

T.C.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKET HALİNDEKİ ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA EK
YAKIT OLARAK YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESRA BAKIR

DANIŞMAN

DR.ÖĞR.ÜYESİ FARUK ORAL

MAYIS 2023

BİTLİS

T.C.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKET HALİNDEKİ ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA EK
YAKIT OLARAK YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESRA BAKIR

ORCID: 0000-0003-1760-7290

DANIŞMAN

DR.ÖĞR.ÜYESİ FARUK ORAL

MAYIS 2023

BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisiyim. Hazırlamış olduğum “Hareket Halindeki Elektrikli Taşıtlarda Ek Yakıt Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması” başlıklı tezde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi; kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı; bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 18/05/2023

İmza

Esra BAKIR

T.C.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TEZ YAZIM KILAVUZU UYGUNLUK BEYANI

“Hareket Halindeki Elektrikli Taşıtlarda Ek Yakıt Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması” başlıklı yüksek lisans tezi Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır.

18/05/2023

Tezi Hazırlayan

İmza

Esra BAKIR

Danışman

İmza

Dr.Öğr.Üyesi Faruk ORAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

İmza

Unvanı Adı SOYADI

T.C.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY SAYFASI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Esra BAKIR tarafından hazırlanan “Hareket Halindeki Elektrikli Taşıtlarda Ek Yakıt Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması” adlı Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tez savunma sınavı, 18/05/2023 tarihinde yapılmış ve tezin oy birliği ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

JÜRİ:

İMZA

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Faruk ORAL

(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Üye: Doç.Dr. İrfan UÇKAN

(Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)

.....

Üye: Dr.Öğr.Üyesi Yunus SAYAN

(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

tarih ve sayılı kararıyla jüri tarafından kabul edilmiş bu çalışmanın yüksek

lisans olarak kabulü onaylanmıştır.

....../...../2023

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL

Enstitü Müdürü

T.C.

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**HAREKET HALİNDEKİ ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA EK YAKIT OLARAK
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Esra BAKIR

Dr.Öğr.Üyesi Faruk ORAL

Mayıs 2023

ÖZET

Bu projede elektrikli araçların bataryalarını şarj etmek için yeni bir tasarım denenmiştir. Bu tasarım yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hareket halindeki elektrikli araçların bataryalarını şarj edebilen bir sistemdir. Sistem Nissan Leaf Elektrikli Aracı'nın özellikleri baz alınarak tasarlanmıştır. Bunun için ANSYS/Fluent yazılımı kullanarak elektrikli aracın akış simülasyonu yapılarak türbin için en uygun yerin araç ön kısmı olduğu tespit edilmiş ve türbin için ön tarafta boşluklu yapı oluşturulduktan sonra, tekrardan akış simülasyonu yapılarak tasarımın uygunluğu belirlenmiştir. Sistemde 2 adet rüzgâr türbini ve 6 adet güneş paneli kullanılmıştır. Kullanılacak türbinin tasarımı ANSYS/Fluent yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak aracın 100 km/h'lık sabit hızla gittiği kabul edilip zamana göre araç bataryasından kullanılan güç miktarı ve güneş paneli-rüzgâr türbini hibrit sisteminin ürettiği güç ile karşılaştırılarak araç bataryasına katkı sağladığı bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araç, Rüzgâr türbini, Fotovoltaik panel

Republic of Türkiye
Bitlis Eren University Graduate School
Department of Mechanical Engineering
USE OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AS ADDITIONAL FUEL IN
MOBILE ELECTRIC VEHICLES
Master's Thesis
Esra BAKIR
Dr.Öğr.Üyesi Faruk ORAL

May 2023

ABSTRACT

In this project, a new design has been tested to charge the batteries of Electric Vehicles. This design is a system that can charge the batteries of moving Electric Vehicles using renewable energy sources. The system is designed based on the features of Nissan Leaf Electric Vehicle. For this purpose, flow simulation of the Electric Vehicle was performed using ANSYS/Fluent software and it was determined that the most suitable place for the turbine was the front of the vehicle and after the hollow structure was created for the turbine at the front, flow simulation was performed again and the suitability of the design was determined. In the system, 2 wind turbines and 6 solar panels are used. The design of the turbine to be used was made using ANSYS/Fluent software. As a result, it is assumed that the vehicle is traveling at a constant speed of 100 km/h and the amount of power used from the vehicle battery according to time and the power generated by the solar panel-wind turbine hybrid system is compared and found to contribute to the vehicle battery.

Keywords: Electric vehicles, Wind turbine, Photovoltaic panel

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın oluşmasında ve her aşamasında bana destek veren, her türlü sorunlarımla ilgilenip çözüm yolları arayan, desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Faruk ORAL'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini esirgemeyen Nilüfer BAKIR, ailem ve arkadaşlarıma da teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrikli Araçların Tarihi.....	2
1.2. Elektrikli Araç Türleri.....	4
1.2.1. Tam Elektrikli Araçlar (TEA)	5
1.2.3. Yakıt hücreli Elektrikli Araç (FCEV).....	6
1.2.4. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV).....	7
1.3. Araca Etki Eden Aerodinamik Kuvvetler.....	9
1.4. EA'larda Yenilenebilir Enerji	11
1.4.1. Yenilenebilir Enerji Şarj İstasyonları	12
1.5. Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (FV) Paneller	12
1.5.1. Fotovoltaik Tarihi	13
1.5.2. Fotovoltaik	15
1.5.3. FV Panel Modeli.....	16
İdeal Tek Diyot Devresi	17
1.5.4. Güç özellikleri.....	19
1.6. Rüzgar Enerjisi.....	20
1.7. Rüzgar Türbinleri	21
1.7.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (HAWT)	22
1.7.2. Dikey eksenli rüzgar türbinleri (VAWT).....	23

1.7.5. Betz Limiti.....	24
1.7.6. Rüzgar türbininden elektrik enerjisi üretimi	29
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	31
2.1. Sayısal Çözücü Kurulumu	32
2.1.1. Akışkanlar Mekaniği	32
2.1.2. Standart k- ω Türbülans Modeli	33
2.1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD).....	36
2.4. CFD Türbin Tasarımı	39
2.4.1.Ağ oluşturma topolojisi	40
2.4.2. Sınır Koşulları	41
2.4.3.Simülasyon Modeli – Kurulum.....	42
2.4.4. Zaman adımı hesaplama	42
2.5. CFD ile Araç Modelinin Mesh ve Sınır Katmanlarının Oluşturulması	43
2.6. MATLAB/Simülink Güneş Paneli Tasarımı.....	47
2.6.1. BOOST Converter Çalışma Prensipleri	47
2.6.2. Maksimum Güç Takibi (MPTT)	49
2.6.3.Perturb & Observe (P&O)	49
3.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	51
3.1. Araç Verileri	51
3.2. Rüzgar Türbini Verileri.....	58
4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	64

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Nissan Leaf tablo değerleri.....	31
Çizelge 2.2. Semi-flexible Solar Panel değerleri	27
Çizelge 2.3. Kanat Profili.....	33
Çizelge 2.4. Çözücü Ayarları.....	35



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yaklaşık 1901'de New York taksi taksisi, akülü elektrikli bir araç	3
Şekil 1.2. The Tesla Roadster	4
Şekil 1.3. The Nissan Leaf	4
Şekil 1.4. PLUG-IN Elektrikli Araçların mimari diyagramı	6
Şekil 1.5. Yakıt Pilli elektrikli araçların (BEV) mimari diyagramı	7
Şekil 1.6. Hibrit elektrikli araçların mimari diyagramı.....	8
Şekil 1.7. Fotovoltaik hücre yapısı	15
Şekil 1.8. Fotovoltaik I-V karakteristiği	18
Şekil 1.9. PV güç modülünün özellikleri	20
Şekil 1.10. Rüzgar türbini güç çıktısı	24
Şekil 1.11. İdeal bir Betz rüzgar türbini üzerinden hava akışı ve hava hızları	25
Şekil 1.12. Cp Maksimum Güç Katsayısı Grafiği	27
Şekil 1.13. Bir rüzgâr türbininin güç üretim eğrisi.	29
Şekil 2.1. Hesaplama alanı.....	39
Şekil 2.2.a.b. Rüzgar türbini ağ yapısı	41
Şekil 2.3. Sınır katmanlar görünüm	43
Şekil 2.4. 1853544 eleman sayısında kaba ağ gösterimi	44
Şekil 2.5. 3957199 eleman sayısında orta sıklıkta ağ gösterimi	44
Şekil 2.6. 5025253 eleman sayısında sık ağ gösterimi	44
Şekil 2.8. Araç 1 yandan ve önden görünümü	45
Şekil 2.9. Araç 2 yandan ve önden görünümü	45
Şekil 2.10. Araç 3 yandan ve önden görünümü	45
Şekil 2.11. Rüzgâr türbini araç içi yerleşimi.....	46
Şekil 2.12. PV panel Simülink Şeması	47
Şekil 2.13. Boost converter devre şeması Simülink gösterimi	47
Şekil 2.14. P&O MPPT algoritması.....	50
Şekil 3.1. 27.7 m/s hızda Araç 1 aracın statik basınç konturunun izometrik görünüşü..	51
Şekil 3.2. 27.7 m/s hızda Araç 1 statik basınç konturunun yan görünüşü	52
Şekil 3.3. 27.7 m/s hızda Araç 1 statik basınç konturunun ön görünüşü.....	52
Şekil 3.4. 27.7 m/s hızda Araç 1 model aracın hız vektörü izometrik görünüşü.....	53
Şekil 3.5. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun izometrik görünüşü.....	53
Şekil 3.6. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun yan görünüşü	54

Şekil 3.7. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun ön görünüşü.....	54
Şekil 3.8. 27.7 m/s hızda Araç 2 hız vektörü izometrik görünüşü.....	55
Şekil 3.9. 7.7 m/s hızda Araç 3 aracın statik basınç konturunun izometrik görünüşü....	55
Şekil 3.10. 27.7 m/s hızda Araç 3 statik basınç konturunun yan görünüşü	56
Şekil 3.11. 27.7 m/s hızda Araç 3 statik basınç konturunun ön görünüşü	56
Şekil 3.12. 27.7 m/s hızda Araç 3 hız vektörü izometrik görünüşü	57
Şekil 3.13. Cm-Time Step grafiği	58
Şekil 3.14. Cp-TSR grafiği	59
Şekil 3.15. Cm- TSR grafiği	59
Şekil 3.16. Güç-Rüzgar hızı grafiği	60
Şekil 3.17. FV panal güç çıktısı	61

KISALTMALAR

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
EA	: Elektrikli Araç
EM	: Elektrik Motoru
FCEV	: Yakıt Hücresi Elektrikli Araç
FV	: Fotovoltaik Panel
CFD	: Hesaplı akışkanlar dinamiği
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
İYM	: İçten Yanmalı Motor
MPPT	: Maksimum güç noktası izleyici
Paralel-HEA	: Paralel Hibrit Elektrikli Araç
RANS	: Navier-Stokes Reynolds
PHEV	: Plug-in Elektrikli Araç
Seri-HEA	: Seri Hibrit Elektrikli Araç
SST	: Shear- Stress Transport
SOC	: Batarya Şarj Durumu
TEA	: Tam Elektrikli Araç
TSR	: Uç Hız Oranı

SİMGELER

A_R	: Efektif alan
a-Si	: Amorf silikon
C	: Kapasitör
D	: Diyot
CD	: Aerodinamik sürüklenme katsayısı
CL	: Aerodinamik kaldırma katsayısı
CdTe	: Rüzgar türbinin verimini
C_P	: Verim katsayısı
E_{Ge}	: Türbinden üretilebilecek enerji miktarı
F_D	: Sürüklenme kuvveti
F_s	: Anahtarlama frekansı
G	: Cihaz başına ışınlım
G_n	: Nominal ışınlım
I_0	: Diyot ters doyma akımı
I_{lon}	: Nominal doyma akımı
I_{PV}	: Foto akım
K	: Boltzman sabitini
L	: İndüktör
m	: Rotordan geçen havanın kütlesi
P_a	: Rüzgârdan elde edilen güç
P_w	: Rüzgâr türbinin gücü
P_0	: Aynı anda aynı alanda geçen havanın gücü
$P_{W_{max}}$	: Rüzgâr türbininde maksimum güç
P_R	: Rated power
Re	: Reynold sayısı
V_{oc}	: Voltaj akımı
$V_{O_{RMS}}$	: Çıkış voltajının RMS değeri
U_1	: Rüzgâr kanalı giriş hızı
U_2	: Kanat düzlemindeki hız

U_3	: Rüzgâr çıkış hızı
V_1	: Rüzgâr giriş (Cut-in) hızı
V_0	: Kesme hızı (Cut-out)
V_r	: Doyma voltajı
V_t	: Diyot termal voltajı
α	: Diot idealite sabiti
ρ	: Birim hacim için havanın yoğunluğu
η_m	: Mekanik sistem verimi
η_m	: Elektrik sistem verimini
λ	: Uç hız oranı

1. GİRİŞ

Motorlu araç teknolojisinin öncülerinden olan Elektrikli Araçlar (EA) İçten Yanmalı Motor'un (İYM) icadıyla gözden düşmüş ve yüksek maliyetleri sebebiyle yarış dışı kalmıştır. Ancak zamanla İYM'lerin enerji kaynağı olan fosil yakıtların çevreye verdiği zarar ve fosil yakıtların bir gün muhakkak tükenecek olması gözlerin yeniden EA'lara dönmesini sağlamıştır. Çevre dostu olan bu araçlar hızla gelişiyor olsa da temelde sahip oldukları menzil kısıtlılığı, şarj dolum süresini uzunluğu, maliyet yüksekliği gibi problemler ARGE çalışmalarının bu alanların yönelmesini sağlamıştır.

Çevre dostu ulaşım araçları olarak üretilen EA'ların hareket mekanizmalarının enerji kaynağı olan batarya sistemleri; batarya dolum sürelerinin uzunluğu, menzil sürenin kısıtlılığı sebebiyle EA'ların çözüm bekleyen ana sorunları arasındadır. Bataryaların hızlı dolmasını sağlayacak şarj sistemlerinin kurulması ya da araç hareket halindeyken kendi enerjisini üretebilecek ve sürüş mesafesini uzatabilecek parça sistemlerin entegre edilmesi alternatif çözüm yolları arasında gösterilebilir. Bu doğrultuda araçlara Fotovoltaik (FV) paneller ve mini rüzgâr türbinleri eklenerek araç için sürekli enerji elde edilmesi ve depolama sağlanması amaçlanmaktadır.

EA firmaları tarafından (bu çalışmanın da ana konusu olan) EA'ların şarja bağlanma sürelerinin uzatılması ve daha uzun mesafeli sürüş sağlamayı amaçlayan ve bunun için de yenilenebilir enerji kaynaklarından; Güneş ve rüzgârdan faydalanarak hareket halinde kendi kendini şarj edebilen EA'lar üretilmeye çalışılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları uzun yıllardır sanayi, ulaşım, evsel tüketim vb. alanlarda kullanmak üzere elektrik üretmektedir. Sınırsız ve zararsız olan bu kaynakların maksimum enerji minimum alan parametreleri arasında araç üzeri uygun boyut ve uygun konumlandırma seçenekleriyle araç için gereken elektriği üretmesi sağlanabilecektir.

EA'larda bataryaları besleyecek sistemlerin; elde edilmesi ve bakımı kolay, yüksek enerji verimliliğine sahip uzun ömürlü ve doğa dostu olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında EA'larda enerji ve hareket sirkülasyonunun devamlılığını sağlamak adına EA'lara entegre edilecek FV panel ve mini rüzgar türbinlerinin MATLAB/Simülink ve ANSYS/Fluent ile simülasyonu yapılarak bu çalışmanın sürdürülebilirliği incelenmiştir.

1.1. Elektrikli Araçların Tarihi

Tarih sahnesine atladığından bu yana insanoğlu medeniyetin ve ilerlemenin ölçütü olmuş ve sürekli hareket halinde olduğu için bunların yayılması sağlamıştır. Tekerleğin icadını bir sıçrama basamağı olarak kullanan insanlık daha hızlı gelişmiş ve geliştikçe daha çok yayılmıştır. Bu pozitif geri bildirimde hareketin farkında olan insanlık daha hızlı hareket edebilmek için her alanda olduğu gibi ulaşımda da yeniliklere ve icatlara yönelmiştir. Bu arayışla doğada kendinden daha güçlü ve daha hızlı canlılara yönelmiş ve onları ulaşımda kullanmıştır. Binek hayvanları bireysel olarak kullanan insanlar sonradan bireysel kullanımdan yük taşımacılığı ve yolcu taşımacılığına entegre edecek arabaları icat etmiştir.

Yüzyıllar boyu at arabaları ile ulaşım sağlayan insanlık James Watt'ın 1773'te buhar makinesini icat etmesi ile mekanik ve hidrolik kuvvetleri bu denkleme dahil etmiştir. 1804 yılında İngiltere'de Richard Trevithick ve Andrew Vivian tarafından icat edilen ilk buharlı lokomotif ulaşımda yeni bir çağ başlatmıştır. Buharlı lokomotifler her ne kadar ulaşımda bir çığır açmış olsa da sadece raylarda hareket edebildiği için güvenlik ve pratik açısından şehir içi karayollarında hareket edebilecek küçük araçlara entegresi mümkün olmamıştır. ABD ve İngiltere'de Evans ve Trevithick tarafından birbirine yakın zamanda üretilen otomobiller beklenen ilgiyi görmemiş ve ticari başarı sağlayamamıştır. Mobil araç üretiminde buhar enerjisi kullanımda beklediği başarıyı sağlayamayan sektör başka enerji arayışına yönelmiştir [1]

1800 yılında Alessandro Volta'nın geliştirdiği ve elektrik enerjisini depolayabilen bataryalar ve 1921 yılında Michael Faraday'ın öncü elektrikli motoru sayesinde aradığı cevapları bulan sektör, elektrik motorunun icadından kısa bir süre sonra 1930'lu yıllarda İskoçyalı Robert Anderson ve ABD'li Thomas Davenport tarafından birbirlerinden habersiz ürettikleri EA tarihinin ilk araçlarıyla tanışmıştır. Tasarım itibariyle başarılı olmalarına rağmen batarya teknolojisinin hala istenen seviyeye gelmemiş oluşu araçların kullanımı kısıtlamıştır [2].

1859 yılında Fransız Goston Plante şarj edilebilir bataryaların ilki sayılan Kurşun-asit bataryalarını geliştirmiştir. Bu dönemde özellikle Fransa, İngiltere ve İsviçre gibi Avrupa ülkeleri EA'ların geliştirilmesine destek olarak ivme kazandırmıştır [3].

1900'lü yılların başında mobil araç piyasasının genel hakimi EA'lar olmuştur (Fotoğraf 1.1). Çağdaşları olan İçten Yanmalı Motor (İYM) araçlarda olan gürültü, koku

ve titreme gibi dezavantajlarının olmayışı ve İYM araçlara kıyasla nispeten güvenilir oluşları rağbet görmelerini sağlamıştır. Ancak başta ABD olmak üzere iyileşen ekonomilerde yollar da iyileştirilmiş ve mobil araçlarla ilgili menzil ve motor gücünü arttırmaya, maliyeti düşürmeye yönelik çalışmalar yapılmaya başlamıştır.

1908 yılında Henry Ford “Model T” ile beklentilerin tamamını karşılayarak yeni bir mobil araç devrimi yapmıştır (Şekil 1.2). Tasarladığı seri üretim bandıyla bir aracı bir EA’ın üçte biri fiyatına mal etmiştir. 1900’lerin başında benzine erişimin kolay olması İYM’lu araçların popülaritesini arttırırken EA’ların köşelerine çekilmesine sebep olmuştur [4].



Şekil 1.1. Yaklaşık 1901’de New York taksi taksisi, akülü elektrikli bir araç [5]

1920’lerde bolluğuyla elektrikli araçları tahtan indiren “petrol”; aşırı tüketimi sonucu ortaya çıkan hava kirliliği ve 1973 Petrol Krizi’yle mobil araç tarihinde ışıkların yeniden EA’ların üzerine dönmesine sebep olmuştur. Bu yıllarda hükümetler EA ve Hibrit-EA’lar için destek programları başlatmıştır. 20.yy’ın son çeyreğinde hükümetlerce çıkarılan çevre koruma yasaları ve sürdürülebilir enerji çalışmalarına yönelik destekleri mobil araç sektörünün bu alana daha fazla ilgi göstermesine sebep olmuştur [5].

Dünyanın ilk seri hibrit aracı olan Toyota Prius 1997 yılında üretilmiş ve 50.000’lik bir ticari satış başarısına ulaşmıştır. Bu başarıdan etkilenen ünlü araç firması Honda, Ford, Nissan (Şekil 1.3) ve Chery 2000 yılından önce ilk EA’larını tanıtmıştır [6].



Şekil 1.2. The Tesla Roadster [5]



Şekil 1.3. The Nissan Leaf [5]

2006 yılına geldiğinde 100 yıldan daha eski tarihine rağmen hala emekleyen EA teknolojisini yeni nesil lityum-iyon bataryalarıyla koşturaya zorlayan Tesla; Tesla Roadster'i tanıtmıştır. Tek seferde şarj edilip 390 km yol gidebilme özelliği sayesinde EA tarihine geçmiştir. Bu araçlar günümüz EA teknolojisinde başı çekmektedir [7].

İcadından bu yana uzun bir yol kat etmiş olan EA'ların günümüzde birçok çeşidi bulunmaktadır.

1.2. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli Araçlar yalnızca elektrik tahrikiyle çalışan veya yanında bir İçten Yanmalı Motora sahip taşıtlardır. Temelde enerji kaynağı olarak bataryaya sahip olması

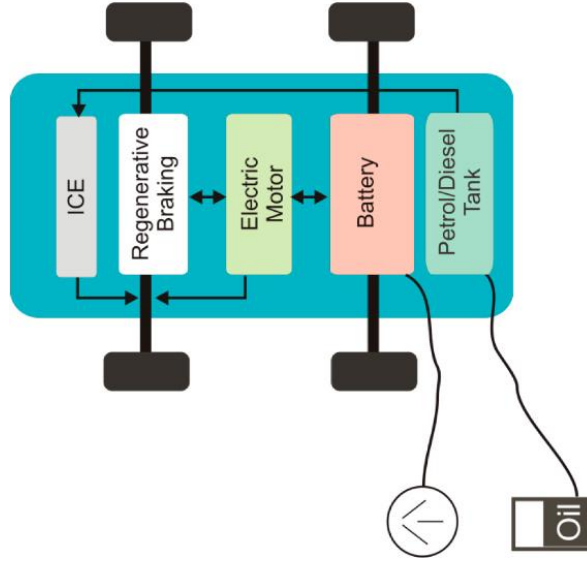
EA türünü oluşturur. Fakat alternatif enerji kaynağı kullanabilen türleri de mevcuttur. Uluslararası Elektroteknik 69 numaralı Elektrikli Karayolu Araçları Teknik Komitesi, çeşitli enerji kaynağı ve dönüştürücü kullanan araçlarda en az birinin elektrik enerjisi sağlaması durumunda bu taşıtın HEA olarak sayılmasını gerektiğini önermiştir. Bunun üzerine halkla uzmanlar tarafından farklı kombinasyonlarda HEA üretilmesini sağlamıştır. Üretilen bu araçlar dörde ayrılmaktadır. Bunlar: Tam EA, Plug-in EA, Yakıtpilli EA ve Hibrit EA'lıdır. Hibrit EA da kendi aralarında üçe ayrılır [8].

