

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

**HİBRİT BİR YOL SÜPÜRME ARACININ
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan CANBOLAT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Halit YAŞAR

Kasım 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT BİR YOL SÜPÜRME ARACININ
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan CANBOLAT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 25 / 11 /2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

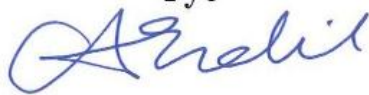
Prof. Dr.
İmdat TAYMAZ

Jüri Başkanı




Prof. Dr.
Ahmet ERDİL

Üye



Doç. Dr.
Halit YAŞAR

Üye



BEYAN

Tez içindeki verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Gökhan CANBOLAT

20.11.2016

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun artması ile birlikte mevcut enerji kaynakları hızla tükenmekte olup, enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynaklarından karşılanması ihtiyacı doğmuştur. Petrol ve türevi kaynakların tükenmeye mahkûm olması ve doğaya verdikleri ciddi zararlar dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ciddi bir artış göstermiştir ve ülkeler bu alanda çalışmalara yoğunlaşmıştır.

Elektrikle tahrik edilen araçların enerji verimliliklerinin, konvansiyonel araçlara göre daha yüksek olduğu otomotiv endüstrisinde yapılan ARGE çalışmaları ile ispatlanmıştır. Elektrik motorlarının içten yanmalı motorlara göre daha yüksek verime sahip olması, elektrik tahrikli sistemlere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Mevcut dünya şartları göz önüne alındığında, tam elektrikli araçlara geçiş öncesi hibrit elektrikli araçlar ön plana çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlar ile tahrik edilen mevcut araçların hibrit elektrikli araçlara dönüştürülmesi ile enerjinin daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapılmış olan bu tezde, konvansiyonel bir yol ve kaldırım süpürme aracının, seri ve paralel hibrit elektrikli konfigürasyonları incelenmiştir.

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, beni değerli görüş ve fikirleriyle yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Halit YAŞAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yerli bir Seri Hibrit Elektrikli Araç Projesinin tasarım ve imalatında yanında görev aldığım Sayın Orkun AKPINAR'a bana vermiş olduğu bilgiler ve aktardığı tecrübelerinden dolayı teşekkür ederim. Son olarak bu süreç zarfında benden desteklerini esirgemeyen, beni bugünlere getiren sevgili Aileme ve çalışmalarına hep destek veren Sayın Duygu ÇAKIR'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| ÖNSÖZ..... | i |
| İÇİNDEKİLER..... | ii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| TABLolar LİSTESİ | ix |
| ÖZET..... | ix |
| SUMMARY | x |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ. | 1 |
| 1.1. Hibrit Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi | 1 |
| 1.2. Hibrit Elektrikli Araçların Literatür Özeti | 3 |
| BÖLÜM 2. | |
| HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR | 16 |
| 2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar ve Çeşitleri..... | 16 |
| 2.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar..... | 17 |
| 2.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar | 18 |
| 2.1.3. Seri-Paralel karma hibrit elektrikli araçlar (SP-HEA)..... | 20 |
| 2.2. Hibrit Elektrikli Araçların Avantajları | 21 |
| 2.3. Hibrit Elektrikli Araçların Dezavantajları..... | 21 |
| 2.4. Hibrit Elektrikli Araçlarda Kullanılan Ana Elemanlar..... | 21 |
| 2.4.1. Bataryalar..... | 21 |
| 2.4.2. Elektrik motorları ve sürücülerini..... | 24 |
| 2.4.2.1. Doğru akım motorları | 26 |
| 2.4.2.2. Asenkron motorlar | 26 |
| 2.4.2.3. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar | 27 |

| | |
|---|----|
| 2.4.2.4. Anahtarlamalı relüktans motoru..... | 28 |
| 2.4.3. Elektrik motorları ve sürücüler..... | 30 |
| 2.4.3.1. Alternatif akım jeneratörü (Alternatör)..... | 30 |
| 2.4.3.2. Doğru akım jeneratörü (Dinamo) | 30 |
| 2.4.3.3. DC jeneratörün avantajları..... | 31 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| TAŞIT TASARIM VE SİMULASYON TEORİSİ | 32 |
| 3.1. Elektrikli Taşıt Tasarımı İfadelerinin Çıkarılması..... | 33 |
| 3.1.1. Aerodinamik direnç | 37 |
| 3.1.2. Yuvarlanma direnci..... | 39 |
| 3.1.3. Yokuş direnci | 41 |
| 3.1.4. İvmelenme direnci | 42 |
| | |
| BÖLÜM 4. | |
| HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELİ VE GÜÇ AKTARMA ORGANLARI | 44 |
| 4.1. HEYSA'ya Etki Eden Direnç Kuvvetleri ve Güç Hesaplamaları | 47 |
| 4.1.1. Aerodinamik direnç hesabı | 47 |
| 4.1.2. Yuvarlanma direnci hesabı..... | 47 |
| 4.1.3. Yokuş direnci hesabı..... | 48 |
| 4.1.4. Toplam direnç kuvvetleri ve güç hesapları | 48 |
| 4.2. Aracın Aktarma Organlarına Bağlı Hız ve Tork Hesapları | 50 |
| 4.3. Aracın Tasarım Amacına Uygun Olarak Ana Elemanların Seçimi | 52 |
| 4.3.1. Aracın hidrolik güç ünitesinin seçimi | 55 |
| 4.4. Hibrit Elektrikli Araçta Toplam Güç İhtiyacı..... | 57 |
| 4.4.1. Araç için içten yanmalı motor ve alternatör seçimi..... | 58 |
| | |
| BÖLÜM 5. | |
| HİBRİT ELEKTRİKLİ ARACIN AVL CRUISE SİMÜLASYONLARI VE SONUÇLARI..... | 61 |
| 5.1. AVL Cruise..... | 61 |
| 5.1.1. AVL Cruise uygulama alanları | 62 |

| | |
|--|----|
| 5.1.2. AVL Cruise araç modeli..... | 63 |
| 5.2. AVL Cruise ile Seyir Çevriminin Oluşturulması | 63 |
| 5.3. Aracın Seri ve Paralel Hibrit Modları İçin AVL Cruise Modelleri | 65 |
| 5.3.1. Seri hibrit elektrikli model için AVL Cruise simülasyonu..... | 66 |
| 5.3.2. Paralel hibrit elektrikli mod için AVL Cruise simülasyonu..... | 67 |
| 5.3.2.1. Seri hibrit elektrikli mod için AVL Cruise sonuçları | 69 |
| 5.3.2.2. Paralel hibrit elektrikli mod için AVL Cruise sonuçları.. | 74 |
| 5.4. Seri ve Paralel Hibrit Mod İçin Sonuçlarının Karşılaştırılması | 77 |
| | |
| BÖLÜM 6. | |
| TARTIŞMA VE SONUÇ | 82 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 84 |
| ÖZGEÇMİŞ | 90 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-------|---------------------------------------|
| AC | : Alternatif akım |
| Ah | : Amper saat |
| A_f | : Araç ön yüzey alanı |
| C_D | : Aerodinamik direnç katsayısı |
| CVT | : Sürekli değişken transmisyon |
| DC | : Doğru akım |
| EM | : Elektrik motoru |
| ECE | : Şehir içi sürüş çevrimi |
| EUDC | : Şehir dışı sürüş çevrimi |
| FCHV | : Yakıt pilli hibrit araç |
| HEA | : Hibrit elektrikli araç |
| HEYSA | : Hibrit elektrikli yol süpürme aracı |
| HWFET | : Otoyol yakıt ekonomisi çevrimi |
| İYM | : İçten yanmalı motor |
| kW | : Kilo watt |
| kWh | : Kilo watt saat |
| KVA | : Kilovolt amper |
| NEDC | : Avrupa sürüş çevrimi |
| P-HEA | : Paralel hibrit elektrikli araç |
| PMSM | : Sürekli mıknatıslı senkron motor |
| S-HEA | : Seri hibrit elektrikli araç |
| SOC | : Batarya şarj durumu |
| SOH | : Batarya sağlığı |
| UDDC | : Şehir içi sürüş çevrimi |
| US06 | : Otoyol sürüş çevrimi |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Hibrit elektrikli araç | 16 |
| Şekil 2.2. Seri hibrit elektrikli araç | 17 |
| Şekil 2.3. Seri hibrit elektrikli araç modeli | 18 |
| Şekil 2.4. En basit şekilde paralel hibrit sistemi | 19 |
| Şekil 2.5. Paralel hibrit elektrikli araç modeli | 20 |
| Şekil 2.6. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modeli..... | 20 |
| Şekil 2.7. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları | 25 |
| Şekil 2.8. Asenkron motor tork ve hız karakteristiği | 27 |
| Şekil 2.9. BLDC motor tork – hız grafiği | 28 |
| Şekil 2.10. Anahtarlama relüktans motoru tork – hız grafiği..... | 29 |
| Şekil 2.11. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan motorların seçim kriterleri | 29 |
| Şekil 3.1. Hareket halindeki araca etki eden direnç kuvvetleri..... | 33 |
| Şekil 3.2. Elektrik motorunun taşıt tekerleğine basit bağlantı düzeneği..... | 34 |
| Şekil 3.3. Hava direncini oluşturan hava akımları | 37 |
| Şekil 3.4. Yuvarlanma direncinin kaybedilen toplam enerjiler içinde yüzdesi | 40 |
| Şekil 3.5. Hız ve lastik tipinin yuvarlanma direnç katsayısına etkisi..... | 40 |
| Şekil 3.6. Yokuş direnç kuvveti ve eğim açısı..... | 42 |
| Şekil 4.1. Hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait katı model | 45 |
| Şekil 4.2. Hibrit yol süpürme aracının hazne kaldırma modeli..... | 46 |
| Şekil 4.3. Diferansiyel katı modeli..... | 50 |
| Şekil 4.4. Elektrik motoruna ait katı model..... | 51 |
| Şekil 4.5. Süpürme grubu katı modeli | 53 |
| Şekil 4.6. Süpürge ve vakum ağzına ait katı model..... | 53 |
| Şekil 4.7. Direksiyon tahrik grubu | 54 |
| Şekil 4.8. Hibrit elektrikli araca ait vakum fanı katı modeli | 54 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.9. Hidrolik güç ünitesi katı model | 56 |
| Şekil 4.10. Mitsubishi dizel motoru..... | 58 |
| Şekil 4.11. HEA için seçilen alternatör..... | 60 |
| Şekil 5.1. AVL Cruise..... | 62 |
| Şekil 5.2. AVL Cruise araç model blok diyagramları | 63 |
| Şekil 5.3. AVL Cruise seyir çevriminden export edilen değerler | 64 |
| Şekil 5.4. Yol süpürme aracının seyir çevrimine bağlı hız grafiği..... | 65 |
| Şekil 5.5. Seri hibrit elektriki yol süpürme aracı için AVL Cruise modeli | 66 |
| Şekil 5.6. Seri hibrit mod için AC motor voltaj, devir sayısı ve güç | 67 |
| Şekil 5.7. Paralel hibrit mod için AVL Cruise modeli | 68 |
| Şekil 5.8. Paralel hibrit mod için AVL Cruise araç verileri | 69 |
| Şekil 5.9. Seri hibrit konfigürasyonda yakıt tüketimi için AVL Cruise değerleri ... | 70 |
| Şekil 5.10. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi..... | 70 |
| Şekil 5.11. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu | 71 |
| Şekil 5.12. Seri hibrit model için seyir çevrimine bağlı NOx değerleri..... | 72 |
| Şekil 5.13. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı CO değerleri | 72 |
| Şekil 5.14. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı HC değerleri | 73 |
| Şekil 5.15. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı is değerleri | 73 |
| Şekil 5.16. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi | 74 |
| Şekil 5.17. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu | 75 |
| Şekil 5.18. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı NOx değerleri..... | 75 |
| Şekil 5.19. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı CO değerleri | 76 |
| Şekil 5.20. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı HC değerleri | 76 |
| Şekil 5.21. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı is değerleri | 77 |
| Şekil 5.22. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi | 78 |
| Şekil 5.23. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu..... | 79 |
| Şekil 5.24. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM NOx salınımı | 79 |
| Şekil 5.25. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM CO salınımı..... | 80 |
| Şekil 5.26. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM HC salınımı..... | 80 |
| Şekil 5.27. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM is salınımı | 81 |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 2.1. HEA’larda kullanılan batarya türleri ve karşılaştırılması | 24 |
| Tablo 3.1. Hava direncini oluşturan etkenler..... | 38 |
| Tablo 3.2. Bazı araçların CD katsayıları ve ön iz düşüm alanları..... | 39 |
| Tablo 3.3. Yuvarlanma direnç katsayısının ortalama değerleri | 41 |
| Tablo 3.4. Bazı yollar için maximum eğimler | 42 |
| Tablo 4.1 Hibrit yol süpürme aracına ait temel veriler..... | 46 |
| Tablo 4.2. Şanzıman ve Diferansiyel Çevrim Oranları | 50 |
| Tablo 4.3. Elektrik motoruna ait karakteristik değerler | 51 |
| Tablo 4.4. Araçta her vites için hız ve tork değerler | 52 |
| Tablo 4.5. Hidrolik pistonlara ait hacim hesapları | 55 |
| Tablo 4.5. Hidrolik pistonlara ait hacim hesapları | 55 |
| Tablo 4.6. Hidrolik güç ünitesine ait veriler | 56 |
| Tablo 4.7. Hibrit araçta toplam güç ihtiyaç tablosu | 57 |
| Tablo 4.8. Mitsubishi Diesel Engine..... | 59 |
| Tablo 4.9. Alternatöre ait teknik özellikler | 60 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Hibrit Elektrikli Araç, Enerji Analizi, Modelleme, Simülasyon, Yakıt Tüketimi, Emisyonlar, AVL Cruise

Son yıllarda, otomotiv endüstrisinde enerjinin nasıl daha verimli kullanılabileceği ve temiz enerji kaynaklarının kullanılması doğrultusunda, elektrik tahrikli araçların geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Hibrit elektrikli araçlarda, konvansiyonel araçlara göre yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Elektrik motorlarının verimlerinin içten yanmalı motorlara göre daha yüksek olması, elektrik tahrikli araçlar üzerine büyük ARGE yatırımlarına neden olmuştur. Mevcut dünya düzeni ve teknolojileri, tümü-elektrikli araçlara geçişte henüz uygun ortamı bulamamıştır. Bu sebepler ile dünya ülkeleri tümü-elektrikli araçlara geçiş öncesinde hibrit elektrikli araçlara yönelmiştir.

