

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT OTOMOBİL TASARIMI, YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARIYLA DESTEKLENMESİ ve SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Burak ATALAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

Mayıs 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT OTOMOBİL TASARIMI, YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARIYLA DESTEKLENMESİ ve SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Burak ATALAY

503091728

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Ertuğrul ARSLAN

Mayıs 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503091728 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burak ATALAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“HİBRİT OTOMOBİL TASARIMI, ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARIYLA DESTEKLENMESİ ve SİMÜLASYONU ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin Ertuğrul ARSLAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Y. Doç. Dr. Akın KUTLAR**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Bu Tezin hazırlanmasında tecrübe ve yönlendirmeleriyle desteğini benden esirgemeyen Sn.Prof. Dr. H.Ertuğrul ARSLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezim esnasında sabır ve desteklerini benden esirgemeyen Babam İsmail Hakkı ATALAY ve annem Fatma ATALAY'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, artan üretim ihtiyacına karşılık olarak, üretilen ürünlerin fabrikalarda üretildiği ilk andan itibaren ihtiyaç duyulan enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Dünya üzerinde artan üretim, lojistik, tarım gibi sektörlerde enerji kaynağı olarak en çok petrol ve petrol türevi enerji kaynakları kullanılmaktadır. Özellikle elektrik üretimi için petrol ve petrol kaynakları hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Sanayi ürünlerinin üretilmesi ve taşınması için özellikle ulaşım sektöründe petrol en çok kullanılan enerji kaynağıdır. Petrol türevi yakıt rezervlerinin bir gün tükeneyeceği, bu yakıtların yanması ile açığa çıkan doğaya ve insan sağlığına zarar veren atık yanma ürünleri, küresel ısınma tehdidi ve petrol kaynaklarına hükmetmek amaçlı yapılan petrol savaşları, insanlığın, huzurlu, barışçıl ve daha doğal yaşam alanları oluşturabilmek için temiz enerji elde etme arayışlarını da artırmıştır. Petrol türevi yakıtların en çok kullanıldığı sektörlerden biri ulaşım ve taşıma sektörüdür. Dünya üzerinde ulaşımın büyük bir bölümü karayolu araçları ile yapılmaktadır. Karayolu araçlarının içten yanmalı motor teknolojisi tarafındaki verimlilik ve çevreye olan emisyon gazlarının azaltılması ile ilgili çok miktarda araştırma ve geliştirme çalışmaların yanında, araçların özellikle verimsizliğe yol açtığı kısımlarda hibritleştirme ve iki ya da daha fazla enerji kullanımı ile verimlerinin artırılması ve emisyon gazlarının azaltılması çalışmaları da yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında, tez çalışması ve konusunu bana öneren, hibrit araçlar ve otomobillerle ilgili teknolojiler konusunda önerilerde bulunarak, tecrübe ve bilgisini bana yansıtan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hüseyin Ertuğrul ARSLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Burak ATALAY

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xii
KISALTMALAR	xiv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
ŞEKİL LİSTESİ	xviii
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çevresel Etkiler	1
1.2 Konvansiyonel Araçlarda Yakıt Tüketimi ve Verimlilik	6
1.3 İçten Yanmalı Motorlarda Çevrimler	9
2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	15
2.1 Hibrit Elektrikli Araçların Çıkış Noktası.....	16
2.2 Hibrit Araçların Avantajları Ve Gelişime Açık Yönleri	18
2.3 Hibrit Otomobillerin Sınıflandırılması	19
2.3.1.2 İçten yanmalı motorlu hibrit otomobiller	21
2.4 Hibrit araçlarda kullanılan enerji depolama sistemleri.....	40
2.4.1 Hibrit araçlarda kullanılan bataryalar	41
2.4.2 Hibrit araçlarda kullanılan ultrakapasitörler	42
2.4.3 Hibrit araçlarda kullanılan volanlar	44
3. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TASARIM KRİTERLERİ VE MODELLENMESİ	45
3.1 Araca Etkiyen Kuvvetler	46
3.1.1 Rüzgar direnci	46
3.1.2 Yokuş direnci	47
3.1.3 Yuvarlanma direnci	47
3.1.3 Dönen kütle faktörü	47
3.1.4 Boyuna hareket denklemi.....	48
3.1.5 Sürüş çevrimleri.....	49
4. HİBRİT ARAÇ SİMÜLASYONU	51
4.1 Konvansiyonel Hibrit Araç Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi ...	55
4.2 Hibrit Araç Rüzgar Enerjisi İlavesi	58
4.3 Hibrit Araç Güneş Enerjisi Fotovoltaik Pil Sistemi İlavesi	62
4.4 Hibrit Araca Egzoz Çıkışı Elektrik Jeneratörü İlavesi	66
4.5 Alternatif Enerji Sistemlerinin İlavesi Sonucunda Simülasyon Sonuçları ...	68
5. SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	73

KISALTMALAR

IYM	: İçten Yanmalı Motor
EM	: Elektrik Motoru
HEA	: Hibrid Elektrikli Araç
SOC	: Batarta Şarj Miktarı (State of Charge)
DC	: Doğru Akım
NiMH	: Nikel Metal Hybrid
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
CAN	: Controller Area Network
RPM	: Rotation Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
ms	: Mili Saniye
mg	: Mili Gram
W	: Watt
kW	: Kilowatt
N	: Newton

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Piyasadaki hibrit otomobiller çizelgesi	19
Çizelge 2.2 : Yakıt Pillerindeki anot ve katottaki reaksiyonlar	20
Çizelge 2.3 : Hibritleştirme derecelerini gösteren çizelge	23
Çizelge 2.4 : Toyota Prius hibrit sistemin teknik özellikleri	34
Çizelge 2.5 : Ultrakapasitör, batarya ve volan karşılaştırması	44
Çizelge 2.6 : Ultrakapasitör ve bataryaların enerji depolamasında kullanılması ve güç toplam kapasite değerleri	44
Çizelge 3.1 : Viteslere göre değişen dönen kütle faktörleri	50
Çizelge 4.1 : Toyota Prius THS II MATLAB modelleme özellikleri	54
Çizelge 4.2 : Araç dinamiği özelliklerini gösteren çizelge	55
Çizelge 4.3 : Rüzgar türbinlerinin yakıt sarfiyatına etkisi	68
Çizelge 4.4 : A300 fotovoltaiik pillerin teknik özellikleri	69
Çizelge 4.5 : Türkiye ortalama güneş enerjisi verileri	69
Çizelge 4.6 : Güneş enerjisinin yakıt sarfiyatına etkisi	71
Çizelge 4.7 : Egzoz türbin enerjisinin yakıt tüketimine etkisi	73
Çizelge 4.8 : Alternatif enerji sistemlerinin ağırlık etkisi	74
Çizelge 4.9 : Alternatif enerjilerin yakıt tüketimine etkisi	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : AB 27 Ülkelerindeki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı	1
Şekil 1.2 : US.Greenhouse emisyonlarının sektörler bazında gösterimi	2
Şekil 1.3 : Avrupa'daki Brent ham petrol fiyatlarını gösteren grafik	3
Şekil 1.4 : Sektörler bazında of salımı gösteren grafik	4
Şekil 1.5 : Ulaştırma nedeniyle oluşan sera gazı etkisi artış grafiği	4
Şekil 1.6 : Otomobil markaları bazında karbondioksit salınımı değerleri	5
Şekil 1.7 : Otomobil ve hafif ticari araçlar için salımı regülasyonları	5
Şekil 1.8 : Euro 5-6 Emisyon regülasyonlarını gösteren Çizelge	5
Şekil 1.9 : İçten yanmalı motorlu araçların çevreye yaydıkları emisyon gazları	6
Şekil 2.1 : Araca ait verimlilik şeması	7
Şekil 2.2 : Motor karakteristik eğrisi	8
Şekil 2.3 : OTTO çevriminin P-V diyagramı	9
Şekil 2.4 : OTTO çevriminin zamanlara göre gösterilmesi	11
Şekil 2.5 : Diesel çevriminin P-V ve T-S diyagramları	12
Şekil 2.7 : Karışık Çevrimin P-V ve T-S diyagramları	13
Şekil 2.8 : Karışık ve otoban kullanımında içten yanmalı motorun optimum ve gerçekleşen yük durumlarını gösteren diyagramlar	14
Şekil 3.1 : Günlük araç kullanım yol bilgisi	17
Şekil 3.2 : Yakıt tüketimindeki artış diyagramları	17
Şekil 3.3 : EPA USA'daki yapılan ölçümlerde ve hibrit araçların karşılaştırmalı durumu	19

Şekil 3.4 : Elektrikli araçların yol haritasını gösteren şekil	21
Şekil 3.5 : HEV araçların 2050 yılına kadar yaygınlaşmasını gösteren grafik	22
Şekil 3.6 : Seri tahrikli hibrit sistemi	24
Şekil 3.7 : Paralel tahrikli hibrit sistemi	27
Şekil 3.8 : Seri/Paralel tahrik sistemli hibrit otomobil	29
Şekil 3.9 : Seri/Paralel tahrik sistemli hibrit otomobil	29
Şekil 3.10 : Seri, paralel ve seri/paralel yöntemlerinin kıyaslanması	30
Şekil 3.11 : P-HEV hibrit teknolojisinin seri ve paralel uygulaması	32
Şekil 3.12 : P-HEV CS ve CD modlarını gösteren grafik	33
Şekil 3.13 : P-HEV modeller bazında tüketime etkisi	33
Şekil 3.14 : Toyota Prius operasyon modları	35
Şekil 3.15 : Toyota Prius çalışma prensibi şeması	36
Şekil 3.16 : Gerilim ve moment arasındaki ilişki grafiği	36
Şekil 3.17 : Gerilim ve çıkış gücü arasındaki ilişki grafiği	37
Şekil 3.18 : Gerilim ve çıkış gücü arasındaki ilişki grafiği	37
Şekil 3.19 : THS ve THS II ‘nin batarya gücü olarak kıyaslanması	38
Şekil 3.20 : Toyota Prius THS II elektrik motoru moment ve çıkış gücü iyileştirmeleri	38
Şekil 3.21 : Planet dişli sistemini gösteren çizim	39
Şekil 3.22 : Chevrolet Volt’un teknik özellikleri	40
Şekil 3.23 : Chevrolet Volt tahrik sistemini gösteren şema	40
Şekil 3.24 : Hibrit elektrikli araç enerji depolama sistemleri kıyaslama	42
Şekil 4.1 : Araca etkiyen kuvvetleri gösteren şekil	48
Şekil 4.2 : ECE R15 sürüş çevrimi	52
Şekil 4.3 : EUDC sürüş çevrim	51
Şekil 4.1 : Aracın Matlab’de modellenmesi	51
Şekil 4.2 : Hibrit aracın kontrol sisteminin modellenmesi	53
Şekil 4.3 : Hibrit aracın elektrik motoru ve jeneratörünün modellenmesi	53
Şekil 4.4 : İçten yanmalı motorun modellenmesi	54
Şekil 4.5 : Araç dinamiğinin simulink modeli	56
Şekil 4.6 : Motor eğrisi ve yakıt tüketimi değerleri	57
Şekil 4.7 : Aracın yakıt Ece R15 çevrimine göre yakıt tüketim değerleri	57

Şekil 4.8 : ECE R15 ve EUDC çevrimlerine göre modelleme sonrası ivme, tork ve güç değerleri	58
Şekil 4.9 : ECE R15 ve EUDC çevrimlerine göre araç hızları	58
Şekil 4.10 : ECE R15 ve EUDC modelleme sonrası sırasıyla İYM, motor ve jeneratör çalışma durumları	59
Şekil 4.11 : ECE R15 ve EUDC modelleme sonrası sırasıyla içten anmalı motora ait hız, tork ve güç değerleri	60
Şekil 4.12 : ECE R15 ve EUDC modelleme sonrası sırasıyla motor ve jeneratör hız değerleri (RPM)	60
Şekil 4.13 : ECE R15 ve EUDC DC Bus şarj batarya şarj durumu ve akımları ile state of charge değerleri	61
Şekil 4.14 : ECE R15 Avrupa yol çevrimi	62
Şekil 4.15 : Rüzgar türbini şematik gösterimi	63
Şekil 4.16 : Rüzgar enerjisi Simulink modellemesi ve komple sisteme ilavesi	63
Şekil 4.17 : Rüzgar enerjisinin Matlab Simulink simülasyonuna gömülmesi	64
Şekil 4.18 : Türbin lüle çiftinin görünüşü	66
Şekil 4.19 : Rüzgar türbinlerinin araç üzerindeki görünüşleri	66
Şekil 4.20 : Fotovoltaik pillerin aracın tavanında görünüşü	70
Şekil 4.21 : Fotovoltaik pil eşdeğer devresi	70
Şekil 4.22 : Fotovoltaik komple şarj sistemi Simulink modeli	71
Şekil 4.23 : Güneş enerjisinin sisteminin Matlab Simulink modeline gömülmesi	71
Şekil 4.24 : Egzoz türbini enerjisinin Simulink modellemesi	73
Şekil 4.25 : Yakıt tüketimindeki iyileşmenin grafik gösterimi	75

HİBRİT OTOMOBİL TASARIMI, YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIYLA DESTEKLENMESİ ve SİMÜLASYONU

ÖZET

Bu tez çalışmasında günümüzde kullanılan otomobil motoru ve tahrik teknolojileri, bu teknolojilerin yakıt sarfıyatı ve çevre ile olan etkileşimleri ile bir hibrit otomobil tasarımının gerekliliği ve avantajlarını ele alınmıştır.

Sürekli artan dünya nüfusu, gelişmekte olan ülkeler ve insan ihtiyacı için artan üretim gereksinimi, insanlığın faaliyetlerinin devamı için enerji talebini artırmaktadır.

Günümüzde dünya üzerinde, enerji büyük oranda petrol türevi yakıtlardan elde edilmektedir. Petrol türevi yakıt rezervlerinin bir gün tükeneceği, bu yakıtların yanması ile açığa çıkan doğaya ve insan sağlığına zarar veren atık yanma ürünleri, küresel ısınma tehdidi ve petrol kaynaklarına hükmetmek amaçlı yapılan petrol savaşları, insanlığın, huzurlu, barışçıl ve daha doğal yaşam alanları oluşturabilmek için temiz enerji elde etme arayışlarını da artırmıştır. Petrol türevi yakıtların en çok kullanıldığı sektörlerden biri ulaşım ve ulaştırma sektörüdür. Dünya üzerinde ulaşımın büyük bir bölümü karayolu araçları ile yapılmaktadır. Karayolu araçlarında temiz enerji arayışları nedeniyle, otomotiv üreticileri, hibrit elektrikli araç üretimi çalışmalarına hız vermiş ve çeşitli araştırma kurumları ile işbirliklerini artırmışlardır.

Bu tez çalışmasında hibrit elektrikli otomobillerin genel tanımları, uygulama alanları ve teknolojileri üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Hibrit otomobillerde ve konvansiyonel otomobillerde kullanılmakta olan içten yanmalı motorlar ve çevrimleri ile hibrit araçlarda kullanılan seri, paralel ve seri/paralel tahrik sistemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Simülasyon aşamasında ise paralel hibrit elektrikli bir otomobilin Matlab/Simulink yazılımındaki simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda aracın dinamik değerleri, içten yanmalı motor değerleri, algoritma sistemi, şarj ve batarya sistemi hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu araca ilave olarak, aracın verimliliğin artırmak ve yakıt tüketimini azaltmak için alternatif enerji sistemleri olarak güneş, rüzgar enerjisi ve egzozdaki türbin enerjisi araçta batarya sistemini şarj etmek için simülasyon çalışması yapılacaktır. Aracın egzozundan çıkan emisyon gazının akışı ile bir türbin-jeneratör çiftinden elektrik enerjisi üretilerek bataryayı şarj edilmesi simüle edilecektir. Aracın ön kısmında sis farlarının bulunduğu bölümde türbin jeneratör çiftine ilave olarak lüle sistemiyle havanın akış hızı artırılarak elektrik enerjisi elde edilmesi için simülasyonlar yapılmıştır. Aracın tavanına yerleştirilen güneş panelleri sayesinde ortalama bir ışınlım değerine göre elektrik üretilmesi ve bataryaların şarj edilmesi için çalışılmıştır. Aracın yol ve yoldan gelen hız gibi değerleri Avrupa yol çevrim mekanizmalarına göre belirlenmiştir. Simülasyonlarda ECE R15 ve EUDC yol çevrimleri esas alınarak hesaplamalar ve kıyaslamalar yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar mevcut hibrit araç ve

nihai sistemlerle desteklenmiş hibrit araç arasında kıyaslama yapılarak yakıt tüketimi ve menzildeki farklılıklar ortaya konulmuştur. Simulink modellerinden alınan yakıt, şarj durumu, araç hızı ve voltaj değerleri gibi grafik verilerle kıyaslamalar yapılmıştır. Alternatif enerji sistemlerinin konvansiyonel bir hibrit araca ilave edilmesiyle yakıt tüketiminde %3,86 mertebesinde iyileşmeler elde edilmiştir.

HYBRID VEHICLE DESIGN, SUPPORTING RENEWABLE ALTERNATIVE ENERGY SOURCES and SIMULATION

SUMMARY

In this thesis, internal combustion engines and propelling systems of new vehicles, affects of air pollution and neccessity of hybrid technology vehicles worked and analysed.

Growing world population and their energy needs especially in production, electricity production and logistics needs causes dangerous gas emmissions affect environment. Furthermore, fossil fuels will be consumed totally in the next 50 years.

In this thesis, hbyrid electric vehicles' general definitons, applications and their technologies investigated and studied. Internal combustion engines, hbyrid electric series, paralel and series/parallel vehicles worked and explained in detailed. Alternative energy systems like wind energy solar energy and exhaust turbine energy worked and added to usual hybrid vehicles. At the beginning of this thesis, enviromental approach of vehicles, exhaust gas emmissions, petrol consumption and internal combustion engines are given in detailed study. Enviromental effects and air pollution will be very harmful and problemeatic issues in the future. %30 percent of air pollution and gas emmissions are maden by motor vehicles and transport industry. Exhaust gas and poisonous chemical compounds like CO, Nox etc are very dangerous for natural life, environment and Human health. Thus, enviromental effects are very important for vehicle design, engine design and alternative energy support systems. European standards for motor vehicles and exhaust gas emmissions are getting narrow step by step for near future. In passenger cars, CO emmission standard will be 95 gr/km as of 2020 according to Euro 6 standard regulations. Decreasing exhaust gas emmissions and depending on this case, decreasing fossil fuel consumption of motor vehicles are getting more important for near future.

As explained in this thesis, hybrid electric vehicles are the first step to electric vehicles. The vehicles with electric propulsion are limited usage due to long time charging process and very low range compared to conventional vehicles with internal combustion engines. Hybrid electric vehicles are vehicles use minimum two different methods and energy systems for propulsion. They are mostly a combination of internl combustion engine and electric motors. Hybrid vehicles are also threshold for fuel cell technology that uses chemical energy. A hybrid vehicle uses two different sources of tractive energy e.g. a fossil fuel and electricity that together, or one at a time can be used for vehicle propulsion. A hybrid vehicle or gas-electric hybrid powered vehicle uses a mixture of technologies such as internal combustion engines, electric motors, gasoline, and batteries. Today's hybrid cars are driven by electric motors powered by both batteries and an ICE. In an ICE based HEV, the engine is coupled with electric machine. This modification creates integrated mechanical and electrical drive trains that merge power from both the ICE and the electric motors to drive the vehicle. By using the energy storage system as a power buffer, the ICE can be operated at its most efficient condition and reduced in size while maintaining the

overall performance of the vehicle. In this type of vehicles, fossil fuel, however, is still the sole energy source to the vehicle system, (except for plug-in HEV where electricity obtained from electrical grid provides another power source). The charge of the battery is maintained by the ICE and the electric machines. As a consequence of the reduced engine size, more efficient engine operation, and recovered braking power, fuel usage and emissions of the vehicle are considerably lower than comparable conventional vehicles. In this thesis, Chapter 1 has defined the research problem and presented the importance of the HEV technology. Classifications of various HEV configurations were introduced based on different criteria. Chapter 2 explains the power and energy demands from vehicle on board energy storage system. Based on these demands, a review on recent advances of HEV related energy storage system technologies were presented. Chapter 3 discusses the state-of-the-art of HEV design and simulation tools. Two widely used modeling platforms are discussed in details. Chapter 4 explains the modeling of hybrid power system for a hybrid electric vehicle. Chapter 5 explains design of hybrid electric vehicle with support of wind energy, exhaust turbine energy and solar energy. ECE R15 and EUDC road simulation datas will be used for road conditions, acceleration and stopping functions. In 1970s, many auto makers such as GM, Ford and Toyota started to develop electric vehicles powered by batteries due to the oil shortage. However, these electric vehicles powered solely by battery power did not go far enough. The interest in hydrogen fuel cell cars has arisen as a result to address the range problem associated with battery power cars. However, with more than 15 years of intensive development, there are still not any fuel cell hybrid cars on market mainly due to the high manufacturing cost. In the meantime, other automotive manufacturers have moved in another direction of internal combustion engine based hybrid electric vehicle. In 1997, Toyota introduced the the first internal combustion based hybrid electric vehicle to the Japanese market. Ever since, an increasing number of HEV have become available. One of the most common ways to classify HEV is based on configuration of the vehicle drivetrain. In this section, three major hybrid vehicle architectures introduced are series, parallel and series-parallel. Until recently, many HEV in production are either series or parallel. In terms of mechanical structure, these two are primitive and relatively simple. A series-parallel powertrain brings in more degrees of freedom to vehicle engine operation with added system complexity. Simulation based analysis on vehicle performance is crucial to the development of hybrid powertrain since design validation using costly prototype is impractical. Due to the inconvenience of the many separated modeling methods, integrated modeling tools are required to speed up the modeling process and to improve the accuracy. Vehicle simulation is a method for fast and systematic investigations of different design options (fuel choice, battery, transmission, fuel cell, fuel reformer, etc.) in vehicle design and development. At present, several simulation tools based on different modeling platforms are available, although none of them is sufficient to model all design options. These tools always focus on a specific application with focused concerns.

At the beginning of simulation, conventional hybrid series-parallel configuration vehicle's simulation is maden. Charts and simulation results are evaluated. In results, avarage fuel consumption, internal combustion engine and electric motors on/off modes, torque, total power needed for road simulation and state of charge cases of battery are evaluated. State of charge value of %60 in battery charging, the system starts producing electricity and charging battery. Our aim is keeping the battery %60 percent level of full charge all the time. Furthermore, additional features like wind

energy turbines, exhaust energy turbines and photovoltaic solar panels applied to the vehicle energy system. Wind turbines are placed at the front fog lamps' position. These turbines produce electric energy while having wind from front section according the speed profile of the vehicle. Relative speed is same with vehicle's speed while in negative acceleration. In positive acceleration wind turbines are off mode. ECE R15 road conditions have 4 times stopping and also negative acceleration. Wind turbines charge battery while in negative acceleration and they provide % 0,8 fuel consumption gain compared to conventional vehicle. This Hybrid vehicle has also 54 pcs solar panel (photovoltaic cells) at the roof. Avarage radiation value is defined for solar energy and applied in Matlab Simulink simulation in order to have electric charging. Solar energy provides %2 fuel consumption gain compared to conventional vehicle. Exhaust energy is produced by exhaust gas pressure created by engine piston movement and also chemical reaction's pressure difference. Turbocharger unit is applied in exhaust system and 60000 rpm speed turbine is selected. Speed is decreased to 3000 rpm by the help of reducer. The reducer also provide torque increase and turns on electric generator. Electric generator generates power to the battery. Exhaust turbine energy provides % 0,45 fuel consumption gain. All of these alternative energy systems are used for charging battery alternatively. According to simulation results, tha gap between conventional hybrid vehicle and alternative energy supplied hybrid vehicle can be seen. Fuel reduction is about % 3,86 according to simulation results. The most efficient method is solar energy when compared with wind energy and exhaust turbine energy. Solar energy is an external power source that do not cause any case of inefficiency. Wind turbine can run just in negative acceleration. If they run in all road conditions, wind turbines cause extra wind resistance. So, wind energy would decrease total efficiency of the vehicle. In order to solve total efficiency problem, wind turbines will run just in negative acceleration modes. All of these energy systems will be stored in battery. Wind turbines and exhaust energy turbines produce AC voltage and solar energy produce DC voltage. All of these energy sources will be converted DC to DC and enters battery after DC Bus converter. Power management system controls all electrical algorithm and additional energy sources like wind, solar and exhaust energy. Fuel efficiency and fuel consumption calculations have been maden with engine characteristic curves affected by engine rpm and specific fuel consumption values for engine revolution per minute. Avarage fuel consumption in conventional hybrid electric vehicle is about 4,595 L per km and in alternative energy sources supported hybrid vehicle's consumption is 4,418 L per km. That means fuel efficiency provided as about % 3,86 totally. Relative speed assumed that it's same with vehicle speed and there is no wind speed. In solar energy, avarage solar radiation value is taken. In exhaust enegy system, pressure difference is directly used in turbine. As a result, alternative energy supported hybrid electric vehicles are efficient systems that include wind, solar and exhaust systems. Wind energy and solar energy are renewable sources that World needs for the future. These systems are applied to hybrid electric vehicles and the total efficiency increased. In the future, more efficient turbines and more efficient solar panels and exhaust turbine generators can be used and total efficiency can be increased.

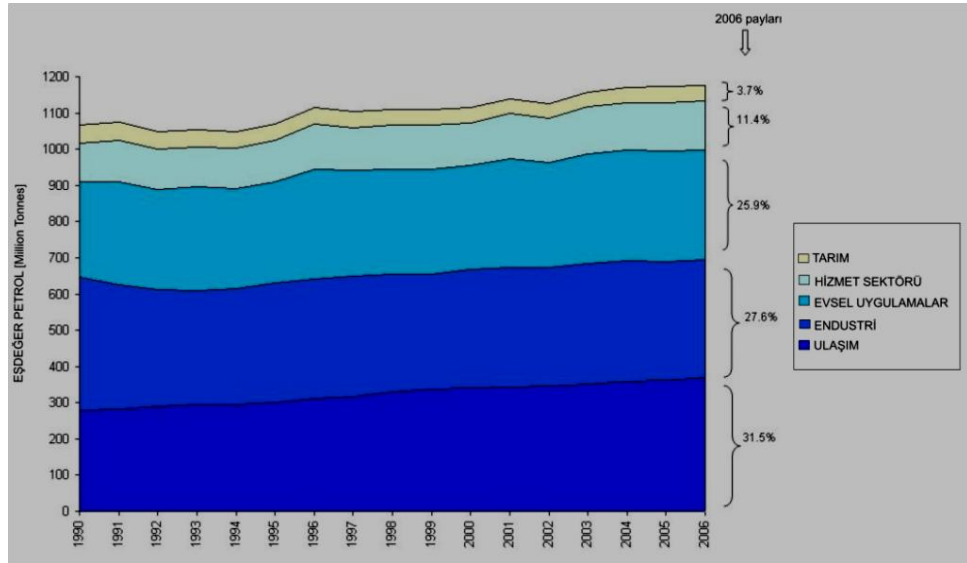
1.GİRİŞ

Dünyada artan nüfusa bağlı olarak endüstri ürünleri ihtiyacına yönelik kullanılmak üzere ulaştırma, tarım ve enerji alanlarında fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar bu ihtiyaca karşılık olarak yoğun bir şekilde talep edilmektedir.