1.2.1. Tam Elektrikli Araçlar (TEA)

Aktarma organlarına güç sağlamak için sadece Elektrik Motoru (EM)'una sahip olan EA türüdür. Bu yüzden menzilleri batarya kapasiteleri kadardır. Genellikle araç modeline bağlı olarak tek şarjla 100-500 kilometre arası bir mesafe kat edebilmektedirler. Sadece elektrik motor kullanmaları, sessiz çalışıyor olması, doğal dostu araçlar olarak adlandırmalarını sağlamıştır. Ayrıca basit yapıları nedeniyle kullanım rahatlığı sağlamaları, EM'un düşük hızlarda yüksek tork sağlaması kentsel alanlarda kullanım için uygunluk sağlamaktadır. Fakat TEA'lerin batarya paketinin bitiminden sonra tekrar şarj edilmesinde geçen sürenin uzun oluşu, yüksek bakım maliyetleri, menzillerinin kısa oluşu ve şarj istasyonlarının kısıtlılığı gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

1.2.2. PLUG-IN Elektrikli Araçlar (PHEV)

Hibrit Elektrikli Araç (HEV)'lerden daha kısa bir tarihi bulunan PHEV'lar HEV'lar da olduğu gibi IYM ve EM birlikte kullanılır. Ancak PHEV'lerin ortaya çıkış amacı bu dengeyi EM lehinde baskın hale getirmektir. Bunun için elektrikli tahrik sistemini güç olarak kullanır. PHEV'lerde motor ilk olarak elektrik motoru ile başlar ve sürüşü bu şekilde devam ettirir. Bataryalardaki şarj kaybının ikmali için içten yanmalı motoru kullanır. HEV de ana güç kaynağı olan IYM bu sistemde menzil uzatmak için kullanılır. PHEV'lar HEV'ların aksine bataryalarını şebekelerden şarj edebilirler ve rejeneratif frenleme özelliğine de sahiptirler. Motor çoğunlukla elektrikle çalıştığı için HEV'lara kıyasla daha küçük karbon ayak izine sahiptirler. IYM 'un yedek güç olarak kullanımı yakıt tasarrufu sağlayarak maliyetleri düşürür ancak büyük bir batarya kapasitesi gerektirmesi en büyük dezavantajdır.[9]



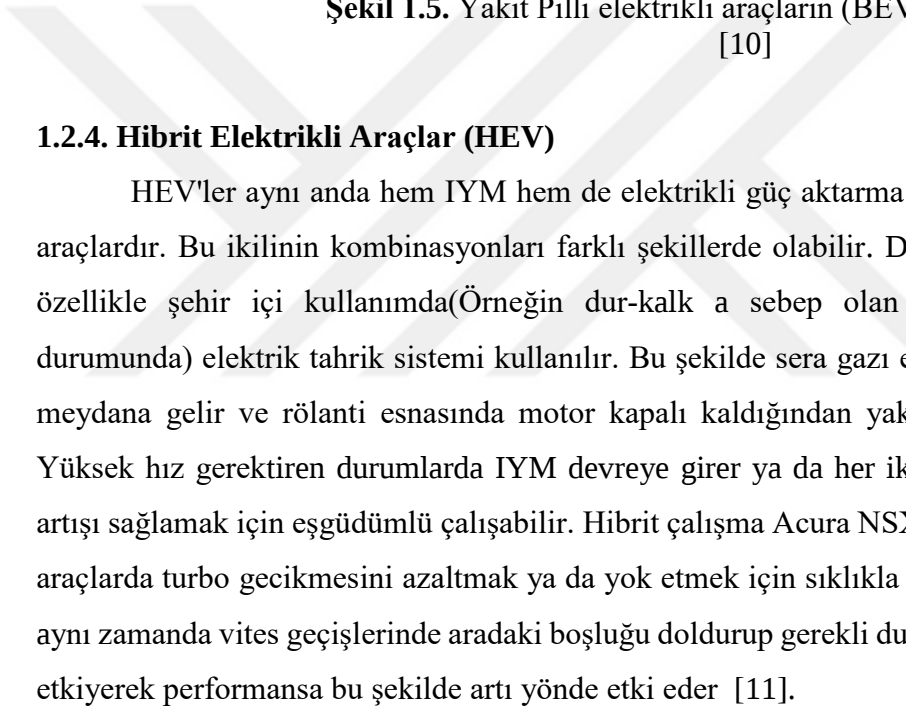
Şekil 1.4. PLUG-IN Elektrikli Araçların mimari diyagramı [10]

1.2.3. Yakıt hücresel Elektrikli Araç (FCEV)

Yakıt pilli olarak da bilinen bu elektrikli araç türü elektrik eldesi için kimyasal reaksiyonlarla enerji üreten yakıt hücreleri barındırır. Hücrelerde bulunan ve tepkimenin devamlılığı için gereken oksijen havadan elde edilir. Yakıt hücrelerinin ürettiği elektrik tekerlekleri tahrik eden EM 'ye aktarılır. Kullanım fazlası enerji batarya süperkapasitöründe depolanır. Kullanılan kimyasal maddeler ortaya su çıkmasına sebep olur ve su aracın egzoz boruları ile dışarı atılır. Yakıt hücresel EA'ların avantajları şu şekildedir:

Karbon salınımı yapmadan kendi elektriklerini üretebilirler. Bu sayede Karbon ayak izlerini daha da küçültebilirler. Yakıt ikmal süresi herhangi bir benzinli aracın İkmal süresi ile aşağı yukarı aynıdır.

Hidrojen yakıt istasyonlarının azlığı, tipinin benimsenmesinin önündeki en büyük engeldir. ABD Enerji Bakanlığı (DOE)'nın FCEV ile ilgili dikkat çektiği bir diğer husus yakıt hücrelerinin maliyetidir. Bir içten yanmalı motoru maliyeti(50 \$/kW) bir FCEV 'ın maliyetinin (200\$/kW) 1/4 i kadardır. Bir diğer husus ise yüksek yanıcılık özelliği bulunan hidrojen gazının taşınıp saklanabilmesi mevzusudur. Bu problemlerin çözümü halinde FCEV'ların TEA'lardan daha kullanışlı olacağı tahmin edilmektedir. [11].



1.2.4. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)

IYM bataryaları şarj edebilir..HEV'ler ise rejeneratif frenleme yöntemiyle enerjiyi geri kazanabilir. Her ne kadar iki sistem birlikte kullanılıyor olsa da HEV'ların tasarlanması sebebi temelde IYM kullanılan araçta kilometre performansına artı yönde etkiyecek yedek güç sağlamaktır. Araca elektrikli tahrik sisteminin eklenmesi bu yedek güç elde etme çabasının sonucudur. Araç üreticileri tarafından iyice benimsenen bu sistemle; IYM, araç çalıştırıldığında bir miktar güç üretmek ve bunu aküde depolamak için motoru jeneratör gibi çalıştırabilir. Özellikle geçişlerde hız artışı gerekeceğinden IYM ve motor güç aktarım organları birlikte çalışır. Fren esnasında, güç aktarım organı rejeneratif frenleme ile motoru jeneratör olarak çalıştırıp aküyü şarj eder. Araç hareket

Şekil 1.6. Hibrit elektrikli araçların mimari diyagramı

Paralel Hibrit Araçlar (Paralel-HEA)

Paralel HEA aracı hareket ettirecek güç sağlamak için İYM ve EM'un birlikte kullandığı sistemi içerir. Bu araçlarda hem EM hem de İYM mekanik güç iletiminde birbiriyle koordineli olarak aktif oynamaktadır. Aktarma organı, çekiş gücünü sağlamak için hem EM hem de İYM'a paralel bağlanır. İYM birincil güç kaynağı olarak çalışır. EM ise yakıt tüketiminde etkili şekilde iyileştirmeye ve çekiş gücünü arttırmaya yardımcı olacak şekilde yerleştirilmiştir. İYM ve tekerlekler arasında her zaman mekanik bir bağlantı vardır. EM ve İYM birlikte kullanılarak İYM'un düşük hızlardaki yetersizliği EM tarafından sağlanırken yüksek hızlarda İYM devreye girerek taşıtın tork ihtiyacını karşılar.

Paralel HEA aracı hareket ettirecek güç sağlamak için İYM ve EM'un birlikte kullandığı sistemi içerir. Bu araçlarda hem EM hem de İYM mekanik güç iletiminde birbiriyle koordineli olarak aktif oynamaktadır. Aktarma organı, çekiş gücünü sağlamak için hem EM hem de İYM'a paralel bağlanır. İYM birincil güç kaynağı olarak çalışır. EM ise yakıt tüketiminde etkili şekilde iyileştirmeye ve çekiş gücünü arttırmaya yardıma olacak şekilde yerleştirilmiştir. İYM ve tekerlekler arasında her zaman mekanik bir bağlantı vardır. EM ve İYM birlikte kullanılarak İYM'un düşük hızlardaki yetersizliği EM tarafından sağlanırken yüksek hızlarda İYM devreye girerek taşıtın tork ihtiyacını karşılar.

Her iki motorun aktif olarak kullanılması komplike mekanik parçalar gerektirir. Buna bağlı yüksek alım ve bakım maliyeti ortaya çıkar.

8

Seri Hibrit Araçlar (Seri-HEA)

Seri-HA'lar, Paralel-HA'lara kıyasla küçük bir İYM, büyük boyutta EM ve yedek aküye sahiptir. Aktarma organlarının verimlilik ve koordinasyonunu en üst seviye çıkarmak için kontrolör kullanılır. Bu araçlarda EM tek başına tahrik gücünü sağlarken İYM EM'a güç veren ya da bataryaları şarj eden jeneratörü destekleyen eleman görevi görür.

İYM+jeneratör grubu yakıtın kimyasal enerjisini önce mekanik ardından da elektrik enerjisine dönüştürme görevi görür. Elde edilen güç bataryadan gelen güçle birlikte kontrolör gelir. Kontrol sürücü komutlarını tekerlek hızı ve ana motordan gelen torkla karşılaştırarak hangi kaynaktan ne kadar güç kullanılacağı sürücünün isteğine göre belirler. Kontroller bununla birlikte güç elektroniğini İYM'nin, jeneratörü fren anında jeneratif mod açıp kapatarak bataryaların şarj edilmesini sağlar [12].

Seri-HEA'larda İYM tahrik hattına mekanik olarak bağlantılı değildir ve elde edilen gücü jeneratör yoluyla aktarırken batarya şarj edilebilir. Bu şekilde İYM maksimum verimlilikte çalışırken bu bağlantı şemasında İYM ve dişli kutusu arasında güç aktarımı sağlayan çoklu dönüşüm aşamaları için gereken elemanlar maliyette artışa sebep olur.

Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç (Seri-Paralel EA)

Seri ve paralel modda çalışabilirler. Diğer HEA'lara göre daha verimlidirler. Çünkü düşük hızlarda Seri-HEA, yüksek hızlarda Paralel-HEA olarak çalışabilir. Ancak her iki sistemin entegrasyonu maliyeti artışına sebep olur.

1.3. Araca Etki Eden Aerodinamik Kuvvetler

Araçlarda aerodinamik özelliklerin tespit edilmesinde sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bunun ana sebebi ürün geliştirme esnasında zamandan kazanç sağlamaktır. Sayısal yöntemler aşağıda belirtilen iki şartı yerine getirmelidir [13].

- Olayın fiziğini yeteri kadar hassas oluşturabilmelidir.
- Deney süreçlerinden daha hızlı olmalıdır.

Sürüklenme Kuvveti

Hava araçlarında sürüklenme ve taşıma kuvvetleri ön planda iken, kara araçlarında belirli bir hız seviyesine kadar sadece sürüklenme kuvveti önemlidir. Otomobillerde sürüklenme kuvveti, otomobile etki eden en önemli aerodinamik kuvvet bileşeni olarak görülmektedir [14].

Araç üzerine etki eden sürüklenme kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilmektedir

$$F_D = qAC_D = \frac{1}{2}qV^2AC_D \quad 1.1$$

Bir araç üzerindeki sürüklenme kuvvetinin azalması, aerodinamik açıdan genel araç direncinde de bir azalmaya yol açar. Böylece, motorun daha az güç tüketmesi daha az yakıt tüketimi nedeniyle bir aracın yakıt verimliliği iyileştirilir.

Kaldırma Kuvveti

Aerodinamikte sadece aerodinamik direnç kuvvetinin azaltılması söz konusu olmayıp, taşıt etrafında meydana gelen hava akışı, taşıtın yol tutuşu ve sürüş kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kaldırma kuvvetini ve basınç merkezinin konumunu da etkiler. Taşıtın alt gövdesiyle yol arasındaki etkileşim nedeniyle meydana gelen yer etkisi taşıtın hareketine karşı koyan aerodinamik direnç kuvveti üzerinde çok düşük bir etkiye sahip olmasına karşın, taşıtın yol tutuşunu etkileyen kaldırma kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [14].

Kaldırma ve sürüklenme arasında karmaşık bir ilişki vardır. Kaldırma artarken sürüklemenin arttığı, kaldırma azalırken sürüklemenin azaldığı ve kaldırma azalırken sürüklemenin arttığı durumlar bu karmaşık ilişkinin göstergesidir. Teorik olarak, minimum sürüklemenin sıfır kaldırma durumunda meydana geldiği tahmin edilmektedir[15].

$$F_D = qAC_D = \frac{1}{2}qF_L = qAC_L = \frac{1}{2}qV^2AC_LV^2AC_D \quad 1.2$$

Yanal Kuvvet

Tüm seyir hızlarında kararlı bir sürüş ve yanal kuvvet katsayısı merkezi ağırlık merkezinin arkasında olmasıyla mümkündür. Basınç merkeziyle yanal kuvvet katsayısının merkezi aynı yerde değildir, fakat yanal kuvvet katsayısının merkezi, ön ve arka yük transfer karakteristiklerine ve tahrik edilen akstaki tahrik kuvvetinin etkilerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Basınç merkezi, yanal kuvvet katsayısı merkezinin arkasında olursa taşıtın sürüş kararlılığı iyi olur. Taşıtlarda basınç merkezinin ağırlık merkezinin önünde olması durumunda taşıtın sürüş kararlılığında bozulma olur ve istenen sürüş konumunda meydana gelen sapma ağırlık merkezi etrafında bir dönme

momenti oluşturur. Bu dönme etkisi yanal kuvvet katsayısı konumuyla ilgili olan tekerlek kayma açılarının değiştirilmesiyle azaltılabilmektedir [15].

$$F_Y = qAC_Y = \frac{1}{2}qV^2AC_Y \quad 1.3$$

Aerodinamik Kuvvetler

Hareket halinde araç etrafındaki havanın sürekli yer değiştirmesiyle araç etrafında aerodinamik direnç ya da aerodinamik sürüklenme (CD) olarak adlandırılan boyutsuz olarak temsil edilen bir aerodinamik sürüklenme kuvveti oluşur. Motorlu araçlarda yakıt tüketiminin azaltılması için yapılan çalışmalarda CD'nin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Araç hızı artması ile aerodinamik kuvvetlerin diğer kuvvetlerden daha baskın olduğu bilinmektedir [14].

Taşıta etkiye kuvvetlerin birbirine dik olan üç eksen boyunca taşıta etki ettiği düşünülebilir. Bu kuvvetler, aracın öne doğru hareketine karşı koyan aerodinamik direnç kuvveti, aracın yukarı ya da aşağıya doğru yönlenmesine neden olan kaldırma kuvveti ve sadece yandan esen rüzgâr durumunda araç üzerinde meydana gelen yanal kuvvet olarak üçe ayrılmıştır [16].

1.4. Elektrikli Araçlarda Yenilenebilir Enerji

EA'lar enerji kullanım döngüsünde; ekosisteme uyumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi absorbe edebilme kabiliyetleri sayesinde her geçen gün önem kazanmaktadır.

Hala çözüm bekleyen; sürüş mesafesi kısıtlılığı, uygun bataryanın hala üretilmemiş olması durumu ve yüksek maliyet tablosu gibi noksan yönlerine rağmen çevre dostu olan bu araçların kullanım talebi artmaktadır. Artan EA kullanımı hali hazırda yetersiz olan enerji arzına daha fazla talep olmasına yol açmıştır. Yeterli sayıda şarj istasyonunun bulunmayışı, şarj süresinin uzunluğu ve araç kullanımının daha çok gündüz olması sebebiyle araçlar genel gece ve şebeke elektriği ile şarj edilmektedir. Bu da açığa kimi sorunlar çıkmasına sebep olmuştur. Bunlar; jeneratörlerin aşırı yüklenmesi ve hız rampası gibi problemlerdir ve bu problemler güç şebekesi özelliklerini olumsuz etkiler. Bunun yanında EA'ların artan penetrasyonu, besleyici tıkanıklığı, istenmeyen tepe talebi, artan güç kaybı, çoğalan yük faktörü, harmonik bozulma, faz dengesizliği gibi problemler şebeke özelliklerini bozabilir. Bu olumsuzluklar EA şarjının tepe yükle eş zamanlılığından kaynaklanır.

Şuanda EA şarj sistemlerinin şebeke üzerindeki kötü etkilerini düzeltecek ve gerekli enerji ihtiyacını karşılayacak sistemler üzerinde AR-GE çalışmaları devam etmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan fikirlerden biri şebeke sisteminden bağımsız ya da sisteme destek verecek şekilde mikro şebekelerin oluşturulmasıdır. Bu şekilde ana şebeke üzerindeki yük hafifletilip ortaya çıkabilecek dengesizlikler elimine edilebilir.

1.4.1. Yenilenebilir Enerji Şarj İstasyonları

EA'ların günlük olarak şarj edilebilmesi için farklı yollar vardır. En bilinen yöntem yapıların otopark ve garajlarıdır. Şarj etme işlemi, genel olarak aracın kullanılmadığı gece saatlerinde gece boyu yapıyor olsa da bu işlem gün içinde kısa süreli olarak da otopark ve benzeri yerlerde de yapılabilir.

EA'ların güç ihtiyacı; normal şarj imkanı sunan AC ve tek şarj sağlayan DC şarj istasyonlarının yanı sıra pil değiştirme istasyonlarında boş pillerin hızlıca yenileriyle değiştirilmesiyle sağlanabilir. Bu yöntemlerin yanı sıra V2G (Yenilenebilir Enerji Şarj İstasyonları) şarj mekanizmasına sahip EA'lar arasında şarj transferi yapılarak da batarya şarj edilebilir. Kısaca, EA'ların şarj ihtiyacı ev, otopark, şarj istasyonları ve pil değişim istasyonlarından sağlanabilir. Şarj istasyonlarının varlığı EA'lar için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması açısından önemli bir faktördür.

EA'lar enerji taleplerinde farklılıklar yaratan ve talep eden yeni bir güç tüketim koludur. Aradaki ekstra yük olarak nitelendirebileceğimiz bu enerji ihtiyacı Akıllı Şebeke Teknolojilerinin konuşlandırılmasıyla giderilebilir. Bu sistemde sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması geleneksel araçlarda kıyaslandığında emisyonları en azından %80 azaltabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından Rüzgar ve Güneş santralleri, bataryaları şarj edebilmek için ana şebeke ya da bir mikro şebeke olarak doğrudan yerel şebekeye bağlanabilir. Sabit enerji depolama sistemleri bunun dışında EA'ları şarj ederek enerji üretim kesintilerini azaltabilir [17].

1.5. Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (FV) Paneller

Çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin kullanımı her geçen gün atmaktadır. Sonsuz enerji potansiyeline sahip güneş enerjisinden

faaydalanabilmek için yüksek verimli depolama araçları, akıllı işletme yöntemleri ve sermayeye sahip olmak gerekir.

Günümüzün enerji kaynakları; fosil yakıtlar, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir. Sanayi devriminden sonra artan fosil yakıt tüketime İYM'un icadıyla daha fazla artmış ve sebep olduğu sera gazları küresel ısınma ve iklim değişikliklerine sebep olmuştur. Bunun sonucunda gözler yenilebilir enerji kaynaklarına çevrilmiştir. Dünyadaki enerji kaynaklarının %40'ını oluşturan bu kaynaklar temiz ve tekrar kullanılabilir oldukları için enerji piyasasında kendilerine yer edinmişlerdir.

Temelde güneşin çekirdeğinde füzyon tepkimesi sonucunda helyuma dönüşen hidrojen atomların ortaya çıkardığı ışınım sonucu açığı güneş enerjisi çıkar. Bu ışınımın küçük bir kısmı bile dünya enerji tketimeinin çok üstündedir. Ama mevsimsel döngülerde yeryüzüne yer yüzüne ulaşan ışın miktarındaki değişiklikler yüzünden bu sistemlerde enerji depolama ve dönüştürme sistemleri kalitesi çok önemlidir.

İlerleyen teknoloji ve ulaşılabilir maliyetteki sistemlerin uygulanmasıyla güneş enerjisi her geçen gün daha önem kazanmaktadır.

Güneş enerjisinden temelde aktif ve pasif olarak enerji eldesinden söz edilebilir. Pasif teknoloji enerji dönüşümleri olmadan ısının toplanması mantığına dayanır. Bu şekilde ev vb. benzeri alanlar ısıtılabilir. Aktif teknolojiler ise enerji dönüşümleri ile açığa çıkan elektrik ve ısı elektromanyetik cihazları kullanabileceği şekilde düzenler. Aktif güneş enerjisi teknolojileri de kendi içinde ikiye ayrılır.

1.5.1. Fotovoltaik Tarihi

Güneş pillerinin tarihsel gelişimi 4 ana bölümde incelenebilir. Bunlar kuluçka (tarih öncesi), araştırma, gösteri ve endüstriyel olarak sayılabilir [18].

Bunlardan ilki Becquerel'in fotovoltaik etkiyi keşfinden 1974 petrol krizine dek süren (135 yıl) kuluçka dönemidir. 1839'da Becquerel asidik bir çözeltiyi yerleştirdiği gümüş bronr ya da gümüş klorür ile kaplı iki platin elektrot arasındaki fotovoltaik etkiyi gösterebilmek için güneş ışığını kullanmıştır. 1876'da Adams ve Days selenyum çubuktaki fotoiletken etkiyi yalnız ışığın etkisiyle göstermiştir [18].

İlk işlevsel güneş pili 1883'te Charles Fitt tarafından yarı iletken selenyumun çok ince bir tabaka altın kaplanması suretiyle yapılmıştır. Absorbe edilen ışığın %1'inden daha azını enerjiye dönüştüren bu piller çok verimsizdi [19]. 40'lı yılların sonunda kuantum fiziğinin fotoelektrik fenomeni daha eksiksiz bir şekilde tanımlanmasıyla ilk katı

hal cihazları geliştirdi ve %6 dönüşüm verimliliğine sahip silikon güneş pillerinin geliştirilmesinin nn açtı. Bugünkü teknoloji ile monokristiyan gibi paneller %12 %14 arasında bir dönüşüm verimliliğine sahiptir [20].

Bir FV hücresini p-tipi ve n-tipi olmak üzere en az 2 yarıiletken malzeme katmanından oluşur. Yeterli enerji sahip fotonlarla FV hücre üzerine ışık düştüğünde elektronlar negatif katmandan pozitif katmana dış devre yoluyla akışa geçer. Bu akış akımı meydana getirir. Daha fazla güç elde etmesi için; daha fazla FV hücresi, voltaj oranlarında artış sağlamak adına hava koşullarına dayanabilecek bir pakette seri bağlanır. Bu tür dayanıklı bir paket FV modüllerinin seri ya da paralel kombinasyonları genel panellerin bir grup FV paneli de FV dizisini oluşturur [20].

Modern FV ağı 1954'te Bell Laboratuvar (Amerika) alışanlarının bağlantı diyotlarının odada ışık açıkken voltaj ürettiğini fark etmesi ile başladı. Bir yıl içinde %6 verime sahip güneş pili ürettiler. Aynı yıl Amerika'da bir başka grup tarafından %6 verimliliğine sahip Cu₂S/CdS tabanlı bir ince film hetero eklem güneş pilinin sonuçlarını yayınladı. 1960 yılında Quessier, Rappapaort, Loferski, Shockley, Prince Wysaski güneş pili teknolojisinin temellerini oluşturan bant aralığı, olay spektromu, verimlilik, sıcaklık ve termodinamik üzerine yazdıkları makalelerle modern FV'lerin ve ana hatlarını çizdi [21].

FV teknolojisinin bir sonraki büyük adımı 1958'de uzaya fırlatılan Amerika uydusu Vanguard-1'in ikincil g sağlayıcı olmak oldu. 6 küçük kristal formda Si güneş paneli, bir Ge osilatörüne 6 yıl boyunca ışaret sinyali sağladı. Çok kısa bir süre sonra SSCD uzaya gönderdikleri Sputnik-3'n radyo sistemine güneş pilleri sayesinde enerji iletebiliyordu. 1980'de GaAs tabanlı FV piller kritik uzay görevleri için kullanılmaya başlandı. Uzay savaşlarının sürdüğü bu 40 yıllık dönemde uzayda enerji ihtiyaının karşılanabilmesi için FV teknolojisi çok sayıda Ar-Ge çalışmasının konusu oldu. Çoğu alışma CdS, CdTe, GaAs gibi yarı iletkenlerin özelliklerini iyileştirmeye ve maliyet tasarrufu sağlayacak ince film üretimini sağlamaya yönelikti [20].

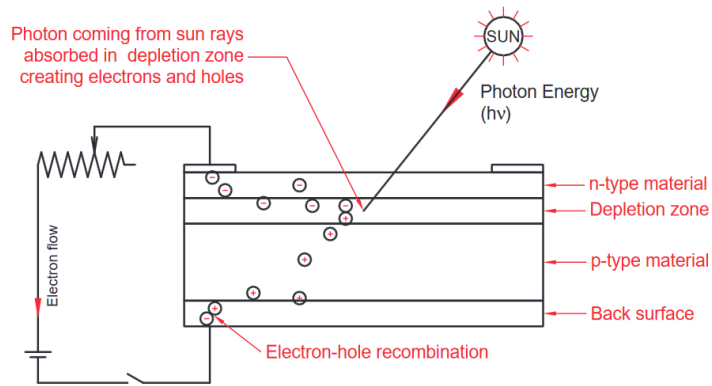
Petrol krizi (1974)'in baş göstermesiyle fosil yakıtlara bağımlı ayakta duran enerji sektörü büyük darbe yedi ve tükenebilir enerji kaynaklarının güvenilmez kaynaklar olduğu bir kez daha gözler önüne serildi. Bu kriz araştırma çağının başlangıcı olarak kabul edilir. 12 yıl süren bu dönem Çernobil Faciasıyla kapandı ve gösteriş dönemi başladı. Araştırma döneminde fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için devlet destekli Ar-

Ge çalışmaları ön plandaydı. Gösteriş döneminde sürdürülebilir enerji ile çalışan işletmeler özellikle Almanya, Amerika, Japonya merkezli olanlar yüksek bütçeli anansmanlarla kapasite artırımına gittiler [20].

