – 884
- [3] Ocak. C., (2013). *Elektrikli Araçlar İçin Üç Kademeli Yeni Bir Fırçasız DA Motoru Tasarımı, Analizi ve Uygulaması*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 184s
- [4] Demir, Y., Aydın, M., (2012). Fırçasız DC ve AC Sürekli Mıknatıslı Motor Tasarımı Ve Kullanılan Yazılımlar. Türkiye: *ELECO '2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 29 Kasım-01 Aralık, 2012, Bursa, s.23-29
- [5] Kürkçü, B. vd., (2013). GÜDÜMLÜ Bir Sistem için Fırçasız DC Motorun Modellenmesi, Simülasyonu ve Uygulanması. Türkiye: *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK2013*. DOI: 10.13140/RG.2.1.5092.4881. 26-28 Eylül 2013, Malatya, s. 699-704
- [6] Carunaiselvane, C., and Jeevananthan. S., (2012). Generalized Procedure for BLDC Motor Design and Substantiation in MagNet 7.1.1 Software. *2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies [ICCEET]*. DOI: 10.1109/ICCEET.2012.6203783. 21-22 March 2012, Nagercoil, Tamil Nadu, India. s.18-25
- [7] Uygun. D., and Solmaz. S., (2015). Design and Dynamic Study of a 6 kW External Rotor Permanent Magnet Brushless DC Motor for Electric Drive trains. *5th IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG'15)*. DOI: 10.1109/PowerEng.2015.7266300. Istanbul/TURKEY. s.87-92
- [8] Singh. V.K., Marwaha, S., and Singh. M.K., (2017). Design and Analysis of Permanent Magnet Brushless DC Motor for Solar Vehicle using Ansys Software. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. IJERTV6IS040795 Vol. 6 Issue 04, April-2017. s.1215-1220. DOI: 10.17577/IJERTV6IS040795
- [9] Kandemir. E., vd. (2004). Fırçasız Doğru Akım Motor Sisteminin Deneysel Olarak Gerçekleştirilmesi ve Simülasyonu. *Eleco`2004 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2004)*. DOI: 10.25092/baunfbed.468544

- [10] Çabuk, A.S., ve arkadaşları (2018). Hafif Elektrikli Araçlar İçin Kullanılan Tekerlek İçeri Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Farklı Oluk ve Kutup Sayısı Kombinasyonlarının Verim Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34:4 (2019) 1975-1985
- [11] He, C., Wu T (2018)., Permanent Magnet Brushless DC Motor and Mechanical Structure Design for the Electric Impact Wrench System. *MDPI Open Access Journals/Energies* 2018, 11, 1360. Doi:10.3390/en11061360
- [12] Zarko, D., Ban, D., Lipo, T.A. (2006). Analytical Calculation of Magnetic Field Distribution in the Slotted Air Gap of a Surface Permanent-Magnet Motor Using Complex Relative Air-Gap Permeance. *IEEE Transactions on Magnetics*, 42(7), 1828-1837.
- [13] Zarko, D., Ban, D., Lipo, T.A. (2008). Analytical Solution for Cogging Torque in Surface Permanent-Magnet Motors Using Conformal Mapping. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(1), 52-64.
- [14] Nair, S.S., Nalakath, S., Dhinagar, S.J. (2011). Design and Analysis of Axial Flux Permanent Magnet BLDC Motor for Automotive Applications. *IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC '11)*, 15-18 May 2011, Ontario, Canada.
- [15] Zhu, Z. Q., Howe, D. (2000). Influence of Design Parameters on Cogging Torque in Permanent Magnet Machines. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 15(4), 407-412.
- [16] Markovic, M., Hodder, A., Perriard, Y. (2009). An Analytical Determination of The Torque-Speed and Efficiency-Speed Characteristics of a BLDC Motor. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2009)*, 20-24 Sept. 2009, California, USA.
- [17] Starschich, E., Muetze, A. (2007). Comparison of the Performances of Different Geared Brushless-DC Motor Drives for Electric Bicycles. *International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC '07)*, 3-5 May 2007, Antalya, Turkey.
- [18] Park, S.J., Park, H.W., Lee, M.H., Harashima, F. (2000). A New Approach For Minimum-Torque-Ripple Maximum-Efficiency Control of Bldc Motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47(1), 109-114.
- [19] Bayındır, R., Topaloglu, I., Ocak, C. (2011). Investigation of the Effect of Magnet Thickness on Motor Losses of PM BLDC Machines Using Parametric Approach Method. *III International Conference On Power Engineering, Energy And Electrical Drives (POWERENG '11)*, 11-13 May 2011, Malaga, Spain.