Artan araç sayısına bağlı olarak ulaştırmada kullanılan yakıt miktarının artması atmosferdeki kirletici etkilerin ve karbondioksit miktarının artışıyla beraber, sera gazı etkileri ve iklim değişikliği konularında enerji ve verimliliği konularında gündemde tutmaktadır.

1.1 Çevresel Etkiler

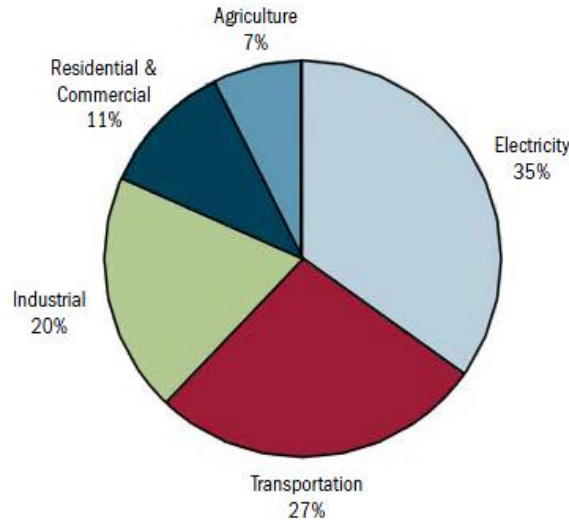
AB 27 Avrupa ülkelerinde enerji tüketimine bakıldığında, enerji tüketiminin %33 oranında ulaştırma sektöründe kullanıldığı belirlenmiştir.



Şekil 1.1 : AB 27 Ülkelerindeki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı [1].

Artan araç sayısına bağlı olarak emisyon ve karbon dioksit gazı miktarının hızla artması, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişikliği sorunları alternatif yakıtların kullanılmasını gündeme getirmiştir. Avrupa'nın ve Dünyanın diğer ülkelerinde her geçen yıl ulaşım yoğunluğunun artması ve açığa çıkan emisyon miktarlarının da buna paralel olarak artması alternatif yakıtların kullanımının etkisini

sınırlamaktadır [1]. Ayrıca mevcut sistemler ve altyapı olanaklarının getirdiği kısıtlamalar nedeni ile fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçilmesi beklenen hızda gelişmemektedir. Bunlar üretim potansiyelleri, üretim teknikleri, dağıtım, pazarlama ve motor uyumudur. Örneğin çevre açısından kirletici emisyon açığa çıkarmayan hidrojenin istenen saflıkta eldesi ve depolama sistemleri zor ve pahalı teknikler gerektirmektedir Tüm bu problemleri gidermek için uygun alternatif yakıtlar ve/veya daha verimli alternatif araçların geliştirilmesi gündeme gelmiştir.



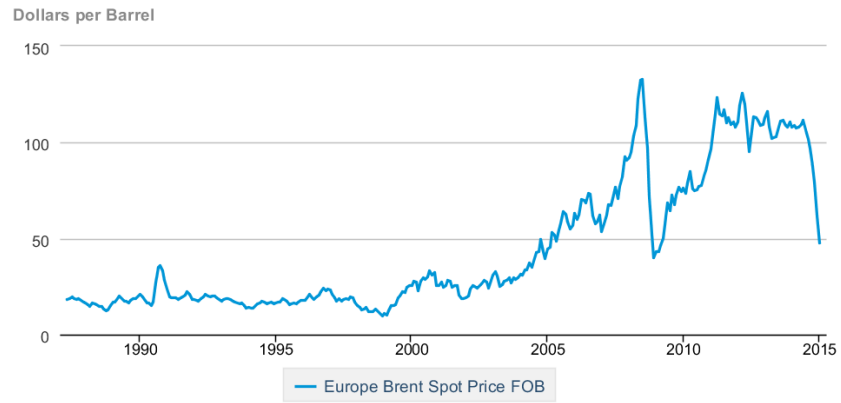
Şekil 1.2 : US.Greenhouse emisyonlarının sektörler bazında gösterimi [2].

Ulaşım ve diğer üretim sektörlerinde fosil yakıtların uzun yıllar boyunca yoğun olarak kullanımı, atmosfere uzun yıllar boyunca yanma ürünü gazlarının salınmasına neden olmuştur. Sanayi devriminden günümüze kadar atmosfer ısısında düzenli bir artış gözlemlenmiştir. Şubat (2007) ayında yapılan hükümetler arası iklim değişikliği panelinde bilim adamlarının yayımladığı ortak metinde [1], bu ısı artışı büyük oranda insan faktörüne bağlanmıştır. Fosil yakıtlarının kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit, nitrojen oksitler gibi kirletici gazların atmosferde sera etkisi yaptığı ve dünya iklimini değiştirdiği bilinmektedir. Dünya tarihinde bu tür ani ısı artış ve azalışları birçok defa gerçekleşmiştir. Atmosfer ısısındaki dönemsel artışlara okyanus akıntılarının neden olduğunu öne süren tezler de vardır. Her ne kadar farklı tezler de olsa, fosil yakıtlarının kullanılmasıyla ortaya çıkan atık gazların insan sağlığını tehdit ettiği, atmosferi kirlettiği ve sera gazı etkisi yaparak atmosferin ısınmasına neden olduğu somut bir şekilde bilinmektedir [2]. Sanayi devriminden bu güne kadar düzenli olarak gözlemlenen atmosfer ısısındaki artış, küresel ısınma tehdidi,

dönemsel enerji krizleri ve fosil yakıtlarının yakın bir gelecekte tükeneceğinin öngörülmesi, temiz enerji arayışının yeniden başlamasına neden olmuştur. Fosil yakıt kullanımında ikinci sırada olan ve en hızlı büyüyen sektörlerden biri, elektrik üretimi sektöründen sonra ulaşım sektörüdür. Bu nedenle ulaşım sektörü içerisinde üretim yapan firmalar üzerinde, ürettikleri ulaşım araçlarının atmosfere saldıkları egzoz gazları oranlarına hükümetler giderek daralan sınırlamalar getirmişlerdir. İçten yanmalı motor teknolojisi, her ne kadar gelişmiş de olsa, kademeli olarak getirilen bu kısıtlamaları sağlayacak hızlarda gelişim gösteremediğinden, araç üreticileri yeni enerji kaynakları üzerinde araştırmalarına hız vermişlerdir [3].

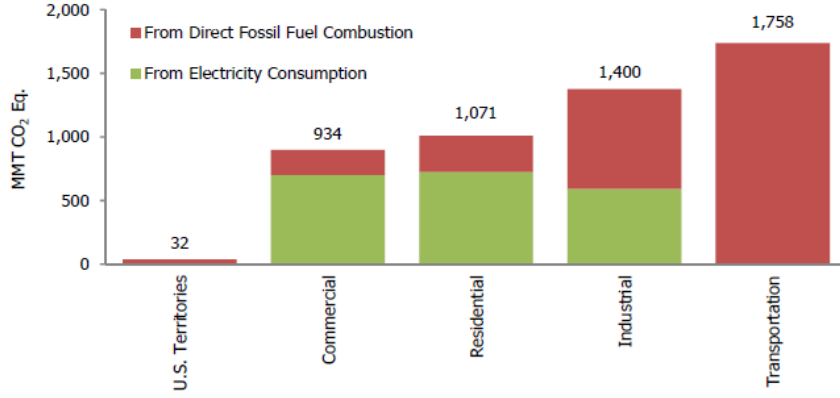
1990-2015 yılları arasında artan ham petrol fiyatlarına bakıldığında, şu anki durumun 1990'daki seviyelerin yaklaşık 3 katı mertebesinde olduğu görülmektedir.

Europe Brent Spot Price FOB



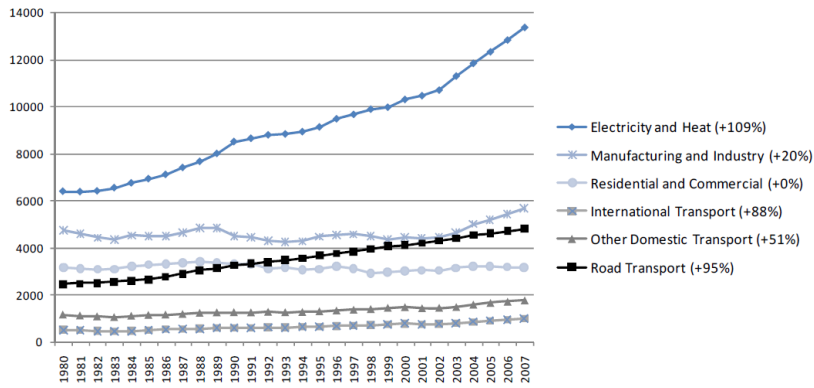
Şekil 1.3 : Avrupa'daki Brent ham petrol fiyatlarını gösteren grafik [3].

Sektörler bazında değerlendirildiğinde dünyada fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO_2 salınımı, ulaştırma sektöründe doğrudan fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan salınım miktarıdır.



Şekil 1.4 : Sektörler bazında of CO_2 salımı gösteren grafik [4].

1980 – 2007 yılları arasında sektörler bazında değerlendirme yapıldığında ulaştırma sektöründeki CO_2 gazı salınımı %95 oranında artış göstermiştir.



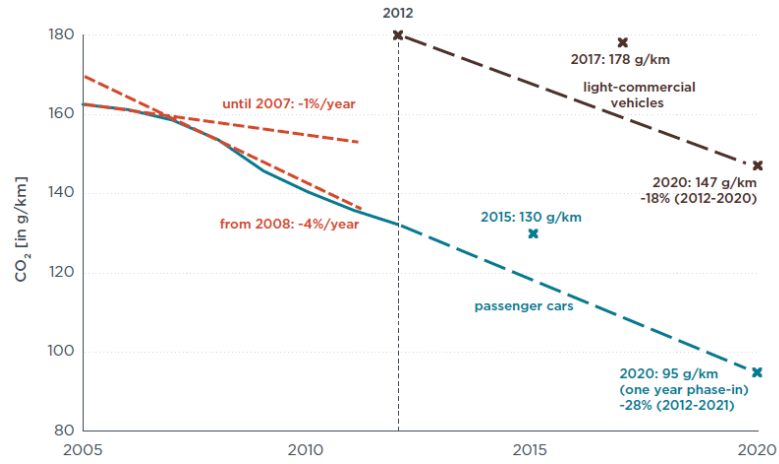
Şekil 1.5 : Ulaştırma nedeniyle oluşan sera gazı etkisi artış grafiği [5].

2015 yılı itibariyle binek otomobillerdeki ortalama CO_2 gazı seviyesi 2006 yılındaki 160 gr/km değerinden 132 gr/km değerine düşürülmüştür. Bu azalma yaklaşık %17 mertebesinde. 2020 yılındaki yeni ortalama beklentisi 95 gr/km değeridir. [5].

Hafif ticari araçlarda ise 2006 yılındaki 180 gr/km ortalama 2012 yılı itibariyle 147 gr/km değerine düşürülmüştür. 100 km'deki tüketim Ortalamasının 5,6 L olarak sağlanması anlamına gelmektedir.

	Market share	Mass [kg]	CO ₂ [g/km]		
			2012	2015	2020
Daimler	5%	1583	143	140	101
BMW	6%	1563	138	139	100
GM	8%	1445	134	133	96
Volkswagen	25%	1417	133	132	96
Average		1400	132	130	95
Ford	8%	1322	129	128	92
Renault-Nissan	12%	1329	128	128	93
Fiat (Incl. Chrysler)	6%	1209	124	123	89
Toyota	4%	1325	122	128	92
PSA (Peugeot-Citroën)	12%	1374	122	130	94

Şekil 1.6 : Otomobil markaları bazında CO₂ salınımı değerleri[5].



Şekil 1.7 : Otomobil ve hafif ticari araçlar için CO₂ salımı regülasyonları [5].

Çizelge 1.1 Euro 5-6 Emisyon regülasyonlarını gösteren çizelge [5].

	NOx		THC ¹		THC ¹ + NOx		PM		PN ²	
	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol
Euro 1 1992.07	-	-	-	-	970	970	140	-	-	-
Euro 2 1996.01	-	-	-	-	700/900 ³	500	80-100	-	-	-
Euro 3 2000.01	500	150	-	200	560	-	50	-	-	-
Euro 4 2005.01	250	80	-	100	300	-	25	-	-	-
Euro 5a 2009.09	180	60	-	100	230	-	5	5	-	-
Euro 5b 2011.09	180	60	-	100	230	-	5	5	6x10 ¹¹	-
Euro 6 2014.09	80	60	-	100	170	-	5	5	6x10 ¹¹	-

¹ THC = Total hydrocarbons

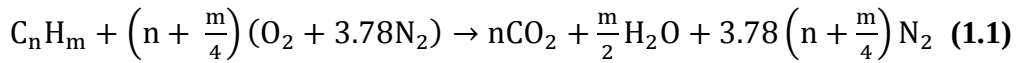
² Particle number is expressed as the maximum allowed number of particles per kilometre (#/km).

³ Indirect Injection (IDI) and Direct Injection (DI) engines respectively.

Bu işbirlikleri ve araştırmalar sonucunda, öncelikle getirilen kısıtlamaları karşılamak, sıfır emisyonlu araçlar geliştirebilmek ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilmek

için çeşitli fikirler ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmalar, üretilen cihazın verimliliğini artırmak, daha az ya da hidrojen gibi hiç karbon içermeyen yakıtlar ile çalışabilen araçlar geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Bu süreç içerisinde, daha düşük oranlarda karbon içeren ya da hiç içermeyen yakıtların verimlerinin düşük, batarya ve güç elektroniği teknolojilerinin yeteri kadar gelişmiş olmaması nedeniyle, bütün bir aracın verimliliğinin artırılması fikri ön plana çıkmış ve en az iki güç kaynağı kullanan hibrid (melez) araçlar devri yeniden başlamıştır. Hibrid elektrikli araçlar, sıfır emisyonlu araçların alt yapısının gelişmesi açısından araç üreticileri tarafından büyük bir ilgi görmektedir [6]. Toyota ve Honda gibi Japon firmalarının 1997 yılında pazara sürdükleri Toyota Prius ve Honda Insight modelleri, hibrid elektrikli araç sektöründe pazarı sürükleyici etki yapmıştır.

İçten yanmalı bir aracın çalışması esnasında, yanma ürünü olarak çevreye nitrojen gazı (N₂), karbon dioksit (CO₂), su buharı (H₂O), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC) ve nitrojen oksitler (NO ve NO₂, birlikte adı NO_x) çıkmaktadır.



Air Pollutant	Proportion from On-road Motor Vehicles
Oxides of Nitrogen (NO _x)	34%
Volatile Organic Compounds (VOC)	34%
Carbon Monoxide (CO)	51%
Particulate Matter (PM ₁₀)	10%
Carbon Dioxide (CO ₂)	33%

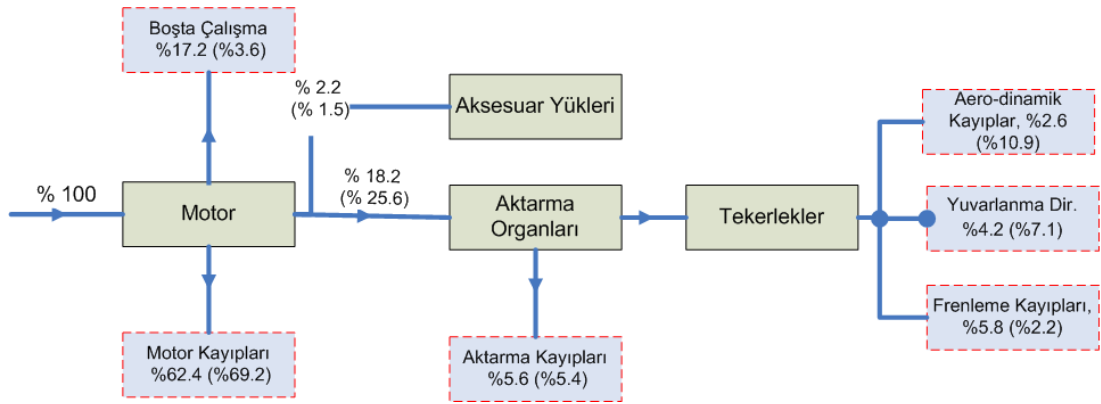
Şekil 1.9 : İçten yanmalı motorlu araçların çevreye yaydıkları emisyon gazları [6].

1.2 Konvansiyonel Araçlarda Yakıt Tüketimi ve Verimlilik

İçten yanmalı motorlarda üretilen enerjinin büyük bir bölümü egzoz gazları ve motor gövdesi aracılığıyla ısı olarak dışarı atılmaktadır. Orta boyutlu bir aracın şehir içi ve

dışındaki seyirlerde harcadığı yakıt oranları gösterilmiştir. Parantez içerisindeki değerler otoyol çevrimindeki oranlarını göstermektedir.

İçten yanmalı motorlarda dönüştürülen kimyasal enerjinin şehir içi çevrimde %62,4'ü ısı olarak dışarı atılmaktadır. Kullanılabilir enerjinin % 17,2'si motor boşta olduğu durumda hareket enerjisine dönüştürülmeden harcanmakta, % 5,8'i fren enerjisi, % 5,6'sı ise mekanik kayıp olarak tüketilmektedir. İçten yanmalı motorlu araçlar tasarlanırken, sürüş performansları söz konusu olduğunda, ivmelenme, yokuş çıkma ve en yüksek seyir hızı gibi amaçları sağlayabilecek motorlar seçilmektedir [7]. Bu nedenle tam yükte daha yüksek verimle çalışmaktadırlar. Şehir içi trafik koşullarında tam yük koşulları sağlanamadığından ve dur-kalklar nedeniyle harcanan yakıt ile kastedilen mesafe göz önüne alındığında verim son derece düşük olarak gerçekleşmekte, kirletici emisyon miktarı da artmaktadır. Buna ek olarak motorun bir durumdan diğer bir duruma geçişi gibi dinamik durumlarda, yakıt püskürtme sistemlerinden dolayı, motorun sabit rejimde çalıştığı duruma göre çok daha fazla yakıt tüketilmekte ve atmosfere salınan kirletici ve zararlı gaz oranları artmaktadır.

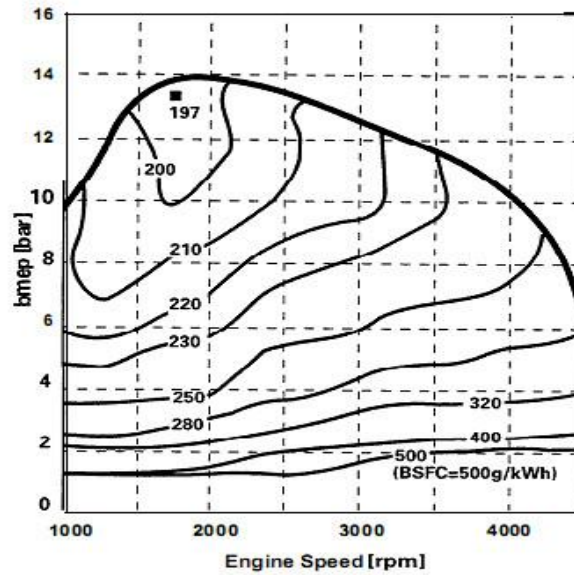


Şekil 2.1 : Araca ait verimlilik şeması [7].

İçten yanmalı motorlarda yanma ürünü olarak su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), ve azot oksit (NO_x) gazları bileşenleri açığa çıkmaktadır. Yanmanın ideal şartlarda gerçekleşmemesi durumunda hidrokarbonlar (HC) ve karbon monoksit (CO) gibi kirletici gazlar da açığa çıkmaktadır. Yakıt içerisinde bulunan katkı maddeleri de göz önüne alındığında, içten yanmalı bir motorda gerçekleşen yanma sonucunda aşağıda verilen atık gazlar ortaya çıkar.

- Yanmamış hidrokarbonlar (HC)
- Karbon monoksit (CO)
- Azot oksitler, (NO_x)
- Aldehitler (HC , HO vb.)
- İs ve partiküller (PM)
- Kükürt dioksit (SO_2)
- Kurşun bileşenleri

Güç ve güç aktarma organlarının en yüksek verim ve ucuz enerji bölgelerinde çalıştırılması hibrid elektrikli araçlarda önemli oranlarda yakıt tüketimi azaltma potansiyeli oluşturmaktadır. Konvansiyonel bir araca, elektrik motoru eklendiğinde, içten yanmalı motorların pahalı enerji tükettiği bölgelerde bütün sistemin verimi göz önüne alınarak elektrik motoru devreye alınabilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi içten yanmalı motorların en yüksek verimi %40 civarında iken, bu oran şehir içi seyirlerde ortalama %20'dir.



Şekil 2.2 : Motor karakteristik eğrisi [8].

İçten yanmalı motorlu bir araçta yakıt ekonomisi ve dolaylı olarak CO_2 salınımına etki eden etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Seyir direncinin (Rolling resistance) düşürülmesi

- Aerodinamik direncin düşürülmesi
- Aktarma organlarındaki verimliliğin artırılması
- Motorun yol şartlarına göre en verimli olduğu bölgelerde kullanılması ve bu konuda yazılımların uygulanması
- Araç tasarımında mekanik ve gövde malzemelerinin kütlelerinin azaltılması

1.3 İçten Yanmalı Motorlarda Çevrimler

İçten yanmalı motorlar prensiplerine göre iki temel çevrim ile tasarlanmışlardır. Bunlar OTTO ve Dizel çevrimleridir. Nikolaus Otto tarafından 1832-1891 yılları arasında geliştirilen, yakıt-hava karışımının bir kıvılcımla ateşlenerek yanması prensibine dayanmaktadır. Öte yandan Dizel Çevrimi, Rudolf Diesel tarafından 1852-1913 yılları arasında geliştirilen, yanma odasındaki yüksek basınçlı havanın üzerine yakıtın püskürtülmesi esasına dayanan çevrimdir [9,10].

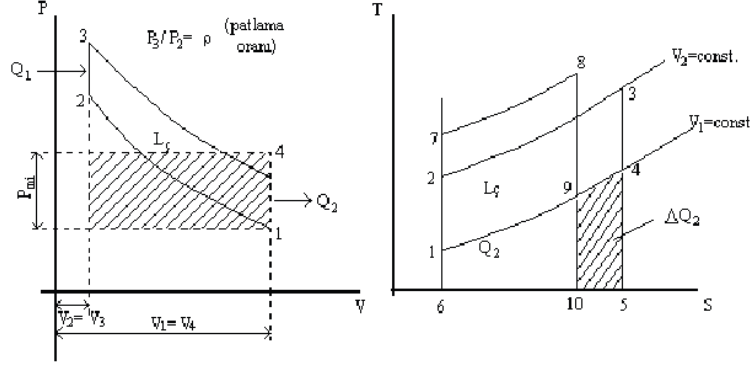
1.3.1 OTTO Çevrimi

1- Emme Zamanı : Teorik olarak pistonun, silindir içerisinde Ü.Ö.N.'den A.Ö.N.'ye hareketi ile emme supabı açılır. Silindirdeki hacim büyümesi, içerideki basıncın düşmesine neden olur. Silindir, emme supabı ve emme manifoldu ile atmosfere açık olduğundan, iki basınç farkı havanın silindire doğru hareketlenmesine yol açar. Gerçek çevrimde, emme supabı, piston bir önceki çevrimin egzoz zamanı bitimine doğru Ü.Ö.N.'ye gelmeden $0-30^\circ$ önce açılır. A.Ö.N.'yi ise $0-60^\circ$ geçtikten sonra kapanır [10].

2- Sıkıştırma Zamanı: Piston, A.Ö.N.'den Ü.Ö.N.'ye hareketine başlarken, o silindirde bulunan tüm supablar kapalıdır. Silindir içerisinde basınç oluşmuştur. Bu durumda Ü.Ö.N.'ye doğru harekete başlayan piston, içeride hacim küçülmesi yaratır. Pistonun bu hareketi, karışımın basıncını ve sıcaklığını arttırır. Basınç, pistonun Ü.Ö.N.'ye yaklaşmasıyla 10 - 15 Bar'a ulaşır. Sıcaklık ise $400 - 500^\circ \text{C}$ nin üzerine çıkar. Bu sıcaklık değeri karışımın tutuşma sıcaklığına yakın bir değerdir

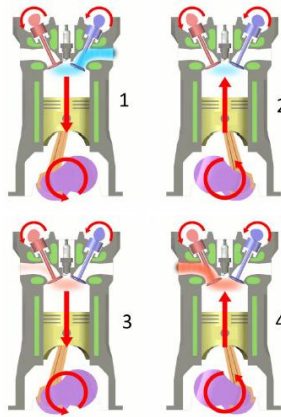
3- İş (Ateşleme ve Genleşme) Zamanı: Sıkıştırılan hava - yakıt karışımının, buji tırnakları arasında yaratılan kıvılcımla tutuşması sağlanır. Yanma basıncı en yüksek değerinin, pistonun Ü.Ö.N.'yi $5 - 10^\circ$ yi geçtikten sonra oluşması istenir. Bu nedenle kıvılcım, piston daha Ü.Ö.N.'ye gelmeden oluşturulur. Buna "Ateşleme Avansı" denir. Bu değer motorun tüm çalışma koşullarına göre değişir. Yanma ile

başlayan genleşme, basıncın 40 - 50 bara çıkmasına neden olur. Bu basınç, piston tepesine uygulanan itme kuvvetine dönüşerek, pistonun A.Ö.N.'ye doğru itilmesini sağlar [10].



Şekil 2.3 : OTTO çevriminin P-V diyagramı.

4- Egzoz Zamanı: Pistonun, A.Ö.N.'den Ü.Ö.N.'ye hareketi ile egzoz egzoz supabı açılmaya başlar. İçerideki 6 - 7 barlık basınç yardımıyla yanmış gazların dışarıya daha kolay atılması sağlanır. Bu dışarıya atım işlemi, pistonun tekrar Ü.Ö.N.'ye gelmesine kadar devam eder. Gerçek çevrimde, egzoz supabı, piston A.Ö.N.'ye gelmeden açılmaya başlar.(0-60°). Kapanması ise, piston tekrar U.Ö.N.'yi geçmesine kadar sürer [10].