Günümüzde özellikle iklim sorunları, küresel ısınma ve sürekli artan nüfusun enerji ihtiyacını karşılayamama korkusu ile sürdürülebilir enerji kaynaklarına sebep oldu. FV pil teknolojisi ise bu alanın en etki ve en aktif elemanı olarak öne çıkmaktadır.

1.5.2. Fotovoltaik

FV tek güneşten yayılan radyasyondan elektrik eldivesinin en temel yoludur. 19.yy başlarında Becquerel'in keşfettiği fotobotaik etki prensibine dayanır [22]. Güneş pili (bireysel FV materyalinin ismi) değerlik bandı olarak nitelendirilen enerji bandındaki zayıf bağlantılı elektronlara sahip yarı iletken özelliğe sahip materyallerden elde edilir. Bir değerlik elektronu, bant aralığı enerji olarak bilinen ve belli bir eşiğin üzerinde olan enerjiye maruz kaldığında bağları kopar ve "iletim" yapabileceği "iletim bandı" denilen yeni bir enerji bandında serbestleşir. Bu şekilde iletim bandını serbest elektronları değerlilik bandından bant aralığıyla ayrılır. Bir elektronun serbest kalması için gereken bu enerji ışık parçacıkları (fotonlar) aracılığıyla elde edilir. FV piller ve güneş ışınlarına maruz kalınca fotonlar değerlilik elektronlarına çarpar ve onları kırıp iletim bandına pompalar. Bu bölgede iletim bandının elektronların bağından toplandığı özel üretilmiş bir geçici kontak bu tip elektronları dış devreye aktarır. Elektronlar motor, pompaya vb. makineleri çalıştırarak aydınlatma vb. dış devre işlerinde enerjilerini kaybederler. Elektronlar ikinci bir seçici kontak yoluyla devrenin geri dönüş döngüsü tarafından güneş hücresine geri yüklenirler. Bu şekilde başladıkları aynı enerjiyle değerlik bandına geri dönerler. bu elektronların dış devre kontaklarındaki hareketi elektrik akımı olarak nitelendirilir [2].



Şekil 1.7. Fotovoltaik hücre yapısı

Yer kabuğunda bol miktarda bulunan silikon (Si) modern çağın güneş pili teknolojisinde en fazla kullanılan malzemedir. Genel olarak kristal formu (c-Si) kullanılan bu malzeme sektörün %90'lık üretim hacmine sahiptir [21].

Yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucunda güneş enerjisi absorpsiyonu daha yüksek materyaller elde edilmiştir. Bunlar amorf silikon(a-Si), bakır indiyum galyum diselenid (Cu(InGa)Se₂, CIGS ya da kadmiyum tellür (CdTe)'dir. Daha efektif sonuçlar elde edilmesine rağmen ticari sorunlar ve Ar-Ge çalışmalarının devam ediyor olması sebebiyle bu materyallerin üretimi kısıtlı seviyededir [21].

Güneş panelleri küçük olanlardan yoğunlaştırıcı mercekler veya aynalar yardımıyla daha fazla enerji elde edilebilir. Bu şekilde pahalı materyallerden tasarruf edilebilirken pil yüzeyinin sürekli güneş ışınları dik almasını sağlayacak hareketi izleme mekanizmalarının gerekliliği sisteme komplike bir yapı kazandırır [21].

Pratikte, çok sayıda güneş pili birbirine bağlayarak elektrik enerjisi elde edilir. İnverter aracılığıyla DC akım AC akıma dönüştürülerek şebeke elektriği olarak kullanılabilir veya sonradan kullanmak üzere depolanabilir.

Dünya'da nüfusun artışıyla birlikte enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için farklı enerji türlerine yönelmiştir. Modüler oluşu, uzun ömrü, sessiz ve emisyonuz oluşu FV teknolojinin yıldızı parlamıştır. Mevcut teknoloji yüksek miktarda enerji eldesi sağlamasına rağmen malzeme teknolojidaki yenilikler bu alanda daha büyük beklentiler oluşmasına sebep olmuştur [23].

1.5.3. FV Panel Modeli

İçinde bulunduğumuz toplum yüksek enerjili ve tüketici odaklı bir yaşam tarzı benimsemektedir. Petrol krizinden sonra toplum fosil yakıtlardan temiz enerjiye yönelmiştir. Özellikle enerji dönüşümü ve elektrik üretimi açısından güneş panelleri en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji türü olmuştur. Fakat bu yaygın kullanımına rağmen güneş panelleri gün içinde panellere düşen ışıma ve dış ortam koşullarının sürekli değişmesinden dolayı panel elektriksel parametrelerini (voltaj/akım vb.) olumsuz etkiler. Bu yüzden bulunduğu koşullara ve özelliklere göre pil davranışların taklit edebilen FV sistemlerin çalışmasını izleyen I-V karakteristiğine uyan modele sahip olmak önemlidir. Geçişten günümüze FV hücre karakteristik modeli için, en az bir diyot ve bir dirençten oluşan bir eş değer model kullanılarak sistem çıkış gücünü doğru bir şekilde tahmin eden tek, çift, üçlü ve R_s diyot modelleri önerilmiştir [24]. Tek diyot eşdeğer modeli diğer

diyot modellerine kıyasla güç hesaplamaları için yeterli doğruluğu ve güç hesaplamaları için daha az algoritma içerdiği için günümüzde en çok tercih edilen model olmuştur.

Tek diyot modeli bir paralel diyot, bir seri şönt direnci ve iki fotoakım kaynağından oluşan FV hücresini temsil eden bir eşdeğer devreden oluşturur. Bu devre fotovoltaiik sistemin en küçük yapı taşlarını meydana getirerek güneş pili davranışlarının matematiksel olarak modellememize olanak sağlar[25]. Modelin amacı fotovoltaiik sistemdeki sıcaklık, voltaj, akım, güneş radyasyonu ve maksimum güç parametrelerinin arasındaki ilişkiyi bulmaktır [10].

İdeal Tek Diyot Devresi

FV hücre, üzerine aşı düşene kadar diyot gibi davranır. Işığa maruz kaldığında fotonlar elektron hareketini sağlayarak bağlantı boyunca potansiyel farkın oluşmasına ve devreden akımın akmasını sağlar. Bu akım fotoakım, fotovoltaiik etki veya I_{pv} olarak adlandırılır. I_{pv} 'nin büyüklüğü iletken malzeme kapasitesinin yanında gelen ışığın akısına da bağlıdır.

Eşdeğer Diyot Devresi

Güneş modülü gerekli voltaj çıkışını elde etmek için seri ve paralel bağlanmış FV hücrelerinden oluşur. İdeal PV hücresi karakteristiği için temel denklemi:

$$I_{pv,cell} - I_{o,cell} \equiv \left[e^{\frac{qV}{\alpha kT}} - 1 \right] \quad 1.3$$

q (C) elektron yükünü, k (J/K) Boltzman sabitini, α diot idealite sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklığı temsil eder.

Bu denklem tek başına PV dizisinin karakteristiğini temsil etmez. Çünkü pratik diziler birbirine bağlı birkaç PV hücreden oluştuğu için bu denkleme başka parametrelerine dahil edilmesi gerekmektedir. Bunlar:

$$I = I_{pv} - I_o \left[e^{\frac{V+R_s I}{V_t \alpha}} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{V_t} \quad 1.4$$

FV cihaz voltaj kaynağı bölgesinde güçlü bir seri dirence ve daha büyük etkiye sahip paralel dirence sahiptir. Burada seri direnç düşük ve paralel direnç yüksek olduğundan modelde varsayımı kullanılmaktadır, Bu da diyot doyma akımı ile verilir:

$$I_o = \frac{I_{pv} + K_1 \Delta T}{e^{\frac{V_{oc} + K_v \Delta T}{V_t \alpha}} - 1} \quad 1.5$$

I_o sıcaklık ve kuvvete bağlı olduğundan sıcaklığın etkisi gerilim sıcaklık katsayısına göre açık devre gerilimine neden değişim olarak gösterilir. Denklem basitleştirilirse V_{oc} ve I-V bölgelerinde hatasını telafi eder.

$$I_{pv} = (I_{pvn} + K_1 \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad 1.6$$

Işık akımının modellenmesi gösterilmiştir. G cihaz başına ışınlım, G_n nominal ışınlım olarak adlandırılır.

I_{lon} nominal doyma akımıdır.

$$V_t = \frac{N_s k T}{q} \quad 1.7$$

V_t diyot termal voltajıdır, N_s seri hücre sayısı. Büyük miktarda voltaj ve akım çıktısı için hücreler seri bağlanır.

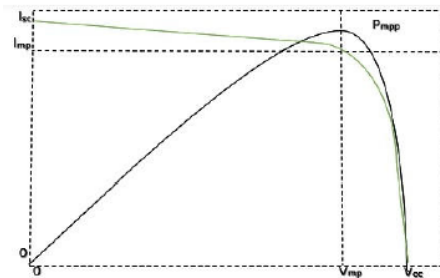
fotovoltaik hücrenin alt bağlantısı N_p 'den meydana geliyorsa

$$I_{pv} = I_{pvcell} * N_p \quad 1.8$$

$$I_o = I_{o,cell} * N_p \quad 1.9$$

Doyma akımı ve fotoelektrik akımı çıktısı gibi olur.

Denklem 1.8 seri R_s ve paralel R_{sh} dirençleri bilinmeyen bir modülün denklemidir ve bu değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Matematiksel olarak Şekil 1.18'de türetilen denklem 1.9 temelde I-V arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Bu şekilde ortaya üç açık nokta çıkmaktadır.



Şekil 1.8. Fotovoltaik I-V karakteristiği [27]

Bu noktalar şu şekildedir değişkenler;

- Açık devre koordinatlarını (V_{oc} , 0)
 - Kısa devrenin koordinatlarını (0, I_{sc})
 - Maksimum güç noktasının koordinatlarını (V_{mp} , I_{mp}) belirler
1. Açık devre: Yük modülden ayrıldığında meydana gelen gerilim, açık devre gerilimi (V_{oc}) olarak isimlendirilir. Matematiksel açık devre gerilim hesaplaması bu şekildedir.

$$V_{oc} = \frac{a * k * T_{cell}}{q} \ln \frac{I_{pv}}{I_0} \quad 1.10$$

2. Kısa Devre: Kısa devrede modüle bağlı sıfır yük dirençli yük, kısa devre akımı (I_{sc}) olarak nitelendirilen akıma maruz kaldığında modelin uçlarında voltaj sıfırdır. Kısa devre ve akımın matematik sel hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$I_s = I_{pv} = K * G \quad 1.11$$

denklemdeki K sabittir.

3. Maksimum güç noktası: Maksimum Güç noktasında gerilim(V_{oc})e göre max gerilim elde edilir. Maximum güç noktasının matematiksel hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$V_{mp} \approx 0.8 * V_{oc} \quad 1.12$$

I_{mp} ve I_{sc} arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$I_m \approx 0.8 * I_{sc} \quad 1.13$$

1000(W/mz)değerindeki güneş radyasyonunu 25°lik eşit güneş sıcaklığını ve 1,5'e eşit spectrum dağılımını ifade eden en iyi çalışma koşullarına standart çalışma koşulları denir.

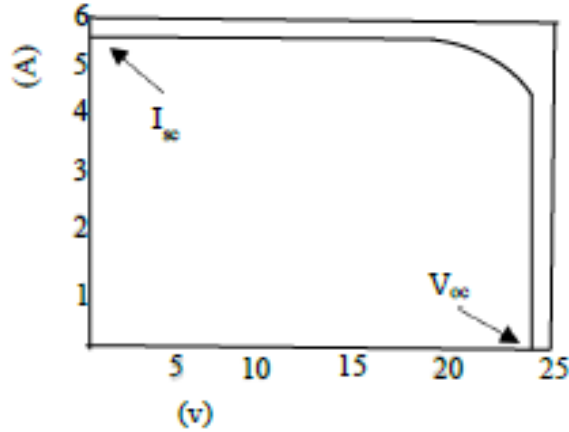
1.5.4. Güç Özellikleri

V_{pv} ve I_{pv} nın PV modüllerden maximum verim eldesi için kritik önemi şekil 1.8-1.9' larda gösterilmiştir. Sistemik bir FV hücrenin düzenli koşulları altında, akımın bir fonksiyonu olarak gerilimin davranışına yakından göz atabiliriz. Şekil 1.7'de mevcut gerilim ve akım özellikleri gösterilmiştir. Şekil 1.9'da gösterilen gerilim açık devre

tarafından sınırlandırılmıştır. I-V ilişkisine göre V_{oc} ve akım, kısa devre akımı I_{sc} yasasına göre belirlenmektedir. V_{pv} ve I_{pv} için çıkış enerji miktarı

$$P_0 = V_{pv} \times I_{pv} \quad 1.14$$

formülü ile hesaplanabilir.



Şekil 1.9. PV güç modülünün özellikleri [27]

1.6. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr güneşin yeryüzünün farklı bölgelerinin farklı derecelerde ısıtması sonucu ortaya çıkan basınç farklılığından dolayı oluşur. Ortaya çıkan kinetik enerji, rüzgâr türbinleri tarafından yakalanarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir [28]. Rüzgâr, bu türbinlerin kanatlarını iletken shaftın eksenine bağlı jeneratör aracılığıyla şebekeye gönderebilen ve hanelerde kullanılabilecek elektrik enerjisi üretir [28]. Genel olarak yerel rüzgâr hızına bağlı artıp azalan bu enerji türü için en uygun yerler kıyılara yakın bölgeler açık araziye sahip iç bölgeler veya su kıyıları ve bazı dağlık alanlardır. Proje yerleşimi için bu tür coğrafi bölge kısıtlamaları olmasına rağmen yerkürede rüzgâr enerjisi projeleriyle elektrik ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabilecek geniş alanlar mevcuttur [29].

Bu tür büyük ölçekli uygulamaları yanında rüzgâr türbinleri için orta ölçekli uygulamalar su elde etmek için şebeke dışı kullanımları bağımsız pil şarj uygulamaları için daha az miktarlarda elektrik eldesi gerektiği farklı uygulama alanları vardır. Maliyetin daha düşük tutulabilmesi amacıyla türbin projeleri için doğal rüzgârı yüksek olduğu coğrafi bölgeler tercih edilir, bunun sebebi rüzgârda ki güç potansiyelinin rüzgâr hızını küpü ile orantılı olmasıdır [29].

Bunun yanı sıra pratik bir rüzgâr tribünün bu güç üretim performansı tipik olarak ortalama rüzgâr hızının karesiyle daha orantılıdır aradaki fark rüzgâr türbinlerinin aerodinamik mekanik ve elektriksel dönüşüm özelliklerini ve verimlilikleri ile açıklanmaktadır. Bu sonuçlar bir türbin tarafından üretililecek enerjinin ve rüzgâr hızındaki her %10'luk artış için yaklaşık %20 artacağını ortaya koymaktadır. Rüzgâr enerjisi projesinin doğru konumlandırılması uygun bir girişim için büyük öneme sahiptir.

1.7. Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr enerjisi ve buna paralel gelişen rüzgâr türbin teknolojisi son 15 yılda yürütülen istikrarlı Ar-Ge çalışmaları sonucunda büyük ilerleme kaydetmiştir. Bu süreçte yüksek maliyet ve büyük risk olarak kabul edilen türbin teknolojisi proje maliyetlerini düşürüp %97 verimlilik seviyelerine ulaşarak bunun aksini ispat etmiştir rüzgâr enerji tesisleri doğru ve yüksek bir enerji rejimine sahip alanlarda %15'ten %30'luk enerji kapasitesine ulaşmıştır. Modern rüzgâr türbinleri otomatik olarak çalışır ve uçak kanatlarındakine benzer aerodinamik kuvvetle çalışın rüzgâr hızını düzenli olarak ölçen bir anemometre me sistemin rutin bir parçasıdır ve sürekli ölçüm yapar rüzgâr hızı rüzgâr türbini aktarma organlarındaki sürtünmeyi yenecek kadar yüksek olduğunda kontroller rotorun dönmeye izin vererek Çok az miktarda güç üretir. Burada bahsi geçen rüzgâr hızı yaklaşık 4m/s'lik hafif bir esintidir. Rüzgâr hızı arttıkça güç çıkışı hızla artar. Güç çıkışı makinenin tasarlandığı maksimum güce ulaştığında rüzgâr tribünü kontrolleri çıkışı nominal güce göre yönetir. Nominal Güce ulaşılan rüzgâr hızına türbini nominal hızlı dene ve yaklaşık 15 m/s'lik güçlü bir rüzgârdır. Sistem rüzgâr hızının artmaya devam etmesi durumunda kontrol sistemi tarafından kapatılır bu kesme rüzgâr hızı yaklaşık 25 m/s'lidir. Modern rüzgâr türbinlerinin ana bileşenleri şunlardır.

1. Rüzgârda ki enerjiyi motor milimine mekanik enerjiye dönüştüren 2 ya da 3 katlı rotor
2. Yavaş dönen rotor minimini elektrik jeneratörünü bağlayan dişli kutusu
3. Daha yüksek rüzgâr hızlarını yakalamak için motoru yerden yüksekte destekleyecek uzun kule
4. Şiddetli rüzgâr ve buzlanma da tribün devrilmesini engellemek için sağlam bir Türbini başlatıp durdurmak ve makinenin düzgün çalışıp çalışmadığını izlemek için kontrol sistemi [29].

1.7.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (HAWT)

Yatay eksen ve rüzgarın akış yönünde olacak şekilde tasarlanan türbin çeşididir jeneratör ve dişli kutusu yatay mine sabitlenmiştir, Trakya ise kulenin tabanına konumlandırılmıştır çoğunluğu rüzgara karşı tasarım konfigürasyonuna sahip modern türbinler MW Sınıfındaki küçük tribünlerden nominal güç çıkışı 20-150 kW'lık kapasitelere sahip büyük tribünlere denk çeşitlilik gösterir. 19 yüzyılda su pompalamak amacıyla kullanılan rüzgar tekerleklerden maksimum verim sağlayabilmek için büyük tasarımlara yönelmiştir modern rüzgar tribünlerinde ise amaç maksimum nominal güce erişmekte. Bunun için HAWT kule yüksekliği ve nota çapı büyük öneme sahiptir nokta çünkü rüzgâr hızı yükseklik arttıkça artar ve rötör çapı da belli bir çıkış bir gün seviyesine karşılayacak alanı belirler [30].

Özellikle ticari amaçlı kullanımın büyük bir bölümü HAWT ile sağlanır Özellikle elektrik üretiminde kullanılan HAWT'lar; 2-6 rotor adet sahip mikro türbinler aracılığıyla pil şarj uygulamalarında sıklıkla kullanılır. 80'lerden günümüze sıklıkla 2-3 rotor kanadından oluşan rotor rüzgâr yönünde ve rotor-rüzgâr Konfigürasyonlu tasarımlar Kullanılmaktadır rotor – rüzgar yönündeki tasarımı en önemli artışı, rüzgar yönüne göre o yaralanması adı. Bu şekilde güvenli ve maksimum kapasiteli çalışma gücüne sahip olunabilir. Elde edilen verilere göre rüzgâr hızındaki ani değişimler bu sistemin çalışmasının mümkün olmadığını ortaya koymuştur, bu dezavantaja çözüm olarak 3 kanatlı ve rüzgâra karşı rotor Konfigürasyon sunulabilir. Bu nedenle rüzgâra karşı rotor Tasarımları pazarı elinde tutan türbin konumundadır. Bir HAWT'ın güç çıkışı performansı, rotor çapı (D) ve göbek yüksekliği (H) Arasındaki değer bire yakın seçilerek optimizasyon sağlanabilir nominal güç çıkışı, kurulu elektrik jeneratörü ünün izin verilen maksimum güçtür. Kontrol mekanizması, Rüzgâr hızının yüksek olduğu günlerde bu gücün aşınmasını engelleyerek Türbini korur. Rutinde 2 veya 3 kanatlı kullanılan kanatlı türbinler; daha ucuz olmasına rağmen hızlı dönmesi ve buna bağlı görsel titreme efekti oluşturur. Rutinde rüzgâr yönünde kurulan 2 bıçaklı türbinler 3 bıçaklı alanlara kıyasla düşük aerodinamik benim sağlar ve 3 Bıçakla ya kıyasla daha çok sorun ve rahatsızlığa sebep olur. 2 kanatlı tribünlerdeki sallanma mekanizması sayesinde eğilme momentleri rotordan Mekanik mile iletilemez. Bu yapı, Sert yapıdaki 3 kanatlı rotor Konfigürasyonunda dan daha esnek, daha hafif ve kimi bileşenleri daha kompaktır. Bu şekilde daha düşük maliyetlidir [30].

1.7.2. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (VAWT)

Dikey eksenli rüzgâr türbini (VAWT) ana rotor şaftının rüzgârın geliş yönüne göre dikey bir şekilde konumlandırıldığı, dişli kutusu ve elektrik motoru gibi ana elemanların türbinin alt kısmına yerleştirildiği RT tipidir. Rüzgâr geniş yönüne dik olacak şekilde tasarlandığı için dikey eksenli RT(VAWT) denilmektedir.

Ana sistem bileşenlerinden olan jeneratör ve dişli kutusunun kule tabanına monte edilebilmesi bu bileşenlerin servis ve onarımını daha da kolaylaştırmıştır. Dikey tasarım aynı zamanda rüzgârı tüm yönlerden alabildiği için rüzgâra yöneltilmelerine gerek yoktur. Bu yüzden rüzgâr yönünün tespiti için gereken sensör ve mekanizmalar VAWT’larda kullanılmamaktadır. VAWT düşük güç çıkış kapasitesine sahiptir. Bu sebeple elektrik şebekelerinin bulunmadığı yerlerde pil şarj etmek amacıyla sıklıkla kullanılır. Sınırlı kapasitede ve düşük verim sebebiyle, telekomünikasyon direkleri, uzak deniz fenerleri için pil şarj uygulamaları için VAWT kullanımı yaygın bir uygulamadır. HAWT’lar kadar verimli değildir. Aynı seviyede verimi yakalamak adına daha büyük VAWT’lar üretilmesi gerekmektedir. Kullanılacak malzemenin çokluğu maliyet açısından uzun vadede uygun maliyetli değildir [30].

Rutin kullanımda 2 tip VAWT kullanılır. Bunlar Savanious ve Darrieus rüzgâr türbinleridir.

1.7.2.1. Savanious Rüzgâr Türbini

Savanious rüzgâr türbini: DNA sarmalına benzeyen, temelde dikey şaftın etrafına inşa edilen kanatlardan oluşur. Kanatların geniş ve sağlam rüzgâr alan yüzeyleri bu türbin türünün en önemli özelliğidir. Savanious Rüzgâr türbinleri rotorlarını döndürmek için akış direnci mekanizmasını kullanırlar. Özetle, kanatlara karşı rüzgârı dinamik basıncı rotoru dönmeye iter. Bu süreçte, kanatların karşı tarafı bir aerodinamik direnç “sürüklenme” kuvvetiyle karşılaşır. Temelde tribüne doğru gelen sürekli bir hava akımı vardır. Bu nedenle bu rüzgâr türbinleri ancak rüzgâr hızı kadar hızlı dönebilir [17].

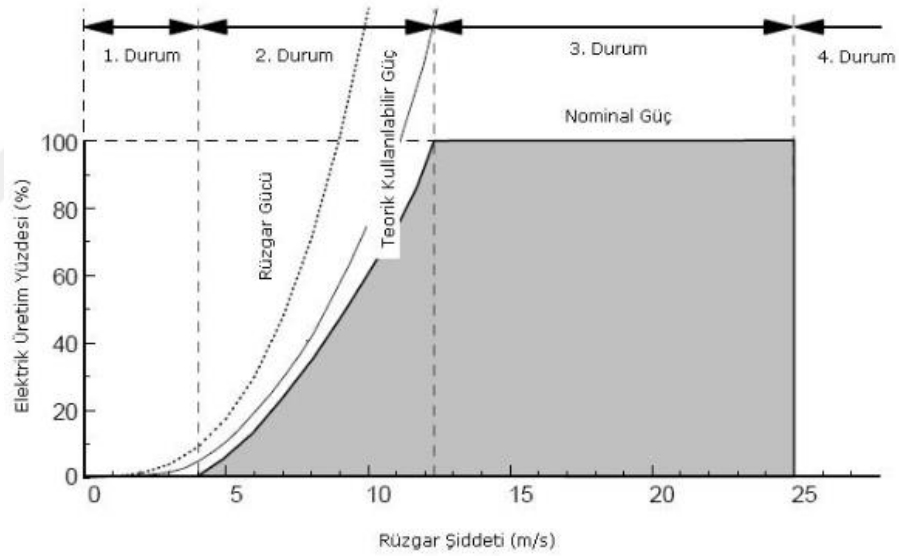
1.7.2.2. Darrieus Rüzgâr Türbini

Genel olarak yumurta çırpıcı olarak adlandırılan ve Fransız mucit Georges Darrieus tarafından icat edilen bu türbinler, her bir ucu rotor milinin üstüne ve altına tutturulmuş uzun, kavisli kanatlara sahiptir. Türbin kanatları geometrik bir aerodinamik forma sahip olduğundan yüksek performans gösterir. Bu türbinler kanatlarındaki hafif eğim sayesinde kanat üzerindeki çekme gerilimleri minimuma inmektedir. Bu yüzden

Savanius türbinleri kadar sürtünmeye maruz kalmazlar. Darrieus Tribünleri ilk hareket için bir tahrik motoruna veya Savanius Rüzgâr tribününe ihtiyaç duyar [28].