Literatürde hibrit elektrikli otomobiller üzerine yapılan bir çok enerji analizi ve güç aktarma sistemlerine ait optimizasyon çalışmaları bulunmaktadır. Fakat otomobiller dışındaki araçların, hibrit elektrik dönüşümleri üzerine literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Otomobil dışındaki araçların normal sürüş çevrimlerine uygun olmaması ve belirli bir işlev (yük kaldırma, taşıma vb.) için tasarlanmış olması sebebiyle, bu araçların standart sürüş çevrimlerinde analiz edilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu tezde; özellikle büyük şehirlerde kullanılan yol süpürme araçlarına olan ilginin artması ve mevcut yol süpürme araçlarının yüksek yakıt tüketim değerleri sebebiyle, hibrit elektrik tahrikli bir yol süpürme aracı analiz edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, aracın seri ve paralel hibrit elektrikli konfigürasyonları için yakıt tüketimi, emisyon ve performansı gibi önemli parametreler karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar AVL Cruise yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar seri ve paralel durumlar için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

MODELING AND ANALYSIS OF A HYBRID STREET SWEEPER VEHICLE

SUMMARY

Keywords: Hybrid Electric Vehicle, Energy Analysis, Modelling, Simulation, Fuel Consumption, Emissions, AVL Cruise

In the recent years, the studies on the development of electric driven vehicles in accordance with how the energy can be used more efficiently and the use of clean energy sources have increased in otomotiv industry. In hybrid electric vehicles, significant progresses in the fuel consumption and emission values have been achieved compared to conventional vehicles. The higher efficiency of electric motors according to internal combustion engines has led to major R&D investments on electric driven vehicles. The current world's order and technologies have not yet found a suitable environment for the transition to all-electric vehicles, therefore automotive industry have turned to hybrid electric vehicles before the transition to all electric vehicles.

In the literature, there are a lot of energy analysis performed on hybrid electric cars and optimization studies on the powertrain systems. However there are a few studies on hybrid electric conversion of non-otomotiv vehicles. Due to the non-automotive vehicles are not appropriate for normal driving cycles and designed for a specific function (weight lifting, transportation etc.), make it difficult to analyze these vehicle in standard driving cycle.

In this dissertation; due to the increased interest in street sweeper vehicles especially used in big cities and the high fuel consumption of the current street sweepers, an electric driven street sweeper was analysed. In the scope of this work, , the important parameters such as fuel consumption, emission and performance were compared for the series and parallel configuration of vehicle. Simulations were performed by using AVL Cruise software and the results were presented comparatively for the series and parallel cases.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hibrit elektrikli araçlar, en az iki enerji kaynağının birlikte kullanıldığı araçlar olarak tanımlanmaktadır. İçten yanmalı motorlar ve elektrik motorları gerekli tahrik mekanizmalarını oluşturular. İçten yanmalı motorlar gerekli olan enerjiyi petrol esaslı yakıtlardan sağlarken, elektrik motorları bataryalar, yakıt pilleri, kapasitörler ve güneş pillerinden sağlamaktadır [1].

1.1. Hibrit Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi

Tarihte bilinen ilk hibrit elektrikli araç, 1901 yılında Ferdinand Porsche tarafından seri hibrit elektrikli araç konseptinde yapılmıştır. Elektrik ihtiyacını karşılamak üzere jeneratör kullanılan araçta, hareketi sağlamak için her bir teker içine devamlı talepte maksimum 2 kW-2,6 kW ve ivlenme esnasında 5 kW anlık güç sağlayabilen elektrik motorları yerleştirilmiştir. Ayrıca araçta bulunan batarya yardımıyla araç 50 km/h maksimum hız ile 50 km menzile ulaşmıştır.

Woods Motor Vehicle isimli elektrikli araç üreticisi olan bir şirket tarafından, 1915 yılında başka bir hibrit elektrikli araç üretilmiştir. Bu araç bir elektrik motoruna ve dört silindirli bir içten yanmalı motora sahiptir. Araç 25 km/h hızın altında sadece elektrik motoru ile tahrik edilirken, 25 km/h ile 55 km/h hızları arasında tahrik içten yanmalı motor ile sağlanmaktadır.

Günümüze daha yakın bir tarihte Victor Wouk tarafından bir HEA prototipi üretilmiştir. Amerika Birleşik Devletlerinde Ulusal Temiz Otomobil Teşvik Programı kapsamında protopini geliştiren Victor Wouk, GM şirketinin geliştirdiği 1972 model Buick Skylark aracına 16 kW'lık bir elektrik motoru entegre etmiştir.

Audi firması 1989 yılında, Audi 100 Avant Quattro model aracı üzerinde prototip olarak ürettiği, şarj edilip kullanılabilme özelliği bulunan P-HEA aracı geliştirmiştir. Bu araçta, 12,6 beygir gücüne sahip Siemens marka elektrik motorları arka tekerleri tahrik etmektedir. Araca yerleştirilmiş olan Nikel-Kadmiyum batarya paketi tarafından aracın ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi sağlanmıştır. Aracın ön tekerleklerini 2,3 lt, 5 silindire sahip ve 136 beygir gücündeki İYM tahrik etmektedir. Projeki amaç, aracı şehirlerarası trafikte sadece içten yanmalı motor tahrik ederken, şehir içi trafikte ise sadece elektrik motorunun tahrik etmesidir. Fakat elektriksel ekipmanların ağırlıkları, sistemin istenilen verime ulaşamamasına neden olmuştur. Audi firması tarafından bundan iki yıl sonra, yine aynı araç üzerine ikinci bir prototip HEA geliştirildi. Bu araçta, 28,6 beygir gücündeki üç-fazlı elektrik motoru, aracın arka tekerlerinin tahrik edilmesinde kullanılmıştır. Ancak bu ikinci prototipte birinciden farklı olarak, arka aksa torsen diferansiyeli yerleştirilmiş ve 2,0 lt, 4 silindirli içten yanmalı motor arka tekerlere ilave tahrik gücü olarak sağlanmıştır.

Otomotiv sektöründe HEA'lar alanında, 1990'lı yıllarda Toyota Prius ve Honda Insight araçları başarılı örnekler olarak ifade edilebilir. Bu araçlar, İYM'nin direkt olarak tekerlekleri tahrik edebildiği paralel hibrit yapılandırmaları kullanmıştır. İlk üretiminden itibaren yüksek talep gören Toyota Prius, yeni dizaynları ile birlikte, daha ucuz olmakla beraber %40'a varan yakıt ekonomisine ulaşmıştır. Honda'nın hibrit Civic modeli 4,7 lt/100km yakıt tüketim değerine sahiptir.

HEA satışında zirvede bulunan ilk iki firma Toyota ve Honda olmuştur. Toyota 1997 ve 2004 yılları arasında yaklaşık 306 bin adet HEA satışı yaparken, Honda 1999 ve 2004 yılları arasında yaklaşık 81 bin adet HEA satışı yapmıştır.

İlk hibrit elektrikli dört-çeker araç 2005 yılında Ford tarafından Escape Hibrit modeli olarak üretilmiştir. 2006 yazından sonra piyasadaki yerini 2007 model Camry Hibrit almıştır. Lexus firması 2007 yılında GS model spor sedan otomobilinin hibrit konseptini piyasaya sürmüştür. Nissan firması da Altima hibrit modeli ile yine aynı yıl içerisinde piyasadaki yerini almıştır [1].

1.2. Hibrit Elektrikli Araçların Literatür Özeti

Hibrit elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Otomotiv firmaları, üniversiteler, enerji alanında çalışmalar yapan firmalar ve birçok kurum ve kuruluş bu alanda çalışmalarını yoğunlaştırmaktadır. Bu araçların enerji verimlilikleri, yakıt tüketimleri, egzoz emisyon değerleri, konvansiyonel araçlara göre avantajları ve dezavantajları gibi alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölümde, bu alanda yapılmış olan bazı akademik çalışmalar özetlenmiştir.

Amaç ve Şahin [2] tarafından yapılan çalışmada; Amerika Birleşik Devletlerinde toplu taşımacılıkta kullanılan Orion VI adıyla bilinen alçak tabanlı bir otobüs model alınmıştır. Toplu taşımada kullanılan bu aracın tüm özellikleri ve sürüş standartları seri hibrit elektrikli araç konseptinde ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) ile analiz edilmiştir. Analizler ile aracın 0-100km aralığında motor gücü, yakıt tüketim ilişkisi, motor gücüne bağlı yakıt ekonomisi ve eğim ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca motor gücüne bağlı 0-100km arası hızlanma değerleri elde edilmiş ve tablolar halinde sunulmuştur.

Suvak ve Erşan [3] tarafından yapılan çalışmada; Güneş enerjisi destekli seri hibrit elektrikli bir aracın Matlab/Simulink ortamında modellenmesi ele alınmıştır. Araca ait tüm parametreler tablolar halinde verilmiştir. Yapılan çalışma sonucu taşıtın seyir çevrimine göre anlık ihtiyaç duyduğu güç-zaman, tork-zaman, hız-zaman grafikleri elde edilmiştir. Grafiklere göre taşıtın ihtiyaç duyduğu güç ve tork değerleri normal olup, simulasyon öncesi hesaplanan değerlerle örtüşmektedir.

Amaç ve Şahin [4] tarafından yapılan çalışmada; Advisor programı ile melez ve elektrikli iki aracın karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada araçların performans, yakıt ekonomisi ve emisyon değerleri incelenmiştir. Melez araç olarak Toyota-Prius, elektrikli araç olarak Ford Focus modeli seçilmiştir. Sürüş için Advisor programı içinde aktif olan şehir içi güzergâhı seçilmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda Prius ve Focus'un ivmelenme, yakıt sarfiyatı, tırmanma yetenekleri ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Gökçe ve ark. [5] tarafından yapılan çalışmada; Seri ve paralel hibrit elektrikli araç teknolojilerinin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi, şehir içi ve karayolu sürüş çevrimlerinde simulasyon sonuçlarını incelemek amaçlanmıştır. Araç modeli, bileşenler, transmisyon ve tekerlek modeli oluşturulmuştur. Çalışma modu tanımlanmış, şehir ve karayolu sürüş çevrimlerinde enerji ve sürüş performansları test edilmiştir. Araç şehir içi sürüş çevrimi UDDC ve otoyol sürüş çevrimlerinde (US06) test edilmiştir. Bu testler sonucunda aracın batarya şarj durumu (SOC) ve aracın enerji ihtiyacı incelenmiştir.

Çınar ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada; Elektrik tahrikli taşıtlar hakkında genel bilgi vermek ve buna ilişkin bir simulasyon yapmak hedeflenmiştir. Herbiri yaklaşık 4 kW olan 4 adet sürekli mıknatıslı fırçasız DC motor yerleştirilmiştir. Her bir tekerin zeminle teması sırasında, yerle teması en iyi olan bir başka deyişle en yavaş dönen tekerin hızı referans alınarak simulasyon sonuçları incelenmiştir. Böylece herbir motorda anlık moment grafikleri elde edilmiş, herbir tekerlek motorunun birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesi ile taşıt tahrik sisteminin güvenilirliği artmakta olduğu saptanmıştır.

Boyalı ve Güvenç [7] tarafından yapılan çalışmada; Yapılan tüm modelleme çalışmaları FOHEV- I (Ford Otosan Hibrit Elektrikli Araç) projesi kapsamında, Ford Transit Van hafif ticari araç üzerine kurulmuştur. Mevcut aracın hem arkadan hem önden tahriklerinin olması bu aracın seçilmesine sebep teşkil etmiştir. Önden çekişli aracın arka aksına batarya ile beslenen bir elektrik motoru bağlanıp, araç paralel hibrit araca dönüştürülmüş ve kontrol algoritmaları kurulmuştur. Modellemeler MATLAB/Simulink ile yapılmıştır. Simulasyon sonuçlarında yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında konvansiyonel araçlara göre iyileşmeler görülmüştür.

Dobri ve ark. [8] tarafından yapılan çalışmada; Son yıllarda HEA'larda uygulanan tahrik sistemleri tanımlanmış, analiz edilmiş ve kıyaslanmıştır. Yalnız elektrikli, seri ve paralel hibrit elektrikli araçların tahrik sistemleri modellenmiş ve farkları gösterilmiştir. Bu çalışma otomotiv sektöründe HEA tahrik sistemleri üzerine genel bir bakış kazandırmıştır.

Gao ve ark. [9] tarafından yapılan çalışmada; Elektrikli ve hibrit elektrikli araçların modellenmesi ve simülasyonu hususlarındaki ihtiyaçları, modellemede ve simülasyonlarda kullanılan metotları temel almıştır. Hibrit elektrikli araç analizlerinde kullanılan ADVISOR (Advance Vehicle Simulator) ve PSAT (Powertrain System Analysis Toolkit) yazılımlarının kullanımı, avantajları gibi konular ele alınmış ve bunlar hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

Markel ve Wipke [10] tarafından yapılan çalışmada; Genel olarak paralel hibrit elektrikli bir araçta, sistem verimliliğinin başlıca enerji yönetim stratejisiyle ilgili olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ADVISOR ile hibrit araçlar için uygun komponent ölçülerinin belirlenebildiği vurgulanmıştır. Çalışmada bir araca ait konvansiyonel ve paralel hibrit model kıyaslanmış, iki kat yakıt tasarrufu elde edilmiştir. Aynı zamanda simülasyonu yapılan paralel hibrit elektrikli araç için menzilde iyileşmeler belirtilmiş, ancak bütün bu artan verimlilik ve iyileştirmelerin yanı sıra aracın tasarımıyla artan bir maliyet saptanmıştır.

Xiong ve ark. [11] tarafından yapılan çalışmada, Yeni bir tip seri-paralel hibrit elektrikli bir otobüs ve enerji yönetim stratejisi gösterilmiştir. Bu hibrit otobüste seri ve paralel hibrit araç konfigürasyonları birlikte kullanılmıştır. Enerji yönetim sistemi seri ve paralel modların arasında ani bir geçiş ve dağıtım yapabilmektedir. Aracın yapısı, tahrik modeli ve matematiksel modeli Matlab/Simulink yazılım tabanında oluşturulmuştur. Sonuçlar enerji yönetim stratejisinin etkili olduğunu gösterirken, aracın istenilen performans yeteneklerine ulaştığını, aynı zamanda içten yanmalı motorun verimli bölgede kontrol edildiği belirtilmiştir. Çalışmada otobüsün yakıt tüketiminde teorik olarak %30'luk bir yakıt tasarrufu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Taymaz ve Benli [12] tarafından yapılan çalışmada; Genel olarak konvansiyonel araçların dünya çapında taşımacılık sektöründe önemli bir rol oynadığı, bu araçların enerji ihtiyaçlarının fosil yakıtlardan karşılandığı ve yanma sonucu çevreye zararlı gazlar salındığı vurgulanmıştır. Rezervlerin azalması sonucu yakıt fiyatlarının artması ile çevresel ve finansal problemlerin birleşmesi hibrit elektrikli araçların geliştirilmesinde önemli bir ivmelenmeye neden olmuştur. Çalışmada konvansiyonel

ticari bir araç seçilmiş ve hibrit elektrikli araç olarak yeniden modellenmiştir. Aracın yakıt tüketimi ve emisyon değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak hibrit araç konfigürasyonu aynı performans kriterlerini sağlarken, düşük yakıt tüketimi ve emisyon değerlerine ulaşılmıştır.