Şekil 2.4 : OTTO çevriminin zamanlara göre gösterilmesi [13]

OTTO çevriminin verimini incelediğimizde, çevrimin verimi sıkıştırma oranının ve adiabatik üstün fonksiyonudur.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (1.1)$$

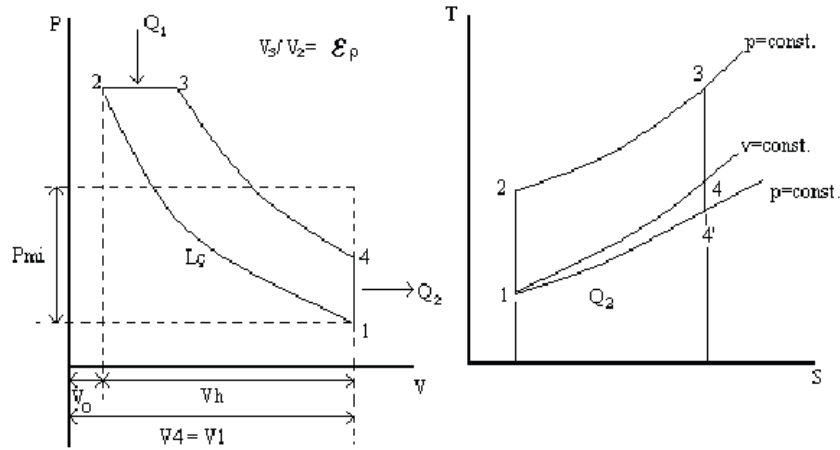
1.3.2 DIESEL çevrimi:

Diesel çevrimi sıkıştırma ateşlemeli motorların ideal çevrimidir. Kıvılcım ateşlemeli yani benzin motorlarında yakıtın tutuşma sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar sıkıştırılır ve yanma işlemi bujinin oluşturduğu kıvılcım ile başlamış olur. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda hava, yakıtın tutuşma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa kadar sıkıştırılır ve yakıtın püskürtülmesiyle yanma başlamış olur. Sabit hacimde ideal çevrimde ısı girişi vuruntu sınırından dolayı belli bir değerin üzerine çıkamamaktadır. Diesel çevriminde ısı sabit basınçta çevrime sokulur. Diesel çevriminde yakıtın silindire gönderilmesi enjektör yardımıyla gerçekleşir ve silindir içindeki basıncı artırılmış hava ile yanma kendiliğinden başlamış olur [10].

Diesel çevrimi benzinli motorlara göre çok daha yüksek sıkıştırma oranlarında (12-24) çalışabilmektedir.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)} \quad (1.2)$$

Diesel çevriminin verimi incelendiğinde, çevrimin verimi sıkıştırma oranı ve ön genişleme miktarının fonksiyonudur. Sıkıştırma oranının artması ile verim artar, ön genişlemenin artması ile azalır.



Şekil 2.5 : Diesel çevriminin P-V ve T-S diyagramları

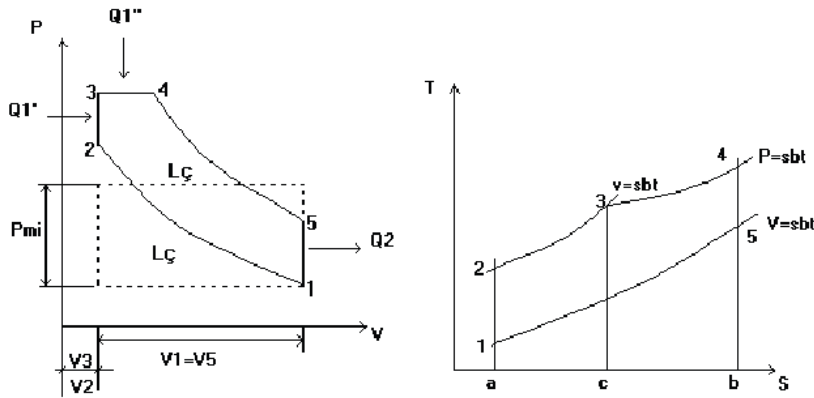
OTTO ve Diesel çevrimlerinin verimleri kıyaslandığında aralarındaki tek fark aşağıdaki kısımdadır ve bu kısım daima 1 'den büyüktür.

$$\frac{\varepsilon g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)} \quad (1.3)$$

Bu yüzden aynı motor boyutlarında OTTO çevriminin verimi Diesel çevriminden daha büyüktür. Uygulamada ise diesel motorunun sıkıştırma oranı benzinliden daha büyük olduğundan diesel verimi daha yüksektir [10].

1.3.3 Karışık çevrim:

Çevrime ısı girişi kısmen sabit basınçta ve kısmen sabit hacimde gerçekleşen OTTO ve diesel çevrimlerinin karması olarak tasarlanan çevrimdir. OTTO çevriminde sabit hacimde ısı girişi olması daha uygun olmasına rağmen, bu motorun sıkıştırma oranı düşük kaldığı için karışık çevrime gidilerek, ısı girişi hem sabit basınçta hem de sabit hacimde gerçekleştirilmiştir. OTTO ve Diesel çevrimleri incelendiğinde, ideal bir çevrimin sabit hacimde ısı girişi ve yüksek sıkıştırma oranlı olması uygun görünmektedir. Günümüzdeki tüm diesel motorlar bu prensibe göre çalışmaktadır. Diesel çevrimindeki yanmayla ateşleme, daha yüksek sıkıştırma oranlarıyla çalışmayı mümkün kıldığı için ve belirli bir sıkıştırma oranı için sabit hacimde ısı girişi termik verimi artırmaktadır [10].



Şekil 2.6 : Karışık Çevrimin P-V ve T-S diyagramları.

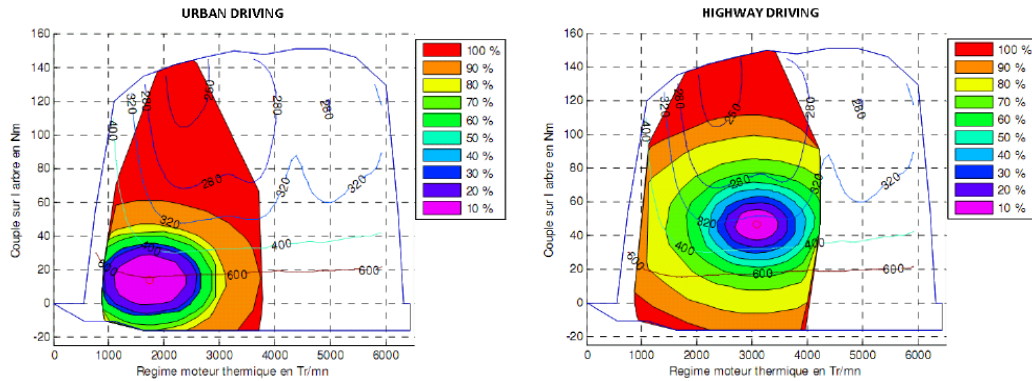
Karışık çevrimin verimi incelendiğinde, sıkıştırma oranı ve basınç artma oranı arttıkça ve ön genişleme oranı azaldıkça termik verim artmaktadır.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \varepsilon_g^{k-1}}{(\rho-1) + k \cdot \rho (\varepsilon_g - 1)} \quad (1.4)$$

Uygulamada diesel motoru, yüksek sıkıştırma oranı, yanma veriminin daha iyi olması ve pompalama kayıplarının az olması nedeniyle daha verimlidir.

1.3.4 Uygulamadaki verimlilik

İçten yanmalı motorun maksimum gücü, yol şartlarında ihtiyaç duyulan maksimum ivme gereksinimine göre design edilmektedir. İçten yanmalı motorlu araçlar tasarlanılırken, sürüş performansları söz konusu olduğunda, ivmelenme, yokuş çıkma ve en yüksek seyir hızı gibi amaçlar sağlayabilecek motorlar seçilmektedir. Bu nedenle tam yükte daha yüksek verimle çalışmaktadırlar. Şehir içi trafik koşullarında tam yük koşulları sağlanamadığından ve dur kalklar nedeniyle harcanan yakıt ile kastedilen mesafe göz önüne alındığında verim son derece düşük olarak gerçekleşmekte, kirletici emisyon miktarı da artmaktadır. Buna ek olarak motorun bir durumdan diğer bir duruma geçişi gibi dinamik durumlarda, yakıt püskürtme sistemlerinden dolayı, motorun sabit rejimde çalıştığı duruma göre çok daha fazla yakıt tüketilmekte ve atmosfere salınan kirletici ve zararlı gaz oranları artmaktadır [12].



Şekil 2.7 : Karışık ve otoban kullanımında içten yanmalı motorun optimum ve gerçekleşen yük durumlarını gösteren diyagramlar.

Artan motor devri için içten yanmalı bir motorun en verimli çalıştığı noktalar Şekil 2.8'de verilmiştir. Birçok kontrol uygulamasında içten yanmalı motorun çalışma noktasını mümkün olduğu durumlarda en verimli olan çizgiye çekmek amacı hedeflenmektedir [13]. Bu yaklaşım kısmi olarak doğru bir yaklaşım da olsa, doğru yaklaşım, hesaplamaların zaman boyutunun da dikkate alınması ve denklemlerin buna göre kurularak en iyileme (optimizasyon) yapılmasıdır.

2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Hibrit elektrikli araçlar birden fazla (çoklu) enerji kaynağının kullanılarak araca tahrik sağlandığı taşıtlardır. Tamamen elektrikli araçlardan farklı olarak, elektrikli tahrik sistemine ilave olarak, içten yanmalı motor, yakıt hücresi, güneş enerjisi, volan enerjisi ya da diğer alternatif enerji sistemleri ile desteklenebilmektedir [15].

Karayolu araçlarında seyir için kullanılan enerji tüketiminin azaltılabilmesi için, araç kütlesinin düşürülmesi, yuvarlanma direnci ve aero-dinamik dirençlerinin azaltılması, güç aktarma organlarının ve çalışma bölgelerinin optimizasyonu, trafik akışındaki düzenlemeler gibi birçok yöntem mevcuttur. Hibrid elektrikli araçlarda, motor küçültme, aracın hareket etmediği durumlarda motor kapatma, güç organları yönetimi ve optimizasyonu, enerjinin geri kazanımı olanakları nedeniyle yüksek oranlarda yakıt tasarrufu yapılabilmekte ve egzoz emisyonları düşürülebilmektedir. Hibritleştirilmenin yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonlarının düşürülmesi için sağladığı yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Artan araç sayısına bağlı olarak, atmosferde kirletici emisyonların ve karbon dioksit gazı miktarının hızla artması, dolayısıyla sera etkisinin oluşması ve iklim değişikliği sorunları alternatif yakıtların kullanılmasını gündeme getirmiştir. Avrupa'nın ve Dünyanın diğer ülkelerinde her geçen yıl ulaşım yoğunluğunun artması ve açığa çıkan emisyon miktarlarının da buna paralel olarak artması alternatif yakıtların kullanımının etkisini sınırlamaktadır. Ayrıca mevcut sistemler ve altyapı olanaklarının getirdiği kısıtlamalar nedeni ile fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçilmesi beklenen hızda gelişmemektedir. Bunlar üretim potansiyelleri, üretim teknikleri, dağıtım, pazarlama ve motor uyumudur. Örneğin çevre açısından kirletici emisyon açığa çıkarmayan hidrojenin istenen saflıkta eldesi ve depolama sistemleri zor ve pahalı teknikler gerektirmektedir. Tüm bu problemleri gidermek için uygun alternatif yakıtlar ve/veya daha verimli alternatif araçların geliştirilmesi gündeme gelmiştir.

Bu sebepten elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara ilgi tekrar artmaya başlamıştır. Esasında otomobillerin tahriki için kullanılan elektrik enerjisi ve elektrikli araç teknolojisi yaklaşık 1800'lü yıllardan ve otomobilin icadından beri mevcuttur. Fakat 1900'lerin başlarında içten yanmalı motorlar (İYM), ağırlık güç oranının düşük

olması ve yakıt için kullanılan petrolün enerji yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle daha fazla ilgi görmekteydi. Elektrikli tahrik birçok açıdan üstün olmasına rağmen bataryaların enerji yoğunluğunun az olması nedeniyle 1970'lere değin geri planda kalmıştır. [16].

Bu amaçla 1997 yılında Japonya'da Toyota firmasının Prius modeli ile gerçek anlamda ilk kez modern hibrid elektrikli araç geliştirilerek pazara sunulmuştur. Bundan 2 yıl sonra Amerika'da Honda Insight üretilmiş ve bunu Honda Civic hibrid elektrikli aracı takip etmiştir [17].

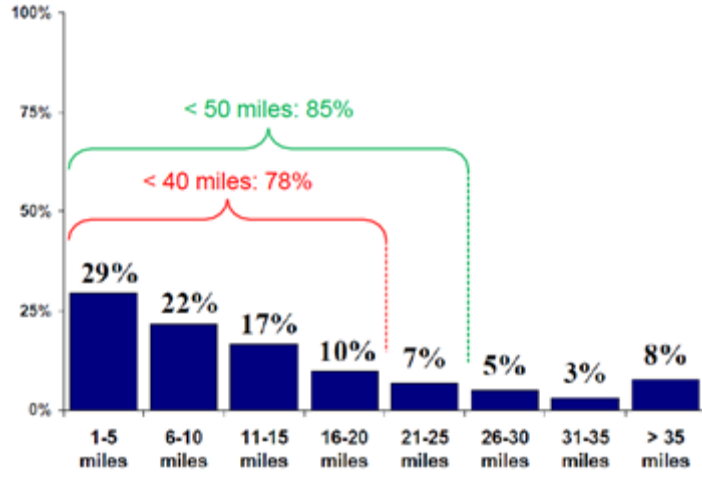
Günümüzde çevre koşullarının kötüye gitmesi, petrol rezervlerinin azalması ve enerji problemlerinin yaşanması sebebiyle enerjide verimlilik ve enerji tasarrufu konuları ön plana çıkmaktadır. Hibrit araçlar, klasik araçlara göre enerji verimliliğini artırıcı yapılar olduğu için yakın teknoloji olarak önem kazanmıştır. Üstelik hibrit araçlar klasik araçlardan yakıt hücreli araçlara geçişi sağlayacak bir teknolojidir.

2.1 Hibrit Elektrikli Araçların Çıkış Noktası:

Bir hibrid elektrikli araç enerji dönüşüm sistemi, enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıtı itici sistemden oluşmaktadır. Enerji depolama için başlıca seçenekler bataryalar, süperkapasitörler ve volanlardır. Bataryalar kullanılan en yaygın enerji depolama sistemi olmasına rağmen, diğer enerji depolama alanlarında da araştırmalar devam etmektedir. Hibrit güç ünitesi olarak da otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri ve yakıt pilleri kullanılmaktadır. İtici kuvvet ise seri hibrid sisteminde olduğu gibi elektrik motorundan, ya da paralel hibrid de olduğu gibi elektrik motoruna ek olarak İYM'undan sağlanabilmektedir [4,17]

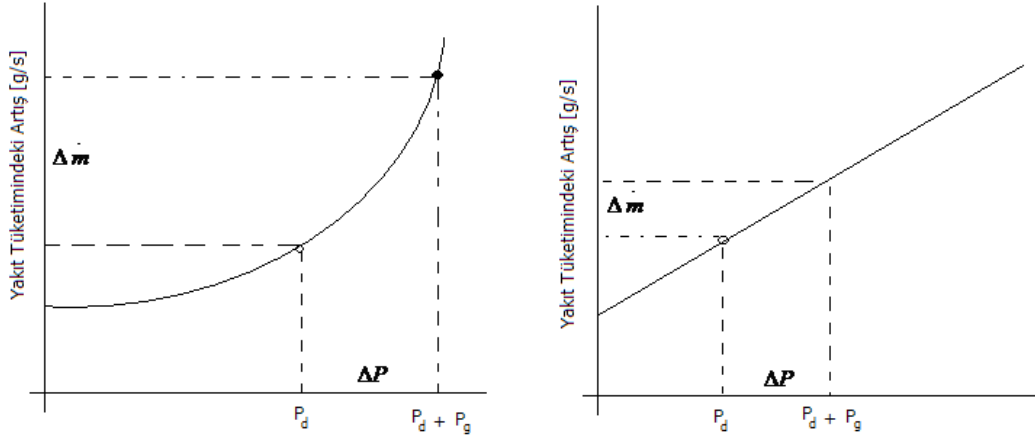
Şekil 2.1 deki grafikte günde kullanılan yol alınan toplam mesafenin %78 oranında 65 km mesafeden az olduğu tespit edilmiştir. İçten yanmalı motorlardaki ilk 505 saniyelik kısım Cold start çalışmanın mevcut olduğu bölgedir. Hibrit elektrikli araçlar günlük kullanımda özellikle sadece elektrikli kullanımda oldukça etkilidir.

İçten yanmalı motorların en verimli olduğu operasyon rejimlerinin ayarlanarak hibrit otomobillerde kullanılması toplam verim açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca elektrikli kullanımda emisyonlar sıfıra düşmektedir. İçten yanmalı motor ve elektrikli motorun aynı anda çalıştığı durumlarda bile yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini hibrit araçlarda çok daha düşük olarak elde etmek mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.1 : Günlük araç kullanım yol bilgisi [13].

İçten yanmalı motorlarda, motor gücü ve boyutları arttığında pompalama ve sürtünme kayıpları da artış göstermektedir. Farklı motor devirleri için artan motor gücüne karşılık gelen yakıt tüketimi miktarları Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Şekilde P_d aracın seyahati için gerekli gücü, P_g ise bataryayı şarj etmek için ilave edilecek gücü temsil etmektedir. Buna göre, motorun optimum güç eğrisi üzerine çekilmesi ile birim yakıt tüketimindeki artış oranı aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.



Şekil 2.2 : Yakıt tüketimindeki artış diyagramları [14].

1970'li yıllarda, GM, Ford ve Toyota gibi birçok otomobil üreticileri, petrol sıkıntısı pil ile çalışan elektrikli araçlar geliştirmeye başladı. ICE tabanlı HEV başka bir yöne hareket var. 1997 yılında, Toyota Prius Japon pazarına ilk ICE tabanlı HEV tanıttı. O zamandan beri, HEV artan sayıda kullanılabilir hale gelmiştir.

2.2 Hibrit Araçların Avantajları Ve Gelişime Açık Yönleri

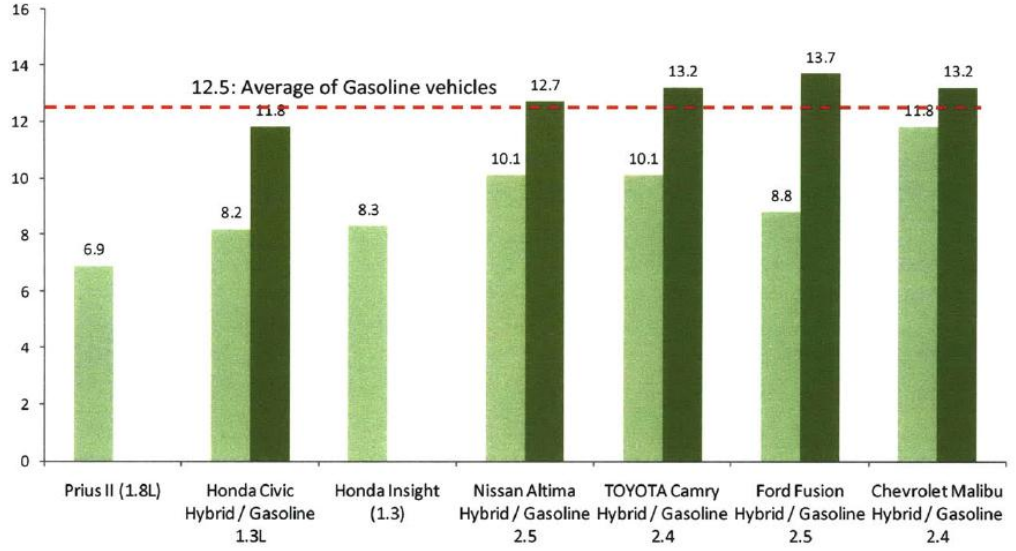
Yakıt tüketimindeki iyileşme ve egzoz gazlarının azaltılması yanında hibrid elektrikli araçlar, konvansiyonel araçlara göre aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- İçten yanmalı motorun elektrik motoruyla desteklenmesi ya da sadece elektrikli motor ile sürüşün sağlanması
- Downsizing yöntemiyle daha düşük hacimde içten yanmalı motorun kullanılabilmesine olanak sağlaması
- Elektrik jeneratörünün içten yanmalı motor ya da farklı bir yakıt hücresi sistemiyle şarj edilebilmesi yani sistemin esnek olabilmesi
- İçten yanmalı motorun aracın tahrik etmesi ve de aynı anda jeneratörü tahrik ederek bataryaları şarj etmesi
- Tasarıma göre yokuş çıkma kabiliyetinin artması ya da ivme ihtiyacını içten yanmalı motor ve elektrik motorunun paralelde çalışarak sağlaması
- Rejeneratif fren kazanım sistemi ile, frenleme esnasında enerjinin sürtünme yerine elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak sağlaması
- Volant (Flywheel) moment kazanım teknolojisi ile mekanik olarak enerjinin depolanmasının sağlanması
- Dört çekiş yapılarında esnek bir modüler yapının sağlanabilmesi
- Tasarıma göre elektrik motorunun karakteristiği gereği transmisyon olmaksızın güç ve tork ayarlanabilmesi
- Yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş enerjileriyle birlikte kullanılabilmesine olanak bulunabilecektir.

Hibrit otomobillerin avantajlarının yanında gelişme açık olan ve ilerleme kaydetmesi gerektiren yönleri aşağıdaki gibidir:

- Batarya teknolojilerinin gelişmekte olması ve mevcut teknolojiyle kısmen düşük menzil sağlanabilmesi
- Araçta faydalı hacmin azalması ve toplam kütle artışı
- Birden fazla enerji sistemi ve elektrik motoru- jeneratör ve kontrol sistem algoritmalarının artmasıyla karmaşıklık oluşması
- Maliyetin konvansiyonel araçlara göre artması ve geri kazanımın kısmen yüksek olması
- Araç bataryalarının geri dönüşüm kısıtları

Şekil 2.3’de benzinli konvansiyonel araçların ortalama yakıt tüketimine karşılık olarak hibrit araçların sağladığı yakıt ekonomisi göreceli olarak verilmiştir.



Şekil 2.3 : EPA USA’daki yapılan ölçümlerde ortalama benzinli yakıt tüketimi ve hibrit araçların karşılaştırmalı durumu [13].

Çizelge 2.1 : Piyasadaki hibrit otomobiller çizelgesi [14].

Manufacturers and Vehicles		Year	Type
Toyota	Prius, Camry, Highlander	1997	Sedan, SUV
Lexus	RX400h, LS600H	2005	Sedan, SUV
Honda	Insight, Civic, Accord	2005	Sedan, SUV
GM	Silverado, Saturn, Equinox, Tahoe, Yukon	2007	Truck, SUV
GM	New Flyer	2004	Heavy Bus
Chrysler	Durango, Ram	2005	Truck
Mercedes	Benz S	2006	Sedan
Ford	Escape, Mariner	2005	SUV
Hyundai, Renault, IVECO		2004	Various

2.3 Hibrit Otomobillerin Sınıflandırılması

Hibrit otomobiller sınıflandırılırken, enerji kaynağına göre ve aktarma sitemine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Enerji kaynağına göre içten yanmalı motor ve elektrik motoru ile yakıt hücreli ve elektrik motorlu şekilde kullanılmaktadır.

2.3.1 Enerji kaynağına göre hibrit elektrikli araçların sınıflandırılması

2.3.1.1 Yakıt hücreli hibrit otomobiller

Yakıt pillerinde yakıt ve oksidant arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda direkt olarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yakıt pillerinden, İYM'lar gibi yakıt beslendiği sürece bataryalara benzer şekilde DC elektrik enerjisinin elde edilmektedir. Tüm yakıt pili çeşitlerinde, yanma prosesi olmaksızın hidrojen ve oksijen beslenmekte, böylelikle doğru akım elektrik enerjisi üretilmektedir. Proton elektrolit membranlı yakıt pili, fosforik asit yakıt pili ,alkali yakıt pili, ergimiş karbonat yakıt pili ,katı oksit yakıt pili olmak üzere farklı sistemle bulunmaktadır. Son yıllarda EA'lar için sürdürülen yakıt pili araştırmaları, PEM yakıt pilleri üzerinde yoğunlaşmıştır. PEM yakıt pillerinin, yüksek güç yoğunluğu, düşük çalışma sıcaklığı ve nispeten düşük maliyeti temel avantajlar arasındadır. PEM yakıt pilleri üzerine yürütülen araştırmalar sonucunda, yakıt olarak sıkıştırılmış hidrojenin kullanıldığında yardımcı ekipmanları dahil 500 Wh/kg özgül enerji seviyesine ulaşılmıştır. Söz konusu değer hiçbir batarya tipi için teknik açıdan mümkün değildir. Ancak 50-180 W/kg seviyelerinde olan özgül güç değeri, pik yüklerin karşılanmasında yetersizdir. Bu durum PEM yakıt pillerinin EA'larda tek başına bir güç kaynağı olarak kullanılmasını engellemektedir [18].

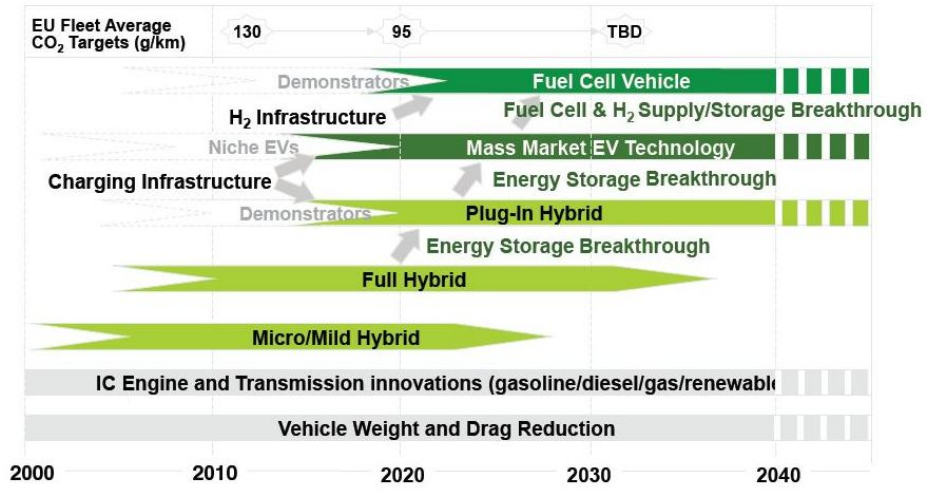
Çizelge 2.2 : Yakıt Pillerindeki anot ve katottaki reaksiyonlar [19].