1.7.3. Rüzgâr Türbini Güç Eğrisi

Güç eğrisi ortalama gücün ortalama rüzgâr şiddetine bağlıdır. Bir rüzgâr türbininin üretebileceği güç, güç eğrisi ortalamasıyla ölçülebilir. Ortaya çıkabilecek dört farklı durum vardır. Bunlardan ilki; ortalama rüzgâr şiddeti başlama hızından düşüktür ve elektrik üretmez. Türbin hareketsiz kalıp enerji üretmez. İkinci durumda; ortalama şiddet başlama hızından yüksektir ve enerji üretimi mevcuttur ama sistem üretilen maksimum elektrik için düzenleme yapar. Üçüncü durum, ortalama şiddetin elektrik üretebilecek (nominal) şiddeti geçmesi durumunda türbindeki fren sistemi vb. sistemlerde palaların hızının en uygun seviyeye düşürülmesidir. Dördüncü durumda ortalama şiddet türbin tasarımının kaldırabileceği en yüksek hızı (cut-off) aşar ve kapatılması gerekir. Kapatılmayan sistemde hasar oluşu ve enerji üretmez [21].

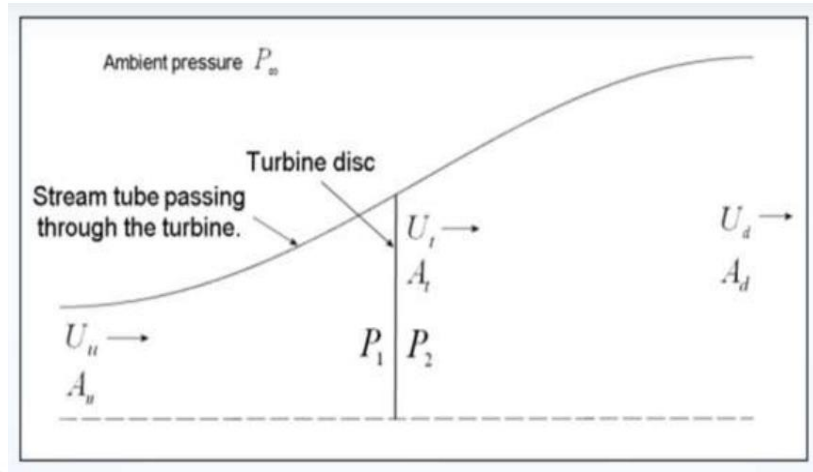


Şekil 1.10. Rüzgâr türbini güç çıktısı [22]

1.7.4. Betz Limiti

Rüzgâr türbinlerinin rotoru hava akımındaki enerjiyi hapsederek rüzgâr hızına etkir. Bir rüzgâr türbini kurmadan önce bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli teorik olarak hesaplanmalıdır. Bir rüzgâr türbininde rotoru terk eden havanın hızı azalarak teğetsel olarak sapar. Rüzgâr gücü ölçülürken kinetik enerji formülü kullanılır. Türbine giren ve çıkan rüzgâr enerjisi arasındaki fark elde edilen enerjidir [23]

Rüzgâr kanalı giriş hızı U_1 , kanat düzlemindeki hız U_2 ve çıkış hızı ise U_3 olarak verilmiştir. Kanal boyunca hız U_1 den U_3 ' e düşmektedir.



Şekil 1.11. İdeal bir Betz rüzgâr türbini üzerinden hava akışı ve hava hızları [34]

$$W_w = V_a \frac{\rho}{2} (U_1^2 - U_3^2) \quad 1.15$$

Rüzgâr türbinin gücü (P_w) şu şekilde ifade edilir

$$P_w = \frac{dW_w}{dt} = d \left[\frac{V_a \frac{\rho}{2} (U_1^2 - U^2)}{dt} \right] \quad 1.16$$

Türbin rotorundan geçen hava hacmi akışı

$$\frac{dV_a}{dt} = A_R V_2 \quad 1.17$$

Yarı kararlı halde güç

$$P_w = A_R \frac{\rho}{2} (U_1^2 - U_3^2) U_2 \quad 1.18$$

Türbin işletme koşullarını ve güç absorpsiyonunu; rüzgâr hızı, efektif alan (A_R) ve bu değerlerde meydana gelen değişiklikler belirler. Rüzgâr türbininde maksimum güç ($P_{W_{max}}$) üretmek için Betz limitini belirler, aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir,

$$P_{W_{max}} = \frac{16}{27} A_R \frac{\rho}{2} U_1^3 \quad 1.19$$

Rotordan geçen havanın ortalama hızının, türbine giren/çıkan rüzgarın hızının ortalaması olduğu varsayılarak ve (A) rüzgâr türbin kanadının süpürme alanını; rotordan geçen havanın kütlesi (m),

$$m = \rho A \frac{(U_1 + U_3)}{2} \quad 1.20$$

Newton'un ikinci kanununa göre rotor tarafından elde edilen güç (P),

$$P = \frac{1}{2} m (U_1^2 - U_3^2) \quad 1.21$$

$$P = \frac{\rho}{2} (U_1 - U_3)(U_1 + U_3) \quad 1.22$$

Rotorun rüzgârı engellemediği varsayımı yapılarak, aynı anda aynı alanda geçen havanın gücü (P_0),

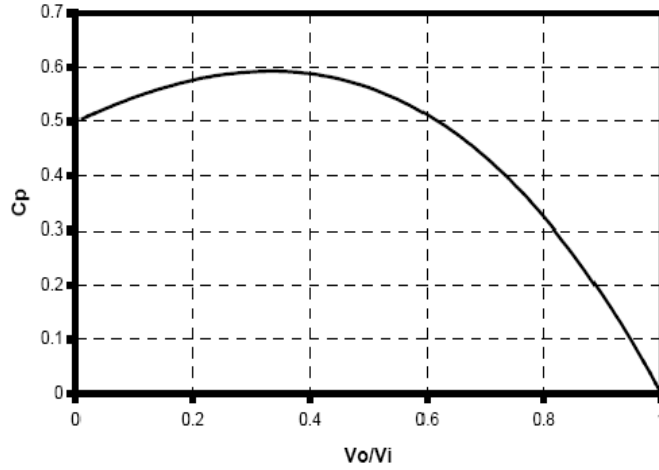
$$P_0 = \frac{\rho}{2} U_1^3 A \quad 1.23$$

ρ ve P_0 arasındaki oranın verim katsayısı (C_p) denir.

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{\rho}{4} (U_1^2 - U_3^2)(U_1^2 + U_3^2)A}{\frac{\rho}{2} U_1^3 A} \quad 1.24$$

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{\rho}{4} (U_1^2 - U_3^2)(U_1^2 + U_3^2)A}{\frac{\rho}{2} U_1^3 A} \quad 1.25$$

$$C_p = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{U_3}{U_1} \right) \quad 1.26$$



Şekil 1.12. Cp Maksimum Güç Katsayısı Grafiği [32]

Yukarıdaki eğriden de görülebileceği gibi fonksiyon maksimum değerini

$$\frac{U_3}{U_1} = \frac{1}{3} \quad 1.27$$

değerinde ulaşmıştır. Elde edilen maksimum güç ise toplam rüzgâr gücünün

$$\frac{16}{27} = 0.593 \text{’tür.} \quad 1.28$$

Verim katsayısının pratik olarak alabileceği değerler 0.10-0.45’ tir [33]

Uç Hız Oranı

Uç Hız Oranı (TSR) türbinin dönüş hızının serbest akış hızına oranını ifade eder.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_\infty} \quad 1.29$$

Yukarıda yazılanlara göre bir türbinin çalışabilmesi için bir uç hız oranı seçilmelidir. Ancak türbinin mekanik enerjisi elektriğe dönüştürebilmek için serbest akış hızının yanı sıra uygun jeneratörün varlığı da önemlidir. Uygun TSR’ı seçebilmek için belli bir Reynolds sayısında bir CP-TSR grafiği oluşturulur. Bu şekilde maksimum verimi sağlayacak optimum TSR kolayca belirlenebilir. Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır ve belirli akış koşullarında bu iki tip kuvvetin göreceli önemi nicelleştirir [35].

Aynı anda iki farklı sıvı akışı durumu arasındaki dinamik benzerliği saqlarken laminar ve türbülanslı akış gibi benzer bir sıvı içindeki akış rejimlerini karakterize etmek amacıyla kullanılır.

- Laminer akışın viskoz kuvvetler etkisinde olması sebebiyle düşük Reynold sayılarında gerçekleşir. Pürüzsüz, sabit sıvı hareketi ile karakterizedir.
- Türbülanslı akış esasen kaotik girdaplar ve diğer akış kararsızlıkları üretme eğilimi gösteren yüksek Reynold sayılarında oluşan atalet kuvvetlerinin etkisindedir. Bu şekilde

Fark edilebileceği üzere tahmini olgular kararsız, türbülanslı akışla ilgilidir.

$$Re = \frac{\text{inertial forces}}{\text{viscous forces}} = \frac{\rho v c}{\mu} = \frac{v c}{u} \quad 1.30$$

burada: ρ sıvının yoğunluğu, v , sıvıya göre nesnenin ortalama hızı, c kanat profilinin akoru, μ sıvının dinamik viskozitesi, u sıvının kinematik viskozitesidir.

Cp (Güç Katsayısı)

Boyutsuz bir parametre olan Cp güç katsayısını ifade eder. Bizim kullandığımız şekilde tribünün akıştan çekebildiği güç miktarı ifade eder. Bu şekilde Cp akıştan çıkarılan gerçek gücün akıştan elde edilen güce oranıdır. Serbest akan bir akışın kinetik enerjisi tarafında üretilen gücün denklemi şu şekildedir:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho S V_\infty^3 \quad 1.31$$

S kesit alanı, P_a rüzgârdan elde edilen güç

$$P_t = M \omega \quad 1.32$$

M toplam moment olmak üzere türbinden çekilen güç bu şekilde tanımlanır. Güç kat sayısını elde edebilmek için 1.3 ve 1.5 numaralı denklemleri birleştirebiliriz,

$$C_p = \frac{P_t}{P_a} = \frac{M \omega}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^3} \quad 1.33$$

Yukarıda belirtildiği üzere serbest akışın hangi uç oranında daha fazla güç çektiğini belirlemek adına Cp-TSR grafiği oluşturulur. Cp değerinin ideal değeri 1'dir.

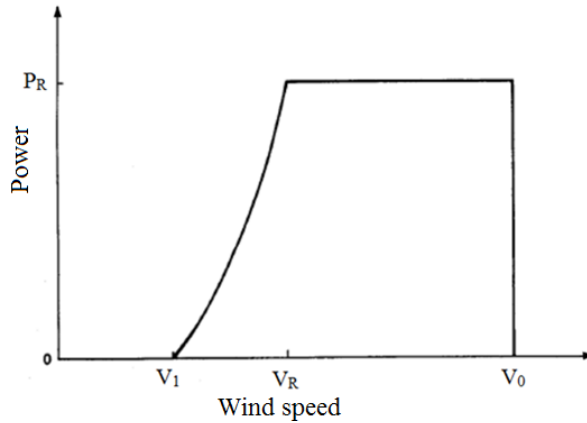
Ama bu sonuca ulaşılmak imkansızdır. Alman fizikçi Albert Betz tarafından yapılan çalışmalarda maximum verimlilik 16/27 'ye (0.59) olarak saptanmıştır [35].

1.7.5. Rüzgâr Türbininden Elektrik Enerjisi Üretimi

Rüzgâr türbini: rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjinin rüzgâr kanatlarına çarptıktan sonra mekanik güce ve bu gücün jeneratöre iletilmesiyle elektrik güce dönüşü. başlangıçta rüzgârın sahip olduğu güç, türbinden geçtikten sonra mekanik güce ve bu gücün jeneratöre iletilmesi sonucu elektrik gücüne dönüşmektedir. Rüzgâr türbinleri η_m mekanik sistem verimi ve η_e elektrik sistem verimini temsil eder. Bu durumda v hızında sahip rüzgârın türünde olacağı elektriksel güç;

$$P_e = C_p \eta_m \eta_e \frac{1}{2} \rho A v^3 = C_T \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad 1.34$$

ile ifade edilir. Burada C_T rüzgâr türbinin verimini ifade etmektedir. Şekil rüzgar türbini güç eğrisinde V_1 (Cut-in) hızıyla, (P_R , rated power) hızında normal üretimine başlar ve V_R hızında en büyük değere ulaşır. Türbin nominal güç üretimine ulaştıktan sonra, kendini yavaşlatarak V_0 (Cut-out) kesme hızına ulaştığında kendini kapatarak güç üretmez [36].



Şekil 1.13. Bir rüzgâr türbininin güç üretim eğrisi.

Rüzgârın sahip olduğu kinetik enerji kayıplar nedeniyle hiçbir zaman tamamıyla elektrik enerjisine dönüşmez. Rüzgârdan üretilebilecek güç, P_{Ge} türbin güç eğrisi kullanılarak hesabı yapılır. Rüzgâr türbin modeli için elektriksel güç üretimi denklemleri aşağıda verilmiştir [37].

$$P_{Ge} = \begin{cases} 0, & v < v_1 \\ a + bv^k, & v_1 \leq v \leq v_R \\ P_R, & v_R < v \leq v_0 \\ 0, & v > v_R \end{cases} \quad 1.35$$

Burada sınır değerleri $a = \frac{P_R V_1^k}{V_1^k - V_R^k}$ ve $b = \frac{P_R}{V_R^k - V_1^k}$ bulunarak Türbinden üretilebilecek enerji miktarı E_{Ge} ;

$$E_{Ge} = T \left(\int_{v_1}^{v_R} (a + bv^k) f(v) dv + P_R \int_{v_R}^{v_0} f(v) dv \right) \quad 1.36$$

olarak ifade edilir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada hareket halindeki Elektrikli Taşıtlarda yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak aracın sürüş mesafesini arttırmaktır. Bu amaç doğrultusunda 2018 yılında Dünya'nın En İyi Otomobili seçilerek, EA arasında bir ilki başarmış olan NISSAN Leaf Elektrikli Aracı seçilmiştir. Söz konusu aracın teknik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Nissan Leaf tablo değerleri

Toplam Elektrik Gücü	217 PS / 214 HP / 160 kW
Toplam Elektrik Tork	340 Nm / 250 lb-ft
Maksimum Beygir Gücü	218 PS /215 HP/160 kW
Maksimum Tork	340 Nm / 250 lb-ft
Menzil (WLTP)	385 Km / 239 miles
Ortalama Enerji Tüketimi (WLTP)	18 Kwh / 100 km (0.29 kWh/mile)
Battery Type	Lithium-ion
Şarj Süresi	10:20 (H:m)
Şarj Süresi (Hızlı Şarj)	00:28 (H:m)
Güç	100 kWh
Akü Kapasitesi	62 kWh
Maksimum Sürat/Azami Hız	144 Km/h / 98 Mph
Hızlanma 0-100 km/saat(sn)	7.1 S

Araca yenilenebilir enerji kaynağı olarak destek olmak için rüzgar türbini ve güneş paneli seçilmiştir. Güneş paneli özellikleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Semi-flexible Solar Panel 150 Watt

Nominal Power (Pnom)	150 W
Power Tolerance	+6/-3%
Rated Voltage	18.8 V
Rated Current	5.9 A
Open-Circuit Voltage	21.6 V
Short-Circuit Current	2.9 A
Module Efficiency	%14.5
Power Tolerance	%3
Size	70*51 cm

2.1. Sayısal Çözücü Kurulumu

Çalışmada Navier-Stokes Reynolds (RANS) denklemlerini çözmek için Ansys/Fluent yazılımı kullanılacaktır. Çözüm alanı dikdörtgen şeklindeki bölgeden oluşan durağan bir bölge, her bir türbin kanadı etrafını saran daire şeklindeki bölgelerden ve belli bir açısal hızla hareket eden türbin kanatlarının olduğu hareketli alandan oluşmaktadır.

Akış özelliklerini için kullanılan denklemler kütle ve momentum korunumu nedeniyle basınç ve hız arasında bir bağlantı sunduğundan projede basınca dayalı geçici çözücü yapıp SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

Hava yoğunluğu 1.225 kg/m^3 ve viskozitesi $1.7894 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ olarak ayarlanmıştır. Zaman adımı türbinin zaman başına adım sayısına bağlı olup, dönüş başına adım adım sayısına 1 dereceye karşılık gelen devir başına 360 zaman adımına eşittir.

2.1.1. Akışkanlar Mekaniği

Akış üç boyutlu, sıkıştırılamaz, sürekli ve türbülanslı olduğu varsayılmıştır. Navier-Stokes denklemleri dahil edilmiştir. Proje için türbülans modeli olarak SST k- ω türbülans modeli seçilmiştir.

2.1.1.1. Yöneten denklemler

Simülasyon alanındaki akış parametrelerini çözmek için Navier-Stokes denklemleri sayısal olarak çözülecektir. VAWT'ların CFD simülasyonlarında sıklıkla havanın sıkıştırılamaz olduğu varsayılır. Bu simülasyonu basitleştirmek adına Newtonun akışkanlar için sıkıştırılamaz Navier-Stokes denklemleri kullanılacaktır [38].

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad 2.1$$

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} + f \quad 2.2$$

Burada u hız vektörü, μ dinamik viskozite ve f cisim kuvvetleridir. Türbülans, basınç veya sıcaklık benzeri birçok akış özelliğinde meydana gelen kaotik ve stokastik değişimlerle tanımlanan bir akış rejimidir. Türbülans doğrusal olmadığı için Navier-Stokes denklemlerinin tamamını çözmek gerçekçi bir hesaplama örneği olmayacaktır. Bu sebeple türbülans modelleneyecektir. Türbülans modelleme, tüm akış özelliklerini çözmek için sıklıkla kullanılan 0,1,2 ya da Reynold denklemleri ile türbülanslı miktarın(girdap viskozitesi) hesaplanmasına dayanır. Navier-Stokes Reynolds (RANS) ayrıştırmasına

göre ortalama hız ve dalgali hız bileşenlerine ayrılarak Reynolds Ortalama Navier-Stokes denklemi elde edilir. Korunum formundaki Reynolds ortalama denklemler aşağıdaki gibidir [38].

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad 2.3$$

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial}{\partial x_i} (U_j U_i + \overline{u'_j u'_i}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu S_{ij}) \quad 2.4$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \mu_j}{\partial x_i} \right) \quad 2.5$$

Boussines yaklaşımına göre, spesifik Reynolds stressen sörünün girdap disközitesi $-\overline{u'_j u'_i}$ ve yerel ortalama akış gerinim oranının bir ürünü olarak ifade edilebilir.

$$-\overline{\rho u'_j u'_i} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad 2.6$$

Navier-Stokes denklemini korunum formunda sadeleştirdikten sonra, RANS denklemi için daha yaygın olan ifade elde edilir.

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu S_{ij} - \overline{\rho u'_j u'_i}) \quad 2.7$$

Reynolds ayrıştırmasındaki adımların ve RANS denklemini elde etme adımlarının bir türevi sunulmuştur. Yukarıda da belirtildiği gibi Türbülans modellemesi girdap viskozitesinin hesaplanmasına, problemi kapatmak için kapanış fonksiyonları ve diğer denklemlerin oluşturulmasına dayanmaktadır. Farklı Türbülans modelleri bulunmakla birlikte k-e ve k- ω modelleri ve tek denklemlili Spalart-Allmaras Modelleri vardır.

2.1.2. Standart k- ω Türbülans Modeli

Türbülans viskozitesini çözmek adına türbülans kinetik enerji ve frekansının taşıma denklemlerini kullanan standart k- ω modeli ilk olarak Wilcox tarafından geliştirilmiştir. Bu denklemler şu şekildedir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (pk) + \frac{\partial}{\partial x_i} (pk u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad 2.8$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(p\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad 2.9$$

G_k ve G_ω ortalama hız radyonlarından w 'dan üretim terimleri olarak yazılır. Γ_k ve Γ_ω sırayla k ve ω 'nin etkin yayılımıdır ve türbülans sebebiyle oluşan dağılımdır. S_k ve S_ω ke kapanış modellerindeki gibi kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir. Türbülans viskozitesinin modellenmesi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_t = a^* \frac{\rho k}{\omega} \quad 2.10$$

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad 2.11$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad 2.12$$

$$a^* = a_\infty^* \left(\frac{a_\infty^* + \frac{Re_t}{Re_k}}{1 + \frac{Re_t}{Re_k}} \right) \quad 2.13$$

$$Re_t = \frac{\rho k}{\mu \omega} \quad 2.14$$

$$Re_k = 6 \quad 2.15$$

$$a_0^* = \frac{\beta_i}{3} \quad 2.16$$

$$\beta_i = 0.072 \quad 2.17$$

Ve yüksek Raynold sayısı akışı için:

$$a^* = a_\infty^* = 1 \quad 2.18$$

Diğer RANS modellerinden farklı olarak k - ω modelinde yolun duvar sönümleme ve fonksiyonlarının kullanılması gerekmez. Sonuçta Standart k - ω modelinin sinir alt katmanındaki diğer modellere göre çok daha doğru olduğu ispatlanmıştır. Standart k - ω modelinin basitliği çok daha sağlam sayısal kararlılık ortaya koyar. Sağladığı sağlam sayısal kararlılığın yanında sınır dışı ve kayma katmanları için belirtilen serbest akış değerlerine karşı sahip olduğu aşırı duyarlılık bu modelin eksi yönüdür ANSYS FLUENT 'te gösterilen düşük Raynold sayısı etkilerini sıkılaştırıla bilirliliği ve kaymalı akış yayılımının telafi edilmesi için son zamanlarda farklı modifikasyonlardan geçmiştir.

Bunun yanı sıra Menter'in yapmış olduğu duyarlılık çalışmasıyla türbülans viskozitesinde değişiklik gösterilen bazı belirsizlikler ortaya konmuştur [39].

2.1.2.1. k- ω Model (Shear- Stress Transport -SST)

SST k- ω modeli Johnson-King aldığı kayma gerilimi ile standart k- ϵ ve k- ω modellerinin gücünü harmanlar. Bu yöntemle k- ω SST modeli viskoz alt katman ve uzak duvar bölgelerinde çok iyi performans gösterir. Bu model sınırdan sıfır uzakta olan ke tipi model ile bir SST k- ω modelinin sınır katmanının içinde bir olan karıştırma fonksiyonlarının eklenmesi ile oluşur. SST k- ω modeli için taşıma denklemi aşağıdaki gibi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pk u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad 2.19$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(p\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad 2.20$$

K denkleminde G_k hala ortalama hız gradyanlarından türbülans kinetik enerjisi için üretim terimidir ancak standart k- ω modelinden farklı bir şekilde hesaplanır. D_ω ki ve ke modelleri arasındaki difüzyonun nihai harmanlama terimi için kullanılan çapraz difüzyon terimidir.

Johnson-King modelinin doğruluğu yüksek sonuçlarından yola çıkarak; türbülanslı kayma geriliminin dikkate alınması, aerodinamik uygulamalarda doğruluğu büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sonuçlara göre türbülanslı viskozite formülasyonu yine bir harmanlama fonksiyonu ile gerçekleştirilen duvarla sınırlı akışlardaki türbülanslı kayma gerilimini içerecek şekilde değiştirilmiştir. Türbülans viskozitesinin temsili:

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \frac{1}{\max \left[\frac{1}{a^*}, \frac{SF_2}{a_{1\omega}} \right]} \quad 2.21$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{k,1}} + \frac{(1-F_1)}{\sigma_{k,2}}} \quad 2.22$$

$$\sigma_\omega = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{\omega,1}} + \frac{(1-F_1)}{\sigma_{\omega,2}}} \quad 2.23$$

$$F_1 = \tanh(\phi_1^4) \quad 2.24$$

$$\phi_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09 \uparrow \omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4\rho k}{\sigma_{\omega,2} D_{\omega}^+ y^2} \right] \quad 2.25$$

$$D_{\omega}^+ = \max \left[2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10} \right] \quad 2.26$$

$$F_2 = \tanh(\phi_2^2) \quad 2.27$$

$$\phi_2 = \max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{0.09 \omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right) \quad 2.28$$

Burada s gerinim hızı büyüklüğüdür. F_1 ve F_2 harmanlama fonksiyonlarıdır. y en yakın yüzeye olan mesafedir ve D_{ω} nin pozitif kısmıdır.