Markel ve ark. [13] tarafından yapılan çalışmada; National Renewable Energy Laboratory tarafından Matlab/Simulink tabanında oluşturulmuş olan Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) üzerine genel bir fikir vermek amaçlanmıştır. Yazılımın temelde aracın yakıt tüketimi, performansı ve emisyon değerlerini belirlemek için kullanıldığı belirtilmiştir. Genel olarak ADVISOR'ın nasıl kullanıldığı ve yetenekleri gösterilmiştir.

Chase ve Averill [14] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli bir otobüsün ADVISOR yardımıyla optimizasyonu gösterilmiştir. Çalışmada hibrit elektrikli otobüs tasarlanırken, araçtan istenen performans kriterleri göre minimum yakıt tüketimi için en uygun İYM, batarya paketi, elektrik motoru ve alternatörü belirlemek amaçlanmıştır. Otobüs seri hibrit elektrikli araç konseptinde tasarlanmış ve ADVISOR'da yapılan analiz sonucu araçta konvansiyonel modele göre %250 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Xu ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada; Öncelikli olarak elektrikli araç güç modeli ve araç kontrol stratejisi üzerinde durulmuştur. Çalışmalar teorik ve mühendislik analizleri ile gerçekleştirilmiş sonuçlar arasında yakınsama incelenmiştir. AVL Cruise ve Simulink ile eşzamanlı simülasyonlar yapılmış, ayrıca rejeneratif frenleme sisteme adapte edilmiş olup elektrikli araç güç aktarma sistemleri doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin eşleştiği belirtilmiştir.

Peng ve ark. [16] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli araç endüstrisine katkı sağlamak amacı ile dört tekerden çekişli bir P-HEA konsepti geliştirilmiş, Temel olarak İYM'nin en yüksek verimde çalıştığı bölgeyi esas alan bir kontrol stratejisi belirlenmiştir. Simulink aracılığı ile kontrol stratejisi ve AVL Cruise

aracılığı ile de P-HEA modeli oluşturulmuştur. Eş-zamanlı simülasyonlar P-HEA modelinin yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde oldukça iyi olduğunu göstermiştir.

Du ve ark. [17] tarafından yapılan çalışmada; Yeni orta ölçekli sedan bir araç için tasarım hedeflerinin analiz edilmesi amacıyla temel bir araç yapısı belirlenmiştir. Düşünülen güç ünitesi kapsamı altında, çeşitli tahrik sistemleri ve motor modelleri seçilmiştir. Aracın modeli AVL Cruise yazılımında oluşturulmuş, performans simülasyonları ve teori analizleri, farklı güç kaynakları ve tahrik sistemleri ile gerçekleştirilmiştir. Gerekli güç ihtiyacını en iyi karşılayan tahrik organları seçilmiştir. Uygulamaların AVL Cruise yardımı ile yeni bir araç tasarımı için çalışmaları ve maliyetleri azalttığı belirtilmiştir.

Ma ve ark. [18] tarafından yapılan çalışmada; Rejeneratif frenleme ile sade elektrikli bir aracın menzilin artırılması üzerinde durulmuştur. Frenleme denetimi ve araç dinamiklerinin analizi ile frenleme gücünün araca kazanılması için bir kontrol stratejisi ortaya konulmuştur. Simülasyonlar ADVISOR ve AVL Cruise yardımı ile farklı şekillerde gerçekleştirilmiş, simülasyonlar sonucunda frenleme gücünün dağıtımını ve kazanımını belirlenen kontrol stratejisi ile sağlanmıştır.

Jianguo ve ark. [19] tarafından yapılan çalışmada; Hydro-Mechanical continuously variable transmission (HMCVT) performansı için AVL Cruise yardımı ile test simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar ile HMCVT'nin konvansiyonel transmisyonlara göre verimlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Wahono ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmada; AVL Cruise yardımı ile Range Extender Electric Vehicle (REEV) için batarya, elektrik motoru, tekerler, menzil artırma ünitesi gibi ana komponentlerin modellenmesi yapılmıştır. Bu komponentlerin doğru seçilmesi üzerinde durulmuştur. Belirlen sürüş çevrimleri ve enerji yönetim sistemi altında simülasyon sonuçları REEV'nin performans ve yakıt tüketimine önemli fayda sağladığı belirtilmiştir.

Briggs ve ark. [21] tarafından yapılan çalışmada; Karayollarında kullanılan araçlarla ilgili literatürde birçok çalışma olduğu fakat karayoluna uygun olmayan, otomobil konsepti dışındaki araçlarla ilgili yeterli çalışma olmadığı vurgulanmıştır. Çalışmada şehir içi bir dizel otobüs ve forklift için AVL Cruise ile simülasyonlar yapılmıştır. Bu araçların simülasyonları sırasında karşılaşılan değişken ağırlık, sürüş çevrim değişiklikleri, yük kaldırma durumları gibi standart sürüş çevrimlerinde değişikliğe sebep olan durumlardan bahsedilmiştir.

Hassan ve ark. [22] tarafından yapılan çalışmada; Fosil yakıt tüketiminin günümüzde giderek arttığı, daha verimli ve daha az emisyon değerlerine sahip enerji kaynaklarına hızlı bir geçiş olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmada Matlab tabanlı ADVISOR aracılığı ile küçük bir otomobilin farklı özelliklerde ve aynı seyir çevriminde analizleri yapılmış en verimli modeli belirlemek hedeflenmiştir.

Same ve ark. [23] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli araçların üç farklı modeli olan seri, paralel ve karma modellerinin avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Matlab/Simulink tabanlı ADVISOR'da bir model araç üzerinde üç ayrı araç konsepti için simülasyon yapılmıştır. Analizlerin sonucunda karma hibrit model olan elektrik motorun ön tekerleri, içten yanmalı motorun da arka tekerleri sürdüğü araç konsepti en uygun model olarak belirlenmiştir.

Wipke ve Cuddy [24] tarafından yapılan çalışmada; National Renewable Energy Laboratory tarafından geliştirilen Matlab/Simulink tabanlı ADVISOR yardımıyla beş farklı araç modellenmiş ve her bir aracın yakıt tüketimi, aracın kritik parametresi için test ve analiz edilmiştir. Araçlar arasında seri ve paralel model geçişleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Johnson [25] tarafından yapılan çalışmada; ADVISOR yazılımında bir batarya modeli için akım, voltaj, batarya şarj durumu (SOC), sıcaklık ve bataryanın araç sistemine entegrasyonu ile ilgili tahminlerde bulunmak amaçlanmıştır.

Brown ve ark. [26] tarafından yapılan çalışmada; Yeni bir araç için aktarma ve tahrik sistemlerinin simulasyonunu yapan LFM (Ligth, Fast and Modifiable) adlı yazılım sunulmuştur. Genel olarak mevcut aktarma ve tahrik organlarının simulasyonu için kullanılan yazılımlar tanıtılmıştır. LFM ile yakıt pilli hibrit bir otobüsün gerçekteki verileri ile simulasyon sonucu elde edilen veriler kıyaslanıp, yazılımın geçerliliği test edilmiştir. Simulasyon sonucu veriler güvenli ve oldukça yakın bulunmuş, yazılımın hibrit araç modeller için bir tasarım aracı olarak kullanılacabileceği gösterilmiştir.

Lajunen [27] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit ve elektrikli şehir otobüslerinin maliyet-fayda analizleri yapılmıştır. Enerji tüketim temeli üzerine kurulan analizlerde farklı otobüs rotalarında analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki paralel, iki seri ve bir elektrikli olmak üzere beş farklı hibrit ve elektrikli şehir otobüsü modeli oluşturulmuştur. Çalışma şebekeye bağlı hibrit ve elektrikli otobüslerin yakıt tüketimini azaltmakta en iyi model olduğunu işaret etmektedir.

Montazeri ve Mahmoodi [28] tarafından yapılan bir çalışmada; Temel olarak enerji yönetim sistemleri ve kontrol stratejilerinin aracın yakıt tüketimini, emisyon değerlerini ve performansını farklı çevrim koşullarında incelemek hedeflenmiştir. Aracın analizi için ADVISOR'da model olarak bulunan Toyota Prius hibrit elektrikli araç modeli seçilmiştir. Konvansiyonel modellerle kıyaslanmıştır. Analizler çok yönlü hibrit elektrikli kontrol yönetim sistemi, konvansiyonel kontrol modeline göre gerçekte ve model çevrimlerde yaklaşık olarak sırasıyla %26 ve %6 yakıt tasarrufu sağlandığını ortaya koymuştur. Ancak ADVISOR'da yapılan tahminlerin yakıt tüketimi ve enerji kullanımı için gerçeğe çok yakın olmadığı belirtilmiştir. Başka bir açıdan simulasyonlar sonucu elde edilen NOx tahminlerinin gerçeğe çok yakın olduğu belirtilmiştir.

Negoro ve Purwadi [29] tarafından yapılan bir çalışmada; Hibrit elektrikli araçların tahrik ve aktarma organlarının nasıl çalıştığını, 2012 Toyota Camry hibrit modelin tahrik sistemini ile açıklamak amaçlanmıştır. Hibrit elektrikli araçlarda sürüş koşullarına göre gücün nasıl ayrıldığı incelenmiştir. Dyno dinamik testler yapılmış,

içten yanmalı motor ve elektrik motoru gibi ana komponentlerin araç perfonmasına etkisi incelenmiştir.

Wipke ve ark. [30] tarafından yapılan bir çalışmada; ADVISOR 2.1 tanıtılmıştır. Bir araç modelinde elde edilmek istenen hedefler ve ADVISOR'ın simulasyon mantığı anlatılmıştır. ADVISOR ile araçların 0-100km/h ivmelenme durumunun, farklı çevrim koşullarında analiz edilebileceği belirtilmiştir.

Montazeri ve Mahmoodi [31] tarafından yapılan bir çalışmada; Enerji yönetim sistemi, HEA konfigürasyonu ve sürüş çevrim koşullarının yakıt tüketimi, emisyon ve performans değerlerini etkileyen ana faktörler olduğu belirtilmiştir. Farklı tahrik ve sistem kombinasyonları ADVISOR'da simulasyonlarla incelenmiştir. Her bir sürüş çevrimi için yakıt tüketimi ve emisyon değerleri analiz edilmiştir. Oluşturulan modeller için yakıt tüketim değerinde %14, emisyon değerinde %10'luk bir ortalama düşüş belirtilmiştir.

Katrasnik ve Trenc [32] tarafından yapılan bir çalışmada; Seri ve paralel hibrit elektrikli araçlarda enerji verimliliği üzerine analitik analizler ve simulasyonlar yapılmıştır. Analitik yaklaşım, enerji denge denklemi tabanına dayanırken, simulasyon yaklaşımı seri ve paralel hibrit modeller için hızlı ve ileriye dönük simulasyon modeline dayanmaktadır. Simulasyon ve analitik yaklaşım sonuçları araç performanslarının doğruluğu ile örtüşmekte, analitik çalışma temelini geçerliliğini teyit etmektedir. Simulasyon ve analitik yaklaşımlar birleştiğinde hibrit araç tahrikleri üzerine derin bir bakış açısı kazandırmıştır. Sonuçlara göre paralel hibrit araçların, seri hibrit araçlara göre gerçekleştirilen farklı sürüş çevrimlerinde yakıt tasarrufu açısından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Li ve Williamson [33] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli bir aracın verimliliğini değerlendirmek, analiz etmek ve karşılaştırmak için aktarma sisteminin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sadece güç bileşeni tabanlı analizlerin yeterli olmayacağı, doğru verimlilik karşılaştırmalarının yapılabilmesi için aktarma organlarının ağırlıkları ve enerji kontrol stratejisinin de

dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada seri ve paralel hibrit elektrikli araçların Çalışmanın sonucunda hibritleşme faktörü ile sistemin verimliliği arasından doğrudan bir ilişki kurulmuştur.

Zeng ve ark. [34] tarafından yapılan çalışmada; Şebekeye bağlı bir hibrit aracın Matlab/Simulink ve AVL Cruise ile eş zamanlı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Aracın güç gereksinimi, yakıt tüketimi ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan eş zamanlı simülasyonlar ile konsepti belirlen hibrit aracın istenilen değerleri iki yazılımda da karşıladığı belirtilmiştir.

Hui ve Yunbo [35] tarafından yapılan çalışmada; Şebeke bağlı bir hibrit aracın elektrik motor ve İYM'nin baskın olduğu durumlarda aktarma organları ile araçta hedeflenen parametreler analiz edilmiştir. Araçta uygulanan enerji yönetim sistemleri Matlab/Stateflow ve AVL Cruise yazılımlarında kıyaslanmıştır. Çalışmada AVL Cruise ile aracın fiziksel modeli oluşturulmuş, uygulanan enerji yönetim sistemi ile istenilen değerlere ulaşıldığı belirtilmiştir.

Salisa ve ark. [36] tarafından yapılan çalışmada; Konvansiyonel hibrit elektrikli araçların aksine, hem elektrik motoru hem de jeneratör olarak kullanılan yalnızca bir elektrik makinesi kullanılmıştır. Konvansiyonel hibrit elektrikli bir araç ve UTS ismiyle oluşturulan hibrit elektrikli araç arasında yakıt tüketimi emisyon karşılaştırılması yapılmıştır. Advance vehicle simulator (ADVISOR) yazılımından yararlanılmış ve araçlar iki farklı sürüş çevriminde analiz edilmiştir. Tasarlanmış olan UTS HEA ile simülasyon sonuçlarının gerçeğe yakın olduğu belirtilmiştir.

Khanipour ve ark. [37] tarafından yapılan çalışmada; Çeşitli hibrit elektrikli araç sistemlerinin yapıları, konvansiyonel araçlar ve HEA tasarım aşamaları üzerinde durulmuştur. Konvansiyonel bir otobüs ve onun seri hibrit konsepti tanımlanmış, Advance Vehicle Simulator (ADVISOR) ile analiz edilmiştir. Analizler belirli sürüş çevrimlerinde yapılmış ve araçtan istenilen performans değerleri seri hibrit konseptte karşılanmıştır. Aracın konvansiyonel dizel konseptine göre seri hibrit konsepti

arasında yakıt tüketimi değerlerinde %40'lık bir düşüş olduğu ayrıca emisyon değerlerinde de ciddi bir düşüş olduğu belirtilmiştir.

Fu ve ark. [38] tarafından yapılan çalışmada; Temel olarak belirli bir okul servisi için şebekeye bağlı paralel hibrit elektrikli araç konsepti tanımlanmıştır. Bir sürüş çevriminde dinamik algoritma programlama tekniği ile Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) yazılımında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde aracın yakıt ve emisyon değerlerinde belirgin bir düşüş olduğu belirtilmiştir.

Zhou ve ark. [39] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli bir otobüsün şehir şartlarında araçtan istenen performansı karşılayacak şekilde optimize edilmesi üzerinedir. Aracın sürüş sistemini geliştirmek için Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) kullanılmış, bu yazılım ile simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar şehir sürüş çevrimine göre yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar neticesinde yeni kontrol stratejisi ile yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde düşüşler olduğu bildirilmiştir.