$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	PEM ve Fosforik Asit Yakıt Pili
$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	Alkali Yakıt Pili
$H_2 + CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili
$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- + 2OH^- \rightarrow 2OH^-$	Alkali Yakıt Pili
$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	PEM ve Fosforik Asit Yakıt Pili
$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- + CO_2 \rightarrow CO_3^-$	Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili

Bütün yakıt pili çeşitlerinde hidrojene ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojence zengin metanol, doğal gaz, petrol türevleri yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojenin direkt olarak kullanımı, yüksek depolama maliyeti ve güvenlik nedeni ile bir takım sakıncalar içermektedir.

2.3.1.2 İçten yanmalı motorlu hibrit otomobiller

Piyasada üretilmekte olan hibrit otomobillerin tamamı içten yanmalı motorlu otomobillerdir. Konvansiyonel araçlara göre, yakıt tüketiminin motorun en uygun operasyon modlarında çalıştırılabilmesi, elektrik motoruyla birlikte ya da sadece elektrik motorunun aracı tahriğiyle düşürülebilmesi ve buna bağlı olarak egzoz emisyon gazlarının düşürülebilmesine olanak tanınmaktadır. Yakıt hücresi, tamamen elektrikli ya da alternatif enerjilerle çalışan araçlara geçişin en önemli adımı olarak görülmektedir [20].

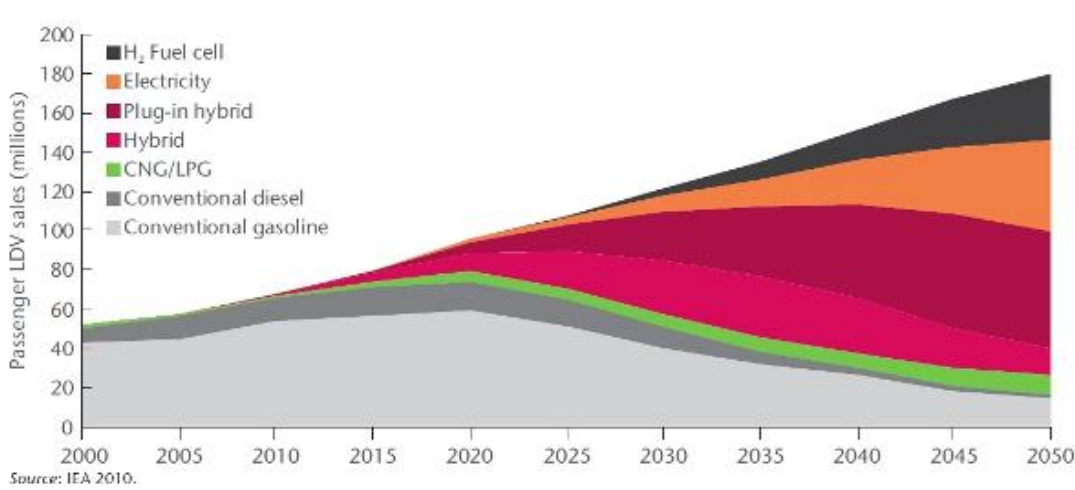


Şekil 2.4 : Elektrikli araçların yol haritasını gösteren şekil [13].

Elektrikli araçların yol haritası California Green Car Roadmap çalışmasına göre aşağıdaki gibi şekillenecektir.

- 2040 yılına kadar Hibrit elektrikli araçların (HEV) kullanılmaya devam edeceği
- 2030 yıllarında %40 lık bir pazarın P-HEV plug-in hibrit araçların kullanılacağını
- 2050 li yıllarda ise Zero Emission Vehicle (ZEV) ve yakıt hücresi araçların kullanılacağı şeklindedir.

Bu aşamaların ilerlemesindeki önemli bir basamak olan içten yanmalı motorların en verimli oldukları rejimde kullanılarak hibrit elektrikli araçlara geçiş önümüzdeki yıllarda hız kazanacaktır [13].



Şekil 2.5 : HEV araçların 2050 yılına kadar yaygınlaşmasını gösteren grafik [13].

2.3.2 Hibritleştirme derecesine göre hibrit araçların sınıflandırılması

Son yıllarda, taşıt teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte, artan güvenlik, konfor ve lüks ihtiyaçları nedeniyle mekanik ve hidrolik sistemlerin yerini elektrikli cihazlara bırakması, araçtaki elektrik gücü tüketimini her yıl yaklaşık olarak % 4-5 oranında arttırmaktadır. Araç yardımcı donanımlarının motordan ayrılarak elektrik enerjisi ile işletilmesi küçük çapta da olsa hibritleştirmeyi beraberinde getirmektedir. Hibrid elektrikli araçlar, hibridleştirme seviyesine göre, mikro, hafif ve tam hibrid olmak üzere üç, güç organlarının birbirleri ile ilişkisine göre üç grupta sınıflandırılmaktadır. Hibritleştirme oranı araçta kullanılan elektrik motoru gücünün toplam araç gücüne oranı olarak tanımlanabilir. Hibrid araçların hibridleştirme derecesine göre sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [20].

2.3.2.1 Mikro hibrit (Micro Hybrid) teknolojisi

Mikro hibrit teknolojisinde elektrik motoruyla aracın tahrik edilmesi söz konusu değildir. Start/Stop fonksiyonu ve rejeneratif fren enerjisi geri kazanımı yapılmaktadır. Mikro hibrid araçlarda elektrik motoru bir kayış kasnak mekanizması ile içten yanmalı motora bağlanmaktadır. Mikro hibridler araç üzerinde bulunan tüm aksesuar yüklerini karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Araca konulan elektrik motoru, içten yanmalı motor rölanti devrinde iken motorun açılıp kapatılması için kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar ilk çalıştırma anında yüksek yakıt tükettiğinden mikro hibrid araçlarda ilk çalışma ve stabilizasyon süresi 800

ms'lerden 200 ms'lere kadar düşürülmekte ve ilk çalışma anında harcanan fazla yakıttan tasarruf edilmektedir

Çizelge 2.3 : Hibritleştirme derecelerini gösteren çizelge [21].

	Mikro Hibrid	Hafif Hibrid	Tam Hibrid
Motor Durdurma, Aksesuar Yükl Paylaşımı	√	√	√
Yalnız EM ile Araç Sürme	--	--	√
Fren Enerjisinin Geri Kazanımı	√	√	√
Seyir Gücü Paylaşımı	--	√	√

2.3.2.2 Hafif hibrit (Mild Hybrid) teknolojisi

Hafif hibrit teknolojisinde elektrik motoru ve içten yanmalı motorun kombinasyonu ile araç tahrik edilmektedir. Sadece elektrik motoru ile tahrik yapılamamaktadır. Hafif hibrid araçlarda elektrik motoru içten yanmalı motora destek verebilmektedir fakat bu araçlarda elektrik motoru aracı yalnız başına götürebilecek kadar güçlü değildir. Mikro hibridlerde olduğu gibi rejeneratif frenleme de bu tiplerde mevcuttur. 5-12 kW gücünde elektrik tahrik motoru ve 1kWh enerji depolama kabiliyeti söz konusudur [22].

2.3.2.3 Tam hibrit (Full Hybrid) teknolojisi

Diğer hibridlerden farklı olarak, tam hibrid araçlarda, araç yalnızca elektrik motoru ile de sürülebilmektedir. Seyir hızına bağlı olarak tam hibrid araçlarda elektrik motoru araç yükünün bir kısmını ya da tamamını kendi başına sağlayabilir. Önceki sistemlere göre daha güçlü motor ve batarya gerektirdiğinden sistem kontrolü de daha karmaşıktır. Tam hibrid araçlarda yüksek oranlarda tasarıma ve algoritmaya göre yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir [17,21].

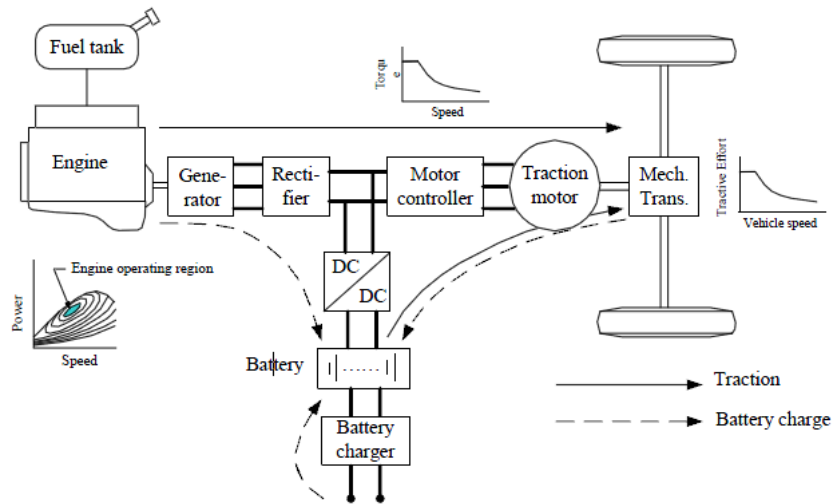
2.3.3 Aktarma ve kombinasyona göre hibrit araçların sınıflandırılması

Aktarma ve diğer tahrik sistemlerle kombinasyona göre hibrit araçlar, seri, paralel ve seri/paralel (split system) olarak 3 grupta sınıflandırılmaktadır.

2.3.3.1 Seri tahrikli hibrit otomobil teknolojisi

Seri hibrit tahrikli otomobilde tekerleklere iletilen tahrik gücü elektrik motorundan sağlanmaktadır. Burada elektrik motoru, tahrik amacıyla elektriksel gücü mekanik güce dönüştürmektedir. Motor için gerekli elektriksel, güç elektrik enerjisini depolama aygıtlarından ya da hibrid güç ünitesinden sağlanmaktadır. Hibrit güç ünitesi içtan yanmalı motor ve jeneratörden oluşmaktadır.

İYM+jeneratör grubu yakıtın kimyasal enerjisini önce mekanik sonrasında elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen elektrik gücü bataryadan gelen güçle beraber elektronik kontrolörde birleşir. Bu kontrolör daha sonra sürücünün komutlarını tekerlek hızı ve ana tahrik motorundan elde edilen tork ile karşılaştırır ve her enerji kaynağından ne kadar güç kullanacağını sürücünün isteğine göre belirler. Kontrolör aynı zamanda güç elektroniğini İYM-jeneratörü sürücü fren yapmak istediğinde rejeneratif mod için açar kapatır ve gücü bataryaları şarj edecek şekilde yönlendirir. Böylelikle jeneratörde üretilmiş olan elektrik enerjisi aynı zamanda bataryaları şarj etmek için de kullanılmış olur. Araç çalışırken bataryalar hem İYM - jeneratör grubu tarafından hem de rejeneratif frenleme ile şarj edilmektedir [16, 20].



Şekil 2.6 : Seri tahrikli hibrit sistemi [21].

Seri hibrid sistem, yakıt pilli araca en yakın elektrikli araç konfigürasyonudur. Araç bu sayede sadece bataryalarını kullanarak hareket edebilmektedir. Ayrıca elektrik motorunun kendisi tekerlekleri tahrik edebilmektedir. Burada kavrama ya da çok kademeli transmisyona gerek yoktur. Özellikle elektrik motorunun düşük devirlerde

torku yüksek olduğu için düşük devirlerde vites redüksiyonuna gerek kalmamaktadır. Aynı zamanda İYM tekerleklerle bağlı olmadığı için optimum verimde çalışabilmektedir. Böylelikle konvansiyonel olmayan Atkinson ve Stirling motor tipleri de kullanılabilir.

Seri tahrik sisteminin bir dezavantajı paralel tahrikte olmayan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan jeneratördür. jeneratör taşıt ağırlığını arttırmakta ve sisteme ek maliyet getirmektedir. Ayrıca toplam sistem verimi enerji dönüşüm basamaklarının daha fazla olmasından dolayı paralel sisteme göre düşüktür.

Seri hibrit araç yalnızca elektrik motoru ile sürüldüğünden, elektrik motoru ve batarya aracın performans gereksinimlerini karşılayacak kadar büyük boyutlarda olmalıdır. Batarya şarjı, belirlenen alt eşikten aşağı düştüğünde içten yanmalı motor bataryayı şarj etmektedir. Diğer yapılandırmalara göre, içten yanmalı motor mekanik olarak araç sistemine bağlı olmadığından, jeneratör ve İYM'nin yerleşimlerinde serbestlik vardır. Ancak enerji dönüşümü adımlarının sayısı fazla olduğundan verimliliği diğer yapılanmalara oranla daha düşüktür. Seri hibrid araçlarda İYM şasi ile bağlantılı olmadığından kavrama gereksinimi de ortadan kalkmaktadır.

Seri Tahrik sisteminin operasyon modlar aşağıdaki gibi maddeler halinde gösterilmiştir:

- Sadece batarya modu, içten yanmalı motor kapalı iken kullanım
- İçten yanmalı motor çalışırken jeneratör vasıtasıyla bataryaların şarj edilmesi
- Karmaşık modayken, elektrik motoruyla aracın tahrik edilmesi ve içten yanmalı motorun bataryayı şarj etmesi ve elektrik motoruna enerji sağlaması
- Stasyonere moda bataryaların şarj edilmesi
- Rejeneratif frenleme modu

Seri tahrikli hibrit sisteminin avantajları aşağıdaki gibidir:

- İçten yanmalı motor en verimli operasyon rejiminde çalıştırılabilir.
- Downsizing yöntemi ile daha düşük hacimli bir içten yanmalı motor kullanılabilir.
- Tek kademeli şanzıman ya da transmisyon olmadan kademelendirme yönetilebilir, hub motor teknolojisi uygulanabilir.
- Kontrol stratejisi paralel ve split sisteme göre daha basittir.

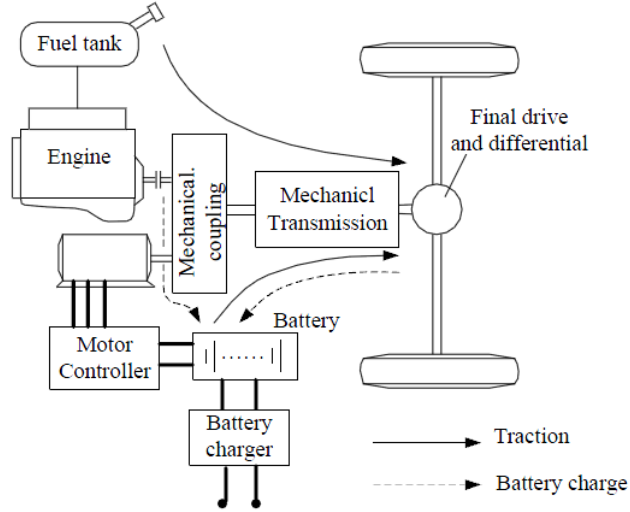
Seri tahrikli hibrit sisteminin dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Enerji birden fazla defa (kinetikten elektrik enerjisine) dönüştürülmektedir.
- Komponent sayısındaki artış nedeniyle , jeneratör ve traction motoru ayrı olmaları nedeniyle total ağırlıktaki artış
- Çekişi sağlayan elektrik motoru ve jeneratör haliyle içten yanmalı motor aracın güç gereksinimini karşılayacak şekilde tasarlanması gerekecektir.

2.3.3.2 Paralel tahrikli hibrit otomobil teknolojisi

Paralel hibrid elektrikli araçta, İYM ve elektrik motorunun aynı mil üzerinde tekerleklerle doğrudan mekanik bağlantı ile tahrik vermektedir. Paralel hibrit araçlara örnek olarak, Honda Insight ve Honda Civic verilebilir. Paralel tahrik sistemleri mekanik olarak seri hibrid sistemlere göre daha karmaşıktır. Örneğin İYM'nin tekerleklerle tahrik verebilmesi için bir transmisyonla ihtiyaç vardır. Tüm bu elemanların birlikte düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kontrolör seri hibride göre ilave özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Paralel tahrikli taşıtlarda konvansiyonel taşıtlara göre daha küçük İYM kullanılır. Toplam güç ihtiyacı, çalışma verimine bağlı olarak kontrolör hangi kaynaktan ne kadar güç çekeceğini belirler. Kontrolör; yakıt ekonomisi, performans, emisyon ve menzil için optimize edilmiştir.

Paralel hibrit araç yapılanmasında, elektrik motoru kısmi ya da tam olarak aracı tahrik edebilmektedir. Uygun bağlama sistemleri ile elektrik motoru ile içten yanmalı motor aracı tek tek ya da birlikte yürütecek şekilde birbirleri ile bağlanabilmektedir. Seri hibritlere kıyasla güç yönetimi daha da karmaşıktır. Göreceli olarak daha küçük boyutlarda elektrik motoru kullanılabilir. Sürücü güç gereksinimine bağlı olarak, içten yanmalı motorun gücünün yetmediği durumlarda, elektrik motoru, içten yanmalı motoru desteklemek için kullanılabilir. Paralel hibrid elektrikli araçlarda elektrik motoru güç aktarma organlarına farklı şekillerde bağlanabilmektedir.



Şekil 2.7 : Paralel tahrikli hibrit sistemi [21].

Seri hibrit sistemde olduğu gibi paralel hibrit sistemde de rejeneratif frenleme ile bataryalar şarj edilebilmektedir. Paralel hibrit sistem, seri sisteme göre daha küçük kapasiteli bataryalar kullanıldığı için şarj çoğunlukla rejeneratif frenleme sırasında yapılır. Buna ek olarak sürüş esnasında da elektrik motoru generatör gibi davranarak bataryaları şarj edebilmektedir. Daha küçük elektrik motoru ve bataryaların kullanılması paralel hibrit sistemin fiyatını seri hibrit sisteme göre daha düşük kılmaktadır. Burada içten yanmalı motor direkt olarak tekerleklere bağlı olduğu için seri hibrit sisteme göre toplam enerji dönüşüm verimi daha yüksektir. Ayrıca hem İYM hem de elektrik motoru aynı anda güç sağladığı için taşıtın gücü daha fazladır.

Paralel hibrit sistemin operasyon modları aşağıdaki gibi maddeler halinde tanımlanmıştır:

- Elektrikli motorun tek başına aracı tahrik ettiği ve içten yanmalı motorun durduğu modda çalışma
- İçten yanmalı motorun tek başına aracı tahrik ettiği moda çalışma
- Kombine modda, içten yanmalı ve elektrikli motor aracı tahrik için
- Power split modda içten yanmalı motorun hem bataryayı şarj ettiği hem de aracı tahrik ettiği modda çalışma
- Stasyonere durumda şarj modunda çalışma
- Rejeneratif frenleme modu

Paralel tahrikli hibrit sistemin avantajları aşağıdaki gibi maddeler halinde tanımlanmıştır:

- İçten yanmalı motorun çalışma rejimi optimize edilebilir, elektrikli motora aracın tahriği için destek verebilir ya da gücü paylaşarak bataryayı şarj edebilir.
- Yakıt tüketimi ve emisyon konusunda konfigürasyonların esnetilmesi konusunda daha geniş bir yelpaze sunabilir.
- İçten yanmalı motorun boyutlandırması azaltılabilir, çünkü tahrik için elektrik motoru destek vermektedir.
- Yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından plug-in hibrit uygulaması mümkün olabilmektedir.

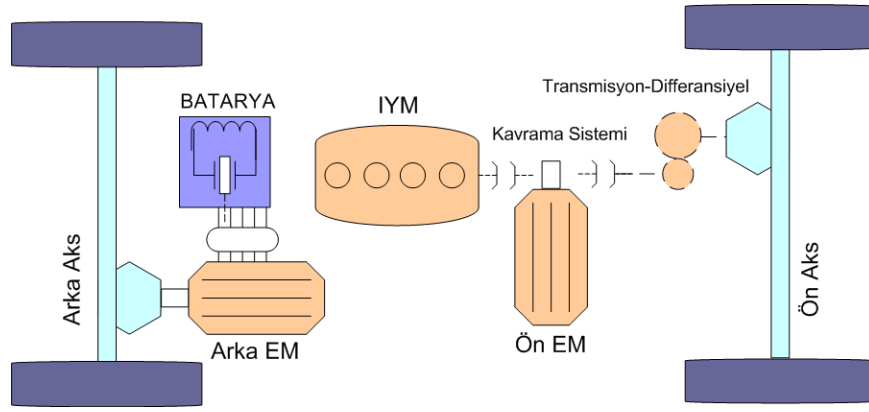
Paralel tahrikli hibrit sistemin dezavantajları aşağıdaki gibi maddeler halinde tanımlanmıştır:

- Karmaşık kontrol stratejisi gerektirmektedir.
- Kompleks transmisyon, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte tahriki ya da gücün bölünerek batarya şarjında kullanılması açısından gerekmektedir.

2.3.3.3 Seri/Paralel hibrit otomobil teknolojisi

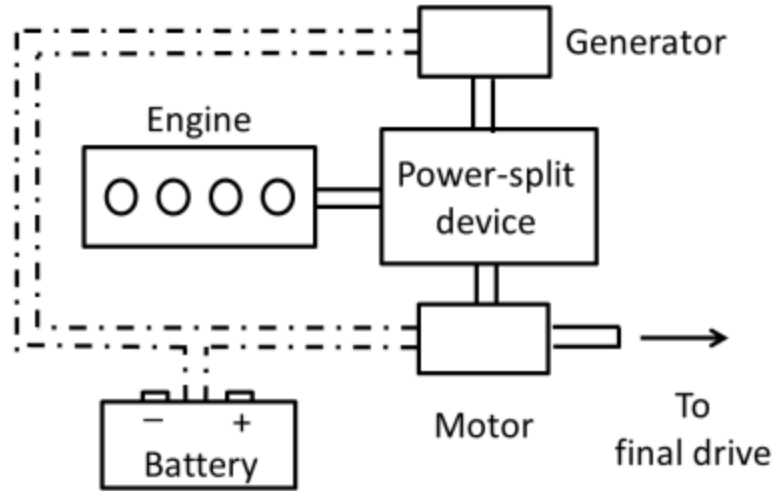
Seri/paralel tasarım paralel sisteme benzemektedir. Burada İYM direkt olarak tekerleklere bağlıdır. Tasarımın özelliği İYM'nin transmisyon ile bağlı olmayıp seri tahrik sisteminde olduğu gibi jeneratör ile bağlı olmasıdır. Sonuçta İYM optimum verimde çalışabilmektedir. Düşük hızlarda araç seri hibrid sistemde olduğu gibi çalışmaktadır. Yüksek hızlarda ise İYM devreye girerek tekerleklere güç verir ve seri tahrikteki gereksiz enerji dönüşümleri ile kaybedilen enerji en düşük seviyeye indirilir [22].

Toyota Prius'da bu sistem kullanılmıştır. Burada amaç hem paralel hem de seri sistemin avantajlarını kullanarak İYM'nin en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır. Bundan sonra Japonya'da kısa bir süredir satılan Nissan Tino Hibrid geliştirilmiştir.



Şekil 2.8 : Seri/Paralel tahrik sistemli hibrit otomobil [24].

Genellikle araç üzerinde biri jeneratör olarak kullanılmak üzere iki adet elektrik motoru vardır. İçten yanmalı motor bir kavrama yardımı ile şasiden ayrılarak, jeneratör olarak elektrik motoru ile bataryayı şarj edebilmektedir.



Şekil 2.9 : Seri/Paralel tahrik sistemli hibrit otomobil [25].

Power-Split sistemi her iki Seri ve Paralel sistemin özelliklerini, iki elektrik motoru ve sürekli değişken transmisyon kullanarak taşımaktadır. Bu transmisyon bazen bir ya da daha fazla planet dişli sistemi içeren elektronik değişken transmisyon (EVT) olarak adlandırılır. Motor ekstra çekiş torku ve rejeneratif frenleme sağlarken jeneratör, yanı sıra motor gücünden elektrik üreten olarak iletim dişli oranı değişir. Sürekli değişken dişli oranı paralel mimarisi motorun daha verimli çalışmasını

sağlar. Bir elektrik motoru dahil edilmesi, aynı zamanda da genel güç aktarım etkinliği artırılmaktadır ve motorun küçültülmesini sağlar. Bu yöntemden dolayı karmaşık bir kontrol stratejisi bulunmaktadır. Toyota Prius bu yöntemi kullanan ve piyasada seri olarak üretilen modeldir.

	Fuel economy improvement				Driving performance	
	Idling stop	Energy recovery	High-efficiency operation control	Total efficiency	Acceleration	Continuous high output
Series	●	⊙	●	●	○	○
Parallel	●	●	○	●	●	○
Series/parallel	⊙	⊙	⊙	⊙	●	●

⊙ Excellent ● Superior ○ Somewhat unfavorable

Şekil 2.10 : Seri, paralel ve seri/paralel yöntemlerinin kıyaslanması [25].

2.3.4 Hibrit elektrikli araçların verimlilik kabiliyetleri

Hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı motorların verimsiz kaldığı noktalara saldırmak üzere geliştirilmiş ve yakıt tüketimi ve emisyonların azaltılması amacıyla tasarlanmışlardır. Hibrit sistemlerin maddeler halinde tasarım kabiliyetleri aşağıdaki gibi belirlenecektir.

2.3.4.1 İçten yanmalı motor durdurma kabiliyeti (Idle-Off)

Şehir içi trafik şartlarında, araç duruyorken içten yanmalı motorlar rölanti durumunda çalışmaktadır. Avrupa şehir içi çevriminde motorun rölantide olduğu süre toplam çevrim zamanının % 35,4'ü oranında gerçekleşmektedir. Frenlemede geçen süre %13,8'dir. İçten yanmalı motor, bu durumlarda kapatılarak büyük oranlarda yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. İçten yanmalı motorlarda, ilk çalıştırma anında motorun kararlı çalışma konumuna geçebilmesi için silindirlere daha yüksek miktarda yakıt püskürtülmektedir. İlk çalışma esnasında motor sıcak iken hızla 1500 rpm devire ulaştıktan sonra yavaşça rölanti devrine döner. Bu ilk çevrimlerde her bir silindire 600 mg yakıt gönderilmektedir. Motor rölanti devrine oturduğunda bu miktar 18 mg olur. Hafif hibrid araçlarda motor ilk çalıştırılmadan önce, kayış

kasnak yardımı ile İYM'a bağlanan düşük güçlü bir elektrik motoru yardımı ile İYM denge durumuna geçene kadar elektrik motoru ile tahrik edilmektedir [25].

2.3.4.2 Rejeneratif fren enerjisi geri kazanım sistemi

Rejeneratif frenleme sistemi elektrik motorunun jeneratör gibi çalışmasını sağlayarak, konvansiyonel frenlemede sürtünme ile dışarıya ısı olarak atılan enerjinin elektrik enerjisi formuna dönüştürülerek bataryaların şarj edilmesi mantığına dayanmaktadır. Avrupa şehir içi çevriminde, aracı hızlandırmak ve sabit hızla götürmek için gereken toplam pozitif enerji miktarı 3000 kg kütleli bir araç için 2.82 MJ iken, bu çevrimde fren ile atılan enerji miktarı 1.76 MJ değerindedir. Aynı zamanda toplam çevrim zamanının %13,8'i frenlemek için harcanmaktadır. Bu sürede, atılan enerji miktarı, çevrimdeki pozitif enerji miktarı ile kıyaslandığında oldukça büyük bir kayıp olarak göze çarpmaktadır. Hibrit elektrikli araçlar ile gelen en büyük avantaj atılan fren enerjisinin bir kısmının geri kazanılabilmesi olanağıdır. Genellikle fren ile atılan enerji miktarı araç üzerinde bulundurulmuş elektrik motorunun alabileceği kapasitenin üzerinde gerçekleşmektedir.