Ayrıca durgunluk alanlarında türbülans oluşumunu engellemek için üretim sınırlayıcı getirilmiştir. Bütün bu değerlendirmelerin sonucunda $k-\omega$ SST modeli aerodinamik uygulamalar doğrultusunda diğer bütün RANS modellerinden daha iyi performans göstermiştir [39].

2.1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)

Hesaplı akışkanlar dinamiği ile akışkan akışlarının diferansiyel yönetim denklemlerini sayısal çözümlerini göstereceğiz. Bilgisayar aracılığıyla göstereceğimiz bu tekniğin çeşitli mühendislik uygulamaları vardır. Bu teknik aerodinamik araştırma alanında her geçen gün daha da önem kazanmakta ve turbo makinelerin incelenmesinde öne çıkmaktadır [40].

2.1.2.1. CFD'nin özellikleri

- CFD daha hızlı ve düşük maliyetlidir. Süreğelmış yöntemlerle kıyaslandığında problemlerin çözümü için ihtiyaç duyulan zaman ve maliyetlerden tasarruf edilmesini sağlamıştır.
- Elde edilen farklı çözümlerin bilinçli bir değerlendirmesi, istenen misyonların gerçekleştirilebilmesi için tasarım sürecinin ilk evresinde mevcuttur. Bu şekilde deneysel testler sadece CFD analizinden elde edilmiş birkaç model üzerinde yapılabilecektir.
- Modern rüzgâr türbinleri gibi büyük sistemlerde ya da aşırı termo-akış koşullarında ve dar alanlarda tam boyutlu analiz yapmak güçtür. Bu gibi durumlarda CFD 'de çalışması doğru bir seçimdir.

- CFD'nin en mühim özelliklerinden biri özellikle bilgisayar destekli yeni tekniklerin sağladığı detaylı çözümlerdir.
- Fiziksel problemlerin sayısal modelleri, yine çözüm şemaları ve türbülans modellerindeki en yeni matematiksel gelişmeler sayesinde iyi bir doğruluk ve güvenilirliğe sahiptir.
- Son 2 gelişmeden ötürü bir akışkan dinamiği probleminin tahmini için özel ve güçlü bir iş istasyonuna gerek olmaz. Çoğu zaman kişisel bir bilgisayar yeterli gelebilir.

Akışkanlar dinamiği probleminin sayısal modellemesi için ilk olarak fiziksel fenomeni kesin bir şekilde okumak gerekir. Geometri, malzemeler, sınır koşullarını içeren ilgilenilen tüm ilgili özellikler en basit şekilde tanımlanmalı, hipotezde aşırı hatalara sebebiyet vermeyecek şekilde ilk adında belirtilip açıklanmalıdır. Bunun yanı sıra, akışkanlar dinamiği problemlerinin doğru modellenebilmesi için bazı basitleştirmelerin yapılması kabul edilebilir [41].

2.1.2.2. CFD Kodunun Yapısı

Bilgisayarda akışkanlar mekaniği problemlerini çözmek için kullanıcı dostu bir arayüz, özellikle ticari kodlarda kullanıcıya çeşitli seçenekleri rahatça ayarlama ve sonuçları analiz etme imkanı sağlar. Temelde 3 ana bölümden oluşan CFD kodunda her bölüm problem analizinin 3 aşamasına karşılık gelir. Bunlar:

Önişlemci

Bu bölümde fiziksel problem matematiksel problemlere uygulanır. Hesaplama alanı tamamlandıktan sonra ağda ızgarayı oluşturan sayısı belli elemanlara bölünür. Sınır koşulları ve akışkan özellikleri belirlenir. Bir akışkan dinamiği probleminin CFD çözümü, hesaplama ızgarası içinde iyi tanımlanmış konumlar için yerel olarak verildiği için, küresel doğruluk büyük oranda toplam eleman sayısına bağlıdır. Başparmak kuralına göre; eleman sayısının artması çözüm doğruluğunu da arttıracaktır ama buna bağlı olarak CPU (işlemci) eforu ve total yakınsama süresinde de artış olacaktır. Sonuçta optimum ızgara tipinde çeşitlilik sağlanmalı, değişken gradyanlarının yüksek olduğu yerlerde ince, akıştaki yumuşak değişikliklerle karakterize edilmiş alanda daha kaba olmalıdır. Bir CFD simülasyonunun mutlak başarısı temelde ön işlemin doğruluğu ile bağlantılıdır. Bu yüzden ağ ve sınır koşullarının seçimi dikkatle yapılmalıdır [41].

Çözücü

CFD kodunun çekirdeği sayısal çözüm algoritmasıdır. Tüm ana CFD çözücülerinin çalışma prosedürü şu şekildedir:

- Problem bilinmeyenlerinin basit Analitik fonksiyonlarla modellenmesi
- Yukarıda bahsi geçen fonksiyonların yerine konulması ile uygun şekilde değiştirilen akışkan atışları için yönetim denklemlerinin ayrıklaştırılması
- Cebirsel denklem sisteminin çözülmesi

Ticari CFD kodlarının Büyük bir kısmı (Fluent vs.) sonlu hacim ayrıklaştırmasından temel olarak aşağıdaki işlemleri gerçekleştirirler:

- Yönetim denklemlerinin hesaplama alanı içindeki her bir kontrol hacmi üzerine entegre edilmesi
- Ayrıklaştırma; konveksiyon ve difüzyon süreçlerinin cebirsel bir denklem sistemi eldesi için sonlu bir diferansiyel yaklaşımla ve mevcut ise kaynak terimleri ile yaklaştırılması
- Cebirsel denklem sistemlerinin yinelemeli yöntemlerle çözülmesi

Entegresyon aşamasında FV yöntemlerin diğer nümerik tekniklerden farkı ortaya konur. Yönetim denklemleri bütünleştirilerek, hesaplama alanındaki hücreler(sonlu kontrol hacimleri) her biri için temel özelliklerin korunumu ifade edilerek şu anda bile "kesin" olan yeni bir denklem seti elde edilir. Termo-akışkan dinamiği problemleri açısından sonlu hacim yaklaşımının tercih edilme sebebi korunumu ilkesidir [41].

İşlem Sonrası

İşlem sonrası tanımına çözüm sonuçlarının analizi dahildir. Çözücü çıktısı, verilen grid düğümleri ya da hacimlerle ilişkili bir dizi çözüm değişkenidir. Çözümün fiziksel bir simülasyonunu oluşturabilmek için bu veriler toplanarak, analiz için en uygun şekilde detaylandırılmalıdır.

Diğer çözücüler veri işlemek için harici bir araca ihtiyaç duyarken CFD yazılım paketleri (Fluent vs.) İçlerinde bir son işlem bölümü barındırır. Her iki seçenekle de aşağıda bahsedilecek olan işlem sonrası işlemler yapılabilir:

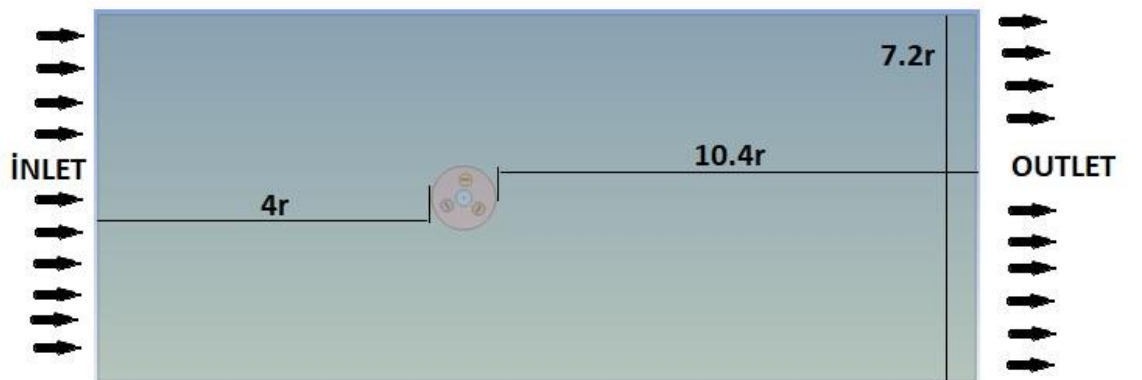
- Etki alanı ve ızgara görselleştirme

- Çözüm değişkenlerinin vektörel grafikleri
- Seçilen ana bölgelerindeki çözüm değişkenlerinin izometrik, seviye ve kontur grafikleri
- Doğrusal, yüzey, hacim integralleri
- 2 ve 3 boyutlu grafikler çizme
- Yol çizgilerini, akış izlerini vb. izleme
- Değişkenler içinde cebirsel ve Analitik işlemler
- Dinamik gösterimler, animasyonlar vb.

Genel olarak, çözülen akış alanını deneysel bir test durumu gibi ele alarak, verilen veri seti arasında ilginin odaklandığı "sanal" problemlerin ya da kontrol yüzeylerinin konumunu seçerek gerçek aletler kullanıyormuş gibi çalışılabilir [41].

2.4. CFD Türbin Tasarımı

Simülasyonda kullanılan türbin geometrisi Ansys Design Modeller kullanılarak H-tipi Darrieus Rüzgar Türbini modeli oluşturulmuştur. Eldeki imkanlar nedeniyle 3D türbin simülasyonu yapmak için gerekli donanımına sahip olunmadığından, gerçekleştirilen tüm simülasyonlar 2D türbinden oluşmuştur. Burada simülasyon alanının boyutlarına dikkat edilmelidir. Çünkü türbülans gibi akışlarda, duvarlar arasındaki küçük mesafeden kaynaklanan ters akış simülasyonda hatalara sebep olur. Bu yüzden Ansys Design Modeller ile türbin geometrisini oluşturulurken için Şekil 'de olduğu gibi türbin rüzgar giriş yönünden türbine kadar $4r$, türbin modelinin arka kısmından $10.4r$ ve genişliği $7.2r$ olan bir model oluşturulmuştur [42].



Şekil 2.1. Hesaplama alanı

Simülasyonda NACA türbin kanadı serisinden NACA0015 kullanılmıştır. Bu kanat profilinin seçilme nedeni ise; referansların çoğunda dikey eksenli türbinler için iyi bir seçim olduğu, simülasyonlarda simetrik yatay türbinlerde en çok kullanılıp en çok verimin elde edildiği 2 kanat profilinden (NACA0015 ve NACA0018) biri olmasıdır.

Simülasyonlarda kullanılan kanat profillerinde tanımlanan 4 basamaklı NACA serisinde; ilk rakam, kanat akorunun bir yüzdesi olarak maksimum kamberliği tanımlayarak,00 olması durumunda kanadın bombeli yapıya sahip olduğunu, ikinci basamak, kanadın maksimum kamberinin ön kenardan akorun onlarca yüzdesi cinsinden ulaşıldığı mesafeyi, son iki basamak ise kanat akorunun yüzdesi olarak maksimum kalınlığı tanımlar. Türbin tasarımın basitliğini sağlamak için, türbinin kanat destek kolları simülasyonlarda dikkate alınmamıştır.

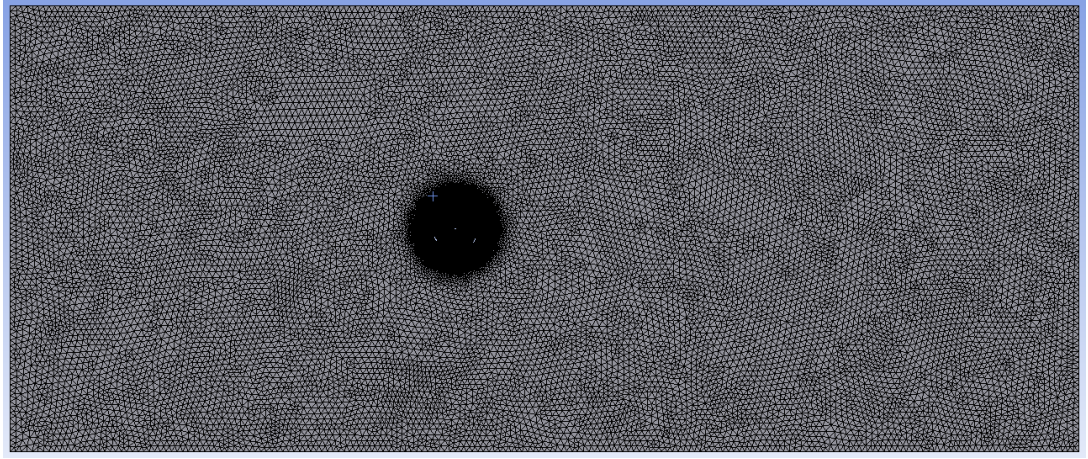
Tasarım küçük ölçekli rüzgar türbini için gerçekleştirilmiştir. Türbin özellikleri Çizelge 2.3’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Kanat profili

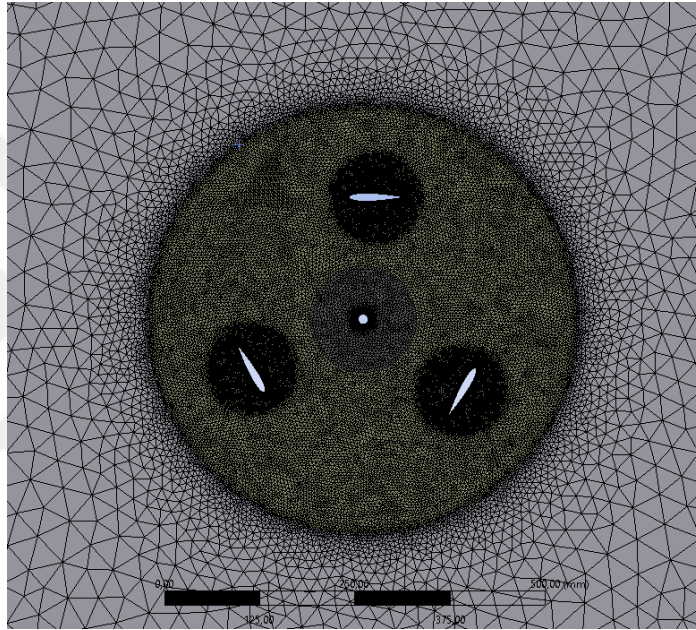
Kanat Profili	NACA0015
Veter uzunluğu (C)	0.082 m
Rotor çapı (D)	0.32 m
Kanat yüksekliği (H)	0.38 m

2.4.1.Ağ oluşturma topolojisi

Ağ (mesh) işlemi CFD simülasyonu için önemli bir adımlardan biridir. Burada CFD simülasyonunda Navier-Stokes denklemlerinin çözüleceği üçgen (tetrahedraller) kullanılarak türbin simülasyon alanı küçük hücrelere bölünür. Analitik sonuçlarının iyi çıkması bu adıma bağlıdır. Düşük yoğunluklu ve kalitesiz Mesh işlemeli simülasyon sonuçlarının gerçeklikten uzak çıkması neden olur. Ayrıca hücre sayısının yoğunluğu da simülasyon süresi ile doğru orantılıdır. Yani hücre sayısı arttıkça simülasyon süresi de artmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.2.a.b. Rüzgâr türbini ağ yapısı

Türbinün kanatlarının hareket bölgesini ayarlamak için kanat etrafına daire çizilmiştir. Kanatlar etrafındaki mesh kalitesini arttırmak için her bir kanat daire içinde alınmıştır. Bu oluşturulan alan hareket çerçevesi olarak belirlenmiş ve simülasyon yapılmıştır.

2.4.2. Sınır Koşulları

Geometri ve ağ oluşumundan sonraki kısım sınır koşullarının belirlenmesidir. Gerçekçi çözümler elde etmek için sınır koşulları dikkatlice incelenmelidir.

Bunun için: sol tarafta hava akışını simüle eden inlet (velocity inlet), sağ tarafta çıkış basıncı (pressure outlet), üst ve alt kısımlar kayma koşullarının uygulandığı alan,

türbin kanatlarının olduğu daire şeklindeki alan middle_area (mesh movion)' dan oluşmaktadır. Türbin dönen bir alanın içerisine yerleştirilmiştir.

Rüzgâr giriş hızı x ekseninde, büyüklüğü ise araç hızının ortalaması alınarak 25.08 m/s olarak seçilmiştir.

2.4.3.Simülasyon Modeli – Kurulum

Bu tezin simülasyonunda kullanılan sayısal çözücü kurulumu RANS denklemlerini çözmek için ANSYS/Fluent yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon bir durgun ve bir hareketli hareket çerçevesi (moving mesh) içeren iki alandan oluşmaktadır. Simülasyon için SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Hava yoğunluğu 1.225 kg/m³ seçilmiştir. Programda basınca dayalı çözücü seçildiğinden basınç eşleşmesi için SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

Çizelge 2.4. Çözücü ayarları

Sınır Koşulları	
Hız girişi	25.08 m/s
Basınç girişi	1.225 kg/m ³
Akışkan	Hava
Alt üst çıkışı	Specified shear
Türbülans yoğunluğu	%5
Viskosite	%10
Çözüm Ayarları	
Türbülans modeli	SST k-omega
Basınç	İkinci dereceden denklem
Momentum	Rüzgara karşı ikinci dereceden
Türbülans kinetik	Rüzgara karşı ikinci dereceden
Türbülans yayılım oranı	Rüzgara karşı ikinci dereceden
Basınç hız bağlantısı	SIMPLE
Hücre bölgesi türü	Moving Mesh

2.4.4. Zaman adımı hesaplama

Fluentte simülasyon zaman bağlı olarak hesaplanır. Kayan ağ problemlerinde zaman adımı türbinin dönüş hızına göre ayarlanır. Zaman adımının yanlış ayarlanması hassas çözümler sunmaz. Burada türbinin dönme hızını w (rpm) ayarlayarak başlar. Bir sonraki adım, radyan ve derece arasındaki ilişkiyi dikkate alarak bir derece dönmek için gereken zaman adımının hesaplanmasından oluşur:

$$u = \omega * r \quad 2.29$$

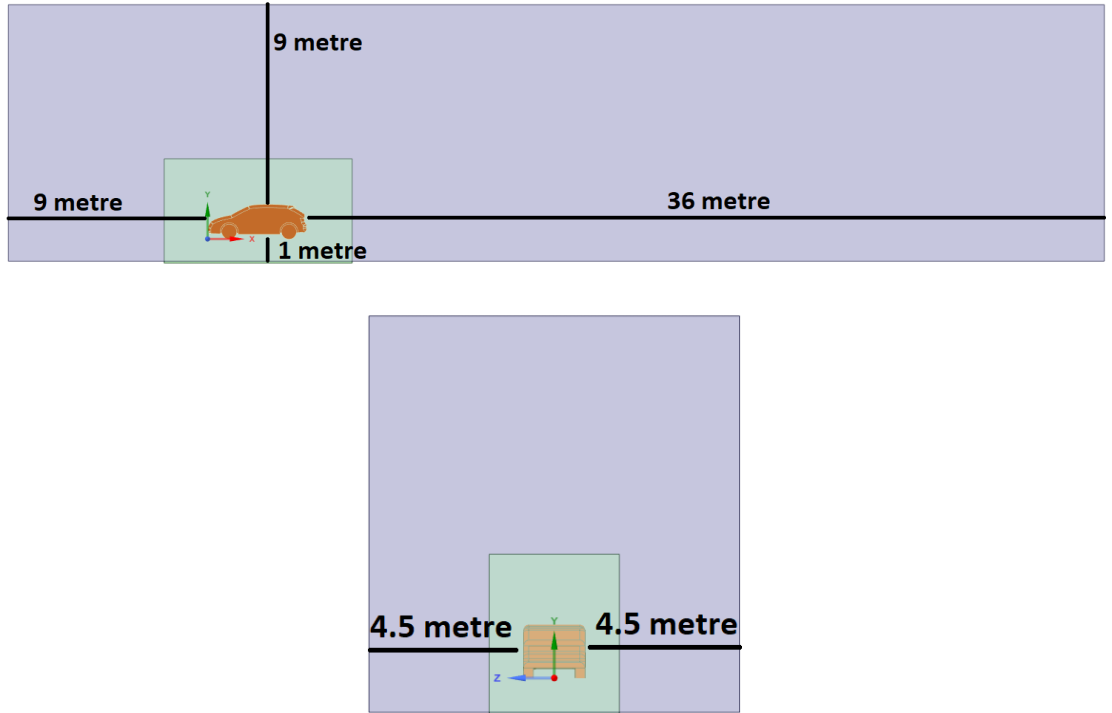
$$\text{Çevre} = 2\pi r \quad 2.30$$

$$T = \frac{\text{Çevre}}{\text{Teğetsel Hız}} \quad 2.31$$

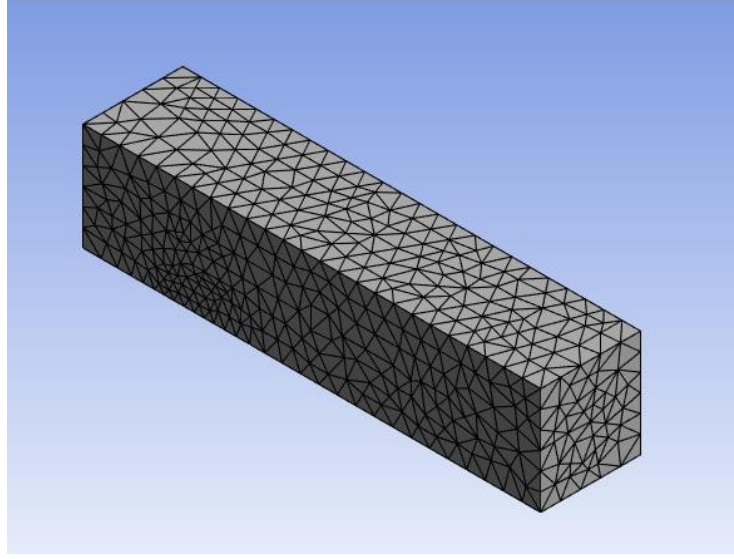
$$\Delta t = \frac{T}{360} \quad 2.32$$

2.5. CFD ile Araç Modelinin Mesh ve Sınır Katmanlarının Oluşturulması

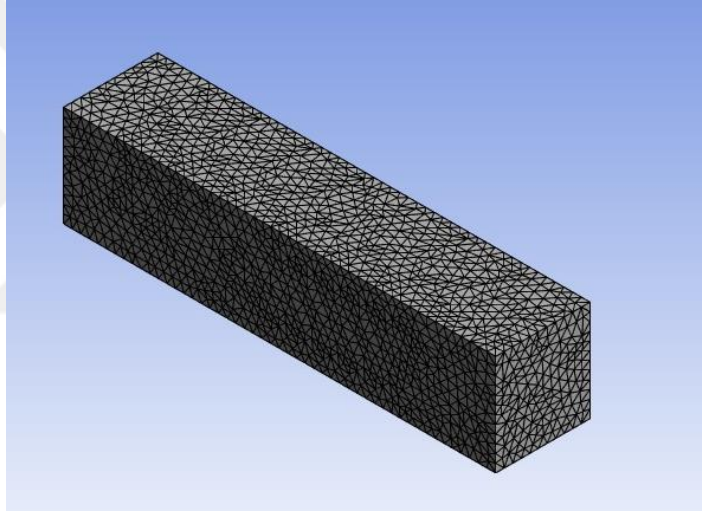
Bu sayısal çalışmadan Nisan Leaf EA'I kullanmıştır. Aracın uzunluğu 4490 mm, genişliği 1790 mm, yüksekliği 1450 mm'dir. Aracın 27.7 m/s (100 km/h) hızla gittiği varsayılarak 3 farklı model üzerine sayısal çalışma yapılmıştır. Modellerin çizimleri SOLIDWORKS programı kullanılarak yapılmış, sınır katmanları ise SpaceClaim programıyla oluşturulmuştur. Sınır katmanları araç arka kısım için 36 m, üst/ön 9 m, sağ/sol 4,5 m şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca eleman boyutunun sonuca etkisini ortadan kaldırmak için ağdan bağımsızlık (grid independence) çalışması 3 farklı ağ yapısına göre yapılmıştır. Ağdan bağımsızlık çalışmasında 712701 düğüm (nodes) ve 39577199 eleman (elemens) boyutunda yakınsandığı bulunmuştur.