Suh ve ark. [40] tarafından yapılan çalışmada; Şebekeye bağlı dizel hibrit elektrikli bir otobüsün aktarma organlarının Continuously Variable Transmission (CVT) ile donatılarak, yeni bir sürüş tahrik sisteminin tasarımı incelenmiştir. Araç sadece elektrikli araçların karşılaştığı limitlerinin aşılması, konvansiyonel otobüslere göre yakıt ve emisyon değerlerinin iyileştirilmesi üzerine tasarlanmıştır. Çalışmada aracın kontrol stratejisi, aktarma organları Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) ile analiz edilmiştir.

Pangaribuan ve Purwadi [41] tarafından yapılan çalışmada; 2012 Toyota Camry Hybrid aracın kullandığı PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) sürekli mıknatıslı senkron motorun tork ve hız değerlerinin performansa etkisi incelenmiştir. Ayrıca PMSM için elektrikli araç moduna ne kadarlık bir güç ihtiyacı olduğu incelenmiştir.

Yu ve ark. [42] tarafından yapılan çalışmada; HEA'larda enerji yönetim sistemine ait model tahminli kontrol yaklaşımı ile eğitim bilgisinin birleştirilerek, araçlarda yakıt ve emisyon değerlerinin iyileştirilmesi ele alınmıştır. Araç modelinde Continuously Variable Transmission (CVT) modeli tanımlanmıştır. Çalışmalar ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) ile yapılmış ve simulasyonlar sonucunda bu yaklaşım modeli ile yakıt ve emisyonlarda iyileşme olduğu kaydedilmiştir.

Feroldi ve ark. [43] tarafından yapılan çalışmada; Bir Fuel Cell-Hybrid Vehicles (FCHV) için oluşturulmuş enerji yönetim sistemi ele alınmıştır. Araca bir fuel cell ve süperkapasitör ile güç sağlanmıştır. Çalışmada ADVISOR ile Matlab tabanında FCHV model simulasyonları yapılmıştır. Aracın hidrojen tüketimi farklı enerji yönetim sistemleri ile analiz edilmiş ve en iyi yakıt tasarrufu sağlanan yaklaşım belirlenmiştir. Araçta hibritleşme faktörü ile yakıt tasarrufu arasında bir ilişki olduğu saptanmış ve yakıt tüketiminde iyileşmeler olduğu belirtilmiştir.

Fu ve ark. [44] tarafından yapılan çalışmada; Otomobillerde yakıt tüketiminin ve emisyon değerlerinin azaltılması için P-HEA modeli oluşturulmuş ve bulanık mantık kontrol enerji yönetim sistemi ile ADVISOR yazılımında oluşturulmuştur. Simulasyon sonuçlarına göre yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde iyileşme olduğu bildirilmiştir.

Bin ve ark. [45] tarafından yapılan çalışmada; Kamyonların yakıt tüketimi incelenmiş, ADVISOR yardımı ile şebekeye bağlı elektrikli kamyon ve hibrit elektrikli kamyon konseptleri oluşturularak simulasyonlar yapılmıştır. Belirlenen sürüş çevrimi içinde şebekeye bağlı elektrikli kamyon konseptinin yakıt tüketimi bakımından daha iyi olduğu belirtilmiş ve buna ek olarak konvansiyonel kamyonlara göre her iki konseptin de yakıt tüketimi bakımından daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Li ve ark. [46] tarafından yapılan çalışmada; Hibrit elektrikli araçların yakıt tüketimi ve menzil değerlerini iyileştirmek için bir fuel cell/battery (FC-B) ile bir fuel cell/battery/ultra-capasitor (FC-B-UC) hibrit elektrikli araç modelleri ADVISOR yazılımında oluşturulmuş ve bir enerji yönetim sistemi tasarlanmıştır. Farklı sürüş

çevrimlerinde simülasyonlar yapılmış, oluşturulan enerji yönetim sistemi ile gerekli güç ihtiyacı ve performans değerleri sağlanırken, yakıt tüketimi ve menzil değerlerinde de iyileşme olduğu belirtilmiştir.

Li ve ark. [47] tarafından yapılan çalışmada; ADVISOR yardımıyla seri-paralel hibrit elektrikli araçlar için bulanık mantık temelinden ve motor gücünün maksimum eğrisinden yararlanan bir bulanık kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Kullanılan bulanık kontrol stratejisinin tasarım ve araştırmasında, hibrit aracın sürüş sistemi ve kontrol elemanları detaylı şekilde analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, simülasyonlar bulanık kontrol stratejisi ile yakıt tüketiminde %6'lık bir iyileşme olacağını göstermiştir.

Li ve ark. [48] tarafından yapılan çalışmada; Mevcut Mazda6 araç modeli kullanılarak Matlab/Simulink yazılımında yeni bir hibrit elektrikli araç transmiyon ve kontrol sistem modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model CYC_UDDS seyir çevriminde test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre oluşturulan hibrit araç konfigürasyonu ile %24'lük bir yakıt tasarrufu ile daha düşük emisyon değerlerine ulaşılmıştır.

Zang ve ark. [49] tarafından yapılan çalışmada; Çok modlu bir hibrit araç simülasyonu ve optimizasyonu için sistematik bir model sunmaktadır. Oluşturulan hibrit araç modelinde planet dişli sistemi ile elektrikli bir CVT transmiyon modeli bulundurmaktadır. Araç modeli Simulink/ADVISOR ile oluşturulmuş, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri açısından farklı çevrim koşullarında simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar sonuçlarına göre oluşturulan araç modeli bu sektörde önde gelen modellerin ötesinde yakıt tasarrufu ve düşük emisyon değerleri sergilemiştir.

Holder ve Gover [50] tarafından yapılan çalışmada; ADVISOR simülasyonları ile küçük hibrit elektrikli otomobillerde 75, 100 ve 125 kW güçler için optimum hibritleşme faktörlerinin (HF) bulunması amaçlanmıştır. 75 kW için 0,49, 100 kW için 0,58 ve 125 kW için 0,6 değerlerini bulmuşlardır. Bu güçlerde bu hibritleşme

değerleri ile en iyi yakıt tasarrufu ve en düşük emisyon değerlerine ulaşılabileceği belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında, konvansiyonel bir yol ve kaldırım süpürme aracı, AVL Cruise yardımı ile seri ve paralel hibrit elektrikli olarak modellenmiştir. Mevcut seyir çevrimleri hız ve fonksiyonellik açısından yol ve kaldırım süpürme araçlarına uygun değildir. AVL Cruise Randon Cycle Genarator modülü ile yol ve kaldırım süpürme araçlarının günlük işlevlerine ve seyir hızlarına uygun bir seyir çevrimi oluşturulmuştur. Cruise ile modellenen seri ve paralel hibrit elektrikli araç modelleri seyir çevriminde test edilmiştir.

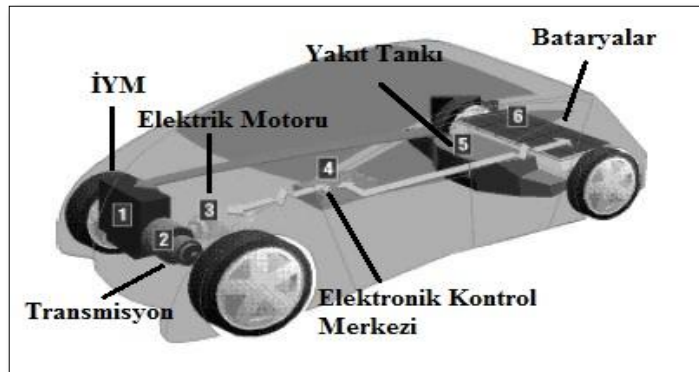
Simulasyonlar ile seri ve paralel hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait modeller yakıt tüketimi, emisyonlar ve performans açısından analiz edilmiştir.

BÖLÜM 2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar ve Çeşitleri

Hibrid elektrikli araçlar birden fazla güç kaynağına sahip araçlar olarak tanımlanır. Temel olarak HEA'lar yakıt kullanarak güç üreten bir kaynak, elektrik enerjisini depolayan bir depolama elemanı ve tahrik elemanı olarak bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Tümü-elektrikli araçlara ek olarak bir içten yanmalı motor (İYM) bulunmakta ve böylece aracın menzili ve gücü arttırılmaktadır. HEA'lar, klasik araçlara göre daha az kirletici emisyon salınımı yapmakta ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır [3].

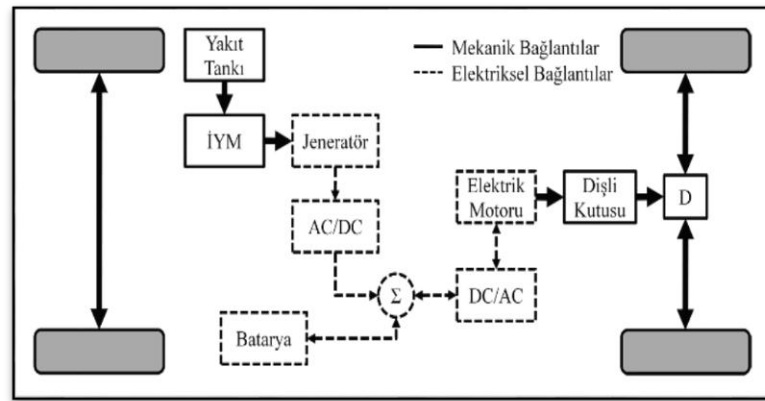
HEA'ların enerji dönüşüm sistemi güç ünitesi, enerji depolama sistemi ve taşıtı itici sistemlerden oluşmaktadır. Depolama da başlıca kullanılan kaynaklar bataryalar, süperkapasitörler ve volanlardır. Kullanılan en yaygın enerji depolama sistemi bataryalardır. Diğer enerji depolama sistemlerinde çalışmalara devam edilmektedir. Tahrik gücü seri hibrit sistemde elektrik motorundan, paralel hibritlerde elektrik motoruna ek olarak İYM ile sağlanmaktadır. Şekil 2.1.'de hibrit elektrikli bir aracı oluşturulan alt sistemler görülmektedir.



Şekil 2.1. Hibrit elektrikli araç [5]

2.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar

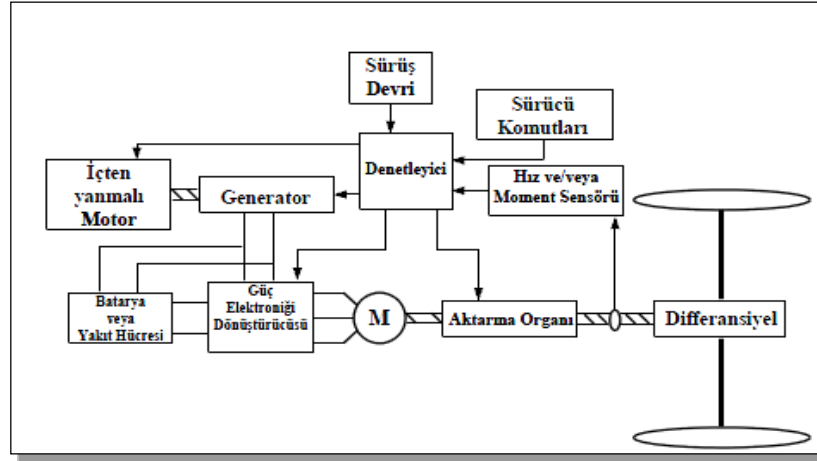
Seri HEA'larda tahrik gücü elektrik motorundan sağlanmaktadır. Elektrik motoru, elektrik gücünü mekanik güce dönüştürerek tekerlekleri tahrik etmektedir. Elektrik motoru gerekli gücü bataryalardan veya doğrudan İYM'den karşılayabilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Seri hibrit elektrikli araç [51]

İYM ve alternatör sistemi, yakıtın kimyasal enerjisini önce mekanik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen elektriksel güç ve bataryadan gelen güç, elektronik kontrol merkezinde birleşir. Daha sonra sürücü tekerlek hızı ve tahrik motorundan gelen moment verilerini karşılaştırır. Elde edilen verilere göre hangi enerji kaynağından ne kadar güç kullanacağı sürücünün isteğine göre belirlenir.

Güç elektronik merkezinde İYM ve alternatör, sürücü tarafından fren yapılmak istenildiğinde bataryaların şarj edilmesi için rejeneratif frenlemeyi devreye alır. Bataryalar hem İYM-Alternatör seti ile hem de rejeneratif frenleme ile şarj edilebilmektedir. Ek olarak dışardan şarj cihazları ile de şarj edilebilmektedir [51].



Şekil 2.3. Seri hibrit elektrikli araç modeli [2]

Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere seri hibrit elektrikli araçlarda tahrik sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır. İçten yanmalı motor bir alternatöre bağlıdır. İYM konvansiyonel hareketi alternatör sayesinde elektriğe dönüştürür. Alternatör elektrik motorunun tahriki için gerekli enerjiyi üretirken bataryaların şarj olmasını da sağlamaktadır. Aracın tahriki için gerekli moment elektrik motoru ile sağlandığı için İYM sürekli yük momentinden bağımsız ve optimum verimde çalıştırılır. Seri hibrit araçlarda önemli olan İYM'nin optimum verimde çalıştırılmasıdır.

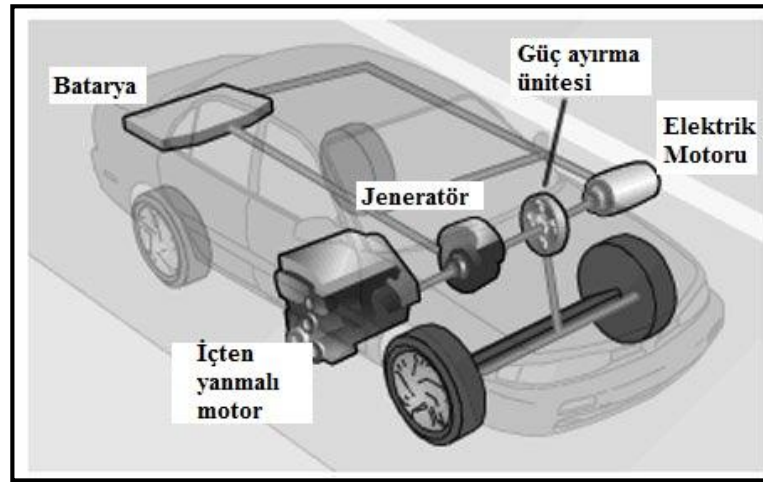
Seri hibrit araçların tahrikleri sadece elektrik motoru ile sağlandığı için elektronik sistemlerin donanım seviyesi ve güç kapasitesi daha yüksek olmalıdır. Batarya daha büyük olacağından ve daha yüksek gerilimlerde çalıştırılacağından bataryanın hızlı şarj ve deşarj durumlarından kaçınılmalıdır. Seri hibrit sistem düşük hızlarda çalışan otobüsler ve ticari araçlar için daha uygundur ve ayrıca bataryaları yerleştirmek için daha fazla yer buldurmak gerekir [2].

2.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar

Paralel hibrit elektrikli araçlarda İYM ve elektrik motoru tekerleklere doğrudan tahrik verebilmektedir. Paralel olarak tahrik edilen sistemler, seri tahrik sistemlere göre daha fazla karmaşıktır. Örneğin İYM tahrik verebilmek için bir aktarma organına ihtiyaç duyar. Bütün bu elemanların birlikte düzgün ve uyumlu

çalışabilmesi için elektronik kontrol merkezinde ilave özellikler olması gerekir. Paralel tahrikli araçlarda toplam güç ihtiyacı iki farklı kaynaktan sağlanacağı için İYM daha küçük boyutlarda kullanılabilir.