2.3.4.3 Motor boyutlarında küçültme (Downsizing)

Hibrit elektrikli araçlarda ,konvansiyonel araçtaki aynı güç ihtiyacını karşılamak üzere elektrik motorunun desteği sayesinde boyut olarak küçültülmüş içten yanmalı motorlar kullanılabilir. İçten yanmalı motorlarda verimi etkileyen faktörlerin en başında, dışarıya atılan ısı, sürtünme ve pompalama kayıpları gelmektedir. Küçük motorlarda, silindir hacminin düşük olması nedeniyle, pompalama ve ısı kayıpları daha az olmaktadır. Hareketli parçaların küçük olması nedeniyle sürtünme için harcanan enerji miktarı da düşüktür. Verilen bir çevrim için büyük motorlar ile kıyaslandığında küçük motorlar en yüksek tork eğrisi referans alındığında daha fazla yükleneceğinden daha verimli bölgelerde çalışırlar.

2.3.4.4 Yalnızca elektrikli motor ile sürüş imkanı

Eğer elektrikli motor aracı tahrik etmek için , içten yanmalı motora ihtiyaç duymayacak şekilde tasarlanırsa, tam hibrit olarak kategorize edilecektir ve bu yöntemle hafif hibrit taşıtlardan ayrıştırılacaktır. Bu yöntem, içten yanmalı motorun sadece araç durduğu zaman değil, araç hareket ederken de durdurulabilmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca düşük hızlarda ya da orta hızlı sürüş durumunda sadece elektrik

motoruyla sürüş imkanı olacaktır. Bu durum yüksek güç gereksinimi dışında içten yanmalı motorun aracın hareketi esnasında da durdurulmasını ve kontrol edilebilmesini sağlayacaktır ki yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının kontrolünde önemli bir etkisi olacaktır.

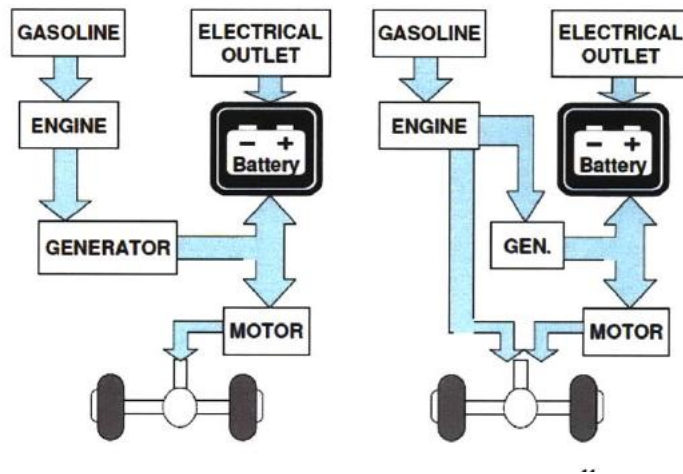
2.3.4.5 Uzatılmış batarya elektrik kapasitesi

Hibrit elektrikli taşıtlarda, tahrik sistemi hangi tip olursa olsun elektrik motoruyla yapılması ve elektriğin depolanabilir olması sayesinde, farklı yöntemlerle de şarj imkanları bulunabilmekte ve uygulanabilmektedir. Plug-in HEV sistemlerinde ilave bir şarj sistemiyle aracın bataryası şebeke gerilimi ile şarj edilebilmektedir. Böylelikle günlük kullanım miktarı yeterli olan durumlarda içten yanmalı motora ihtiyaç duymadan ve enerji dönüşümlerine ihtiyaç duymadan şarj imkanı elde edilebilmektedir.

Hibrit elektrikli araçların bu özelliği, yakıt hücresi da alternatif yenilenebilir enerjiler olan güneş ve rüzgar enerjilerinden elektrik elde edilerek bataryanın şarj edilebilmesine ve menzil sağlanmasına zemin hazırlamaktadır.

2.3.5 P-HEV Hibrit (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) teknolojisi

Plug-in HEV sistemlerinde ilave bir şarj sistemiyle aracın bataryası şebeke gerilimi ile şarj edilebilmektedir. Böylelikle günlük kullanım miktarı yeterli olan durumlarda içten yanmalı motora ihtiyaç duymadan ve enerji dönüşümlerine ihtiyaç duymadan şarj imkanı elde edilebilmektedir.



Şekil 2.11 : P-HEV hibrit teknolojinin seri ve paralel uygulaması [7].

P-HEV dış kaynaktan aldığı elektrik enerjisi ile günlük kullanımında yeterli olabilen bir çevrimde kullanılıyorsa avantaj sağlayacaktır.



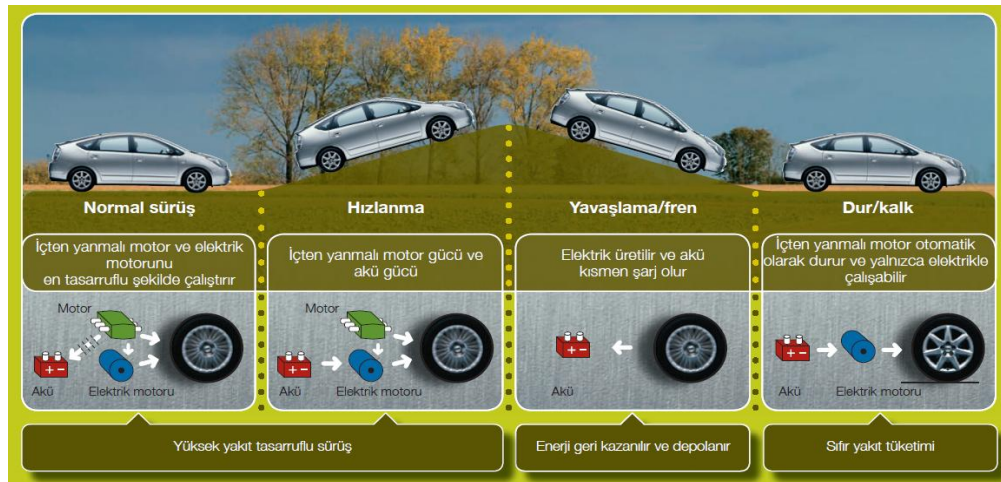
2.3.6 Toyota Prius hibrit sistemi

Toyota Prius'ta power split sistemli hibrit elektrikli tahrik sistemi kullanılmaktadır. Araçta 99 hp gücünde 172 Nm tork değerinde 1,8 L benzinli motor kullanılmaktadır. Aracın elektrik motoru 650 V manyetik tip, 82 hp gücündedir. Ayrıca hibrit sistem aküsü 201,6 V ve 37 hp gücündedir. Fabrika verilerine göre ortalama yakıt tüketimi 3,9 L / 100km dir ve CO₂ salınımı 89 g/ km dir. Şehir içi yakıt tüketimi de birleşik ortalama tüketimle aynıdır çünkü şehir içinde %100 elektrik motoru kullanılmaktadır [5].

Çizelge 2.4 : Toyota Prius hibrit sistemin teknik özellikleri [5].

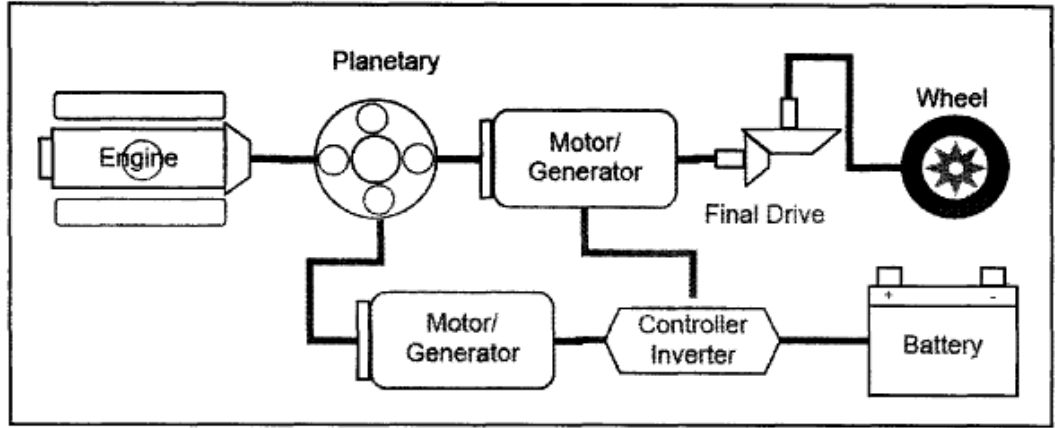
PERFORMANS		ELEGANT	PREMIUM
Hibrid sistem maksimum güç	PS (kW)	136 (100)	136 (100)
Maksimum hız	km/sa	180	180
Hızlanma (0-100 km/sa)	sn	10.4	10.4
Yakıt tüketimi (lt/100 km)*	Şehir içi	3.9	3.9
	Şehir dışı	3.7	3.7
	Birleşik	3.9	3.9
CO ₂ salınımı (g/km)*	Birleşik	89	89
Sürtünme katsayısı	Cd	0.25	0.25

Toyota Prius'un operasyon modları Şekil 2.11'de gösterildiği gibi açıklanmıştır. Normal sürüş modunda içten yanmalı motor elektrik motorunu kombine olarak çalıştırır ve aynı anda bataryayı şarj eder. Hızlanma ya da yokuş tırmanma modunda artan ivme ihtiyacını karşılamak üzere bataryadaki enerji elektrik motoru tarafından kullanılır ve içten yanmalı motor sadece tahrik için görev yapar.



Şekil 2.14 : Toyota Prius operasyon modları [5].

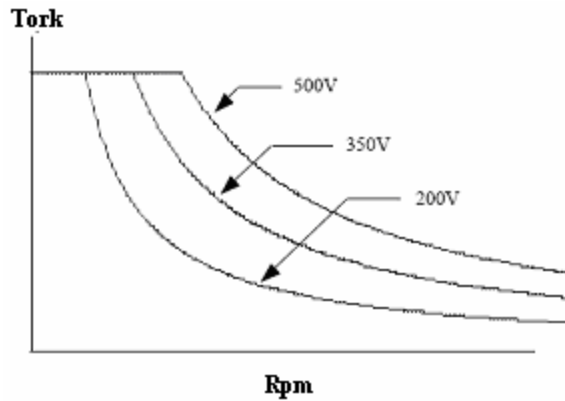
Yavaşlama ya da fren durumunda fren enerjisi geri kazanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür ve batarya şarj edilir. Şehir içi dur-kalk ihtiyacının olduğu trafikte ise yani içten yanmalı motorun kısmi yükte çalışarak verimsiz olduğu bölgede sadece elektrikli motor aracın tahrik edilmesinde kullanılır



Şekil 2.15 : Toyota Prius çalışma prensibi şeması [25].

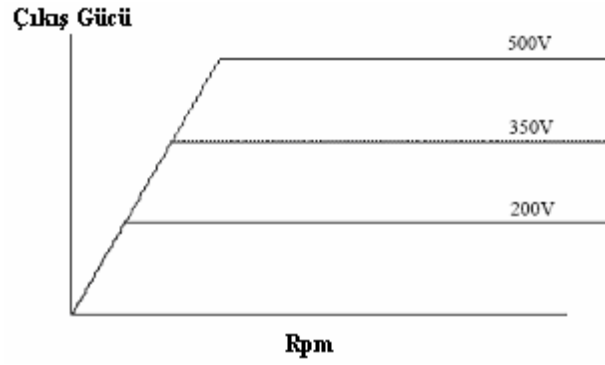
2.3.6.1 Toyota Prius'un öne çıkan özellikleri

Toyota Prius'ta Brushless (Fırçasız) DC elektrik motoru kullanılmaktadır. 60 kW gücünde, 400N moment uygulayabilen 10.000rpm dönüş hızına çıkabilen fırçasız senkron DC makine kullanıldığı görülmüştür. Motorun gücünü, momentini ve verimliliğini artırabilmek için batarya gerilimini 200V'tan 500V'ta çıkaran DC/DC çevirici kullanmıştır. 500V'ta çıkan sistem gerilimi sayesinde motor akımı, motor kayıpları, sürücü kayıpları ve DC/DC çevirici kayıpları minimuma indirgenmiş durumdadır.

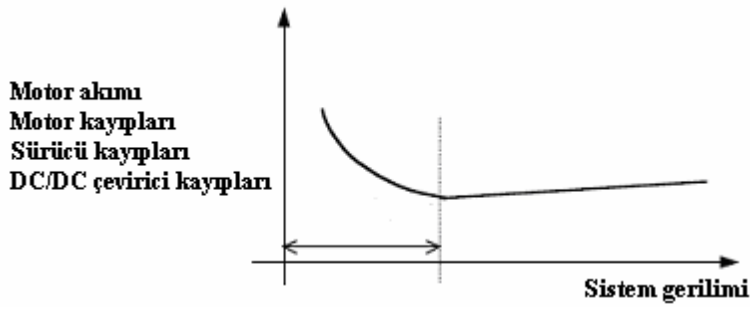


Şekil 2.16 : Gerilim ve moment arasındaki ilişki grafiği [24].

Gerilim değerinin yükseltilmesi çıkış gücün artmasını sağlamıştır. Ayrıca motor akımı, motor kayıpları, sürücü kayıpları ve DC/DC çevirici kayıpları azaltılmıştır.



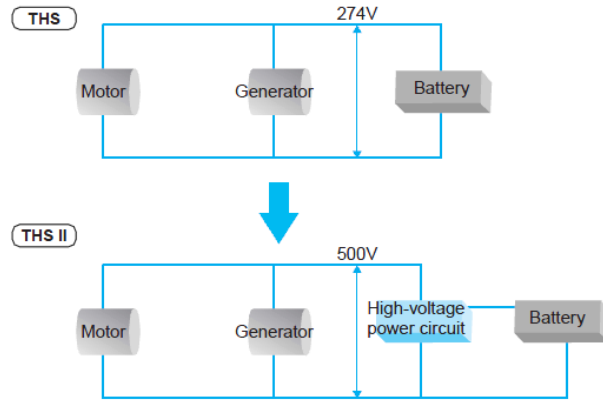
Şekil 2.17 : Gerilim ve çıkış gücü arasındaki ilişki grafiği [24].



Şekil 2.18 : Gerilim ve çıkış gücü arasındaki ilişki grafiği [24].

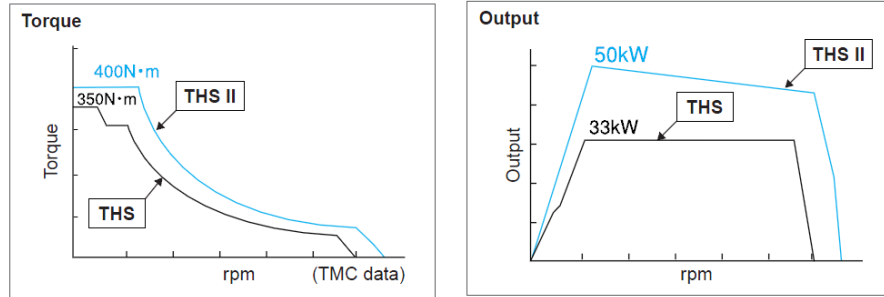
Baslıca elektrik makinesi tipleri; DC makine, asenkron makine, senkron makine, fırçasız DC makine ve fırçasız senkron DC makine sayılabilir. Hibrit araç teknolojisi için en uygunu fırçasız DC makinedir. Diğer makinelere göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [25].

- Ağırlığı ve hacmi kısmen düşüktür ve güç yoğunluğu fazladır.
- Rotorda sargı yerine mıknatıs bulunması yüksek verimlilik ve düşük sıcaklık sağlamaktadır.
- Düşük devirlerde bile yüksek moment uygulayabilmektedir. Araçlarda kalkış patinajını önleyebilmektedir.
- Sürücü algoritması daha basittir.
- Devir sayısı değiştikçe verimliliği kısmen fazla değişmemektedir.



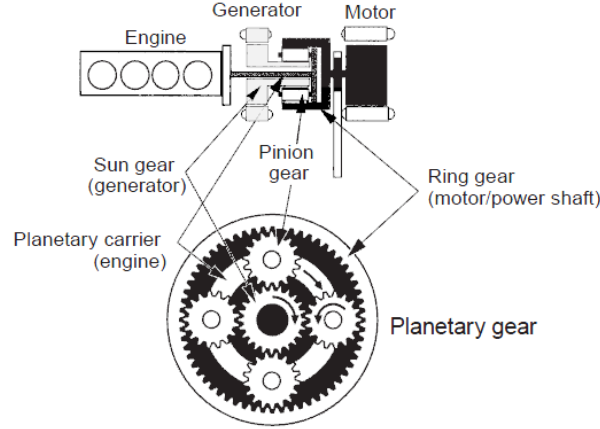
Şekil 2.19 : THS ve THS II ‘nin batarya gücü olarak kıyaslanması [5].

Yüksek voltaj güç devresi sayesinde Prius THS II’nin voltajı artırılarak akım şiddeti düşürülmüştür ve toplam kayıplar bu sayede azaltılmıştır. Ayrıca aracın elektrik motoru THS ilk versiyonda 6500 rpm iken , THS II’de 10000 rpm ye çıkartılmıştır. Bu sayede aracın ivmelenmesi iyileştirilmiştir.



Şekil 2.20 : Toyota Prius THS II elektrik motoru moment ve çıkış gücü iyileştirmeleri [5].

Toyota Prius’da Power split hybrid transmisyon sistemi kullanılmaktadır.



Şekil 2.21 : Planet dişli sistemini gösteren çizim [9].

2.3.7 Chevrolet Volt hibrit sistemi

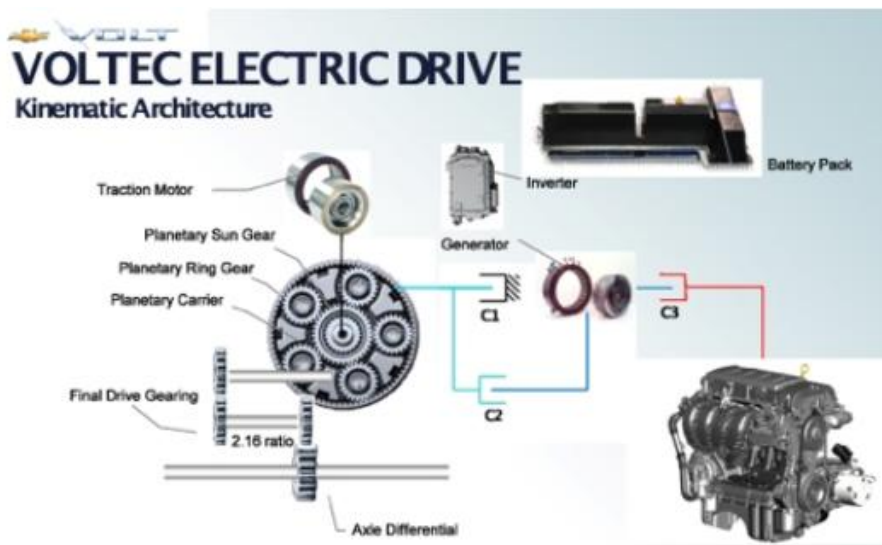
Chevrolet Volt tıpkı Toyota Prius gibi Seri/Paralel hibrit tahrik sistemine sahip bir P-HEV' dir. P-HEV olması aynı zamanda elektrik şebekesinden bataryayı şarj etme imkanı sunmaktadır. Chevrolet Volt sıvı soğutmalı bir bataryaya sahiptir. Batarya Volt'un menzili 500 km'den fazla uzatacak şekilde seyir sırasında bataryayı şarj edebilen araç üstü 1.4L'lik bir içten yanmalı motor – jeneratör grubu tarafından desteklenmektedir. Chevrolet Volt P-HEV teknolojisi yani prize takılarak şarj edilebilen bir teknolojiye sahiptir. Tam şarj durumunda sadece elektrik motor tahriki ile 60 km menzile sahiptir [4].

Çoğunlukla elektrik motoru tahrik ile yol almasına rağmen Seri/Paralel hibrit taşıt modeline dahil olmuştur. Sistemde 1,4 L lik 74 Hp'lik bir içten yanmalı benzinli motor, 149 Hp'lik bir elektrik motoru bulunmaktadır. İlk 60 km boyunca araç sadece elektrik motoru ile yol almaktadır. Bu mesafe aşıldıktan sonra içten yanmalı motor en verimli olduğu bölgede bataryayı şarj etmeye başlamaktadır.

Chevy Volt Basic Specs	
Hybrid type:	Series/parallel 30-70 mph
Engine:	1.4 liters, 4 cylinder
Motor power:	111 kW/149 hp
Engine/generator power:	55 kW/74 hp
Battery voltage:	300 V
Battery cells:	200 Li-ion
Battery weight:	400 lb
Battery energy:	16 kWh (10.4 kWh useable)
Generator starts:	at battery capacity of 8.8 kWh
Battery replace:	<77% of battery capacity
Charging time:	120 V:10 hours; 240 V: 4 hours
Range:	~350 miles
Electric range:	~35 miles
mpg after charge depletion:	~45
Gasoline tank capacity:	9.3 gallons, premium fuel
Weight:	1720 kg/3790 lb
0->60 mph:	8.8 seconds

Şekil 2.22 : Chevrolet Volt'un teknik özellikleri [4, 25].

Chevrolet Volt ve Toyota Prius her iki araç da Seri/Paralel tahrik sistemi ile yönetilmektedir. Aralarındaki temel fark, Volt çoğunlukla elektrik gücü ile Prius ise çoğunlukla içten yanmalı motor ile tahrik edilmektedir. Volt P-HEV olduğu için ve çoğunlukla elektrik motoru ile yönetildiği için 16kWh lik bir Li-Ion batarya sistemine sahiptir. Bunun yanında Prius'ta 5,2 kWh lik bir batarya sistemi mevcuttur. Bunun yanında Prius'ta 1,8 L lik Volt'ta ise 1,4 L lik içten yanmalı benzinli motor bulunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle Amerika'da Volt için Elektrik / Gaz aracı, Prius için ise Gaz / Elektrik aracı şeklinde söz edilmektedir.



Şekil 2.23 : Chevrolet Volt tahrik sistemini gösteren şema [4].

Chevrolet Volt'ta bir içten yanmalı motor, bir büyük kapasiteli 149 hp gücünde elektrik motoru ve bir de motor/jeneratör grubu bulunmaktadır [4].

Chevrolet Volt'un sürüş operasyonları aşağıdaki gibidir:

- Charge Depleting modda, planet dişli ile doğrudan tekerleklerle bağlıdır ve aracı sadece elektrik motoru tahrik eder.
- Aracın hızı 70 mph hıza ulaştığında ana elektrik motoru en verimli olduğu bölgeye ulaşmıştır ve daha yüksek hıza çıkılmak istendiğinde ikinci elektrik motoru devreye girerek aracı 101 mph hıza kadar çıkaracaklardır.
- Charge sustaining modda içten yanmalı motor devreye girerek hem bataryanın doldurulması hem de ana motorun enerjisinin sağlanması için çalışmaya başlar.
- Charge sustaining modda nadiren de talep edilse, jeneratör aktarmaya bağlı olduğu durumda içten yanmalı motor da tahrik içi destek olacaktır. Ancak içten yanmalı motorun aracın tahrik edilmesi için keskin bir sınır bölgesi yoktur. En verimli olacağı duruma göre hiçbir zaman tek başına içten yanmalı aracı tahrik etmeyecek şekilde devreye girecektir.

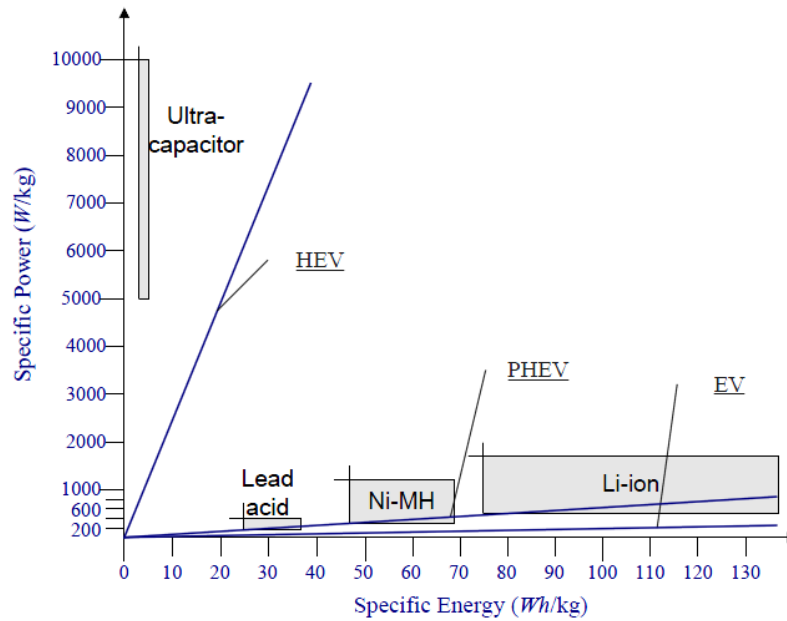
P-HEV teknolojisi sayesinde şebeke geriliminden doğrudan bataryayı şarj edebilme olanağı vardır. Chevrolet'in deklare ettiği değerlere göre 120 V şebeke gerilimi ile 10 saatte, 240 V şebeke gerilimi ile 4 saatte tam dolum sağlanabilmektedir ve 60 km lik tamamen batarya ile sağlanabilecek menzil edilebilecektir. Şarj işlemi gece yapıldığında birçok ülkede uygulanan tasarruflu tarife ile aracın şarj edilebilmesi mümkün olacaktır [4, 17,25].

2.4 Hibrit araçlarda kullanılan enerji depolama sistemleri

Hibrit Araçlarda enerji depolama sistemleri elektrokimyasal ve mekanik olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Bataryalar ve ultrakapasitörler elektrokimyasal enerji depolama sistemleridir. Volanlar ise mekanik enerji depolama sistemlerine girmektedir.