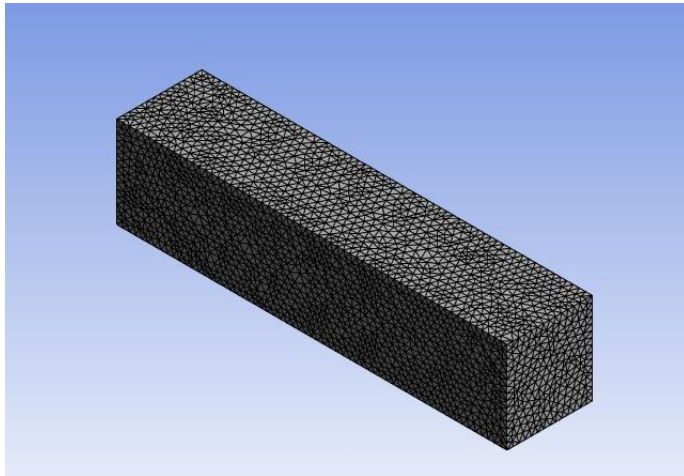
Şekil 2.3. Sınır katmanları görünüm



Şekil 2.4. 1853544 eleman sayısında kaba ağ gösterimi

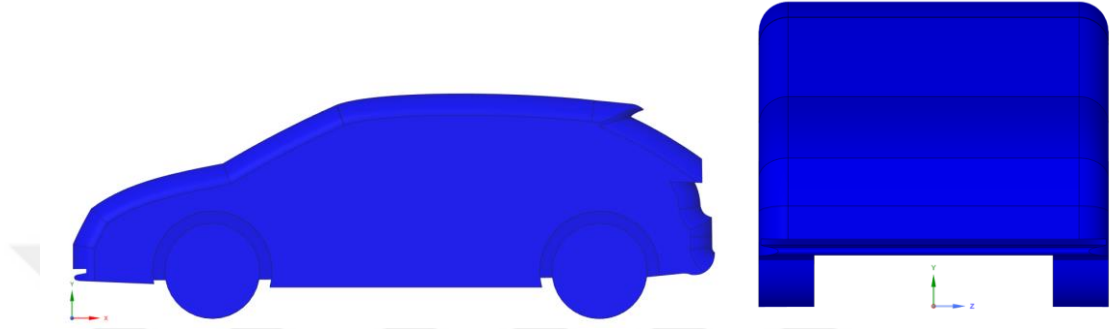


Şekil 2.5. 3957199 eleman sayısında orta sıklıkta ağ gösterimi

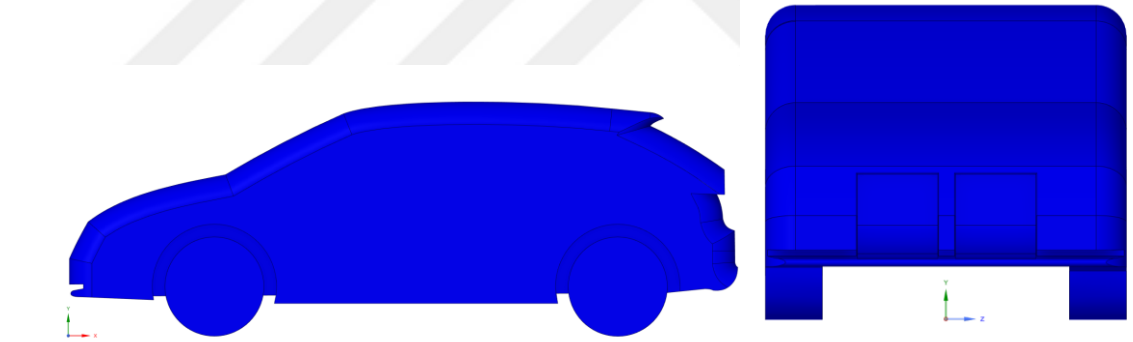


Şekil 2.6. 5025253 eleman sayısında sık ağ gösterimi

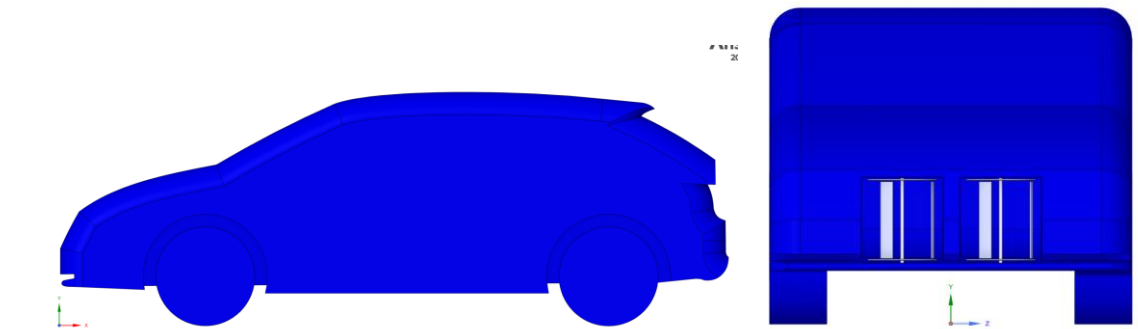
Sayısal analiz programı kullanarak araçlara etki eden: basınç konturları, sürüklenme/kaldırma katsayıları basınç konturları ve akış çizgileri analiz edilmiştir. Türbülans modeli olarak SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Oluşturulan modeller Araç 1 orijinal araç modeli (Şekil 2.7), Araç 2 (Şekil 2.8) türbinin yerleştirileceği araç ön kısmında oluşturulan boşluklu yapıya sahip model, Araç 3 rüzgâr türbinin araç üzerine monte edilmiş modelidir (Şekil 2.9).



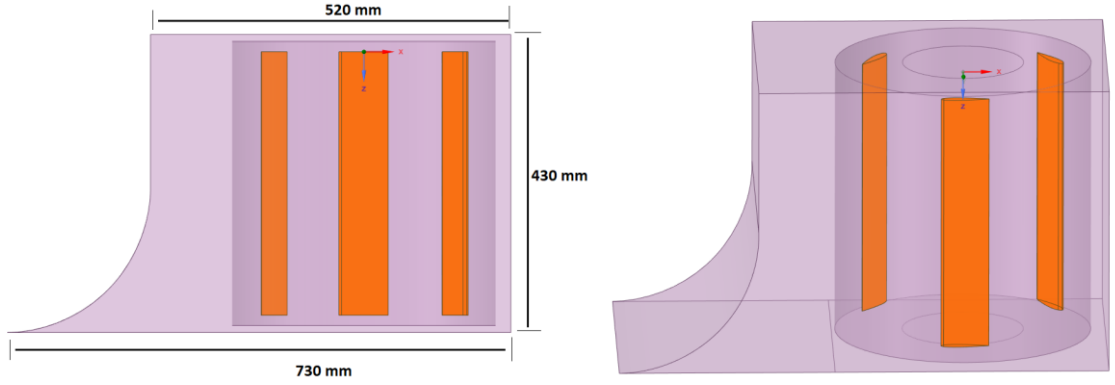
Şekil 2.7. Araç 1 yandan ve önden görünümü



Şekil 2.8. Araç 2 yandan ve önden görünümü



Şekil 2.9. Araç 3 yandan ve önden görünümü



Şekil 2.10. Rüzgâr türbini araç içi yerleşimi

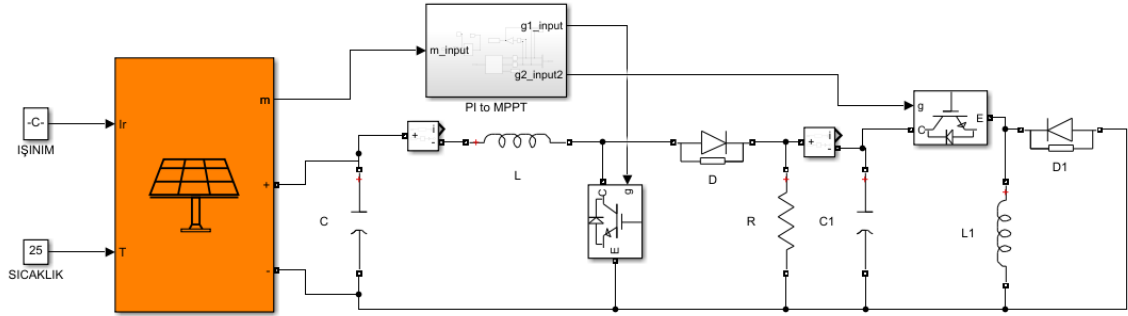
Bu üç araç modeli için yapılacak analizlerin sonuçlarını belirleyecek en önemli aşama mesh (ağ) aşamasıdır. Şekil 3D olduğu için kullandığımız ağ boyutu büyük olursa yanlış sonuçlar elde edilir, çok küçük mesh boyutu da simülasyon süresini önemli ölçüde arttıracaktır. Bu yüzden araca yakın bölgelerde küçük mesh yapıları, diğer alanlarda ise nispeten biraz daha büyük ağ yapısı kullanılmıştır. Özellikle rüzgarın temas ettiği aracın kısmı ve türbin için küçük mesh yapıları kullanılmıştır. Yapılacak analiz için kullanılacak sınır koşulları ve çözücü ayarları Tablo ‘de verilmiştir. Simülasyon zamanından bağımsız olarak yapılmıştır.

Çizelge 2.5. Çözücü Ayarları

Sınır Koşulları	
Hız girişi	27.7 m/s
Basınç girişi	1.225 kg/m ³
Akışkan	Hava
Alt üst çıkışı	No ship
Türbülans yoğunluğu	%5
Viskozite	%10
Çözüm Ayarları	
Türbülans modeli	SST k-omega
Basınç	İkinci dereceden denklem
Momentum	Rüzgara karşı ikinci dereceden
Türbülans kinetik	Rüzgara karşı ikinci dereceden
Türbülans yayılım oranı	Rüzgara karşı ikinci dereceden

2.6. MATLAB/Simülink Güneş Paneli Tasarımı

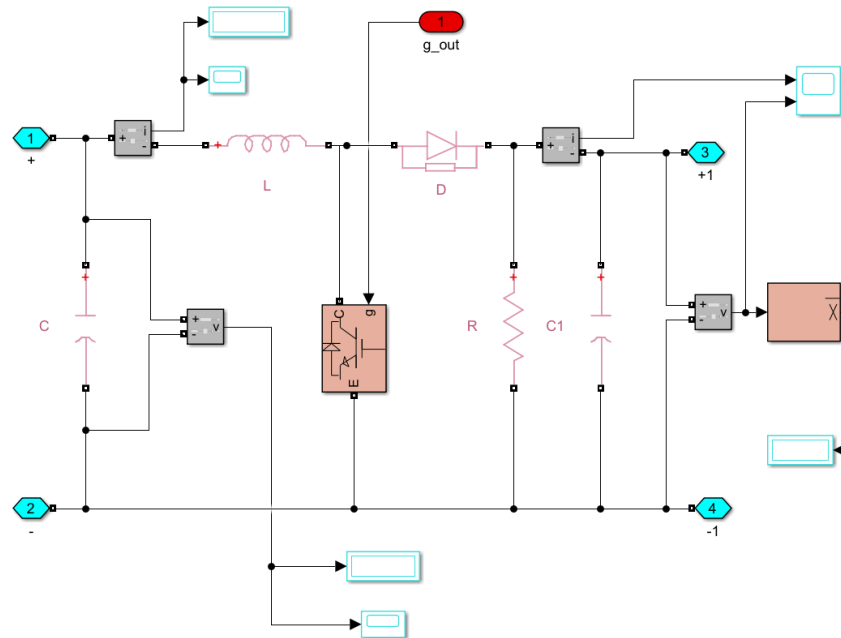
Burada güneş panelinin güç çıkışını bulmak için Matlab/Simülink kullanılacaktır. Güneş panelinden gelen voltajı yükseltmek için BOOST Konverter, maksimum güç noktasını bulmak için de MPPT algoritması kullanılacaktır.



Şekil 2.11. PV panel Simülink Şeması

2.6.1. BOOST Converter Çalışma Prensibi

Bir Boost dönüştürücü devre tasarımında anahtar, diyet (D), kapasitör (C) ve indüktörden (L) oluşur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Boost converter devre şeması Simülink gösterimi

Anahtar kapalı durumda iken, akım indüktör üzerinden akarak ve manyetik alandan faydalanarak enerji depolamaktadır[43].

Anahtar açık durumda iken, emperdansının fazla olmasıyla akım azalmaya başlar. Burada yüke karşı akımı korumak yaratılan manyetik alanın yok olmasına sebep olacaktır. Manyetik alanın bozulmasıyla polarite tersine döner. Bu durumda 2 kaynak konumlanmış olacak ve D diyodunu kullanarak şarj için daha yüksek voltaj yaratılmış olacaktır. Anahtarlama işlemi ne kadar çabuk yapılırsa indüktörün depoladığı enerji hemen boşaltma şansı olmadığı için giriş kaynağından daha yüksek voltaj çıkışı görülür. Anahtarın açılmasıyla yüke paralel olarak kondansatör gelen voltaja yüklenir. Anahtarın kapatılmasıyla sağ ve sol taraflarda kısa devre olduğu ve böylelikle kondansatör voltaj enerjisi verecektir. Bunlar olurken yükün diğer tarafa geçmesine engel olan diyot enerjiyi tutarak kondansatörün anahtardan dolayı boşalmasını önler. Anahtar açılması olabildiğince hızlı bir şekilde yapılmalıdır ki, kapasitörün fazla boşalmasını önler[43].

Anahtar açık durumda: indüktör akımı artar.

Anahtar kapalı durumda: indüktör akımının geçebileceği tek yol D diyodu, kapasitör Son olarak açık duruma geçtiğinde biriken enerji kapasitöre aktarır[43].

İndüktör ve Kondansatör Tasarımı

Devrenin düzgün çalışması için harici bileşenlerin tam olarak tahmin edilmesi gerekir. Anahtar açıldığında indüktör üzerindeki voltaj arttırımı olur[44].

$$V_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{I_{lkp}}{t_{on}}$$

ve ile ifade edilen akım

$$I_{on} = \left[\frac{V_{in} - V_{sat}}{L} \right] t_{on}$$

Anahtar kapatıldığında, indüktördeki voltaj şu şekilde ifade edilir:

$$V_L = L \frac{di}{dt} = L \left[\frac{I_{Lmin} - I_{LKP}}{t_{off}} \right]$$

ve temsil ettiği akım

$$I_{Loff} = I_{LKP} - \left[\frac{V_{out} + V_F - V_{in}}{L} \right] t_{off}$$

Boost dönüştürücü için seçilen çalışma frekansı

$$t_{on} + t_{off} = \frac{1}{f} = 50 \mu s$$

İndüktör değeri olarak seçilebilir

$$L = \frac{V_{in} * k}{I_{ripple} * F_s}$$

Kondansatör değeri tarafından seçilir

$$C = \frac{I_o * k}{V_{ripple} * F_s}$$

burada V_{in} , ifade edilen giriş voltajıdır [44].

2.6.2. Maksimum Güç Takibi (MPTT)

FV panel veya rüzgar türbinleri ile depolama biriminin arkasına yerleştirilen dönüştürücülerdir. Fakat bu birkaç aşama meydana gelen olaydır. MPPT ilk önce FV panelden gelen DC gerilimi AC ihtiyacına göre çevirir ve sistemin ihtiyacına göre tekrar DC'ye çevirir. Bunu yapmasındaki amaç ise sisteme maksimum gücün üretilmesidir[45].

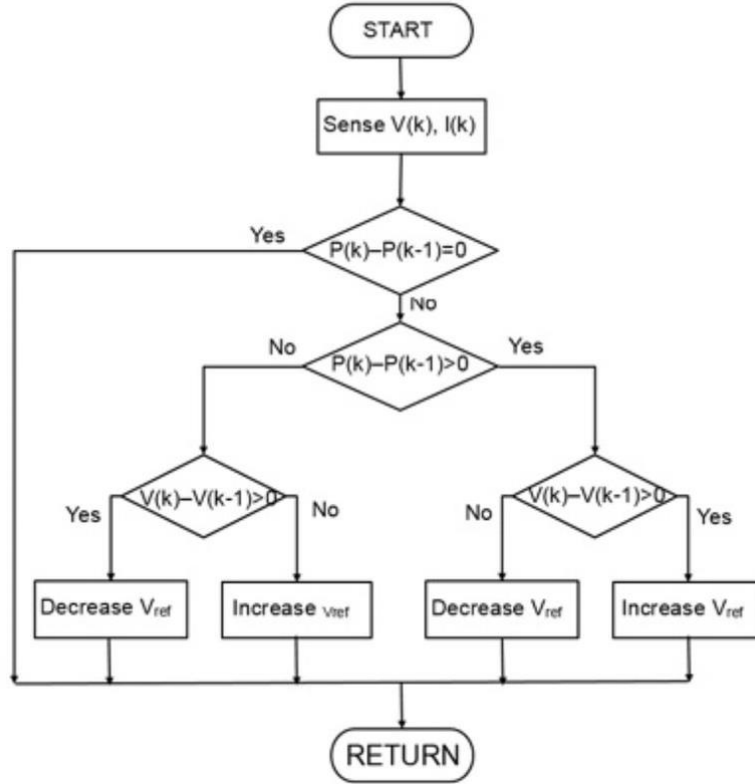
Nomal koşullarda bir FV paneli üzerine gelen ışınımın sadece %30-40'ını enerjiye dönüştürebilir. Panel verimini arttırmak için MPPT kullanılır. FV verimini etkileyen parametreler: güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve hücre sıcaklığı gibi değerlerdir. Normal şartlarda FV panel 25C'lik hücre sıcaklığında maksimum gücü üretirler [46].

MPPT türbin veya güneş paneli gibi güç üretim sistemlerinden voltaj ve akım değerlerini okuyup düzenleyerek I-V eğrisine göre maksimum gücü üretir. Sistemin çalışması batarya gücü ve panel arası çıkış gücünü karşılaştırarak en uygun voltaj değerini bataryaya göndererek verimin artmasını sağlar [47].

Voltaj değerini ayarlama işleminde akım düşük ise, voltajı düşürüp akımı da bir miktar yükselterek bataryayı verimli ve hızlı bir şekilde şarj eder [46].

2.6.3. Perturb & Observe (P&O)

Maksimum güç noktasını izlemek için kullanılan en basit ve ucuz yöntemdir. Gerekli olan tek şey FV panel ve voltajı algılayabilmek için kullanılan voltaj sensörüdür [46].



Şekil 2.13. P&O MPPT algoritması

Bu sistemdeki algoritma zaman karmaşıklığı diğer tekniklere göre daha azdır. Ancak MPPT'ye çok yaklaştığında MPPT duramaz ve her iki yönden de bozulmaya başlar. Bunu önlemek için uygun bir hat sınırı belirlemek veya algoritmayı zaman karışıklığını için bir bekleme işlemi kullanmak gerekir. Fakat bu işlemi yaptığımızda ışınlama seviyesindeki hızlı değişimi bozulmaya MPPT yanlış değeri hesaplar. Hata sınırı ayarlayarak bu sorun çözülebilir [46].

3.BULGULAR ve TARTIŞMA

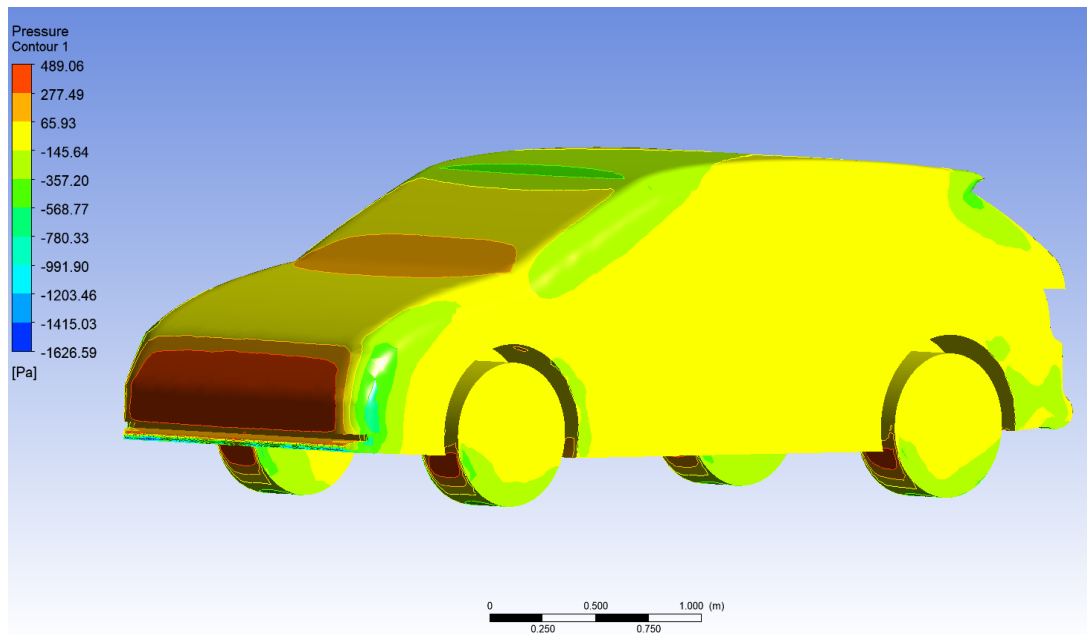
Tezin bu bölümünde simülasyon sonuçları paylaşılacaktır. Elektrikli araç modeli için aracın 27.7m/s hızındaki CFD analizi yapılmıştır. Türbin yerleşimi için araç üzerindeki hız dağılımı da incelenmiştir.

Rüzgar türbini için de 0.7-2 TSR değerlerinde simülasyon yapılarak TSR-Cp, TSR-Cm, Güç-TSR grafikleri oluşturulmuştur. Türbin için maksimum Cp değeri bulunduğundan sonra 10-40 m/s rüzgar hızlarında simülasyon yapılarak Güç/Rüzgar hızı grafiği elde edilmiştir. Simülasyonda 32 GB RAM ve 6 çekirdekli bilgisayar kullanılmıştır. Rüzgar türbini için her simülasyon 33 saat sürmüştür.

3.1. Araç Verileri

Araç 1 (orijinal araç) ve Araç 2 ve Araç 3 'ün 27.7 m/s hızındaki hız dağılımı incelenerek, hız konturları, statik basınç konturları ve araç aerodinamik sürüklenme direnç katsayıları belirlenmiş olup değerlendirmeler yapılmıştır.

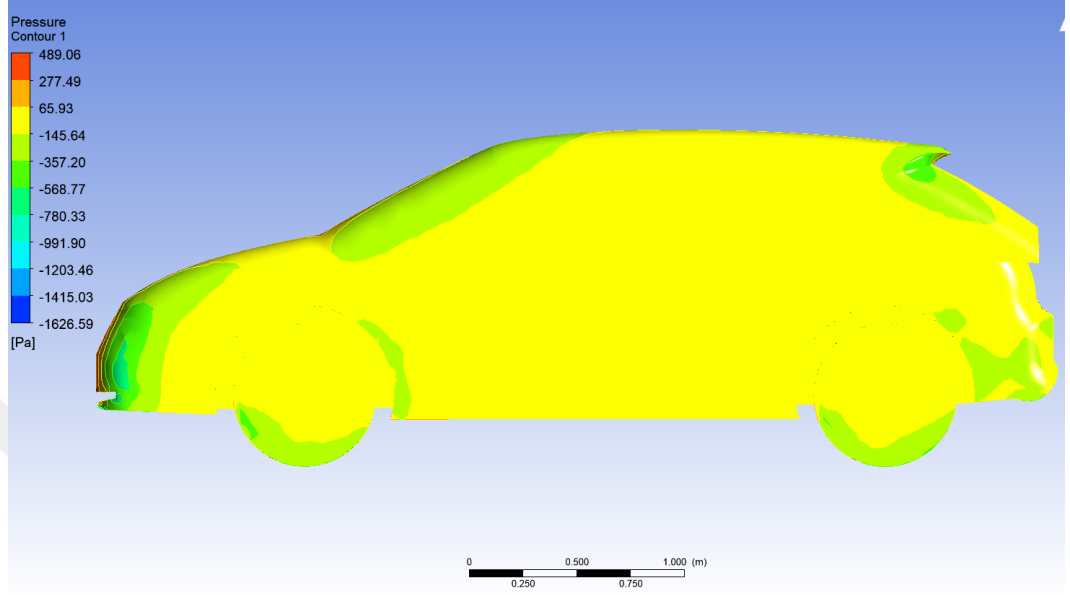
Şekil 3.1-3.3 te Araç1 taşıt modelinin statik basınç dağılımının izometrik, ön ve yandan görünümü verilmiştir.



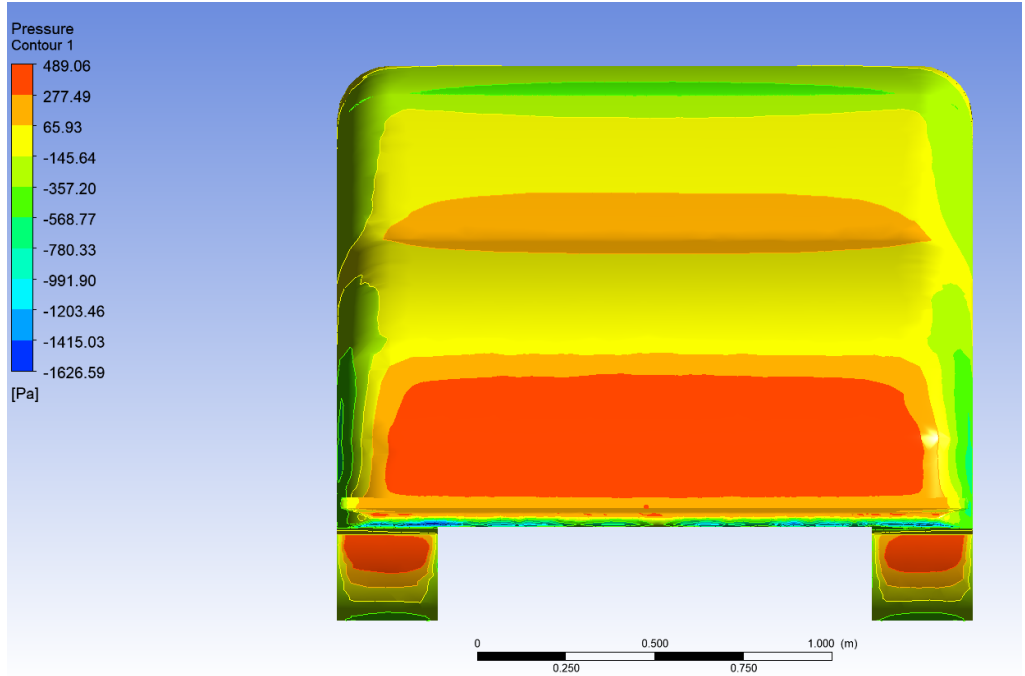
Şekil 3.1. 27.7 m/s hızda Araç 1 aracın statik basınç konturunun izometrik görünüşü

27.7 m/s rüzgâr hızında yapılan analiz sonucunda Araç1 modeli üzerinde oluşan en yüksek basınç 489.06 Pa, en düşük basıncın ise -1626.59 Pa olduğu belirlenmiştir.