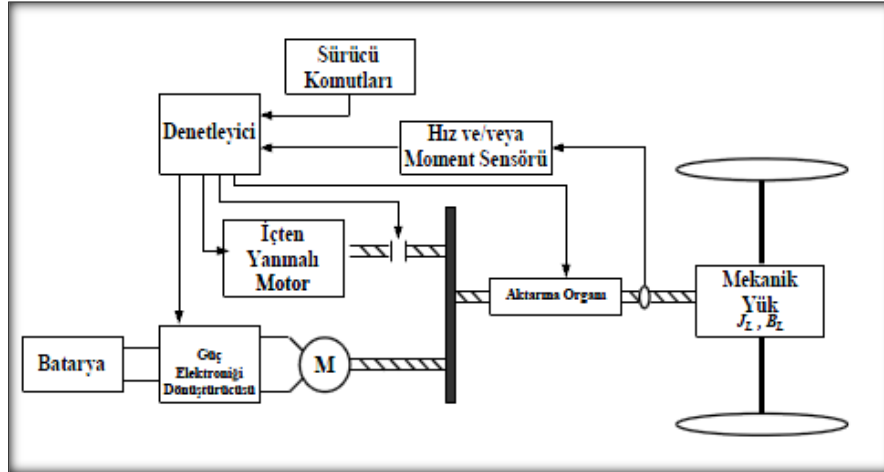
Paralel hibrit araçlarda da seri hibrit araçlarda olduğu gibi rejeneratif frenleme ile bataryalar şarj edilebilir ve bataryalar daha küçük boyutlarda kullanılabilir. Bataryaların daha küçük boyutlarda olması sadece rejeneratif frenleme ile şarj edilebilme olanağı sağlamaktadır. Bu durumlar birleşince paralel sistemlerin fiyat olarak daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca paralel hibrit sistemde İYM ve elektrik motoru aynı anda güç sağladığı için seri hibrit sisteme daha güçlüdür [2].



Şekil 2.4. En basit şekilde paralel hibrit sistemi [2]

Paralel hibrit sistemler içten yanmalı motorun ve elektrik motorunun mekanik olarak transmisyona bağlanmasıyla oluşturulur. Böylece sistem aynı anda veya farklı zamanlarda İYM ve elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Ayrıca içten yanmalı motor ve elektrik motoru karşılıklı birbirine bağlıdır. Aracın kullanım durumlarına göre bağlantı şekilleri değişebilmektedir.

Paralel hibrit elektrikli araçlar için melezleştirme faktörü adında bir kavramdan söz edilmektedir. Hibritleşme Faktörü; araç tahrik edilirken toplam gücün ne kadarının elektrik motorundan sağlandığını ifade eder [2].

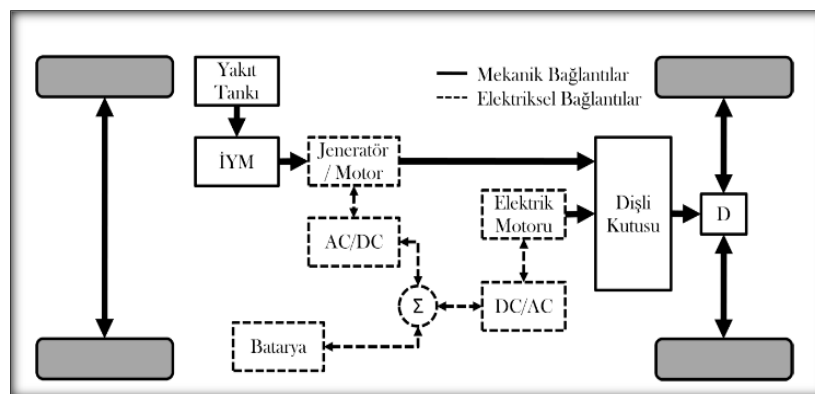


Şekil 2.5. Paralel hibrit elektrikli araç modeli [2]

2.1.3. Seri-Paralel karma hibrit elektrikli araçlar (SP-HEA)

Seri-paralel araç konfigürasyonu, seri ve paralel sistemlerinin avantajlı yöntemlerden yararlanılarak daha esnek güç sistemlerinin ortaya çıktığı bir yapıdır ve sistem diğer hibrit sistemlere göre çok daha fazla kompleksdir.

SP-HEA konfigürasyonu, sadece İYM, sadece elektrik motoru, elektrik motoru ve İYM kombini ve alternatör destekli elektrik motoru seçeneklerinin bütün avantajlarından yararlanılabildiği bir konfigürasyondur [51].



Şekil 2.6. Seri-paralel hibrit elektrikli araç modeli [51]

2.2. Hibrit Elektrikli Araçların Avantajları

Rejeneratif frenleme kabiliyeti ile taşıt durduğunda veya yavaşladığında ortaya çıkan enerjiyi bataryalara geri depoladığı için enerji kaybı en aza iner. İYM aracın tüm yükünü karşılamayacağı için motor boyutları gerekli ölçüde azalır. Yakıt verimleri oldukça yüksektir. Yakıt verimlerinin yüksek olması doğal olarak emisyon miktarının azalmasını sağlamaktadır. Alternatif yakıtların kullanılması İYM'nin fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmaktadır. İYM aracın durduğu zamanlarda çalışmayağı için titreşim ve gürültü oluşmayacaktır.

2.3. Hibrit Elektrikli Araçların Dezavantajları

Seri hibrit sistemde; İYM, alternatör ve elektrik motoru bulunması gerekir. Elektrik motoru aracın azami gücünü karşılayacak şekilde tasarlanır. Fakat genellikle azami gücün altında çalışmaktadır. Aracın tahrik elemanları ve batarya kapasitesi azami menzil ve performansa göre boyutlandırılmak zorundadır. Sistem ağır olmasının yanında maliyet olarakta yüksektir.

Paralel hibrit sistemin dezavantajları; aracın gerekli gücü farklı iki kaynaktan sağlandığı için enerji kontrolü ve yönetimi daha fazla dikkat ister. İYM ve elektrik motorundan gelen tahrik güçlerinin tekerlere düzgün bir şekilde iletilebilmesi için donanım seviyesi yüksek mekanik elemanlara gerek duyulur. İYM tekerleri doğrudan tahrik ettiği için sessiz çalışma modu bulunmamaktadır [51].

2.4. Hibrit Elektrikli Araçlarda Kullanılan Ana Elemanlar

2.4.1. Bataryalar

Bataryalar, sistemin ihtiyacına göre tek bir hücreli veya sistemin talep ettiği DC gerileme göre birkaç hücrenin birbirine seri bağlanması ile oluşturulur. Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolarlar ve ihtiyaç anında ters enerji dönüşümü yaparak kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Batarya

teknolojisi henüz yüksek enerji sağlayabilen bir kaynak seviyesine erişememiştir. Fakat günümüzde bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca batarya teknolojisi yüksek enerji yoğunluğuna erişip, kısa sürelerde şarj edilebilme özelliklerine kavuştuğunda tümü elektrikli araçlar çok daha ön plana çıkacaktır.

Hibrit elektrikli araçlarda hibritleşme derecesi, kullanılan batarya tipinin tek başına bir enerji kaynağı olmasına veya ana enerji kaynağına yardımcı eleman olmasına göre değişmektedir. Hibrit araçta kullanılan bataryanın ana batarya olması durumunda aracın azami güç ve enerji ihtiyacına göre boyutlandırılması gerekmektedir.

HEA'lar için batarya seçiminde dikkate edilmesi gereken önemli batarya parametreleri aşağıdaki başlıklardaki gibi incelenebilir:

– Batarya Kapasitesi

Bataryada depolanabilecek olan enerjinin bir ölçüsüdür ve tek bir rakamsal kavramla ifade edilememektedir. Batarya kapasitesinde bataryanın yaş durumu, deşarj oranı, sıcaklık karakteristikleri ve tipleri dikkate alınmalıdır.

Batarya kapasitesinin temel ölçütü Amper-Saat (Ah) olarak nitelendirilir. Ah olarak verilen batarya kapasitesi bilgisine göre, bataryanın belirlenen akım değeri için ne kadar süre ile o akımı sağlayabileceğini gösterir.

Batarya enerji kapasitesi tanımlanırken bir başka ifade kWh olarak belirtilir. Bataryanın verilen nominal uç gerilim değeri ile Ah ölçütünün çarpılması ile elde edilmektedir. Bataryanın tamamen şarj edilebilmesi için gerekli olan enerjiyi ifade eder.

- Batarya uç gerilimi

Bataryayı oluşturmak için birbirine bağlanmış olan hücrelerin toplamda oluşturduğu gerilimin değeridir ve araçta kullanılacak olan elektrik motorunu sürececek sürücüyle uyumlu olmalıdır.

- Batarya şarj-deşarj çevrim sayısı

Bataryaların kimyasal yapısı gereği tamamendeşarj edilmeleri batarya ömürlerini kısaltmaktadır. Batarya üreticileri, bataryanın toplamda kaç şarj-deşarj çevrimine sahip olduğunu vermektedirler. SOH (State-Of-Health) olarak tanımlanan batarya sağlığı, bataryanın kullanılan şarj-deşarj çevriminin artmasıyla ters orantılıdır. Örneğin %70 DOD (Depth-Of-Discharge) bataryadeşarj derinliği ile kullanılmakta olan bir batarya için 600 şarj-deşarj çevrimi tahmin edilirken , %40 DOD bataryadeşarj derinliği ile kullanılmakta olan bir batarya için 350 şarj-deşarj çevrimi tahmin edilmektedir.

- Enerji ve güç yoğunluğu

Enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu, bataryanın birim ağırlığı için sağladığı güç ve enerjinin ölçüsüdür. Batarya türleri ve teknolojileri arasındaki önem, kriter enerji ve güç yoğunluğu ilişkisidir. Araç ağırlığına etkisi sebebi ile batarya türü seçimi önemli bir faktördür.

Tablo 2.1. HEA’larda kullanılan batarya türleri ve karşılaştırılması [1]

| Batarya Tipi | Enerji Yoğunluğu [Wh/kg] | Güç Yoğunluğu [W/kg] | Çevrim Ömrü | Teknolojik Durumu |
|----------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------|
| Kurşun -Asit | 25-30 | 75-130 | 200-400 | Üretimde |
| Gelişmiş Kurşun-Asit | 35-42 | 240-412 | 500-800 | Üretimde |
| Nikel-Metal Hidrür | 50-80 | 150-250 | 600-1500 | Prototip |
| Nikel-Kadmiyum | 35-57 | 50-200 | 1000-2000 | Üretimde |
| Lityum-İyon | 100-150 | 300 | 400-1200 | Prototip |
| Lityum-Polimer | 100-155 | 100-315 | 400-600 | Prototip |

Tablo 2.1.’de HEA’larda kullanılan bataryaların performanslarına göre karşılaştırılmaları görülmektedir. HEA’larda yüksek enerji yoğunlukları sebebiyle NiMH ve Li-Ion bataryalar ağırlıklı olarak tercih edilmektedirler. Günümüzde bataryalar maliyet olarak henüz istenilen seviyelere ulaşamamış olsa da yakın zamanda bataryalara olan taleplerin artması ve tümü elektrikli araçların seri üretime geçmesi beklenmektedir. Lityum bataryalar üzerinde çalışmalar devam etmektedir [1].

2.4.2. Elektrik motorları ve sürücüleri

Bataryalardan veya alternatörlerden aldığı enerjiyi mekanik enerjiye çeviren makinelere elektrik motoru denilmektedir. Elektrik motorları içten yanmalı motorlarla kıyaslandığında en önemli özelliği düşük devirlerde yüksek torklar üretebilmesidir. Bu özellik araçların ivlenme karakteristiğini doğrudan etkilemektedir.

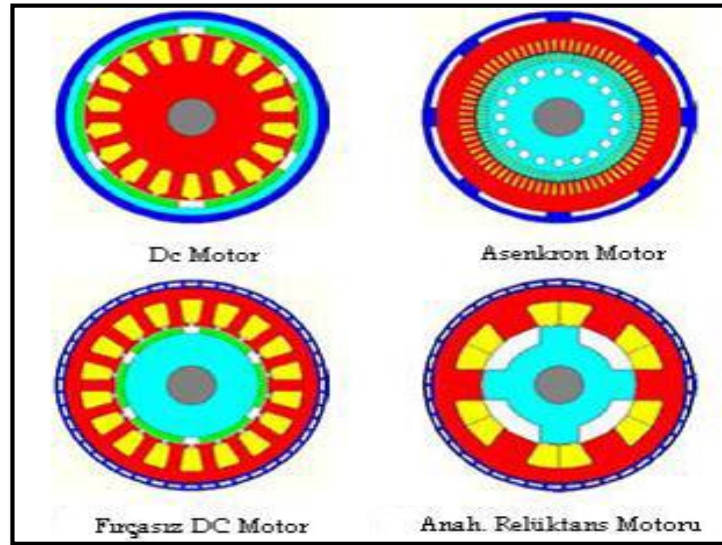
Elektrik motoru seçimi HEA tasarımında önemli bir husustur. Bu seçimin oluşturduğu avantajlar ve dezavantajlar ile ilgili otomotiv sektöründe yoğun çalışmalar vardır. Elektrik motoru seçiminde verim, güvenlik, maliyet ve süreklilik gibi karakteristikler göz önüne alınmalıdır.

HEA tahrikinde göz önüne alınması gereken en önemli hususlar şunlardır:

- Anlık yüksek güç ihtiyacının karşılanabilmesi için yüksek güç yoğunluğu
- Düşük hızlarda yüksek tork karakteristiği
- Seyir halinde yüksek hızlarda yüksek güç karakteristiği
- Sabit tork ve güç bölgelerini içeren geniş hız aralığı
- Tork isteğinin hızlı karşılanması
- Büyük hız ve tork taleplerinde verimin yüksek olması
- Frenleme direncinde verimin yüksek olması
- Kabul edilebilir ve makul maliyetler.

HEA ve tümü elektrikli araçlarda kullanılan başlıca elektrik motoru çeşitleri şunlardır:

- Doğru Akım Motorları (DC Motorlar)
- Asenkron Motorlar (AC Motorlar)
- Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar (BLDC, PMSM)
- Anahtarlamalı Relüktans Motorları (SRM – Swicthed Reluctance Motor) [1]



Şekil 2.7. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları [1]

2.4.2.1. Doğru akım motorları

DC motorlar, tork ve hız karakteristik avantajlarıyla elektrikli araç tahriklerinde oldukça ilgi görmektedir. Tork ve hız karakteristikleri bir araç için oldukça verimlidir ve hız kontrolleri oldukça basittir. Fakat uyarma alanını oluşturmak amacıyla tükettikleri enerji sebebi ile verimleri kalıcı mıknatıslı motorlara göre daha düşük seviyelerdedir. Rotorda bulunan uyarma sargılarından akım geçirebilmesi amacıyla kullanılan fırça ve kollektör, arızaları sıklaştırmakta ve maliyetleri arttırmaktadır. Bu dezavantajları ile fiziksel boyutları da emsallarına göre daha büyüktür.