2.4.1 Hibrit araçlarda kullanılan bataryalar

Elektrikli ve hibrit elektrikli araç uygulamalarında bataryaların yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun çevrim ömre sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir. Azami güç yoğunluğu depolanan enerjinin bataryadan ne kadar hızla çekilebileceğini göstermektedir. Çalışma sıcaklığı hangi bataryanın kullanılacağına karar verilmesi aşamasında çok önemli bir faktördür. Günümüzde elektrikli araçlar için maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında enerji depolama konusunda en uygun batarya teknolojisinin kurşun-asit olduğu ifade edilmektedir. Ancak kurşun-asit bataryaların aracın menzilini doğrudan etkileyen enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. Gelişmekte olan batarya tiplerinden nikel kadmiyum, nikel metal hidrür, lityum iyon yüksek enerji yoğunluğu ile öne çıkmaktadır [25].



Şekil 2.24 : Hibrit elektrikli araç enerji depolama sistemleri kıyaslama [25].

Elektrikli araçlar enerji depolama sistemleri açısından kullanım yerine göre Elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve plug-in hibrit elektrikli araçlar olarak değerlendirilmektedir. Elektrikli araçlarda tek enerji kaynağı rejeneratif frenleme dışında sadece şebeke kaynağından bataryalara şarj edilen enerjidir. Bu araçlar için

yol menzili doğrudan enerji depolama sisteminin kapasitesine doğrudan bağlıdır. Hibrit elektrikli araçlarda ise durum yakıt hücresi ya da içten yanmalı motorla kombine bir jeneratör grubuyla bataryalara şarj imkanı vardır ve dışarıdan ayrı bir dış kaynaktan enerji alınmasına gerek yoktur. P-HEV hibrit araçlarda buna ilave olarak elektrik şebekesinden enerji alınması imkanı vardır. Elektrikli aracın sistemine göre enerji depolama sistemine ihtiyaç olacaktır. Hibrit elektrikli taşıtlarda enerji kapasite değeri (kWh) ve anlık peak güç kapasitesi (kW) değerleri tasarım kriteridir. Şarj ve deşarj kapasiteleri de bunlara ilave olarak önemlidir.

Aracın peak power değeri aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmaktadır.

$$P_{Peak} = V_0^2/4R \quad (2.1)$$

$$P_{Peak} = \eta \cdot (1 - EF) \cdot \frac{V_0^2}{R} \quad (2.2)$$

Aracın talep edilen güç gereksinimi ve hibrit aktarım tasarım kriterine göre batarya seçimi yapılacaktır. Bu bağlamda Toyota Prius'ta Ni-mh batarya ve Chevrolet Volt'ta Li-ion bataryalar kullanılmaktadır. Genel olarak güneş enerjili araçlarda kullanılan akü sistemleri 3 ana grupta toplanabilir. Bunlardan en ekonomik olanı ve aynı zamanda ağırlık/güç oranı en yüksek olanı kurşun-asit akülerdir. Bu tip aküler piyasada istenilen gerilim ve akım değerlerinde çok rahat bulunabilmektedir. Ayrıca enerji verimlerinin yüksek olması birçok zaman bir üst sınıf olarak görülen nikel-kadmiyum tipi akülere göre tercih edilmesine sebep olmaktadır. Nikel-Kadmiyum tip akülerin ağırlık/güç oranı kurşun-asitlere göre yüksek olmakla birlikte bir avantajları da gerilim değerlerinin doluluk oranıyla çok fazla değişmemesidir. Bu aracın çıkabileceği maksimum hız sınırını gerilim değeri belirlediği durumlarda daha büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde en çok tercih edilen akü tipi lityum-iyon ya da lityum-polimer akü tipleridir. Bu tip akülerin fiyatları göreceli olarak pahalı olsa da aynı kapasitedeki kurşun-asit aküye göre yaklaşık %75 daha hafiftir. Ayrıca enerji verimleri de yüksek olup güneş enerjili otomobiller için ideal görülmektedir

2.4.2 Hibrit araçlarda kullanılan ultrakapasitörler

Kapasitörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitör iki tane plaka olarak adlandırılan iletkenle, bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkandan oluşmaktadır. Konvansiyonel kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir ($\sim 10^{12}$ W/m³) fakat enerji yoğunlukları

çok düşüktür ($\sim 50 \text{ Wh/m}^3$). Ultrakapasitörler konvansiyonel kapasitörlerin geliştirilmiş halidir. Ultrakapasitörler güç ve enerji yoğunlukları sırayla yaklaşık olarak 10^6 W/m^3 ve 10^4 Wh/m^3 mertebesinde. Enerji yoğunlukları bataryalara göre daha azdır. Ancak deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü daha fazladır. Devam eden araştırmalar 4000 W/kg ve 15 Wh/kg civarında kapasiteye sahip kapasitörlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Ultrakapasitörler primer enerji kaynağı olarak HEA’larda kullanılması için enerji yoğunluklarının artırılması gereklidir. Ultrakapasitörler halihazırda ivmelenme ve yokuş çıkma gibi ani güç gereksinmelerinde bataryalara yada yakıt piline yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hibrit araçlarda kullanılan ultrakapasitörlerin kapasiteleri 1000-5000 F aralığındadır.

Çizelge 2.5 : Ultrakapasitör, batarya ve volan karşılaştırması [25].

	Kurşun-asit	Volan	Süperkapasitör
Özgül enerji			
(Wh/kg)	50	5-15	3-5
(kJ/kg)	180	18-55	11-18
Özgül güç(W/kg)	150	500	300-500
Depolama verimi (%)	77	93	80-90
Normal şarj zamanı (saat)	8	Çok kısa	Çok kısa
Çevrim ömrü	600-1200	>1 000 000	>100 000

Çizelge 2.5’te ultrakapasitör ve bataryaların boyutlandırması ile ilgili olarak, ultrakapasitörün boyutlandırmasının yalnızca toplam enerji gereksinimine göre belirleneceği ve güç değerinin burada karşılanacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.6 : Ultrakapasitör ve bataryaların enerji depolamasında kullanılması ve güç toplam kapasite değerleri

	Rated Energy (Wh)	Usable Energy (Wh)	Power	Weight
Lead acid	1419 Wh	71 Wh-141 Wh	21 kW	54 kg
Ni-MH	1209 Wh	60 Wh-120 Wh	21 kW	27 kg
Li-ion	1200 Wh	60 Wh-120 Wh	24 kW	15 kg
Ultra-capacitor power-match	13.35 Wh	13.35 Wh	24 kW	3 kg
Ultra-capacitor capacity-match	90 Wh	90 Wh	160 kW	20 kg

2.4.3 Hibrit araçlarda kullanılan volanlar

Volan (flywheel) veya diğer adıyla magneto-dinamik enerji depolama (MDS) sistemi, bir kinetik enerji depolama ünitesidir. Volanlar, dönen bir ağırlık sayesinde kinetik enerjiyi depo etmektedir. Hali hazırda Volanlar, içten yanmalı motorlu araçlarda enerjinin depolanabilmesi için kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan mevcut volanlarda depolanan enerji miktarı oldukça düşüktür. Volanlar özellikle hibrit elektrikli araçlarda içten yanmalı motor ile birlikte yardımcı güç ünitesi olarak kullanılır. Alternatif olarak volanlar, elektrikli araç bataryaların yerine veya bataryalarla birlikte de kullanılabilir. Mevcut volanların, karmaşık, büyük ve ağır olmalarından dolayı özgül enerji yoğunlukları düşüktür. Ancak çevrim ömrü, güç yoğunluğu, enerji depolama verimi oldukça yüksektir. Volanların enerji yoğunluğu özellikle dönme hızına bağlıdır.

Volanlarda depolanan enerji U :

$$U = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 \quad (2.4)$$

Burada J atalet momenti, ω ise açısal hızdır.

Volanlarda kullanılan malzeme hafif yoğunluklu ve yüksek mukavemetli olmalıdır. Bu nedenle modern volanlar enerji yoğunluğunun artması için karbon fiber gibi kompozit malzemelerden üretilmektedir.

Volanların enerji kaynağı olarak bataryalara göre çeşitli avantajları bulunmaktadır. Volan sistemlerinin en önemli avantajları yüksek çevrim ömrü, yüksek güç yoğunluğu, iyi depolama verimi ve tekrar şarj zamanının kısa olmasıdır. Teorik olarak volanların özgül gücü 5-10 kW/kg kadardır. Bir volanın enerji depolama verimi %90'nın üzerindedir. Volanlar saniyeler mertebesinde tam şarja ulaşırlar. Volanlar toksik emisyonlar ve atık malzemeler açığa çıkmaz, çevreye karşı daha duyarlıdır [15]. Volanların avantajları yanında bazı dezavantajları da vardır. Volan enerji depolama sisteminin uygulanmasındaki en büyük zorluk sistemin çalışması için gerekli ekstra donanım ihtiyacı duyulmasıdır. Ekstra donanımlar araca ek ağırlık getirmektedir. CCM tarafından geliştirilen volanlar test amaçlı olarak trolleybüste kullanılmıştır. Şehir içi sürüş şartlarına uygun tasarlanmış standart dizel otobüsüne göre volanın enerji depolama verimi %93'dür ve %35 yakıtın geri kazanımı sağlanmıştır.

3. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TASARIM KRİTERLERİ VE MODELLENMESİ

Bir hibrit elektrikli araç tasarlanılırken ana hedefler aşağıda sırası ile verilmiştir.

- Yakıt ekonomisi,
- Düşük emisyon,
- Düşük maliyet,
- Bakım masraflarının az olması,
- Sürüş konforu ve yüksek sürüş performansı,
- Güvenilirlik

Hibrit araç bileşen seçimi ve güç yönetim stratejileri belirleniyorken dikkat edilmesi ve hesaplarda göz önüne alınması gereken en önemli hususlar aşağıda verilmiştir.

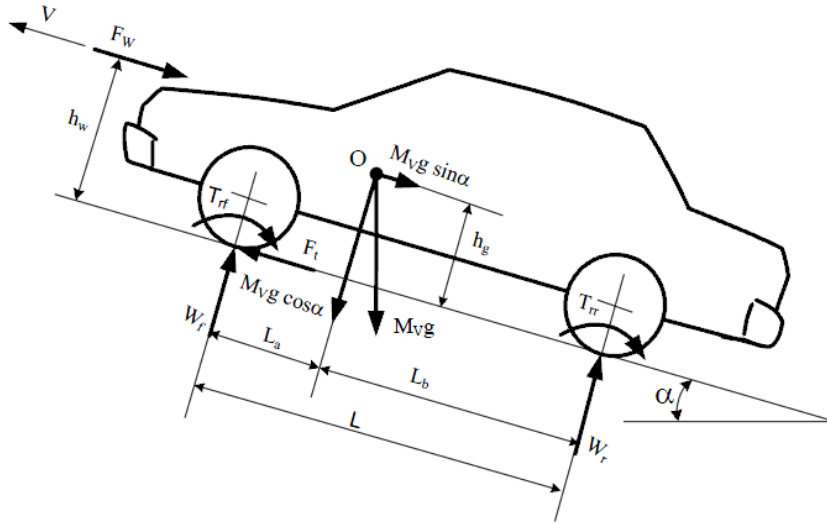
- Hibrid araç, asgari şart olarak konvansiyonel araçtan beklenen tüm performans isteklerini karşılayabilmelidir.
- İçten yanmalı motorlar dinamik yüklerde geçiş bölgelerinde çok daha fazla yakıt tükettiği ve kirletici gaz ürettiği için bu bölgelerde mümkün olduğunda az çalıştırılmalıdır.
- Batarya teknolojileri göz önüne alındığında, bataryaların işletme ömrü, batarya yönetiminde bağlı olarak az olduğundan, mümkün olduğunca anlık batarya kullanımından sakınılmalıdır. Batarya sıcaklığı, ortam sıcaklığı, şarj derinliği dikkate alınmalı ve iyi bir batarya yönetimi algoritması kullanılmalıdır.
- İYM'nin hareket sağlamadığı durumlarda, eğer İYM kapatılacak ise, katalitik konvertör ve motor sıcaklıkları hesaba katılmalıdır.

Hibrid elektrikli araçlarda, öncelikle güç ve güç aktarma organlarının hedeflenen amaçlar dahilinde en iyi bölgelerde çalıştırılması ön planda olduğu için, verilen bir çevrim için aracın güç ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir.

3.1 Araca Etkiyen Kuvvetler

Newton'un ikinci yasası yardımı araca etkiyen yokuş, rüzgar ve yuvarlanma direnci gibi dirençlerin belirlenmesiyle, aracın hız ve konumu bulunabilmektedir. Araca etkiyen kuvvetler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Rüzgâr direnci
- Yokuş direnci
- Yuvarlanma direnci
- İvmelenme direnci
- Fren kuvvetleri



Şekil 3.1 : Araca etkiyen kuvvetleri gösteren şekil [14].

3.1.1 Rüzgar direnci

Rüzgâr direnci aşağıdaki denkleme göre hesaplanabilmektedir. Burada aracın yan profilinden etkiyen rüzgâr kuvvetleri ihmal edilmiş olup, rüzgârın sadece seyahat doğrultusunda estiği varsayımı yapılmaktadır.

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot C_D V_{ref}^2 \quad (3.1)$$

F_a : Rüzgâr direnci [N]

A : Araç ön cephe alanı [m²]

ρ : Hava yoğunluğu [kg/m³]

C_D : Aerodinamik direnç katsayısı

V_{ref} : Rüzgâr bağıl hızı [m/s] büyüklerini temsil etmektedir.

3.1.2 Yokuş direnci

Araç ağırlığı ve tekerlek yükleri eğim ile birlikte değişmektedir.

Yokuş direnci;

$$F_i = W \sin(\alpha) \quad (3.2)$$

Burada;

F_i : Yokuş direnci [N]

W : Araç ağırlığı [N]

α ise yokuş eğimini temsil etmektedir.

3.1.3 Yuvarlanma direnci

Tekerleğin elastik yapısı nedeniyle, tekerlek temas merkezinin önünden yuvarlanmaya karşı tekerlek yuvarlanma dirençleri oluşmaktadır. Yuvarlanma direnci, kurulan modelde SAE J2452 standardında belirtilen yöntem ve katsayılar yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$F_r = P^\alpha W^\beta (a + bV + cV^2) \quad (3.3)$$

P : Tekerlek basıncı [kPa]

W : Tekerlekler üzerindeki yük [N]

V : Araç hızını [m/s] temsil etmektedir.

a , b ve c deneysel yöntemler ile elde edilmiş katsayılardır.

3.1.3 Dönen kütle faktörü

Araca kütesinden dolayı etkiyen ivmelenme direncinden başka, araçta dönen aktarma organları da ivmelenme direnci oluşturmaktadır. Bu dönen kütlelerin ataleti her bir vites çevrim oranı için farklı büyüklükte olarak toplam atalet direncine etki etmektedir. Dönen kütle faktörünün hesabı için, dönen organların ataleti kinetik enerji denklemleri yardımı ile aşağıda verildiği şekilde tekerleklerle indirgenmektedir.

$$\frac{J_e W_e^2}{2} + \frac{J_p \omega_p^2}{2} + \frac{J_t \omega_t^2}{2} + \frac{mV^2}{2} = \frac{m_{denk} V^2}{2} \quad (3.4)$$

$$\omega_e = \omega_p i_g \quad \omega_e = \omega_t i_g i_d \quad (3.5)$$

$$V = \omega_t R_e \quad (3.6)$$

$$m_{denk} = m + \frac{(\frac{J_e}{(i_g i_d)^2} + \frac{J_p}{i_d^2} + J_t)}{R_e^2} = \lambda m \quad (3.7)$$

J_e : Motor atalet momenti

J_p : Diferansiyel şaftı atalet momenti

J_t : Toplam tekerlek atalet momenti

J_d : Diferansiyel atalet momenti

i_g : Dişli kutusu çevrim oranı

i_d : Diferansiyel çevrim oranı

ω : Açısal hız

λ : Dönen kütle faktörü

Çizelge 3.1 : Viteslere göre değişen dönen kütle faktörleri

Vites	Dönen Kütle Faktörü
1	1,2281
2	1,1184
3	1,0877
4	1,0769
5	1,0725

3.1.4 Boyuna hareket denklemi

Araca etkiyen kuvvetlerin toplamından hareketle Newton'un ikinci yasasında kullanılan denklemler yardımı ile aracın ivme ve hız profili hesaplanılabilmektedir.

$$F_{net} = \lambda m a_x = -F_{xf} - F_{xr} - F_a - F_i - F_r \quad (3.8)$$

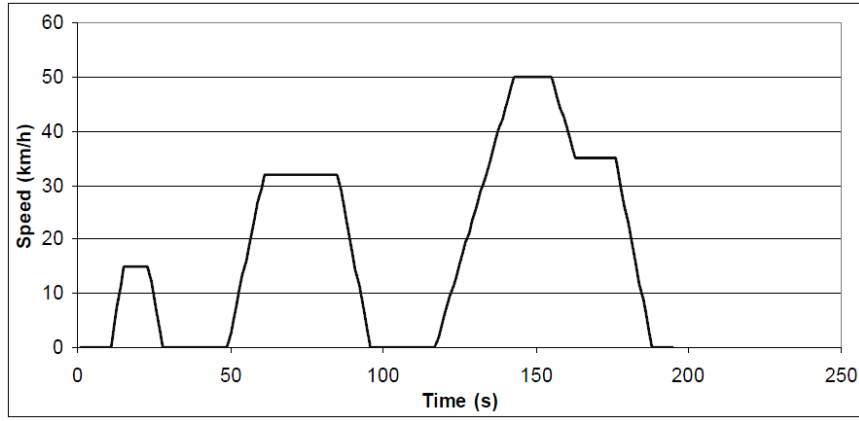
Bir karayolu taşıtında, rüzgâr direnci, yuvarlanma direnci gibi yol yüklerine karşılık, tekerleklerle güç organları tarafından aktarılan pozitif çekiş kuvvetleri bulunmaktadır. Dirençler yenildiği takdirde, arta kalan çekiş kuvvetleri aracın ivmelenmesi için kullanılmaktadır. Yukarıda verilen eşitlikte, aracın kütlesi, dönen güç aktarma organları nedeniyle ortaya çıkan dönen kütle faktörü ile çarpılmaktadır.

Frenleme durumunda frenleme ivmesi b_x aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

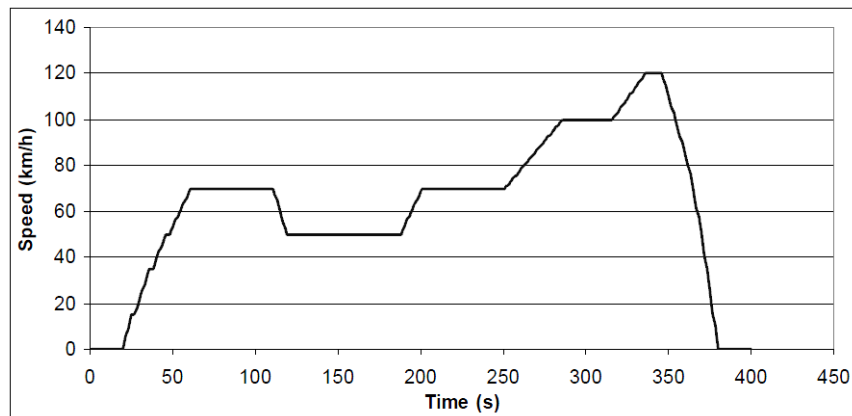
$$F_{net} = \lambda m b_x = -F_{bf} - F_{br} - F_a - F_i - F_r \quad (3.9)$$

3.1.5 Sürüş çevrimleri

Aracın yakıt tüketimi ve atmosfere saldığı kirletici emisyon miktarlarının karşılaştırılması amacıyla sürüş çevrimleri kullanılmaktadır. Yapılan hesaplamalarda Avrupa için geçerli olan ECE R15 çevrimi ve Extra Urban Driving Cycle (EUDC) çevrimleri kullanılacaktır. Simülasyonlar ECE R15 çevrimi için 195 sn ve EUDC çevrimi için 400 sn olarak yapılacaktır. ECE R15 çevrimi 994,6 metrelik bir mesafede 195 sn boyunca süren ve toplamda 4 defa durup kalkarak simülasyonun yapıldığı bir çevrimdir. EUDC ise 6955,07 metrelik mesafede 400 sn boyunca 2 defa dur kalk yapılarak gerçekleştirilen çevrimdir.



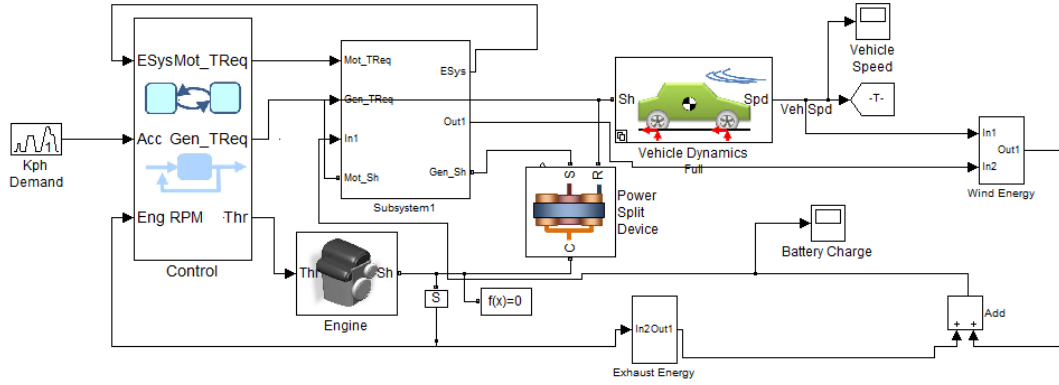
Şekil 3.2 : ECE R15 sürüş çevrimi [7].



Şekil 3.3 : EUDC sürüş çevrim [7].

4. HİBRİT ARAÇ SİMÜLASYONU

Bir hibrit araç simülasyonu için MATLAB programında da araç modellemesi, Toyota Prius THII modeli bir araç için yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Aracın Matlab’de modellenmesi

Bu simülasyonda aşağıdaki alternatif enerji sistemleri ile yol menzilinın artırılması için çalışılmıştır.

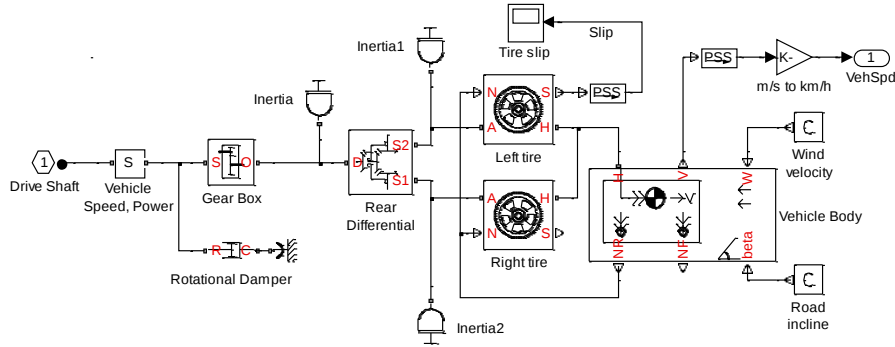
- Hibrit aracın tavanına güneş paneli konularak elektrik üretilmesi ve bataryaların güneş enerjisi ile şarj edilmesi
- Hibrit aracın sis farlarının olduğu bölüme 2 adet küçük çaplı rüzgar türbini yerleştirilerek, yol çevrimi esnasında rüzgar enerjisi ile elektrik üretilmesi ve bataryanın şarj edilmesi
- İçten yanmalı motorun egzozundan atılan emisyon gazı ile bir türbin-jeneratör çiftinin tahrik edilerek elektrik üretilmesi ve bataryaların şarjı
- Hibrit araçta kullanılan IGBT modülündeki atık ısının içten yanmalı motorun soğutma suyunu sürekli bir çevrimde sıcak tutarak Cold Start probleminin çözülmesi ve yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltılması

Çalışmaları yapılarak hibrit elektrikli aracın yol menzilinın ve verimliliğinin artırılmasına çalışılacaktır. Simülasyonlar iki ayrı çevrimde kıyaslamalı olarak tekrarlanacaktır. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve egzozdaki türbin enerjisinden elde

Modellemede kullanılan aracın vehicle dynamics özellikleri aşağıda gösterildiği gibi komut satırlarında kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 : Araç dinamiği özelliklerini gösteren çizelge.

Araç Dinamiği Parametreleri	Değerler
Araç Kütlesi	1380 kg
Ön Bölge Alanı	2,16 m ²
Aerodinamik Drag Katsayısı	0,26 Cd
Tekerlek Yarıçapı	0,3 m
Toplam Tekerlek Ataleti	0,1 kgm ²
Dişli Oranı (Motor-Araç)	1,3



Şekil 4.5 : Araç dinamiğinin simulink modeli

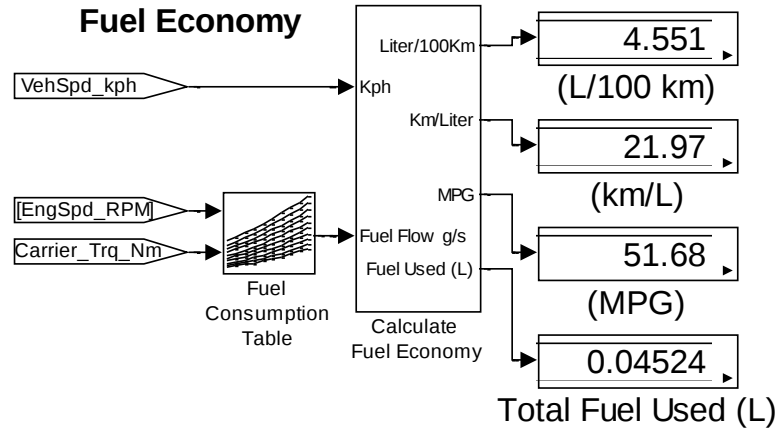
Hazırlanan modelde yakıt tüketimi değerinin hesaplanması için motor eğrisi ve buna karşılık gelen değerler kullanılmıştır.

Hız [RPM]	Tork[Nm]	Motor Yakıt Tüketimi
1209,7	58,01	0,000187
1577,3	75,89	0,0003
1852,7	86,63	0,00041
1210,7	40,43	0,00014
1210,3	26,88	0,00011
1292,7	26,86	0,00012
1210	35,33	0,00013
1210	61,49	0,00019
2199	82,88	0,00044
2388,7	91,58	0,00054
1216,7	33,24	0,00013
1211,3	46,93	0,00016
1211	60,14	0,00019

Şekil 4.6 : Motor eğrisi ve yakıt tüketimi değerleri.