Araç modelinin CFD analizi basınç modelinde kırmızı ile gösterilen; araç ön panosu, tekerleklerin ön yüzü, kaput ve ön camı kesitli bölgelerinde yüksek, kaput üstü ve ön camın üst bölgelerinden itibaren düşük basınca maruz kaldığı görülmektedir.

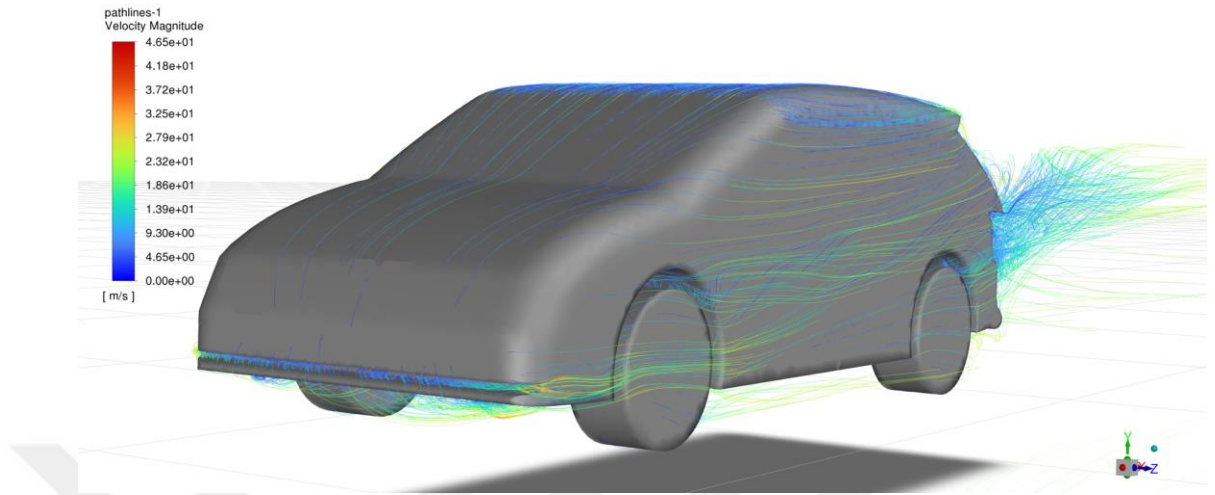


Şekil 3.2. 27.7 m/s hızda Araç1 statik basınç konturunun yan görünüşü



Şekil 3.3. 27.7 m/s hızda Araç1 statik basınç konturunun ön görünüşü

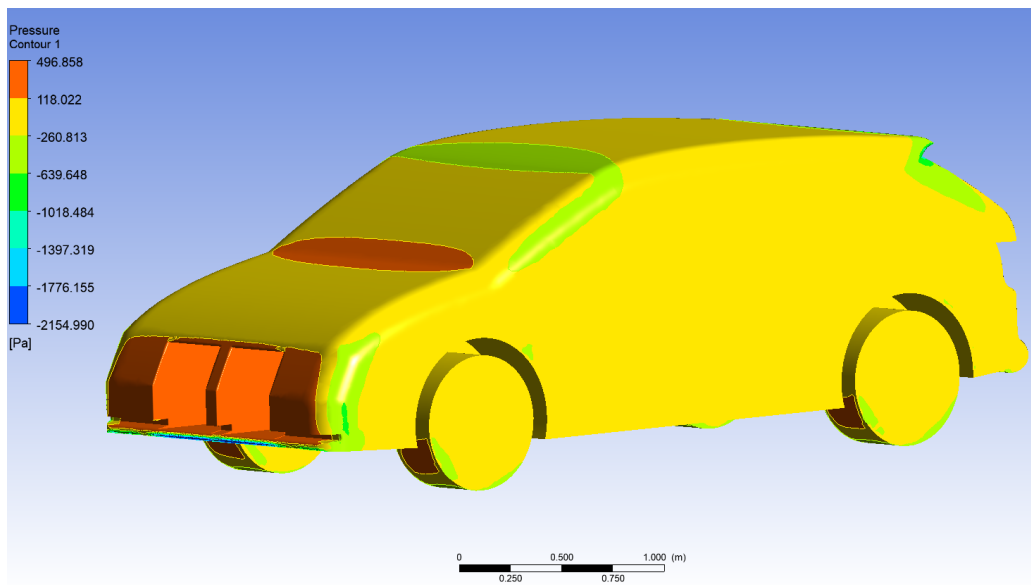
Şekil 3.4'te Araç-1 modelinin akım çizgileri dağılımının izometrik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.4. 27.7 m/s hızda Araç1 model aracın hız vektörü izometrik görünüşü

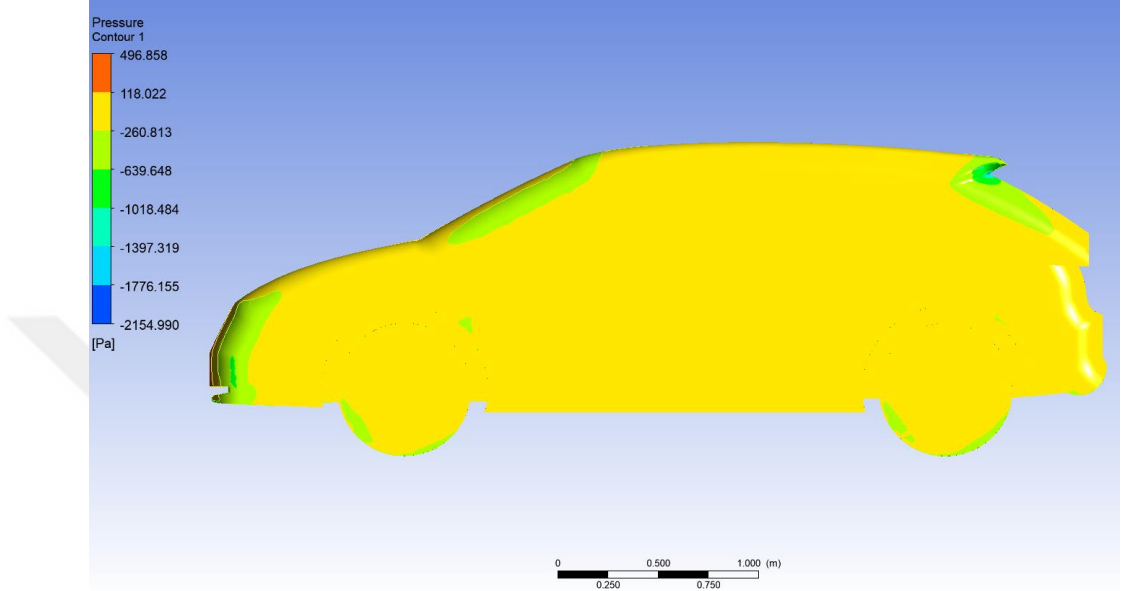
27.7 m/s rüzgar hızında Araç 1 modelinin hız vektör dağılımı incelendiğinde; en fazla hız değerinin, araç modelinin üst bölgesinde 46.5 m/s değerinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca araç modelinin aerodinamik sürüklenme direnç (C_d) katsayısı 0.34109, kaldırma (C_l) 0.02994 bulunmuştur.

Şekil 3.5-3.6 te Araç 2 taşıt modelinin statik basınç dağılımının izometrik, ön ve yandan görünümü verilmiştir.

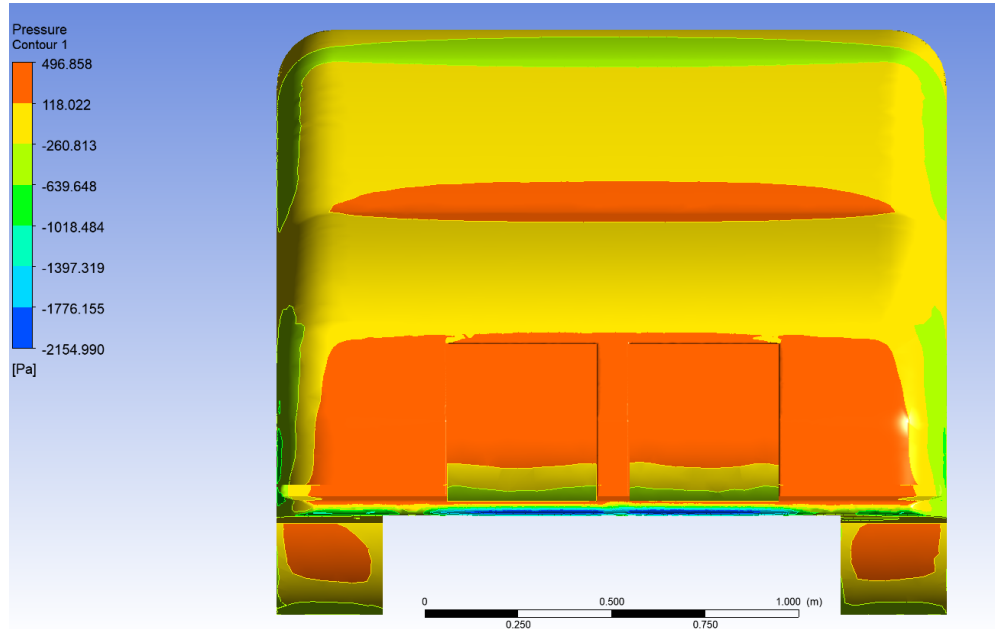


Şekil 3.5. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun izometrik görünüşü

27.7 m/s rüzgar hızında Araç 2 edilen Ansys-Fluent yazılımı sonuçlarına göre araç üzerinde oluşan en yüksek basınç 496.8 Pa, en düşük -2154.9 Pa olduğu görülmüştür. Araca etki eden kuvvetler sadece ön kısımda kalarak arka kısımlarda araca etki etmemiştir.

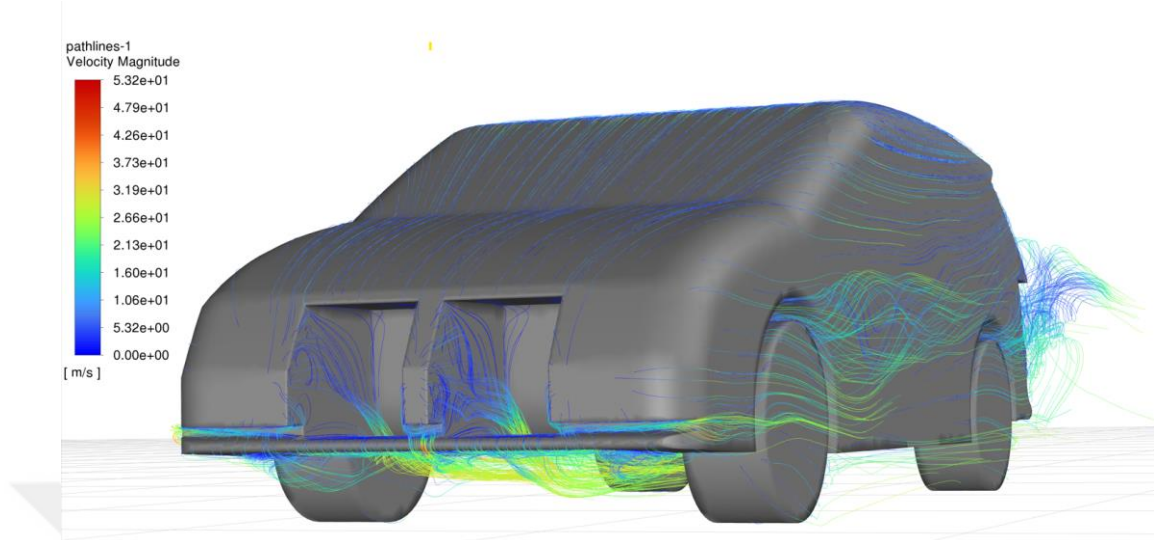


Şekil 3.6. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun yan görünüşü



Şekil 3.7. 27.7 m/s hızda Araç 2 statik basınç konturunun ön görünüşü

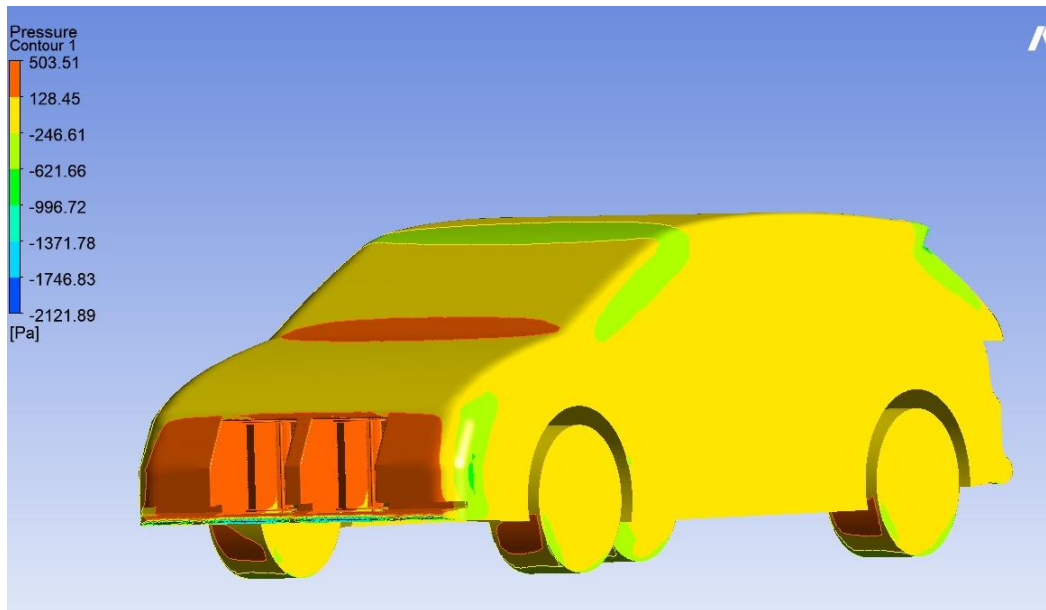
Şekil 3.8’de Araç-2 modelinin akım çizgileri dağılımının izometrik görünümü verilmiştir.



Şekil 3. 8. 27.7 m/s hızda Araç 2 hız vektörü izometrik görünüşü

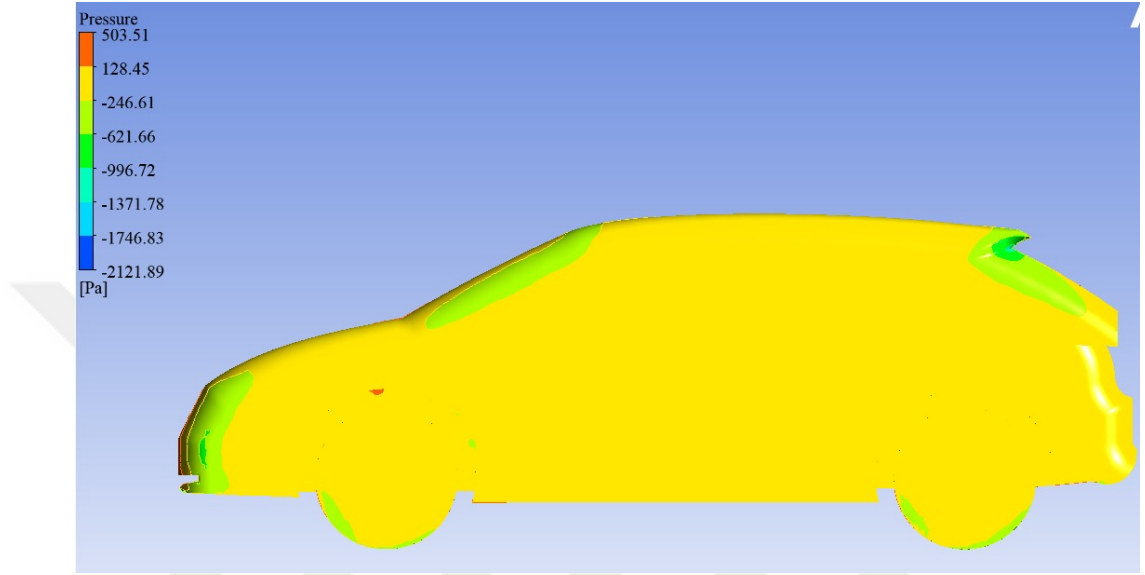
27.7 m/s rüzgar hızında o Araç 2 araç modelinin hız vektör dağılımı incelendiğinde; en fazla hız değerinin, araç modelinin tavan bölgesinde 53.2 m/s değerinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca araç modelinin aerodinamik sürüklenme direnç (Cd) katsayısı 0.36102, kaldırma (Cl) 0.03477 bulunmuştur.

Şekil 3.9-3.11 te Araç 3 taşıt modelinin statik basınç dağılımının izometrik, ön ve yandan görünümü verilmiştir.

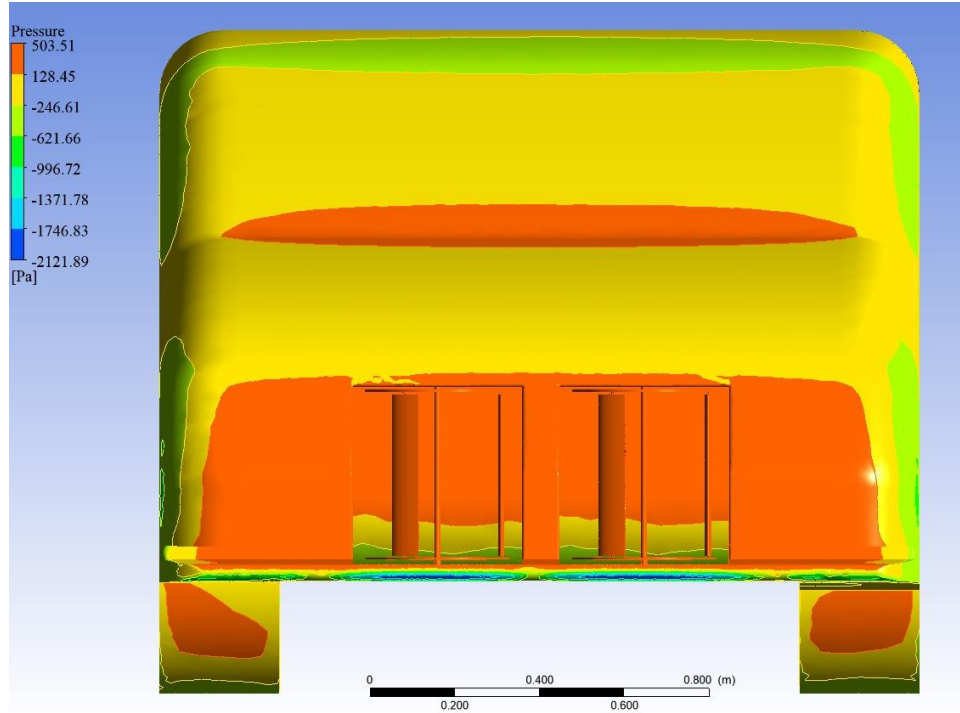


Şekil 3.9. 7.7 m/s hızda Araç 3 aracın statik basınç konturunun izometrik görünüşü

27.7 m/s rüzgar hızında yapılan analiz sonucunda Araç 3 modeli üzerinde oluşan en yüksek basınç 503.51 Pa, en düşük basıncın ise -2121.89 Pa olduğu belirlenmiştir. Araç modelinin CFD analizi basınç modelinde kırmızı ile gösterilen; araç ön panosu, tekerleklerin ön yüzü, kaput ve ön camı kesitli bölgelerinde yüksek, kaput üstü ve ön camın üst bölgelerinden itibaren düşük basınca maruz kaldığı görülmektedir.

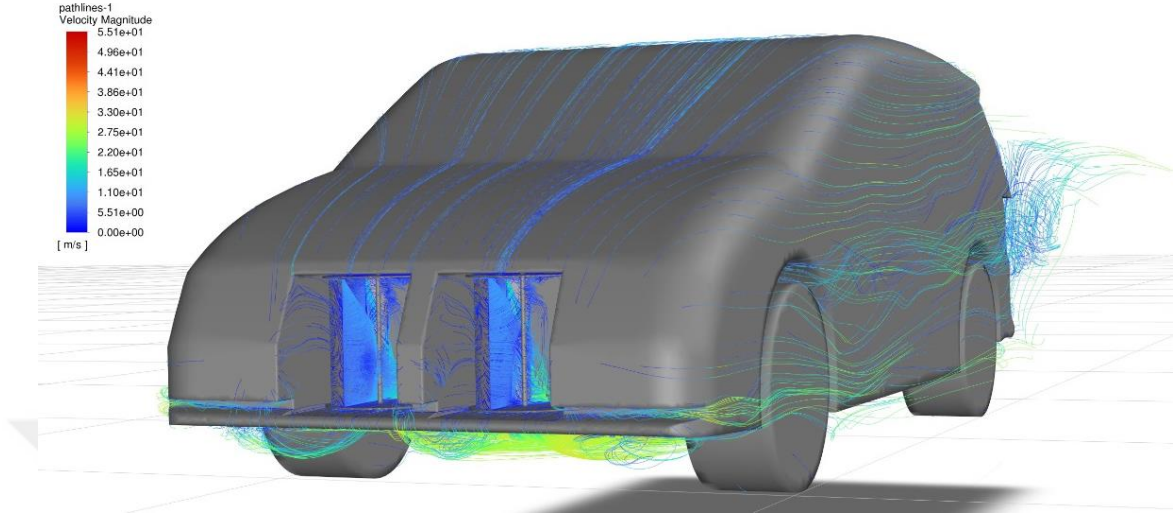


Şekil 3.10. 27.7 m/s hızda Araç 3 statik basınç konturunun yan görünüşü



Şekil 3.11. 27.7 m/s hızda Araç 3 statik basınç konturunun ön görünüşü

Şekil 3.12’te Araç-2 modelinin akım çizgileri dağılımının izometrik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.12. 27.7 m/s hızda Araç 3 hız vektörü izometrik görünüşü

27.7 m/s rüzgâr hızında o Araç 3 araç modelinin hız vektör dağılımı incelendiğinde; en fazla hız değerinin, araç modelinin tavan bölgesinde 55.1 m/s değerinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca araç modelinin aerodinamik sürüklenme direnç (Cd) katsayısı 0.35694, kaldırma (Cl) 0.04368 bulunmuştur.

Genel olarak yapılan analizlerde bulunan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır. Nissan Leaf EA’nın sürüklenme kuvveti 0.28’dir. Fakat yapılan çalışmada kaba bir yapı kullanıldığı için oluşturulan modelden elde edilen verilere göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

CFD analizi basınç değişimi modelinde: basınç, araç ön panosu, tekerleklerin ön yüzü, kaput ve ön camın kesiştiği bölgelerde yüksek basınç. Kaput üstü ve ön camın üst tarafından itibaren düşük basınca maruz kaldığı bulunmuştur. CFD analizi hız değişimi modelinde: hız, ön kaputun orta bölgelerinde, ön camın üst bölgeleri ve araç tavan bölgelerinde arttığı görülmüştür. En yüksek hızın ise araç tavan bölgesinde olduğu belirlenmiştir.