- [20] Norhisam, M., Nazifah, A., Aris, I., Wakiwaka, H., Nirei, M. (2010). Effect of Magnet Size on Torque Characteristic of Three Phase Permanent Magnet Brushless DC Motor. *IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED'10)*, 13-14 Dec. 2010, Putrajaya, Malaysia.
- [21] Tsai, W.C. (2011). Effects of Core Materials and Operating Parameters on Core Losses in a Brushless Dc Motor. *International Journal of Engineering and Industries*, 2(1), 51-61.
- [22] Tuncay, R.N., Üstün, O., Yılmaz, M., Gökce, C., Karakaya, U. (2011). Design And Implementation Of An Electric Drive System For In-Wheel Motor Electric Vehicle Applications. *7th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC'11)*, 6-9 Sept. 2011, Chicago, USA.
- [23] Şenlik. İ., (2015)., Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar. *Elektrik Mühendisliği* 2015 Ekim. Sayı-455. s. 64-67
- [24] <http://www.electricvehiclesnews.com/Historyimages/AyrtonPerryElectricTrike1882.jpg> Erişim Tarihi: 02.11.2019
- [25] Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1): 1-13 (2014) ISSN Online: 1309-2243
- [26] İnternet Sitesi “<https://www.rac.co.uk/drive/car-reviews/toyota/prius/prius-2000-2003/>” Son Erişim Tarihi : 15.06.2020
- [27] Hertzke, P., Müller, N., & Schenk, S. (2017). Retrieved from www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/dynamics-in-the-global-electric-vehicle-market
- [28] Polat. Ö., ve arkadaşları., (2015). Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Türkiye’deki Güncel Durumu. *VI. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu.*, 4-6 Haziran 2015. İzmit.
- [29] İnternet Sitesi “<https://www.toyotatr.com/?m=p&pid=143>” Son Erişim Tarihi: 15.06.2020
- [30] Yılmaz, M., (2005). *Fırçasız Doğru Akım Motorunun Algılayıcısız Kontrolünde Dalgacık Tekniğinin Uygulanması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 22-52.
- [31] Güven, F. ve Rende, G., (2017) Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi , *Mühendis ve Makine*, cilt 58, sayı 689, s. 81-95.

- [32] Miller, T.J.E., (1989). Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives, *Oxford University Press*, New York, USA.
- [33] Yedamale, P., (2003). Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Microchip Technology Inc., DS00885A.
- [34] Çabuk, A., (2016). *Tekerlek İçi Fırçasız Doğru Akım Motorlarının En İyi Tasarımı İçin Yeni Bir Yaklaşım*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 65-116



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Nurullah ASLAN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 30.06.1993/Kahramanmaraş
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (539) 967 96 92
e-posta : eeenurullahaslan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü	2016
Lise	Gülizar Şamil AKTAŞ Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

01.10.2019-31.03.2020

KSÜ-TÜBİTAK 1505 Üniversite Sanayi İş Birliği Destek Programı

Bursiyer

“Giyilebilir Elektronik Tekstillere Yönelik Kalp Atışlarını Ölçen Akıllı Giysi Tasarımı Projesi”

01.04.2020-Devam

AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

Teknik Kalite Sorumlusu Elektrik Elektronik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. N. ASLAN, ENDÜSTRİYEL 4.0 GELİSMELERİ ISIGINDA BEYAZ ESYALARIN AKILLI DENETİMİ, Sözlü Sunum, International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET) , 02 Mayıs 2019, 04 Mayıs 2019, 859 - 86