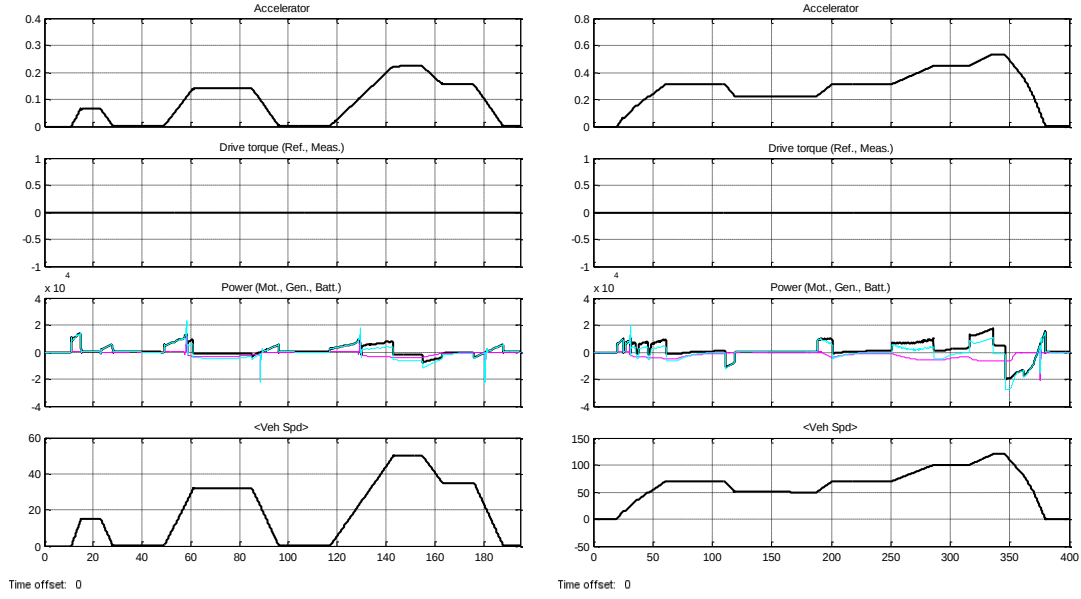
4.1 Konvansiyonel Hibrit Araç Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hibrit elektrikli aracın alternatif enerjilerle desteklenmeden yapılan ilk simülasyonda elde edilen sonuçları ECE R15 ve EUDC çevrimlerinde iki ayrı simülasyon yaparak değerlendirilmiştir. İki çevrim arasındaki mesafe, çevrim süreleri ve durup tekrar hareket etme durumları göz önünde bulundurulmuştur.

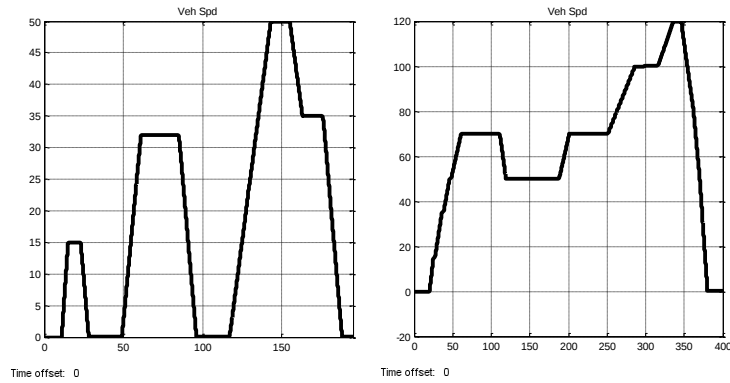


Şekil 4.7 : Aracın yakıt ECE R15 çevrimine göre yakıt tüketim değerleri

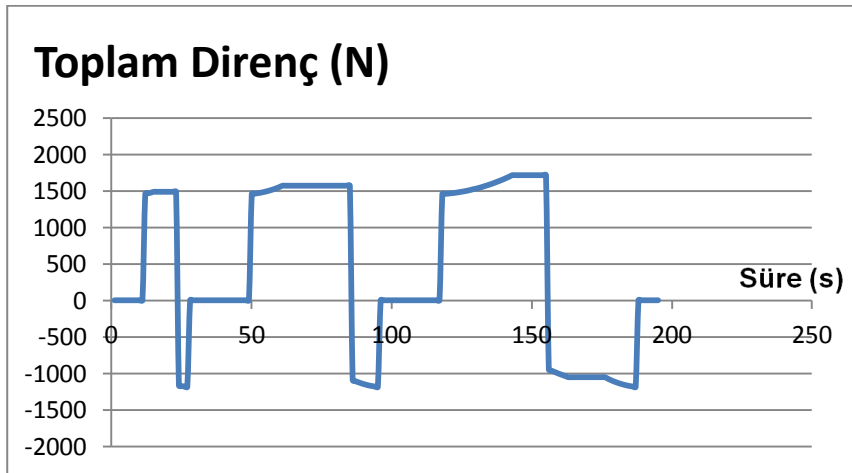
Yapılan modelleme ve simülasyon sonucuna göre yakıt tüketimi ortalama değeri 4,551 L/100 km olarak hesaplanmıştır.



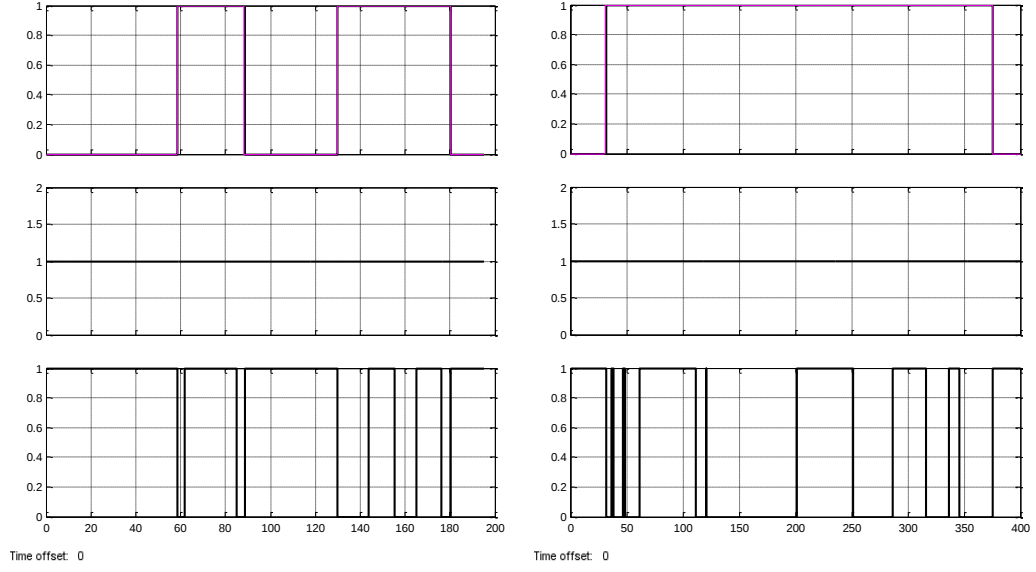
Şekil 4.8 : ECE R15 ve EUDC çevrimlerine göre modelleme sonrası ivme, tork ve güç değerleri.



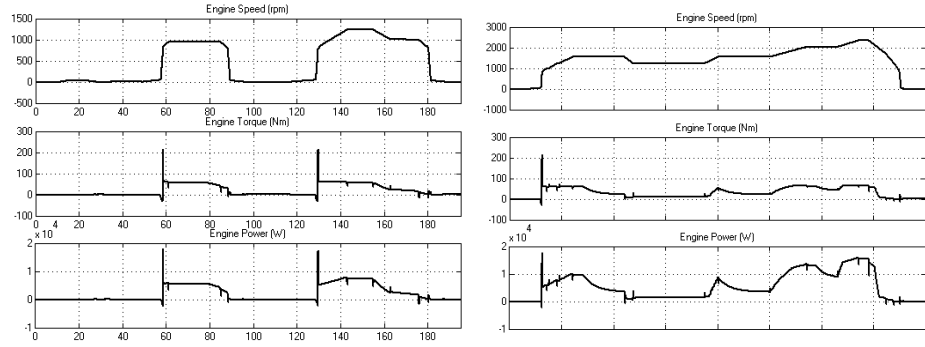
Şekil 4.9 : ECE R15 ve EUDC çevrimlerine göre araç hızları.



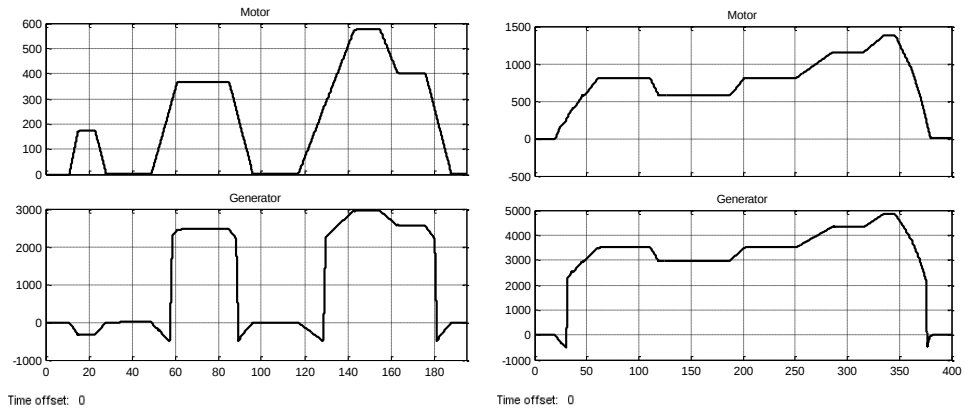
Şekil 4.10 : Aracın toplam yol dirençlerini gösteren grafik.



Şekil 4.11 : ECE R15 ve EUDC modelleme sonrası sırasıyla İYM, motor ve jeneratör çalışma durumları.

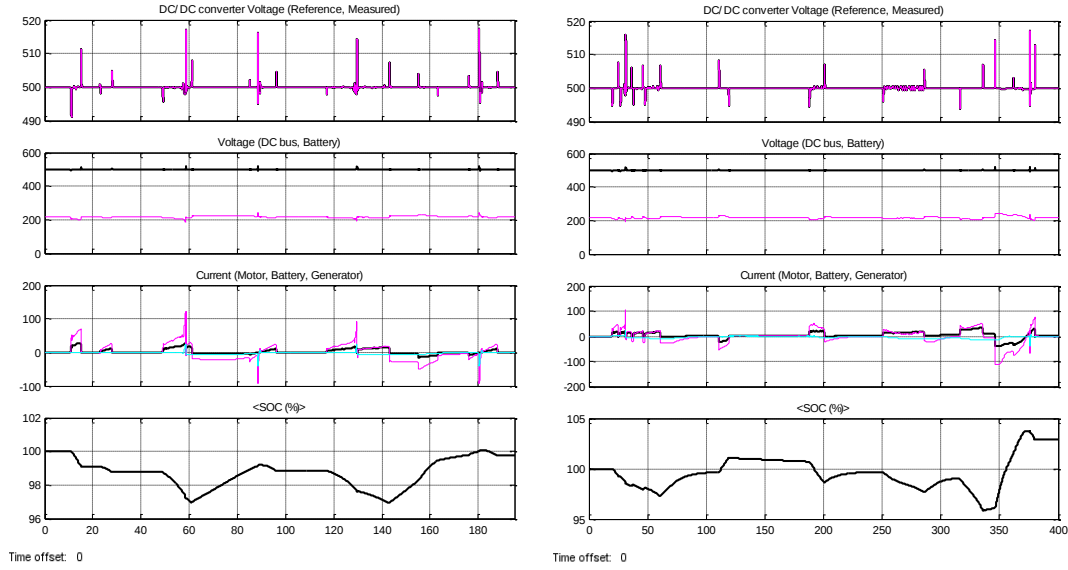


Şekil 4.12 : ECE R15 ve EUDC modelleme sonrası sırasıyla içten anmalı motora ait hız, tork ve güç değerleri.



Şekil 4.13 : ECE R15 - EUDC modelleme sonrası motor ve jeneratör hızları

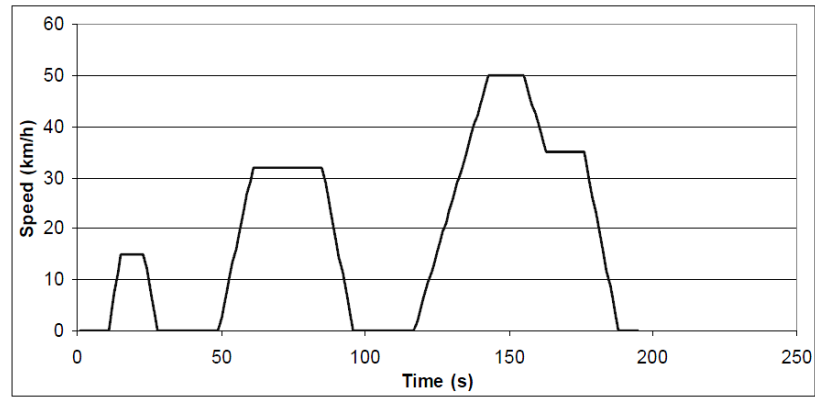
Simülasyonda DC Bus Şarj voltajı, batarya şarj durumu ve akımları ile State of charge değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.14 : ECE R15 ve EUDC DC Bus şarj voltajı, batarya şarj durumu ve akımları ile state of charge değerleri.

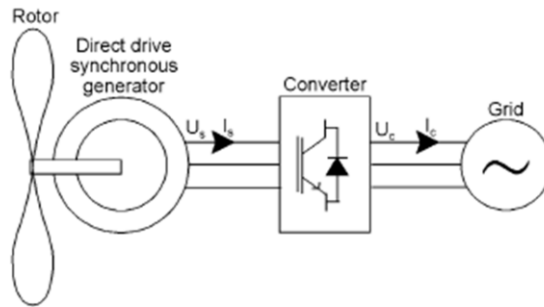
4.2 Hibrit Araç Rüzgar Enerjisi İlavesi

Hibrit Elektrikli aracın sis farlarının bulunduğu bölüme 2 adet küçük çaplı rüzgar türbini yerleştirilerek, aracın ECE R15 ve EUDC Avrupa yol çevrimlerine göre hareketi sırasında rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek alternatif olarak bataryayı şarj etmesi simüle edilecektir. Aracın direnç kuvvetlerini grafik üzerinde gösterdikten sonra, rüzgar enerjisi aracın negatif ivmelendiği yani yavaşladığı ya da yokuş aşağı gittiği durumlarda devreye girecek ve bu esnada enerji üretecektir. Bu durumda aracın direnç kuvvetleri eğrisi ve rüzgar enerjisinin negatif ivme bölgelerinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bunun yakıt tüketimindeki etkisi %1,02 mertebesinde iyileştirme sağlanmıştır. Negatif ivmelenmenin olduğu bölümler yokuş direnci tersine çevrilerek aşağıdaki grafikte ifade edilmiştir. Araç negatif ivmelenme ya da yokuş aşağı yönlendirildiğinde, rüzgar türbinlerinin önündeki klapeler açılarak akış sağlanacak ve türbinler döndürülecektir. Aracın negatif ivmeye geçtiği yavaşlama durumunda, rüzgar türbininin neden olduğu ilave direnç nedeniyle yakıt tüketimindeki iyileşme %0,92 mertebesinde çıkmıştır.

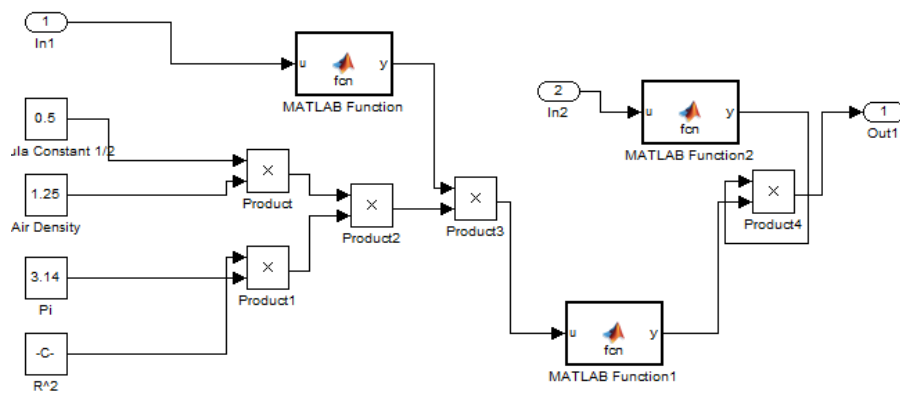


Şekil 4.15 : ECE R15 Avrupa yol çevrimi.

Rüzgar enerjisi için pervane, şaft ve senkron jeneratör, dönüştürücü ve batarya şarj sisteminin olduğu bir modül oluşturulmuştur.

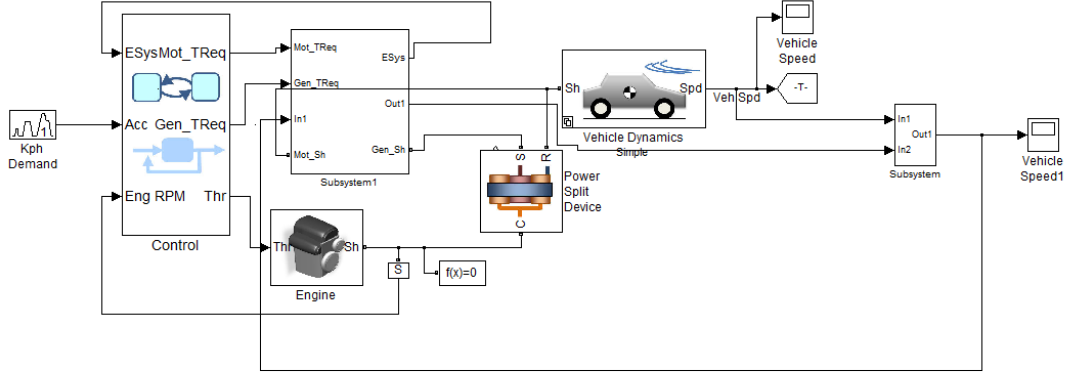


Şekil 4.16 : Rüzgar türbini şematik gösterimi



Şekil 4.17 : Rüzgar enerjisi Simulink modellemesi ve komple sisteme ilavesi.

Aracın yol çevrimindeki hızlanmaları ve elde edilecek rüzgar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmesi için modelleme yapılacak ve simulinkte hazır bir subsystem elde edilerek Matlab Simulinkte simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.18 : Rüzgar enerjisinin Matlab Simulink simülasyonuna gömülmesi.

Rüzgar hareket halinde hava olup sahip olduğu kinetik enerji,

$$KE_r = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_r^2 \quad (4.1)$$

bağıntısı ile verilir ve gücü, sahip olduğu kinetik enerjinin zamana göre türevidir:

$$P_r = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m V_r^2 \right) \quad (4.2)$$

Başka bir ifadeyle;

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_r^2 \quad (4.3)$$

olur. Buradaki kütleli debi ise;

$$m = \rho \cdot A \cdot V_r \quad (4.4)$$

bağıntısı ile verilir. Buradan hareketle rüzgarın gücü,

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \quad (4.5)$$

olarak hesaplanır.

Optimal bir rüzgar türbini pervanesinden alınabilecek maksimum güç;

$$P_p = C_{p_{Bet}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A V_r^3 \quad (4.6)$$

$$P_p = 0,5926 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_r^3 \quad (4.7)$$

Aracın öndeki türbinlerine gelen rüzgar hızını arttırmak için lüle tasarımı yapılmıştır. Lüle hesabının yapılmasında Bernoulli'nin denkleminde yararlanılacaktır. Lülenin giriş kısmı ve çıkış kısmındaki hava debisi değerleri eşit olacağından aşağıdaki eşitlik kullanılacaktır.

$$A_{giris} \cdot V_{giris} = A_{cikis} \cdot V_{cikis} \quad (4.9)$$

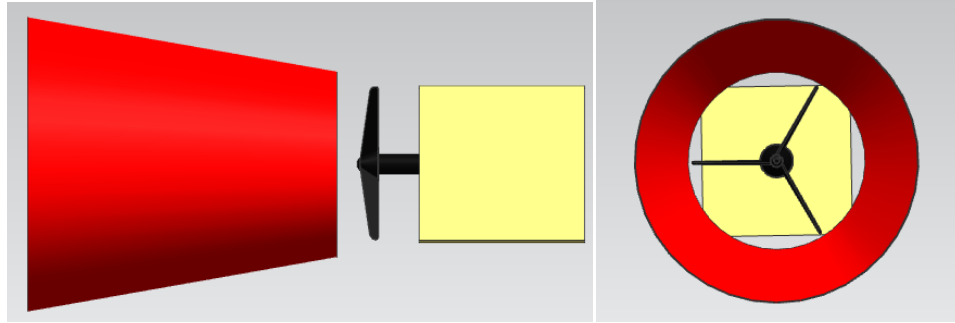
$$V_{cikis} = \frac{A_{giris} \cdot V_{giris}}{A_{cikis}} \quad (4.10)$$

$$V_{cikis} = \frac{A_{giris} \cdot V_{giris}}{A_{cikis}} \quad (4.11)$$

$$V_{cikis} = \frac{0,0691 \cdot V_{giris}}{0,0534} \quad (4.12)$$

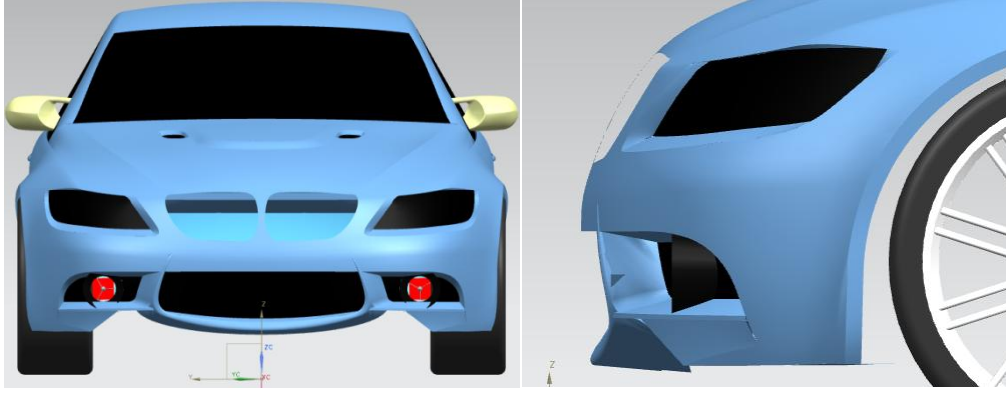
$$V_{cikis} = 1,29 \times V_{giris} \quad (4.13)$$

Lülenin çıkış kısmındaki hız artışı girişin 1,29 katı olarak elde edilmiştir. Lülenin girişinde hava giriş çapı 22 cm, havanın çıkışındaki kısımda ise 17 cm'dir. Hesaplamalar bu ölçülere göre yapılmıştır ve Simulinkte modellenmiştir.



Şekil 4.19 : Türbin lüle çiftinin görünüşü.

Rüzgar türbinleri aracın sis farlarının olduğu bölüme yerleştirilmiştir. Bu kısımda aracın hızına bağlı olarak karşı etkiyle oluşan rüzgâr hızına bağlı olarak türbinler dönecek ve tahrik ettikleri jeneratörlerde elektrik üretilmesi sağlanacaktır. Elde edilen elektrik enerjisi DC Bus kısmında doğrultucuya gönderilecektir ve bataryaların şarj edilmesi sağlanacaktır.



Şekil 4.20 : Rüzgar türbinlerinin araç üzerindeki görünüşleri.

Rüzgar türbin AC senkron jeneratörlerinin verimleri %70 olarak alınmış ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

Aracın ön kısmında sis farlarının olduğu bölüme yerleştirilen 2 adet türbin AC Senkron jeneratör ve bu türbine gelen havanın hızını artırmak için kullanılan lüleler sayesinde rüzgar enerjisi aracın hızıyla doğru orantılı olarak elektrik enerjisi üretmektedir. Yol çevrimlerine üretilen elektrik enerjisi DC Bus kısmında doğru akıma çevrilerek batarya şarj edilmektedir. Yakıt sarfiyat Çizelgesinde görülen durumda ECE R 15 çevrimine göre %0,92 yakıt sarfiyatında azalma görülmüştür.

Çizelge 4.3 : Rüzgar türbinlerinin yakıt sarfiyatına etkisi.

Yol Çevrimleri	Konvansiyonel Paralel Hibrit Araç	Alternatif Enerji İle Desteklenen Paralel Hibrit Araç	İyileşme %
ECE R15 Yakıt Tüketimi (L)	4,595	4,553	0,92%

Rüzgar türbinlerinin sadece negatif ivmelenme ve yokuş inişlerinde devreye girmesi, devreye girdiğinde aracın aerodinamiğinde katsayıyı artırıcı etkide olması, 20 kg civarında ilave kütle artışı ve türbin ve jeneratörün ayrı verimlilikleri nedeniyle %0,92 civarında bir yakıt tüketiminde iyileşme sağlanmıştır. Negatif ivmelenme esnasında ilave olarak türbinlerin çalışması aracın daha hızlı durmasını sağlayacaktır.

4.3 Hibrit Araç Güneş Enerjisi Fotovoltaik Pil Sistemi İlavesi

Türkiye’deki ortalama güneşlenme değerleri ve güneş enerjisi kapasitesi aşağıdaki verilerden alınarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi hesaplaması yapılacaktır.

Çizelge 4.4 : A300 fotovoltaik pillerin teknik özellikleri [27].

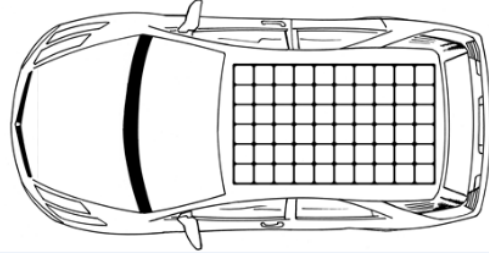
Açık devre gerilimi	0,665 V
Kısa devre akımı	5,75 A
Maksimum Güç Gerilimi	0.560 V
Maksimum güç akımı	5,35 A
Güç	3,1 W
Verim	20%

Aracın tavan kısmına 54 adet fotovoltaik pil hücresi yerleştirilmiştir. 54 adet A 300 fotovoltaik pilin maksimum güçteki toplam gerilim değeri 35,91 V’dir

Çizelge 5.5 : Türkiye ortalama güneş enerjisi verileri [13].

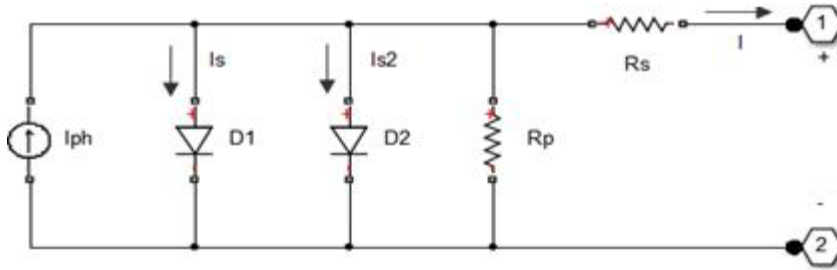
Aylar	Isparta (Wh/ m ²)	Erzincan (Wh/ m ²)	Ankara (Wh/ m ²)	Balıkesir (Wh/ m ²)	Yozgat (Wh/ m ²)
Ocak	1541	2582	1460	1588	1317,616
Şubat	1759	3567	2412	1801,45	1881,111
Mart	2060	4398	3724	3228,87	3514,4
Nisan	3825	4710	4789	4708,32	3980,427
Mayıs	4035	6121	6280	6348,24	5166,213
Haziran	7726	7685	6964	7424,47	5132,015
Temmuz	7708	8005	7124	7366,15	5265,12
Ağustos	7003	6263	6287	6869,68	5505,827
Eylül	5870	5110	4538	4817,82	5230,232
Ekim	3731	3911	3095	3189,50	2790,659
Kasım	2436	2611	2179	2006,32	3047,264
Aralık	1973	1617	1241	1226,73	1022,485
toplam	49,667	56580	50093	50575,5	39853,36

Fotovoltaik pillerden elde edilecek elektrik enerjisinin hesaplanması için aşağıdaki hesaplamalar yapılacaktır.