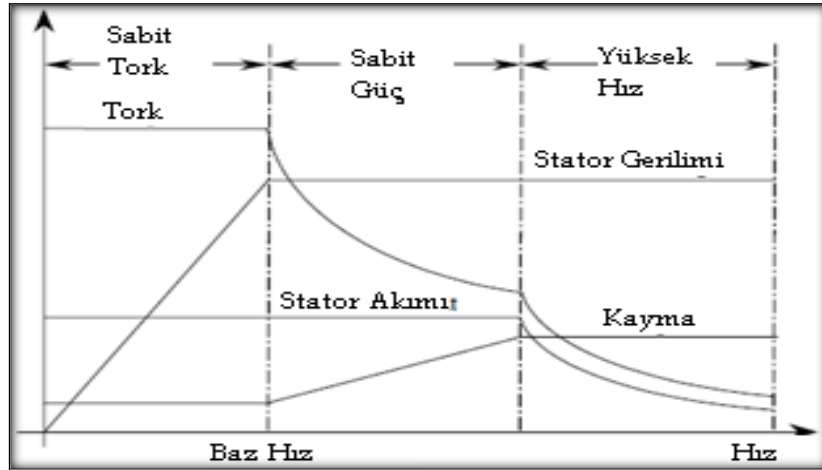
DC motorlar, yüksek güç/ağırlık oranı için 90'lı yıllara kadar kullanıldılar fakat gelişen teknoloji ve elektrikli araçlar sebebiyle tercih edilmemeye başlamıştır. Günümüzde düşük maliyetli golf arabaları, çim biçme arabaları gibi küçük araçlar için tercih edilmektedir [1].

2.4.2.2. Asenkron motorlar

Hibrit elektrikli araçların tahrikinde, sincap kafese sahip asenkron motorlar güvenlik, düşük bakım maliyetleri, dayanıklılık ve zorlu ortam şartlarında çalışabilme gibi avantajlarıyla çok yaygın şekilde tercih edilmektedir. Asenkron motorlar zorlu ortam şartlarındaki performansları ile endüstri ve araç tahrik sistemleri için oldukça uygundur. Asenkron motorlar, kontrol ve sürüş teknikleri hususunda diğer motor türlerine göre en çok gelişme kaydedilmiş ve ilerlemiş motor teknolojidir.

Asenkron motorların araç tahrik sistemlerinde kullanılabilmesi ancak gerilim ve frekansı kontrol eden EM sürücülerinin geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. Gerilim ve frekansın kontrol edilebilmesiyle DC motorlara yakın tork ve hız karakteristikleri elde edilmiştir.

Asenkron motorlar baz hız üzerinde alan zayıflatma yöntemi ile sabit güç bölgesinde motor daha hızlı çalıştırılarak araç yükü karşılanır veya aynı güçteki motor daha hızlı sürülebilmektedir.



Şekil 2.8. Asenkron motor tork ve hız karakteristiği [1]

Asenkron motorlar her ne kadar güvenilir ve gelişmiş bir teknoloji olarak görünse de rotor çubuklarından endüksiyon ile üretilen akım geri dönebilmektedir. Aynı durum kalıcı mıknatıslı motorlarda akım akıtılmadan güçlü mıknatıslarla sağlanmaktadır [1].

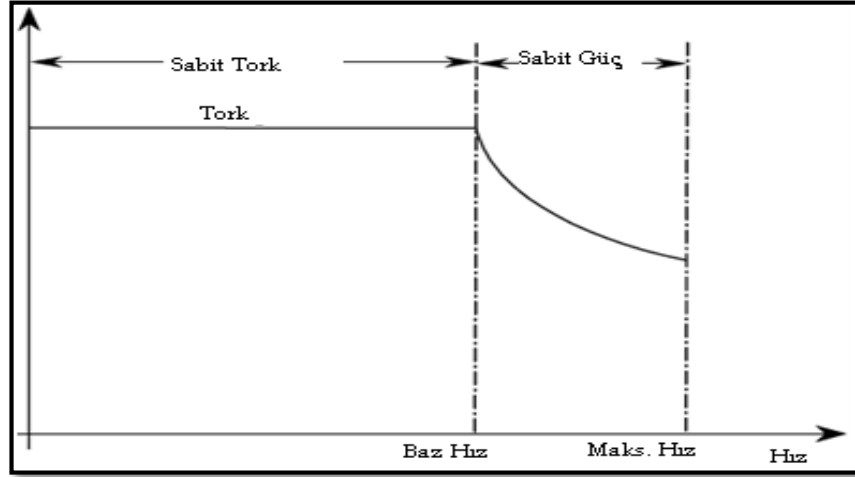
2.4.2.3. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar

Kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar, HEA uygulamalarında asenkron motorlarla yarışan ve HEA uygulamalarında sıkça kullanılan ve birçok bilinen otomotiv firmasının seri üretimde kullandığı motor türüdür.

BLDC motorların en önemli avantajları:

- Diğer motorlara kıyasla aynı güç değeri için ağırlıklarının ve boyutlarının küçük olması sebebiyle yüksek güç yoğunluğu
- Verimleri %90 seviyelerini aşmaktadır.
- Çalışma sırasında oluşan ısıların kolayca yüzeyde dağılması

Ancak, BLDC motorlarda sabit mıknatıs bulunması alan zayıflatma bölgesini sınırlamaktadır. Bu nedenle sabit güç bölgesi asenkron motorlara göre daha azdır [1].

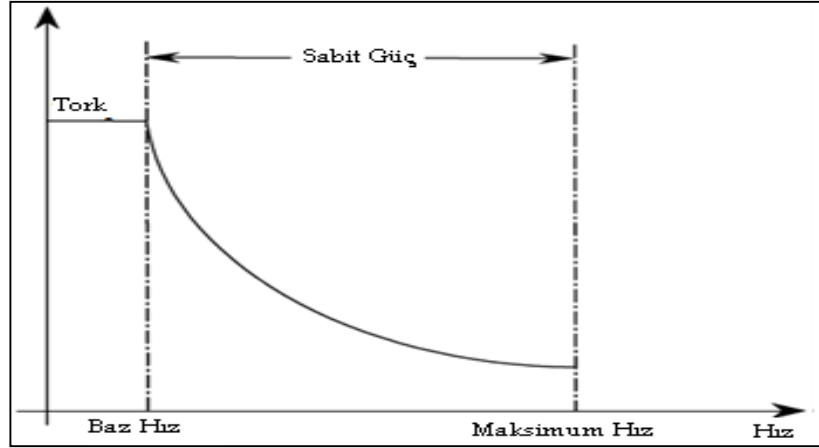


Şekil 2.9. BLDC motor tork – hız grafiği [1]

2.4.2.4. Anahtarlamalı relüktans motoru









Anahtarlamalı relüktans motorları, HEA uygulamalarında kullanılabilir. Basit ve sağlam yapısı, kontrol kolaylığı ve uygun tork-hız karakteristikleri için tercih edilmektedir. Ancak, avantajlarının yanında bazı durumlarda bu avantajların önüne geçen bazı dezavantajları bulunmaktadır. Gürültü problemleri, tork dalgalanmaları, kaynak tarafından çekilen akımın oluşturduğu aşırı dalgalanma gibi bazı problemler ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda konusu geçen avantaj ve dezavantajlar uygulamada oldukça önemli hususlardır. SRM tabanlı uygulamaların yaygınlaşması için kabul edilebilir çözümler gerekmektedir. Bütün bu durumlara rağmen SRM'ler, özellikle askeri uygulamalarda kullanılabilir.



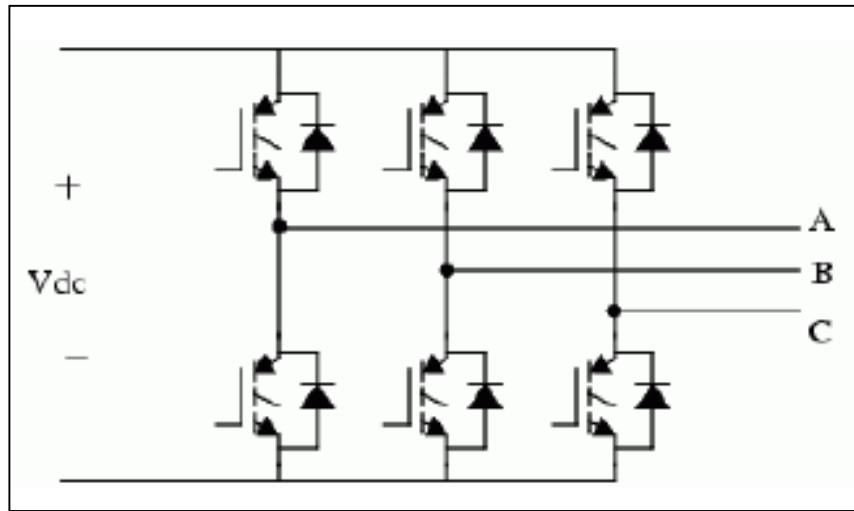
Şekil 2.10. Anahtarlamalı relüktans motoru tork – hız grafiği [1]

Şekil 2.10.'da bu bölümde belirtilen motor türlerinin güç yoğunlukları, verim, kontrol gibi parametleri verilmiştir. (Puanlama ilgili karakteristiğe göre en yüksek puan 5 olacak şekilde yapılmıştır.)

| Tahrik Sistemi |  |  |  |  |
|-------------------|---|---|--|---|
| Karakteristik | DAM | ASM | KMSM | ARM |
| Güç Yoğunluğu | 2.5 | 3.5 | 5 | 3.5 |
| Verimlilik | 2.5 | 3.5 | 5 | 3.5 |
| Kontrol Kolaylığı | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Güvenilirlik | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Teknolojik Durum | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Maliyet | 4 | 5 | 3 | 4 |
| Σ Toplam |  22 |  27 |  25 |  23 |

Şekil 2.11. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan motorların seçim kriterleri [1]

Yukarıda yer alan tüm motor türleri için, bataryadan sağlanan DC gerilimin, kullanılan elektrik motoru için dönüştürülmesi için yüksek anahtarlama frekansına sahip eviriciler kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan IGBT'li ve IPM'li üç-fazlı eviricilerdir.



Şekil 2.12. Üç fazlı IGBT'li eviriciler [1]

Elektrik motoru sürücülerinin, kabiliyetlerine göre hız, tork ve jeneratör olarak kullanılabilmelerini sağlayan motor kontrol modları bulunmaktadır. Otomobil uygulamaları esas olarak tork esaslı şekillenmektedir [1].

2.4.3. Jeneratör

2.4.3.1. Alternatif akım jeneratörü (Alternatör)

Mekanik enerjiyi alternatif akıma çevirmekte kullanılan elektromekanik araçlardır. Alternatörler genel olarak bu işi yapmak için dönen bir manyetik alan oluşturlar. Çoğu alternatif akım jeneratörü alternatör olarak adlandırılabilir [52].

2.4.3.2. Doğru akım jeneratörü (Dinamo)

Bobin ve manyetik alanı kullanarak mekanik hareketi doğru akıma çeviren araçlardır. Dinamolar, sabit bir manyetik alan sağlayan stator ve armatür olarak adlandırılan döner elemanlardan oluşur. Manyetik alan içindeki bobinin hareketi metal üzerindeki elektronları harekete zorlayan bir etki doğurur ve tel üzerinde bir akım oluşmasını sağlar [52].

2.4.3.3. DC jeneratörün avantajları

DC jeneratör sistemi, DC yükler için gerekli düşük voltaj seviyelerinde yüksek akım oluşturmak için geliştirilmiştir. Pil, şarj veya güç kaynakları gerektirmez. DC jeneratörler sistem güvenliğini azaltan transfer anahtarları gerektirmezler. Sisteminin toplam maliyeti düşürürler. Bazı AC jeneratörler ve switch mode güç kaynakları birbiriyle uyuzluk problemleri oluşturabilirler. Ancak Polar DC jeneratörler bir bataryaya bağlandığında bu problem yaşanmaz. DC jeneratörler daha fazla yakıt tasarrufu sağlar. Kutup DC jeneratörler, tasarım olarak basittir ve az bakım gerektirir ayrıca AC jeneratörlerden daha güvenilir araçlardır. Polar DC jeneratörlerin alternatörlerini çok ısınmaktan ve motoru yüklemekten korumak için akım limit kontrolü uygulanır. Bu özellik bataryaların şarj edilmesinde çok önemlidir [52].

BÖLÜM 3. TAŞIT TASARIM VE SİMULASYON TEORİSİ

Taşıtlar temel fizik kurallarına göre tasarlanır. En önemlisi Newton'un 2. kuralı olan bir cismin üzerine etki eden net kuvvetle doğru orantılı olarak ivme kazanmasıdır. Toplam kuvvetlerin bileşkesi olan net kuvvetin 0'dan farklı olduğu durumda cisim ivme kazanmaya başlar. Bir taşıta birden fazla direnç kuvveti etki eder ve taşıt buna bağlı olarak kuvvetlerin net bileşkesi ile harekete geçer. Taşıtın hareketine karşı koyan ana dirençler; yuvarlanma direnci, yokuş direnci, aerodinamik ve ivmelenme dirençleridir. Taşıtın hareketi ve ivmelenmesi için araçta üretilen gücün bu kuvvetlerden üstün gelmesi gerekmektedir.

Hareket halindeki bir taşıt için gerekli güç ifadesi, F_t (N) toplam direnç kuvvetleri ve v (m/s) taşıt hızı ile,

$$P_t = F_t \times v \quad (3.1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu ifadede F_t (N) toplam direnç kuvvetleri,

$$F_t = F_a + F_r + F_h + F_i \quad (3.2)$$

ile belirlenmektedir.

F_a : Aerodinamik direnç

F_r : Yuvarlanma direnci

F_h : Yokuş direnci

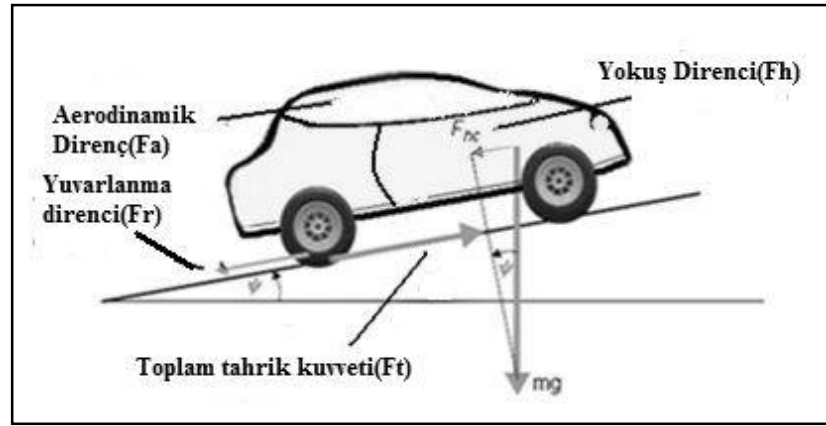
F_i : İvmelenme direnci

Taşıt hareket yönüne ters yönde etki eden kuvvetlerin, taşıt eksenini doğrultusunda olan bileşenlerinin toplamı hareket dirençleri ile ifade edilir. Taşıtın hareketi için, en az taşıta etki eden dirençlerinin toplamı kadar bir itme kuvvetini gerekmektedir.