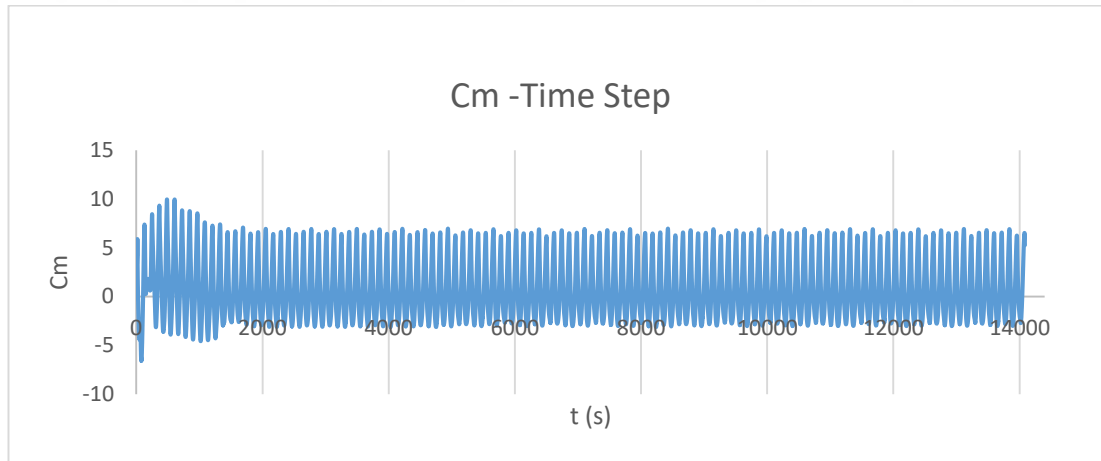
Araç modellerinin hıza bağlı olarak sürüklenme katsayıları incelendiğinde ise; Araç 2 modelinin Orijinal araç modeli (Araç 1)’ye göre sürüklenme kuvvetinin %5.8 arttığı, Araç 3 modeline göre ise %1.14 oranında azaldığı, Araç 1 ve Araç 2 modellerinin arasındaki artma oranı ise %4.6 olduğu gözlemlenmiştir.

Araç 2 modelinin Araç 1 ve Araç 3 modeline göre en yüksek sürüklenme katsayısına sahip olan araç olarak belirlenmiştir.

3.2. Rüzgâr Türbini Verileri

Burada tasarımı yapılan Darrieus rüzgâr türbini sonuçları sunulacaktır. Amaç araç içerisine yerleştirecek türbin için maksimum güç çıkışını bulmaktır. Bu yüzden sadece güç parametreleri ile ilgili bölümlerden bahsedilecektir.

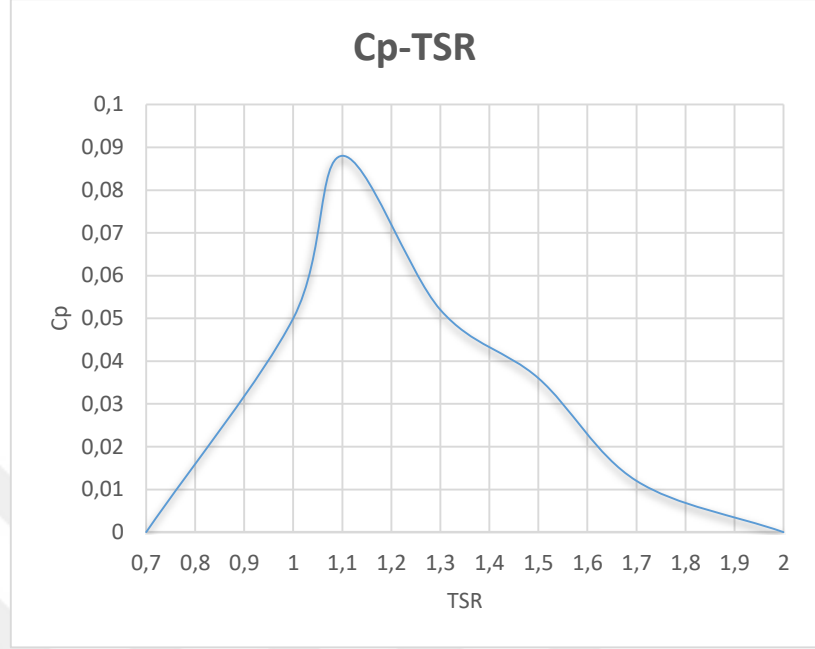
Mesh işlemi, uygun zaman adımı ve açışal hızın seçiminden sonra CFD simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Türbin güç çıktısını bulmak için ilk olarak maksimum C_p noktasının bulması gerekmektedir. C_p -TSR grafiğini oluşturabilmek için moment katsayısı değerinin her TSR için hesaplanması gerekmektedir. Moment katsayısı sayısı Fluent'e periyodik bir model izleyerek türbinin ayrı ayrı değerlerini zamana bağlı olarak kaydeder. Böylelikle tüm anlık değerlerin toplamı moment katsayısını verir. Anlık olarak kaydedilen bu değerlerin oluşturduğu grafik sinüzoidal dalga şeklindedir. Toplam moment katsayısı bu grafik değerlerinin ortalaması alınarak bulunur. Fakat burada grafiğinin geçici (karamsar) kısmı kullanılmayıp, yakınsanmış kararlı çözümün ortalaması kullanılmaktadır. Bir çözüm için TSR için momentum değerleri Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



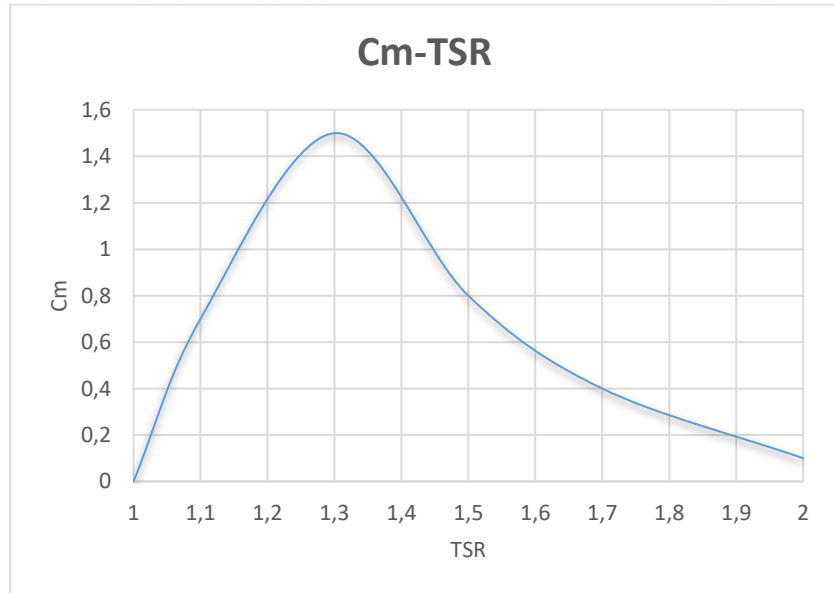
Şekil 3.13. Cm-Time Step grafiği

Tablo 3.14'da farklı TSR değerleri için C_p sayısal değeri hesaplanmıştır. Listelenen TSR değerlerinde maksimum C_p değeri TSR 1.1'de %0,088 ve 273 Watt olduğunu bulmuştur. Dönme hızı TSR arasındaki uyumsuzluk nedeniyle TSR 2'de negatif moment sayısal değeri görülmüştür. Maksimum C_p değeri bulunduktan sonra farklı rüzgar hızlarında simülasyon yapılmıştır. Bu Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

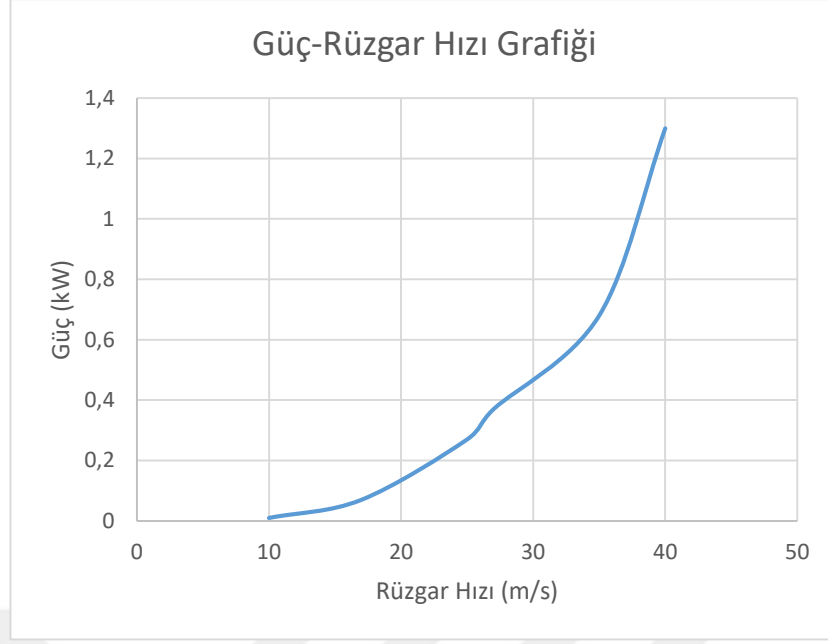
Simölasyon 10-40 m/s rüzgâr hızlarında yapılmıştır. 10 m/s hızında 0.01 kW, 40 m/s hızında ise 1.3 kW' lık güç çıkışı olmuştur. Grafikte de göröldüğü gibi hız arttıkça üretilen güç de artmıştır.



Şekil 3.14. Cp-TSR grafiğı



Şekil 3.15. Cm- TSR grafiğı



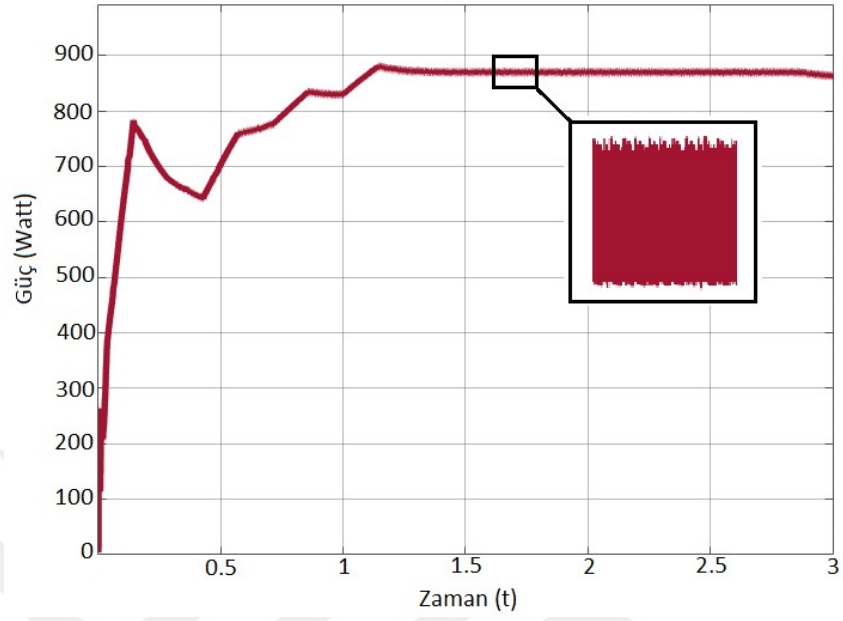
Şekil 3.16. Güç-Rüzgar hızı grafiği

Oluşturulan Cp-TSR eğrisinde, Cp değerleri diğer çalışmalara göre daha düşük değerler göstermektedir. Bunun nedeni simülasyon için kullanılan rüzgar hızının büyük olmasıdır. Arpino ve arkadaşları [48] küçük ölçekli Darrieus rüzgar türbinin yüksek ve düşük hızlardaki Cp ve Cm değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük rüzgâr hızlarında daha yüksek Cp ve Cm değerlerinin olduğunu ve bunun sebebinin ise iki kanat arasında gelişen ve iki farklı şekilde hareket eden karmaşık akış yapısından olabileceğini söylemişlerdir.

3.2. Güneş Paneli Verileri

Bu sistem standart şart koşulları olan 1000 W/m^2 güneş ışınlam ve 25°C sıcaklıkta, dalga üretici MOFSET anahtarlama frekansı değeri 50 KHz alınarak MATLAB/Simülink programı ile simüle edilmiştir. Sistem tasarımında güneş paneli ,DC-DC Boost converter (yükseltici) ve MPPT algoritması için P&O denetleyicisi kullanılmıştır. Normal şartlarda panelden elde edilecek güç 900 Watt'ır. Ancak panellerde meydana gelen ışınlam, sıcaklık, kuş atıkları, geçen bulutlar, gölgeler, paneller üzerindeki toz birikintileri vb. sebep olduğu olumsuz koşullar sebebiyle panelin her yerinde tek tip ışınlam değeri almak mümkün değildir. Bu sorunlara genel olarak kısmi gölgelendirme durumu olarak adlandırılır. Kısmi gölgelendirme durumunda %12-%19 arasında verim kaybı gerçekleşir. Kullandığımız MPPT aracılığıyla bu kaybı minimize ederek devreden 895,3Watt'lık

enerji elde edilmiştir. 0-1.1 sn arasında kararsız yapıya sahip olmasına rağmen 1.1 den sonra kararlı yapıya geçmiştir. Güç çıkış grafiği Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. FV panel güç çıktısı

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrikli araçlara entegre edilmiş yenilebilir enerji sistemleri aracılığıyla hareket halindeki araçların bataryasına ek enerji sağlanması amaçlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklı olarak güneş ve rüzgâr enerjilerinden faydalanılmıştır. Güneş enerjisi için araç üstüne sabitlenmiş 6 adet esnek güneş paneli, rüzgâr enerjisi için ise araç önüne boşluklu yapı oluşturularak eklenmiş Darrieus rüzgar türbini kullanılmıştır. Güneş paneli tasarımı MATLAB/Simülink yazılımı, rüzgâr türbin tasarımında ise ANSYS/Fluent yazılımı kullanılmıştır. Rüzgar türbini tasarımında uygun türbülans modeli, sınır ağ koşulları, zaman adımı belirlendikten sonra simülasyon yapılmıştır. Rüzgar türbini hız-güç eğrisini oluşturmak için, maksimum CP hesaplanması gerekmektedir. Bunun için farklı TSR değerlerinde (0.7-2) C_p -TSR eğrisi oluşturulduktan sonra maksimum C_p değeri bulunmuştur. Türbinin araç üzerindeki etkilerini de görmek için SOLIDWORKS programında 3 farklı araç modeli oluşturulup araca etki eden sürüklenme katsayıları, basınç konturları ve hava akış çizgileri ile aracın uygunluğu tartışılmıştır.

Hareket halindeki elektrikli araçlarda yenilebilir enerji kullanımı ile ilgili yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir:

1. Araç modellerinde, hava akış hızının araç tavan bölgelerinde aracın alt bölgelerine kıyasla yüksek; basıncın ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Ortaya çıkan basınç farkının araç yan bölgeleri boyunca girdaplar oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tavanın ön yüzeyinde akışın daha düzenli olduğu, aracın arkasına doğru gidildikçe türbülans artış olduğu gözlemlenmiştir.
2. Araç modellerinin hıza bağlı olarak sürüklenme katsayıları incelendiğinde ise; Araç 2 modelinin Araç 1 modeline göre sürüklenme kuvvetinin %5.8 arttığı, Araç 3 modeline göre ise %1.14 oranında azaldığı, Araç 1 ve Araç 2 modellerinin arasındaki artma oranı ise %4.6 olduğu gözlemlenmiştir.
3. Elde edilen veriler ışığında en yüksek sürüklenme katsayısına sahip araç Araç 2 olarak saptanmıştır. (Araç 1 ve Araç 3 ile kıyaslandığında).
4. Araç 2 ve Araç 3 modellerinde oluşturulan boşluklu yapının eğimli olması nedeniyle rüzgâr çıkışının olduğu bölgelerde oluşan alçak hava basıncının, rüzgâr türbini hava çıkışının sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesine olanak sağladığı sonuçta türbinin çalışabileceğini göstermektedir.

5. Matlab/Simülink ile simülasyon yapılan Güneş panelinin toplamda 898,3Watt'lık bir enerji üretebileceği bulunmuştur.
6. Tasarımı yapılan rüzgar türbinin ise 1.1 TSR %0,088 değerinde maksimum verimi göstererek 273 Watt'lık enerji üretebileceği bulunmuştur. Sistemde 2 adet kullanılacağından toplamda 546 Watt'lık enerji sağlar.
7. Araç 100 km hızla 18 kW/h enerji tüketmektedir. Bu araca rüzgar türbini ve güneş panelinin enerji üretim sistemine dahil edilmesi ile türbinden 546 Watt, güneş panelden ise 895,3Watt'lık enerji üretilerek batarya destek olabileceği bulunmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] C. Chan, “The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned Scanning Our Past”, *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 1, pp. 206-212, 2013, doi: 10.1109/JPROC.2012.2228370.
- [2] A. Özek, “Elektrikli Bir Aracın Genel Performans Simülasyonu ve Gerçekleşmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Ens., Afyon Kocatepe Üniv., Afyon, Türkiye, 2020.
- [3] B. Özbey, “Elektrikli Araçlar İçin Kaplosuz Şarj Sistemi Tasarımı ve Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Ens., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- [4] M. Cilvez ve Z. İ. Kasımay. “Elektrikli Araçlar”, Dünya Enerji Konseyi, Türkiye Yeni Enerji Teknolojileri Çalışma Grubu, 2018.
- [5] J. Larminie ve J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*, Second edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2012.
- [6] S. Kocabey, “Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü, Geleceği”, Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [7] M. M. Aydın, R. Çakmak, M. S. Yıldırım, “Şehir içi Otoparklarda Elektrikli Araç (EA) Şarj İstasyonlarının Kurulumu için Gerekli Tasarım Aşamalarının Belirlenmesi”, International Congress on Engineering and Architecture,, Alanya, Türkiye, 2018, pp. 900-915.
- [8] N.Ünlü, Ş. Karahan, O. Tür, H. Uçarol, E. Özsu, A. Yazar, L. Turhan, F. Akgün, M. Tırıs. "Elektrikli Araçlar", Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, TÜBİTAK, Kocaeli, Türkiye, 2003.
- [9] F. Un-Noor, S. Padmanaban, L. Mihet-Popa, M. N. Mollah, and E. Hossain, “A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development”, *Energies*, vol. 10, no. 8, pp. 8, 2017, doi: 10.3390/en10081217.
- [10] W. Alosaimi vd., “Toward a Unified Model Approach for Evaluating Different Electric Vehicles”, *Energies*, vol. 14, pp. 1-19, 2021, doi: 10.3390/en14196120.

- [11] A. E. Halim, H. E. Bayoumi, W. El-Khattam, and A. M. Ibrahim, “Electric vehicles: a review of their components and technologies”, *Int. J. Power Electron. Drive Syst. IJPEDS*, vol. 13, no 4, pp. 2041, 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i4.pp2041-2061.
- [12] S. Verma vd., “A comprehensive review on energy storage in hybrid electric vehicle”, *J. Traffic Transp. Eng. Engl. Ed.*, vol. 8, no. 5, pp. 621-637, 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2021.09.001.
- [13] M. Çağan, “Taşıt Aerodinamik Özelliklerinin Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi”, Yüksek Lisan Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [14] C. Kalaycı, “SUV model bir motorlu taşıtın aerodinamik performansının sayısal incelenmesi ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye, 2021.
- [15] C. G. Pınar, İ. Coşar, S. Uzun, A. Çelebi, M. A. Ersoy, and A. Pınarbaşı, “Numerical Investigation of Aerodynamic Analysis on Passenger Vehicle”, *Int. J. Mech. Mechatron. Eng.*, vol. 17, no 2, pp. 55-65, 2023.
- [16] “Introduction to Modern Vehicle Design - 1st Edition”. <https://shop.elsevier.com/books/introduction-to-modern-vehicle-design/happian-smith/978-0-08-052304-0> (Accessed 01 August 2023).
- [17] R. Ramful ve N. Sowaruth, “Low-cost solar tracker to maximize the capture of solar energy in tropical countries”, *Energy Rep.*, vol. 54, no. 8, pp. 295-302, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.145.
- [18] J. M. Marshall and D. Dimova-Malinovska, *Photovoltaic and Photoactive Materials — Properties, Technology and Applications*. Dordrecht: Netherlands, 2002. doi: 10.1007/978-94-010-0632-3.
- [19] B. Agrawal and G. N. Tiwari, *Building integrated photovoltaic thermal systems: for sustainable development*. Delhi: New Delhi ,2011.
- [20] S. Jain, Single Stage Grid Connected Photovoltaic Systems with Maximum Power Point Tracking, Institute of Techonology. Bombay: Indian, 2007.
- [21] A. Luque and S. Hegedus, Ed., *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Brazil: Rio de Janeiro, 2003.
- [22] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic solar energy generation*. Springer series in optical sciences, Berlin ; Freiburg, 2005

- [23] S.C.W. Krauter ,*Solar Electric Power Generation - Photovoltaic Energy Systems*. Berlin:Heidelberg, 2006. doi: 10.1007/3-5403-1346-X.
- [24] E. İşen ve Ö. Koçhan, “Fotovoltaik Panellerin Tek Diyotlu Modellenmesi”, *Mühendis. Bilim Ve Araştırmaları Derg.*, cilt. 2, sayı 1, ss. 1-10, 2020, doi: 10.46387/bjesr.633273.
- [25] X.H. Nguyen and M.P. Nguyen, “Single-Diode Models of PV Modules: A Comparison of Conventional Approaches and Proposal of a Novel Model”, *Energies*, vol. 13, no 6, pp. 1296, 2020, doi: 10.3390/en13061296.
- [26] M. H. Casanova, “Experimental investigation and analysis of a distributed MPPT system for a small-scale photovoltaic installation”, Master’s Thesis, KTH Royal Institute of Technology, KTH Univ., Stockholm:Sweden, 2018.
- [27] M. A. Rihavi, “Development of Maximum Power Point Tracking System (MPPT) for Solar Panel”, Yüksek Lisan Tezi, Graduate School of Natural & Applience Science, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, 2021.
- [28] P. Achieng ve R. Odongo, “Design and Fabrication of Vertical Axis Wind Turbine By”, Graduate Thesis, School of Engineering, MOI University,Eldored, Kenya.
- [29] “Wind Energy Project Analysis”.
https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/RET_Screen/Manuals (Accessed 6 July 2023).
- [30] A. R. Jha, “Wind Turbine Technology”, London: New York, 2011.
- [31] H. Terzioğlu, M. Arslan, ve H. Demirok, “Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi”, *Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri*, ss. 219-241, 2019,.
- [32] “Rüzgar Enerjisi” <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html> (Erişim tarihi: 16 Ocak 2023).
- [33] Ö. Ergür, “Rüzgar Türbinleri İle Enerji Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Ens., Sakarya Üniv., Sakarya, Türkiye, 2006.
- [34] J. B. Sapra, “Aerodynamic Design using Numerical Method (Trapezoidal) for Horizontal axis wind turbine (HAWT) Blade with CAD Model”, Graduate Thesis, University of Illinois, Chicago, ABD, 2018
- [35] Y. Bazilevs, A. Korobenko, X. Deng, J. Yan, M. Kinzel, ve J. Dabiri, “Fluid–Structure Interaction Modeling of Vertical-Axis Wind Turbines”, *Journal of Applied Mechanic J.* vol. 81, no. 081006-1 2014, doi: 10.1115/1.4027466.

- [36] G. L. Johnson, *Wind energy systems*. Citeseer, 1985.
- [37] F. Oral, İ. Ekmekçi, ve N. Onat, “Weibull distribution for determination of wind analysis and energy production”, *World J. Eng.*, vol. 12, no 3, pp. 215-220, 2015, doi: 10.1260/1708-5284.12.3.215.
- [38] P. A. Larin, “CFD Based Synergistic Analysis of Wind Turbine for Roof Mounted Integration”, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Concordia University Montreal, Quebec, Canada, 2016.
- [39] C. J. Davis, “Computational Modeling of Wind Turbine Wake Interactions”, Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 2012.
- [40] H. Cao, “Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling”. Master Thesis, School of Computing, Engineering and Physical Sciences at the University of Central Lancashire, University of the Central Lancashire, Preston, England, 2011.
- [41] C. E. Carcangiu, “CFD-RANS Study of Horizontal Axis Wind Turbines”. Doctor Thesis, Dipartimento di Ingegneria Meccanica Dottorato di Ricerca in Progettazione Meccanica, Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italy, 2008.
- [42] K. Uma Reddy, B. Deb, and B. Roy, “A numerical and experimental study on the performance of a conventional H- Darrieus wind rotor with auxiliary blades”, *Ocean Eng.*, vol. 280, pp. 114697, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.114697.
- [43] “Boost Converter - Türkmühendis.net”
<https://turkmuhendis.net/donanim/boost-converter/> (Erişim 13 Ocak 2023).
- [44] S. K. Ramasamy, “Solar Panel Power Assisted Electric Vehicle Design And Development”, *Nat Volatiles Essent Oils*, vol. 8, no. 5, pp. 3542-3562, 2022.
- [45] “MPPT Nedir? Nasıl Çalışır?”
<https://www.elektrikport.com/universite/mppt-nedir-nasil-calisir-elektrikport-akademi/8064#ad-image-0> (Erişim 12 Ocak, 2023).
- [46] A. Sinha, S. S. Sahu, ve A. K. Panda, “MPPT Control of Standalone PV System With Battery as an Energy Storage Element”, Graduation Thesis, National Institute of Technology, Rourkela. India, 2015
- [47] “Güneş Paneli Temizleme Makinesi Nedir? Nasıl Çalışır?”

<https://muhendistan.com/mppt-nedir-nasil-calisir-mppt-nerelerde-kullanilir/> (erişim 12 Ocak 2023).

- [48] F. Arpino vd., “CFD simulations of power coefficients for an innovative Darrieus style vertical axis wind turbine with auxiliary straight blades”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 923, no 1, pp. 012036, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/923/1/012036.