Şekil 4.21 : Fotovoltaik pillerin aracın tavanında görünüşü

Aracın tavan kısmına 54 adet fotovoltaik pil hücresi yerleştirilmiştir. 54 adet A 300 fotovoltaik pilin maksimum güçteki toplam gerilim değeri 35,91 V'dir. Fotovoltaik pil için eşdeğer devre şeması aşağıdaki Şekil 5.3 'te olduğu gibidir. Bu devre güneş enerjisi sistemine MATLAB SIMULINK'te modellenecektir.



Şekil 4.22 : Fotovoltaik pil eşdeğer devresi [21].

I_{pv} : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

I_{D1} : Diyot akımı

I : Yük akımı

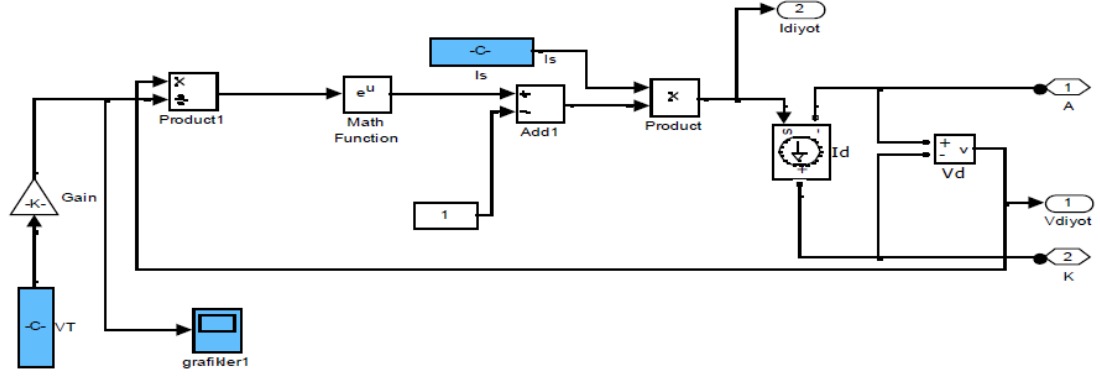
R_s : Seri direnç

R_p : Paralel direnç

$$I_{pv} = [I_{scr} + K_i(T - 298)] \quad (5.13)$$

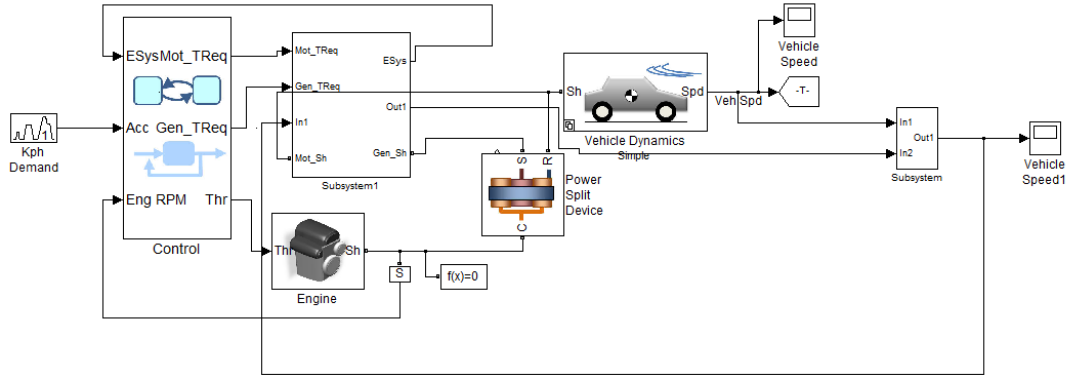
$$I_{rs} = \frac{I_{scr}}{[e^{\frac{qV_{oc}}{kAT}} - 1]} \quad (5.14)$$

Burada λ , kW/m² olarak ışıınımı, $ISCr$ güneş pilinin 25 C0'de ki kısa devre akımını Ki güneş pilinin kısa devre akımı sıcaklık sabitini, T güneş pilinin K olarak çalışma sıcaklığını gösterir. Simulinkte fotovoltaik güneş enerjisi sistemi aşağıdaki gibi modellenmiştir. Bu model şarj akımına dönüştürülecektir ve bataryayı güneş enerjisi verilerine göre ne ölçüde şarj ettiği belirlenmiştir. 4000Wh/m² güneş ışıınımı değerinde yaklaşık 0,8 A şarj akımı elde edilebilecektir.



Şekil 4.23 : Fotovoltaik komple şarj sistemi Simulink modeli.

Simulinkte şarj devresi modellendikten sonra bu sistem bir subsystem olarak bir modül haline getirilecektir ve Simulink'te simülasyonun içerisine gömülmüştür.



Şekil 4.24 : Güneş enerjisinin sisteminin Matlab Simulink modeline gömülmesi.

Çizelge 4.6 : Güneş enerjisinin yakıt sarfiyatına etkisi.

Yol Çevrimleri	Konvansiyonel Paralel Hibrit Araç	Güneş Enerjisi İle Desteklenen Hibrit Araç	İyileşme %
ECE R15 Yakıt Tüketimi (L)	4,595	4,481	2,49%

Güneş enerjisi için oluşturulan modelde ortalama bir radyasyon verisi kullanılarak modelleme yapılmıştır ve akım şiddeti değeri elde edilmiştir. Araçta kullanılan 6,9 A maksimum akım kapasiteli ve 202 V batarya ile elde edilebilecek güç değeri 1380 Watt'dır. Güneş enerjisinden elde edilen 54 panelin maksimum sağlayabileceği en verimli güç değeri 167,4 W'dır. Ancak gerçek şartlarda maksimum ışınlım ve uygun

sıcaklık değerlerinin elde edilmesi açısından tam verimde çalışılamamaktadır. Ayrıca güneş ışığının yönleri ile ilgili değişiklikler ve gün boyu ve mevsimler değerinde sürekli aynı güç elde edilememektedir. Ancak her durumda sürekli olarak aracın durması halinde bile şarj edilebildiği için güneş enerjisindeki düşük verimlere rağmen toplamda %2,49 mertebesinde bir yakıt sarfiyatı düşüşü gerçekleşmiştir.

4.4 Hibrit Araca Egzoz Çıkışı Elektrik Jeneratörü İlavesi

Benzin motorlu Hibrit Elektrikli aracımızın egzoz çıkışına bir türbin jeneratör çifti yerleştirilerek, egzozdaki atık gazın çıkış hızıyla turbocharger ünitelerinde olduğu gibi, egzoz gazının türbini döndürerek elektrik üretmesi ve bataryayı alternatif bir enerji kaynağı olarak şarj etmesi çalışılmaktadır. Bu çalışma için öncelikle aracın egzoz gazının çıkış hızı bulunmalıdır. Egzoz gazının çıkış hızı motorun dönüş hızına bağlı olduğu için, Matlab/Simulink'teki simülasyonda motor çıkış hızından veri alarak türbin jeneratör çifti hazırlanarak elektriksel güç değeri elde edilecektir.

Egzoz gazı çıkış hızının bulunması için motora giriş yapan havanın 1 Atm ve 20°C olduğunu varsayarak;

$$\rho_{air} = \frac{P_{air}M_{air}}{RT_{air}} \quad (5.15)$$

$$\rho_{air} = \frac{P_{air}M_{air}}{RT_{air}} = \frac{101,325Pa \cdot \frac{29kg}{mol}}{8,314J/kmolK \times 295K} = 1,20 \frac{kg}{m^3} \quad (5.16)$$

$$\dot{m} = \rho Q = 1,2kg/m^3 \times 10000L/min = 0,20kg/s \quad (5.17)$$

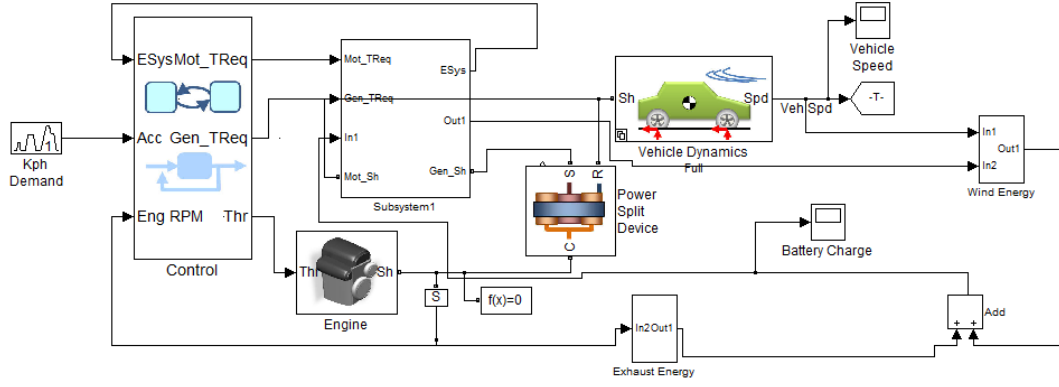
$$\dot{m}_{exhaust} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} \quad (5.18)$$

$$\dot{m}_{exhaust} = \frac{0,214kg}{s} \quad (5.19)$$

Egzoz çıkışındaki sıcaklık 1 Atm basınç ve 200°C dir. Bu durumda egzoz çıkışındaki hava debisi;

$$\rho_{exhaust} = \frac{P_{exh}M_{exh}}{RT_{exh}} = \frac{101,325Pa \cdot \frac{29kg}{mol}}{8,314J/kmolK \times 473K} = 0,747 \frac{kg}{m^3} \quad (5.20)$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,214kg/s}{0,747kg/m^3} = 0,286 \frac{m^3}{s} \quad (5.21)$$



Şekil 4.25 : Egzoz türbini enerjisinin Simulink modellemesi.

Egzoz türbin enerjisindeki hesaplamalar , 60000 rpm hızda dönen türbine göre yapılmıştır. Konvansiyonel turbo charger üniteli sistemdeki farklı olarak, türbinin karşılığına kompresör yerine doğrudan elektrik jeneratörü bağlanmıştır. Türbinin adyabatik verimi %65-75 ve mekanik verimi %85-90 mertebesinde. Elektrik jeneratörünün verim aralığı %40-%70 arasında değişken olarak simülasyonda uygulanmıştır. Türbinin dönme hızı redüktör kullanılarak 3000 rpm'e düşürülmüştür ve tork artışı elde edilmiştir. Egzoz devresindeki geri tepmenin olmadığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hibrit aracımız benzinli içten yanmalı motora sahip bir araç olduğu için, egzoz hattında egzoz gazının çıkışı esnasındaki hız değerlerinin kullanılabilmesi, turbo beslemeli dizel motorlara oranla daha avantajlıdır. Buradaki kısıtlardan bir tanesi de, egzoz çıkışının gereğinden fazla kapatılmaması ve egzoz freninde olduğu gibi klape etkisi yaratılmamasıdır. Bu enerji ilavesinde kullanılan türbin çapı 3 cm olarak belirlenmiştir. Motorun algoritmaya bağlı olarak sürekli çalışmaması ve türbin çapının rüzgar enerjisinde kullanılan pervane çapına oranla daha küçük olması nedeniyle elde edilen iyileştirme verileri kısmen daha düşüktür. Aşağıdaki çizelgede egzoz türbin enerjisinin toplam tüketimde sağladığı yakıt iyileştirmesi verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Egzoz türbin enerjisinin yakıt tüketimine etkisi.

Yol Çevrimleri	Konvansiyonel Paralel Hibrit Araç	Egzozdaki Türbin Enerjisi İle Desteklenen Hibrit Araç	İyileşme %
ECE R15 Yakıt Tüketimi (L)	4,595	4,574	0,45%

4.5 Alternatif Enerji Sistemlerinin İlavesi Sonucunda Simülasyon Sonuçları

Konvansiyonel hibrit araca, rüzgar enerjisi, solar enerji ve egzoz gazından elde edilen elektrik enerjisinin ilave edilmesiyle yapılan simülasyonlar neticesinde ECE R15 çevrimine göre %3,86 yakıt tüketiminde iyileşme elde edilmiştir. EUDC çevrimindeki mesafenin uzun olması ve durma kalkma sayılarının ECE R15 çevrimine göre az olması yakıt tüketimini azaltıcı etkide bulunmuştur.

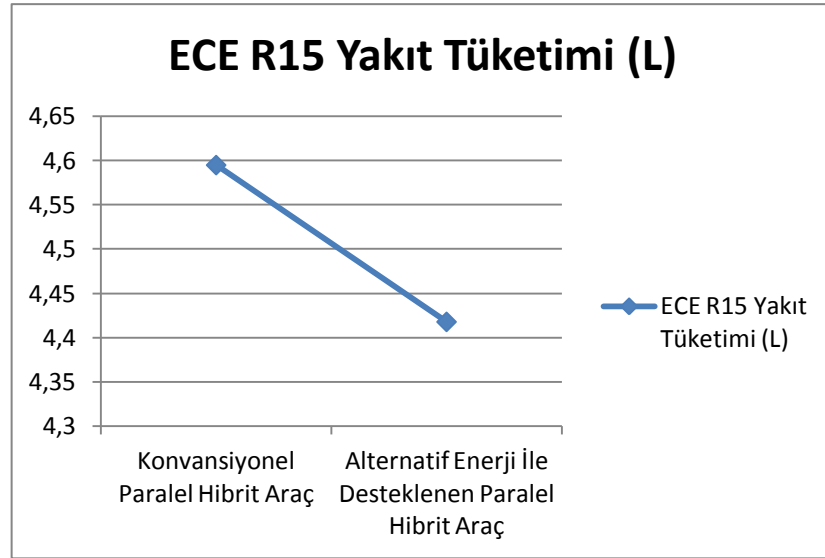
Rüzgar türbinleri ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan solar panellerin aracın toplam ağırlığı olan 1200 kg 'a ilave olarak etkisi fazladan 30 kg olacaktır. Simülasyonda bu etki göz önünde bulundurulacaktır. Ancak rüzgar türbinin aerodinamik etkisi göz ardı edilecektir.

Çizelge 4.8 : Alternatif enerji sistemlerinin ağırlık etkisi.

Araç Dinamiği Parametreleri	Mevcut Değerler	Alternatif Enerji (Rüzgar, Egzoz ve Solar Enerji) İlavesi
Araç Kütlesi	1380 kg	1410 kg
Ön Bölge Alanı	2,16 m ²	değişmez
Aerodinamik Drag Katsayısı	0,26 Cd	değişmez
Tekerlek Yarıçapı	0,3 m	değişmez
Toplam Tekerlek Ataleti	0,1 kgm ²	değişmez
Dişli Oranı (Motor-Araç)	1,3	değişmez

Çizelge 4.9 : Alternatif enerjilerin yakıt tüketimine etkisi.

Yol Çevrimleri	Konvansiyonel Paralel Hibrit Araç	Rüzgar Türbini İle Desteklenen Hibrit Araç	İyileşme %
ECE R15 Yakıt Tüketimi (L)	4,595	4,553	0,92%
		4,481	2,49%
		4,574	0,45%
		4,418	3,86%



Şekil 4.26 : Yakıt tüketimindeki iyileşmenin grafik gösterimi.

5. SONUÇLAR

Rüzgar enerjisi, egzoz gazı enerjisi ve solar enerjilerle alternatif olarak desteklenen ve elde edilen elektrik enerjisi bataryaları şarj etmek üzere değerlendirilen araçlarda konvansiyonel araca oranla yakıt tüketiminde iyileşme olduğu anlaşılmıştır. Rüzgar enerjisi ve egzoz gazı enerjilerini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan türbin jeneratörler ile Solar güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan fotovoltaik pillerin toplam ağırlıkları olan ve araca ekstra olarak yüklenen toplada 30 kg kütle artışına rağmen yakıt tüketiminde ECE R15 yol çevrimine göre %3,86 ve EUDC çevrimine göre %29,57 oranlarında iyileştirme sağlanmıştır. Özellikle şehir içi çevrimine daha yakın olan ve düşük hızlarda gerçekleşen ECE R15 çevriminde iyileştirme kısmen daha düşük gerçekleşmiştir. Her durumda, aracın gün ışığı altında sabit durduğu anda ya da yolda hareket ettiği anda güneş enerjisini elektriğe dönüştürüyor olması, rüzgar türbininin aracın hızlanmasına bağlı olarak türbinler yardımıyla elektrik üretmesi ve içten yanmalı motorun egzozundan çıkan gazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi iyileştirme ve yakıt tüketiminde azalma sağlamıştır. Özellikle EUDC çevriminde iyileşme oranının daha fazla çıkmasının bir nedeni de aracın 120 km/h gibi daha yüksek hızlara çıkmasından dolayı türbinlerde üretilen elektrik enerjisinin daha fazla olmasıdır. Rüzgâr enerjisinden daha fazla faydalanmak üzere, aracın ön kısmında tasarlanan lüle sayesinde rüzgar hızı 1,29 katına yükseltilmiştir. Bu durum şehir içinde olduğu gibi düşük hızlarda yol alındığı durumlarda da elektrik enerjisi üretebilme imkânı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **US Department of Energy** – Fuel economy information website - <http://www.fueleconomy.gov/>
- [2] **U.S. Environmental Protection Agency**, 2005. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2005, <http://www.epa.gov>.
- [3] **Toyota Motor Corporation**, 2003. Toyota's Global Strategy, <http://www.toyota.co.jp>.
- [4] **Chevrolet Official Website** - <http://www.chevrolet.com/>
- [5] **Toyota - official press release** of Prius sales figures
www.toyota.com/about/news/product/2008/05/15-1-prius.html
- [6] **Plotkin S., Santini D., Vyas A., Anderson A., Wang M., He J., Bharathan D.**, 2001. Hybrid Electric Vehicle Technology Assessment: Methodology, Analytical Issues, and Interim Results, Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, USA.
- [7] **John B. Heywood** - Internal combustion engine fundamentals - McGraw-Hill International Editions – (1988)
- [8] **Ehsani M.**, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design,” ISBN: 0849331544, CRC Press, December 20, 2004, pp. 102-108.
- [9] **General motors official website** – <http://www.gm.com>
- [10] **Soruşbay C.**, 1989. İçten Yanmalı Motorlarda Egsoz Emisyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [11] **European Commission** - Eurostat Environment and Energy Data - <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [12] **Schouten N. J., Salman V., Kheir N.A.**, “Fuzzy Logic Control for Parallel Hybrid Vehicles,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 10, No. 3, May 2002.
- [13] **EPA Fuel Economy** US Environmental Protection Agency – Light Duty Automotive Technology and Fuel Economy Trends: 1975-2006
- [14] **OPEC** – Organization of the Petroleum Exporting Countries – Daily basket price
- [15] **Green cars initiative. European Commission:** Research and Innovation Transport. Accessed Jan 17, 2011. Available from: http://ec.europa.eu/research/transport/info/green_cars_initiative_en.html
- [16] **Paganelli G., Ercole G., Brahma A., Guezennec Y., Rizzoni G.**, 2001. General Supervisory Control Policy for the Energy Optimization of Charge Sustaining Hybrid Electric Vehicles, JSAE Review, 22, 511– 518

- [17] **I. H. Altas and A.M. Sharaf**, “A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment,” IEEE, Clean Electrical Power, International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP '07), June 14-16, 2007, Ischia, Italy.
- [18] **Shen, C., He, Y., Liu, Y., Tao, W.**, Modelling and simulation of solar radiation data processing with Simulink, Simulation Modelling Practice and Theory 16, pp: 721–735, 2008.
- [19] **Simscape User’s Guide, Matlab Simulink**, 2007–2010 by The MathWorks, Inc.
- [20] **Jeon S., Kim K.B., Jo S.T., Lee J.M.**, 2001. Driving Simulation of a Parallel Hybrid Electric Vehicle Using Receding Horizon Control, Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Korea, June 12-16, 2, 1180-1185.
- [21] **Matlab R12** Yardım Dosyaları
- [22] **Mathworks homepage** on [Online]. Available
<http://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ref/solarcell.html/>
- [23] **Uzunoglu, M., Onar, O.C., Alam, M.S.**, Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications, Renewable Energy 34, pp: 509–520, 2009.
- [24] **A. B. Cultura and Z. M. Salameh**, “Modeling and Simulation of a Wind Turbine-Generator System” 978-1-4577-1002-5/11©2011 IEEE
- [25] **Chris Mi**, Hybrid Electric Vehicles: Control, Design, and Applications, Lecture Notes, Department of Electrical and Computer Engineering University of Michigan - Dearborn
- [26] **Hybrid Buses, Costs and Benefits**. (2012). Environmental and Energy Study Institute(EESI), Washington,
http://www.eesi.org/files/eesi_hybrid_bus_032007.pdf
- [27] **Mekatro R&D Co.**, Paralel Hibrit Elektrikli Aracın Modellenmesi ve Simülasyonu, Technical Report, Dec. 2004.
- [28] **AVL Advanced Simulation Technologies** Tools and Methods for NexLevelSimulation Solutions, Help dosyaları.

EKLER

EK A Yol çevrimlerine göre yakıt tüketimi hesaplaması ve simülasyonu çalıştıran Matlab kodları

EK B Yakıt Tüketimi hesaplamaları ve araç dinamiklerini veren Matlab kodları

EK A

```
%% OPEN AND CONFIGURE MODEL
% Copyright 2011 The MathWorks, Inc.

mdl = 'HEV_SeriesParallel';
open_system(mdl);
Select_HEV_Model_Systems('Sys BC VS',HEV_Configs);
HEV_Param.Control.Mode_Logic_TS = 0.1;

%% BUILD STANDALONE EXECUTABLE
disp(['Building standalone executable for ' mdl '.mdl']);
set_param(bdroot,'SystemTargetFile','rsim.tlc')
rtwbuild(mdl);
disp(['Finished building standalone executable for ' mdl '.mdl']);

%% CREATE RSIM PARAMETER FILES
disp(' ');disp('Creating RSIM parameter files...')

Drive_Cycle_Num = 1;
[rtpstruct]= rsimgetrtp(mdl);
save HEV_Model_Parameters_01 rtpstruct;

Drive_Cycle_Num = 2;
[rtpstruct]= rsimgetrtp(mdl);
save HEV_Model_Parameters_02 rtpstruct;

Drive_Cycle_Num = 3;
[rtpstruct]= rsimgetrtp(mdl);
save HEV_Model_Parameters_03 rtpstruct;

disp('Finished creating parameter data files.')

%% RUN STANDALONE EXECUTABLE
disp(' ');disp('Running RSIM simulations...')
!HEV_SeriesParallel -p HEV_Model_Parameters_01.mat -o results_01.mat -tf 195
!HEV_SeriesParallel -p HEV_Model_Parameters_02.mat -o results_02.mat -tf 400
!HEV_SeriesParallel -p HEV_Model_Parameters_03.mat -o results_03.mat -tf 400
disp('Finished RSIM simulations...')

%% PLOT RESULTS
colordef black
figure
set(gcf,'Position',[551 135 449 548]);
YAXLims= [0 150];

subplot(311)
load results_01.mat; HS_h(1) =plot(rt_Car.time,rt_Car.signals(4).values(:,1),'y'); grid on;
set(gca,'YLim',YAXLims);
subplot(312)
load results_02.mat; HS_h(2) =plot(rt_Car.time,rt_Car.signals(4).values(:,1),'m'); grid on;
set(gca,'YLim',YAXLims);
subplot(313)
load results_03.mat; HS_h(3) =plot(rt_Car.time,rt_Car.signals(4).values(:,1),'r'); grid on;
set(gca,'YLim',YAXLims);
hold off;
set(HS_h,'LineWidth',3);

subplot(311)
title_h = title('Vehicle Speed (kph)');
subplot(313)
xlabel_h = xlabel('Time (s)');
set(title_h,'FontSize',14);
set(xlabel_h,'FontSize',12);
grid on

%axis([0 200 0 120]);
colordef white

%% CLEANUP DIRECTORY
delete HEV_SeriesParallel.exe
delete HEV_Model_Parameters*.mat
delete results*.mat
set_param(bdroot,'SystemTargetFile','grt.tlc')
```

EK B

```
% ESTIMATE FUEL CONSUMPTION WITH MEASURED DATA
% Copyright 2011 The MathWorks, Inc.
% CONSTANTS
gasoline_density_gpm3 = 750*1000; % Grams per cubic meter
gallons_per_m3 = 264.172; % gallons per cubic meter

% IMPORT EXPERIMENTAL DATA
% http://www.transportation.anl.gov/pdfs/HV/2.pdf
FC_Measured_Data = xlsread('Fuel_Consumption_DATA.xlsx');
FCData.Speed_RPM = FC_Measured_Data(1:(end-1),1);
FCData.Trq_Nm = FC_Measured_Data(1:(end-1),2);
FCData.FuelUse_gps = FC_Measured_Data(1:(end-1),3)/gallons_per_m3*gasoline_density_gpm3;
Fuel_Consumption_PlotData

% OPEN SURFACE FITTING TOOL
sftool(FCData.Speed_RPM, FCData.Trq_Nm, FCData.FuelUse_gps)

% Polynomial, x=2, y=2
% Fit/Save to Workspace
% sftool('FC_SFit_Session.sfit') % Saved Session

% GENERATE LOOKUP TABLE
%load FCMaP_Poly2
numpts = 10;
FCMap.Speed_Vector = linspace(min(FCData.Speed_RPM),max(FCData.Speed_RPM),numpts);
FCMap.Torque_Vector = linspace(min(FCData.Trq_Nm),max(FCData.Trq_Nm),numpts);
[SpeedArray,TorqueArray] = meshgrid(FCMap.Speed_Vector,FCMap.Torque_Vector);
FCMap.Consumption_Table = FCMaP_Poly2(SpeedArray,TorqueArray);

% PLOT LOOKUP TABLE AS SURFACE
surf(SpeedArray,TorqueArray,FCMap.Consumption_Table);
```


ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Burak ATALAY
Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu - 1986
E-Posta : burak.atalay@arcelik.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Sakarya Üniversitesi – Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** : İTÜ Makine Mühendisliği Otomotiv Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Burak Atalay, Eylül 2010 tarihinden bu yana Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi Bolu fabrikasında AR-GE mühendisi olarak görev yapmaktadır.