Hareket halindeki bir taşıtı temel olarak hareket ettiren kuvvet, motordan tekerlere iletilen tahrik kuvvetidir ve tekerlerle yol arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bu ilişkide sürtünme katsayısı ve taşıt ağırlığı temel teşkil eder.

Taşıt ağırlığını ve aerodinamik dirençleri azaltmak tüm araçlarda olduğu gibi elektrikli araç tasarımının da temel hedefleridir. Taşıt ağırlığı genel olarak araçların tırmanma kabiliyetini, ivmelenme direncini ve yuvarlanma direncini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla taşıt ağırlığının azalması direnç kuvvetlerinin azalmasını da etkileyecektir.

3.1. Elektrikli Taşıt Tasarımı İfadelerinin Çıkarılması



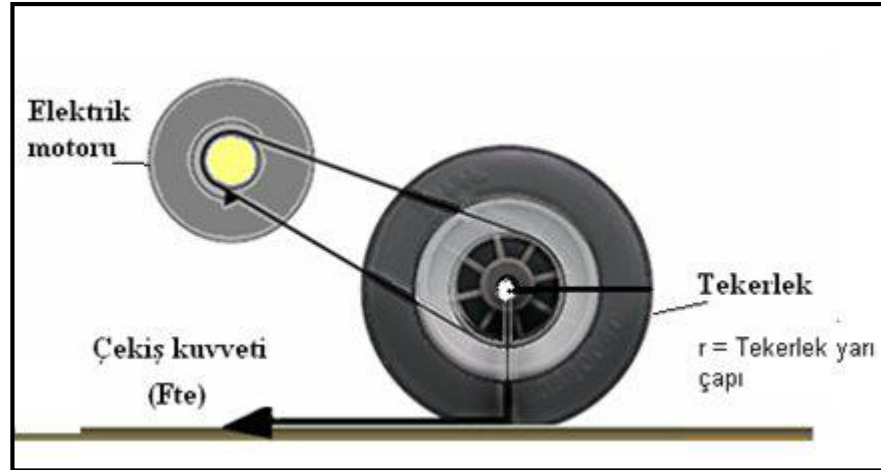
Şekil 3.1. Hareket halindeki araca etki eden direnç kuvvetleri [54]

Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere taşıtın hareketi için tahrik kuvvetinin taşıta karşı koyan direnç kuvvetlerinden büyük olması gerekir. Bu kuvvet aynı zamanda taşıtın hızındaki değişimi de tanımlar.

Eğer tahrik kuvveti taşıta lineer bir ivmelenme sağlıyorsa Newton eşitliğine göre;

$$F = m \times a \quad (3.3)$$

ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.2. Elektrik motorunun taşıt tekerleğine basit bağlantı düzeneği [54]

Şekil 3.2.'de elektrik motoru ve tekerlek düzeneği ile tekerleklerdeki döndürme momentini;

$$T = F \times r \quad (3.4)$$

dir. Burada F (N) tahrik kuvveti, r (m) tekerlek yarıçapıdır.

F tahrik kuvveti, G çap değişiminden dolayı hız oranı (kasnak çapı değişimi veya dişli oranına bağlı) ise ve T elektrik motoru torkudur. Bu durumda elektrik motoru torku;

$$T = \frac{F \times r}{G} \quad (3.5)$$

ve tahrik kuvveti;

$$F = G \times \frac{T}{r} \quad (3.6)$$

olarak tanımlanır. Elektrik motoru momentinin motor devri ile değişimi, taşıt tahrik kuvvetinin taşıt hızının değişimi bağdaşmalıdır. Akstaki açısal hız, v taşıt hızı kullanılarak formülize edilirse;

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (3.7)$$

ve elektrik motoru açısal hızının hız oranı ve tekerlek yarıçapına bağımlı ifadesi elde edilirse;

$$\omega = G \times \frac{v}{r} \quad (3.8)$$

ile tanımlanır. Dönen tekerlerin açısal hızı;

$$\omega_t = \frac{a}{r} \quad (3.9)$$

Motorun açısal hızı;

$$\omega_m = G \times \frac{a}{r} \quad (3.10)$$

Bu açısal hız için gerekli tork;

$$T = I \times G \times \frac{a}{r} \quad (3.11)$$

olarak tanımlanır. Bu ifadede I elektrik motorun rotor atalet momentidir. Bu ifade (Denklem 3.6) ifadesinde yerine konulursa, tekerleklerin dönmesi için gerekli açısal ivme kuvveti;

$$F_t = \frac{G}{r} \times I \times G \times \frac{a}{r} \quad \text{ve gerekli düzenlemeler yapıldığında;}$$

$$F_t = I \times \frac{G^2}{r^2} \times a \quad (3.12)$$

olarak belirlenir.

Hareket iletiminin %100 verimlilikte olamayacağı ve kayıplar da göz önüne alınırsa açısal ivme kuvveti;

$$F_t = I \times \frac{G^2}{\eta \times r^2} \times a \quad (3.13)$$

elde edilir.

Taşıtın ivmelenmesi için gerekli kuvvet $F = m \times a$ (N) ifadesinde ve (Denklem 3.2) ifadesindeki diğer direnç kuvvetleri;

$F_r = \mu_r \times m \times g$ (N) yuvarlanma direnci, $F_h = m \times g \times \sin(\varphi)$ yokuş direncinin hesaplanmasında taşıt ağırlığına ihtiyaç vardır. Elektrikli taşıtlarda ağırlık bakımından klasik araçlara göre ek ağırlıklar bulunur ve elektrikli bir taşıtın ağırlık ifadesi;

$$m_T = m_t + m_i + (1+k) \times m_b \quad (3.14)$$

denklemlerle hesaplanabilir.

m_t : Aracın Ana Kütlesi (Elektrik motoru dahil)

m_i : İlave Yükler (İnsan vs.)

m_b : Batarya Kütlesi

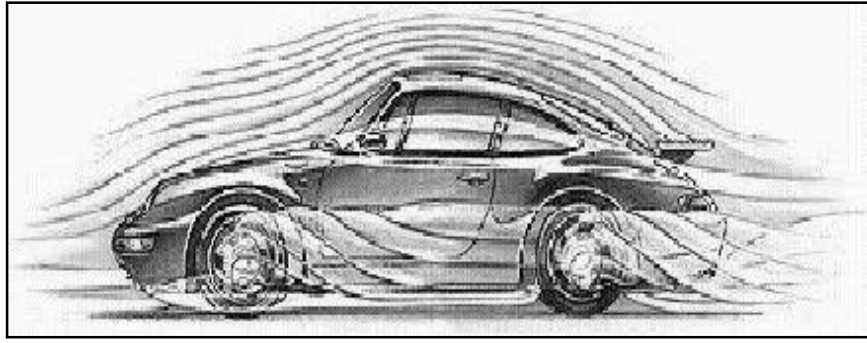
k : Batarya montaj faktörü

m_T : Aracın toplam kütlesi (kg) olarak tanımlanır.

Hareket halindeki bir taşıt için gerekli tahrik kuvvetini bulmak için, araca karşı koyan direnç kuvvetlerinin ayrı ayrı tanımlanması ve hesaplanması gerekmektedir.

3.1.1. Aerodinamik direnç

Taşıtlar hareketleri sırasında aracı çevreleyen hava tabakasının oluşturduğu direnç kuvvetlerine maruz kalır. Hareket esnasında havanın dış yüzeylerden akması dış direnç kuvvetlerini ve kayıplarını oluştururken havanın havalandırma, radyatör gibi kanallardan geçmesi iç direnç kuvvetlerini ve kayıplarını meydana getirir. Dış yüzeylerden akan havaya karşı oluşan dirençler, taşıtın ön ve arkasında oluşan basınç farkları ve sürtünmelerden meydana gelir.



Şekil 3.3. Hava direncini oluşturan hava akımları [57]

Taşıtlar hareket halindeyken yere göre ve havaya göre ayrı ayrı rölatif hızlara sahiptir. Hava hareketsiz yani rüzgâr olmadığında aracın yere ve havaya göre rölatif hızları eşit olur. Fakat hava rüzgârlı olduğu durumda yere göre ve havaya göre olan rölatif hızlar farklıdır.

Aracın dış formu itibariyle havanın doğrusal akımına karşı koyan dirence karşılık bir C_D aerodinamik direnç katsayısı değeri geliştirilmiştir. Aracın dış formu hava akışına ne kadar bozucu etki ederse, aerodinamik direnç katsayısı da o kadar büyük olacaktır. Buradan da görüleceği üzere bir araca etkiyen hava direncini azaltmak için yapılacak şey aracın dış formuna bağlı C_D katsayısını azaltmak olacaktır. Ayrıca C_D katsayısı aracın motor büyüklüğü ve aracın en yüksek hızı gibi önemli hususlarla doğrudan ilişkilidir.

Tablo 3.1. Aerodinamik direnci oluşturan etkenler [54]

| Hava Direncini Oluşturan Etkenler | Yüzdesi |
|--|---------|
| Taşıtın ön yüzey ve arka yüzeyleri arasındaki basınç farkı | 55-60 |
| Taşıtın yüzeyinin hava ile sürtünmesi | 8-10 |
| Aksesuarları (Tampon, ayna, silecek vs.) | 12-18 |
| İç akım (rakyatör, hava kanalları, kaput altı boşluklardan geçen hava) | 10-15 |
| Taşıtın üst ve alt yüzeyleri arasında basınç farkı | 5-8 |

Taşıtın hareketine karşı oluşan hava direnci kuvveti,

$$F_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times A_f \times V^2 \quad (3.15)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada;

F_a = Hava Direnci (N)

ρ = Havanın Yoğunluğu (kg/m^3)

C_D = Aerodinamik Direnç Katsayısı

A_f = Taşıt Ön İz Düşüm Alanı (m^2)

V = Taşıt Hızı (m/s)

V rüzgârın hızına ve yönüne göre taşıt hızıdır. Seyir hızı ve rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki değerleri alır. Taşıt ve rüzgâr aynı yönde hareket ediyor ise,

$$V = (V_t - V_R) \quad (3.16)$$

Taşıt ve rüzgâr zıt yönde hareket ediyor ise,

$$V = (V_t + V_R) \quad (3.17)$$

Taşıtların ön iz düşüm alanları aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanabilir.

$$A_f = (0,9 \times E \times H) (m^2) \quad (3.18)$$

E: Taşıt genişliği (m)

H: Taşıt yüksekliği (m)

Ayrıca bazı taşıtların ön iz düşüm alanları ve C_D katsayıları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Bazı araçların C_D katsayıları ve ön iz düşüm alanları [54]

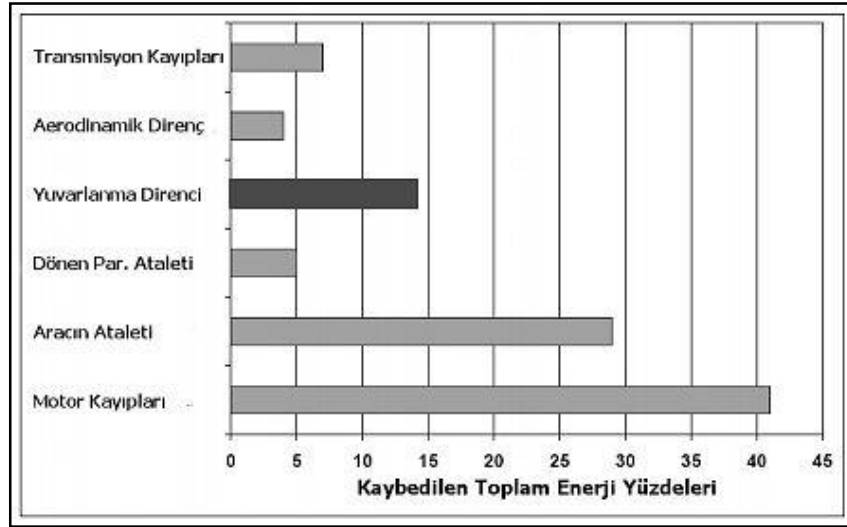
| Taşıt | C_D | A_f | $C_D \times A_f$ |
|-------------|-------|-------|------------------|
| VW Polo | 0,37 | 1,72 | 0,636 |
| Ford Escort | 0,36 | 1,84 | 0,662 |
| Opel Vectra | 0,29 | 1,89 | 0,547 |
| Fiat 126 | 0,47 | 1,51 | 0,710 |

3.1.2. Yuvarlanma direnci

Yuvarlanma direnci taşıt tekerlerinin yuvarlanma esnasında yoldaki ve lastiklerdeki şekil değişimlerinin sonucudur.

Otomobillerde kullanılan lastiklerin yuvarlanma direncine lastiğin yapısı, çalışma koşulları gibi birçok faktör etki eder. Bu faktörler birbiri ile ilişkilidir ve bir faktörün değişimi diğerini de etkiler.

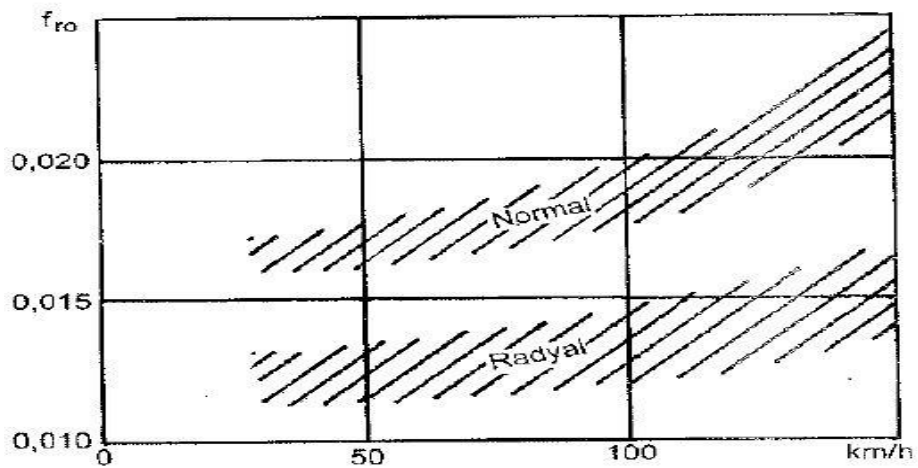
Şekil 3.4.'de yuvarlanma direncinin kaybedilen toplam enerji yüzdesi içinde içindeki durumu verilmiştir.



Şekil 3.4. Yuvarlanma direncinin kaybedilen toplam enerjiler içinde yüzdesi [56]

Lastikler radyal ve çapraz katlı olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Lastiğin üretim tipi doğrudan yuvarlanma direnç katsayısını etkiler. Ölçümler neticesinde radyal lastiklerin çapraz katlı olanlara göre yuvarlanma dirençlerinin oldukça iyi olduğu görülmüştür [56].

Şekil 3.5.'de lastik tipinin yuvarlanma direnci katsayısına olan etkisi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yuvarlanma direnci aracın hızından oldukça etkilenmektedir. Etki radyal lastiklerde normal lastiklere oranla daha azdır.



Şekil 3.5. Hız ve lastik tipinin yuvarlanma direnç katsayısına etkisi [56]

Radyal lastiklerde yuvarlanma direncinin çapraz katlı lastiklere göre daha düşük olmasının sebebi lif tabakalarının belirli bir açı ile döşenmiş olmasıdır. Fakat çapraz katlı lastikler yük taşıma kabiliyetlerinin daha yüksek olması sebebiyle yük taşıyan araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yuvarlanma direncini belirlemek amacıyla birçok sayısal eşitlikler ortaya konulmuştur. Aşağıda verilen eşitlik yuvarlanma direncinin hesaplanmasında kullanılan en yaygın ve basit ifadedir.

$$F_r = \mu_r \times m \times g \quad (3.19)$$

Burada;

m: Kütle (kg), g: Yer çekimi ivmesi (m/s^2), μ_r : Yuvarlanma direnç katsayısıdır.

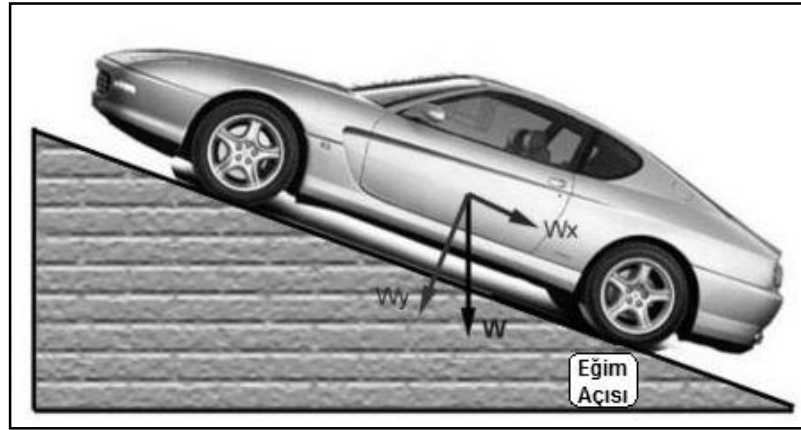
μ_r , elektrikli taşıtlar için radyal kat lastiklerde 0,015 ve gelişmiş özellikteki lastikler için 0,005 alınır [54].

Tablo 3.3. Yuvarlanma direnç katsayısının ortalama değerleri [54]

| Lastik Tipi | Yüzey | | |
|---------------|-------|-------------|------|
| | Beton | Sert Toprak | Kum |
| Yolcu arabası | 0,015 | 0,08 | 0,30 |
| Kamyon | 0,010 | 0,06 | 0,25 |
| Traktör | 0,02 | 0,04 | 0,20 |

3.1.3. Yokuş direnci

Yokuş direnci araçlarının eğilimli yoldaki hareketi esnasında ağırlık kuvvetinin yola yapmış olduğu paralel kuvvetin sonucudur.



Şekil 3.6. Yokuş direnç kuvveti ve eğim açısı [57]

Şekil 3.6.'da aracın ağırlığına bağlı olarak yokuş direnci ve eğim açısı gösterilmiştir. Yokuş direnci;

$$F_h = W_x = m \times g \times \sin\theta \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemden;

m: Araç kütlesi, g: Yerçekimi ivmesi, θ : Yolun eğim açısıdır.

Tablo 3.4. Bazı yollar için maximum eğimler [54]

| | Eğim% | Eğim oranı | Sin ϕ | Tan ϕ | ϕ |
|-------------------|-------|------------|------------|------------|--------|
| Otoyol | 6 | 1:16,7 | 0,06 | 0,06 | 3,5 |
| İyi dağ yolu | 7 | 1:14,3 | 0,07 | 0,07 | 4 |
| Ortalama dağ yolu | 12 | 1:8,3 | 0,119 | 0,12 | 7 |
| Dik dağ yolu | 32 | 1:3,1 | 0,305 | 0,32 | 18 |
| Yol dışı | 60 | 1:1,7 | 0,514 | 0,60 | 31 |

3.1.4. İvmelenme direnci

Newton'un ikinci yasasına göre, bir taşıtın hızlanması ya da yavaşlanması sırasında araca ters yönde bir atalet kuvveti etki eder. İlk hareket ve frenleme esnasında ivme ortaya çıkar ve atalet kuvvetleri ivmenin aksi yönde hareket eder. Dolayısıyla ivmeden dolayı ortaya çıkan kuvvetleri genel olarak atalet dirençleri olarak tanımlamak hatalı olmaz [54,59].

İvmelenme direnci;

$$F_i = m_{ef} \times \frac{dv}{dt} \quad (3.21)$$

Olarak ifade edilir. Denklemde;

$$m_{ef} = m \times \lambda \quad (3.22)$$

Denklemde;

$$\lambda = (1,04 + 0,0025 \times i^2) \quad (3.23)$$

m: Kütle (kg)

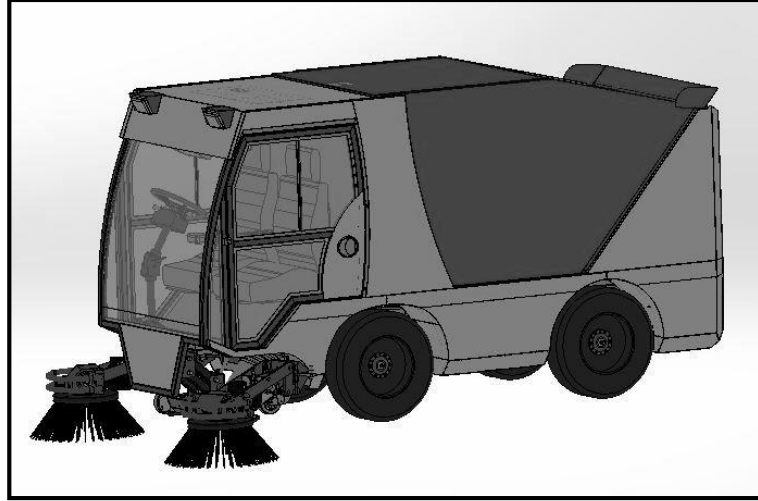
i: Trasnmiyon oranıdır.

BÖLÜM 4. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELİ VE GÜÇ AKTARMA ORGANLARI

HEA simülasyon teorisinde temel olarak, simülasyonu yapılacak olan araca ait teknik özellikler, araç konsepti, araçta kullanılacak ana komponent verileri, direnç kuvvetleri ve araca uygulanacak sürüş çevriminin belirlenmesi gerekir. Bu tez kapsamında simülasyonu yapılacak olan araç otomotiv dışı, yani standart karayolları seyir çevrimlerinde test edilebilecek bir araç değildir. Araç bir yol ve kaldırım süpürme aracı olup, standart otomotiv konseptlerinin dışındadır. Araç konvansiyonel tip yol ve kaldırım süpürme araçlarından farklı olarak, elektrik ile tahrik edilen bir araçtır. Ayrıca konvansiyonel tip yol ve kaldırım süpürme araçlarında aracın bütün işlevleri ağırlıklı olarak hidrolik tahriklidir. Bu tez kapsamında modellenecek olan aracın elektrik tahrikli mekanizmaları, araçtaki sistemlere ait toplam güç değerinin kW cinsinden yaklaşık %90' ıdır. Bu orandan anlaşılacağı üzere aracı yürüten elektrik motoru da dahil olmak üzere aracın bütün işlevlerinde %90 elektrik tahriki bulunmaktadır.

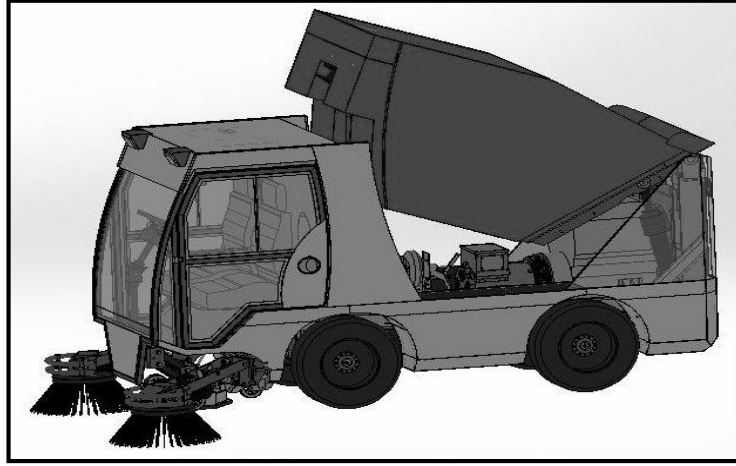
Bu bölümde aracın aerodinamik, yuvarlanma ve yokuş dirençleri hesaplanmıştır. Modellenecek olan araç hibrit elektrikli bir yol ve kaldırım süpürme aracıdır. Aracın günlük çalışma koşullarında iki işlevi vardır. Birincisi transport modu, yani bir lokasyondan başka bir lokasyona süpürme yapmadan hareket etmesi, ikincisi ise düşük hızlarda süpürme yapmasıdır. Süpürme yapma durumunda vakum motoru, süpürme motorları ve su pompası devreye girerek yol ve kaldırımları süpürmektedir. Bu şartlar altında aracı tahrik edecek elektrik motorunun minimum güç değeri (kW); aracın kalkışı, süpürme modu ve transport moduna göre belirlenmiştir. Araçta kullanılacak olan ana komponentlerin teknik verileri ve araç modeli belirlenmiş olup simülasyon için gerekli bütün parametreler açıklanmıştır.

Bu bölümde hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait teknik özellikler, aracın işlevsel tanımlamaları ve hibrit elektrikli olması sebebiyle konvansiyonel tip yol süpürme araçlarından farkları belirtilecektir. Mevcut aracın Solidworks yazılımında 3 boyutlu modellemesi yapılmış olup modele ait genel katı modeller bu bölümde verilmiştir.



Şekil 4.1. Hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait katı model

Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere araç mevcut konvansiyonel yol süpürme araçlarına benzer bir görünümde fakat çalışma prensibi ve mekanik işlevleri ile büyük ölçüde farklıdır. Mevcut konvansiyonel araçlarda aracın tüm işlevsel özellikleri hidrolik güç ünitesi ile tahrik edilirken, bu tez kapsamında simülasyonları yapılacak olan aracın yol süpürme işlevi, vakumlama fanı ve aracı yürüten ana motoru da dahil olmak üzere AC motor teknolojisi kullanılarak modellenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere araçta %90'a varan bir elektrik tahriki bulunmaktadır. Araçta kullanılan hidrolik tahriki sadece arka çöp haznesinde, süpürme kollarında ve direksiyon hidrolik sisteminde kullanılmıştır. Sistemin hidrolik güç ünitesi 2,2 kW gücünde olup, bu kısımlar harici hidrolik tahriki kullanılmamıştır. Şekil 4.2.'de aracın hazne kaldırma katı modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Hibrit yol süpürme aracının hazne kaldırma modeli

Tablo 4.1.'de araca ait temel veriler verilmiştir. Verilen değerler aracın direnç kuvvet hesapları ve gerekli güç hesapları gibi temel parametlerin belirlenmesi için kullanılacaktır.

Tablo 4.1. Hibrit yol süpürme aracına ait temel veriler

| | |
|--|---------------|
| Toplam Taşıt Ağırlığı (m_T) | 3000 kg |
| Ön Yüzey Alanı (A_f) | $2,2 m^2$ |
| Aerodinamik Direnç Katsayısı (C_D) | 0,65 |
| Yuvarlanma Direnci (μ_r) | 0,01 |
| Taşıt Genişliği (E) | 1400 mm |
| Taşıt Boyu (H) | 3700 mm |
| Taşıt Yüksekliği (W) | 1650 mm |
| Tekerlek Yarıçapı (r) | 0,32 m |
| Hava Yoğunluğu (ρ) | $1,25 kg/m^3$ |
| Taşıt Hız Aralığı (km/h) | 0-30 km/h |
| Maksimum yol eğimi ($^\circ$) | 20° |

4.1. HEYSA'ya Etki Eden Direnç Kuvvetleri ve Güç Hesaplamaları

Bu bölümde HEYSA için aerodinamik direnç, yuvarlanma direnci ve yokuş direnci hesaplanacak olup, toplam direnç kuvvetlerini yenmek için gerekli elektrik motorunun gücü hesaplanacak ve seçimi yapılacaktır. Ayrıca aracın kalkış, süpürme modu ve transport modu için ayrı ayrı güç hesapları yapılacak olup optimum motor gücü belirlenecektir.

4.1.1. Aerodinamik direnç hesabı

Tasarımı yapılan araç otomotiv konseptinin dışında olduğu için, araca etki eden aerodinamik dirençler aracın maksimum hızı ve aracın yol süpürme sırasındaki hızı temel alınarak hesaplanacaktır. Denklem 3.15'te verilen aerodinamik direnç formülüne göre tranport modunda maksimum hız 30 km/h için;

$$F_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_D \times A_f \times V^2$$

$$F_a = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 0,65 \times 2,2 \times 8,333^2 = 62 \text{ N}$$

Denklem 3.15'te verilen hava direnç formülü ile yol süpürme hızı olan 8 km/h için;

$$F_a = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 0,65 \times 2,2 \times 2,222^2 = 4,41 \text{ N}$$

4.1.2. Yuvarlanma direnci hesabı

Denklem 3.19'da verilen yuvarlanma direnci formülüne göre;

$$F_r = \mu_r \times m \times g$$

$$F_r = 0,01 \times 3000 \times 9,81 = 294,3 \text{ N}$$

4.1.3. Yokuş direnci hesabı

Denklem 3.20'de verilen yokuş direnci formülüne göre;

$$F_h = w_x = m \times g \times \sin\theta$$

$$F_h = 3000 \times 9,81 \times \sin 20 = 10065 \text{ N}$$

4.1.4. Toplam direnç kuvvetleri ve güç hesapları

Bu bölümde araca etki eden toplam direnç kuvvetlerinin, aracın hızı ile ilişkisi göz önüne alınarak farklı durumlar için hesaplanacaktır. Aracın kalkışı, süpürme sırasındaki hızı (8km/h) için gerekli güç ihtiyacı ve transport durumu (aracın süpürme yapmadan maksimum 30 km/h hızdaki hareket durumu) için ayrı ayrı güç ve tork hesapları yapılacaktır.

Araçta gerekli güç, toplam direnç kuvveti ve araç hızının çarpımı veya motor torku ile tekerleğin açısız hızının çarpıma eşittir.

$$P = T \times \omega = F \times V \text{ (Watt)} \quad (4.1)$$

T: Tahrik torku (Nm), ω : Tekerleğin açısız hızı (rad/s), F: Taşıt direnç kuvvetlerini yenecek kuvvet (N), V: Taşıt hızı (m/s)

Aracın kalkışı sırasındaki yol eğimi sıfır olarak kabul edilip, aerodinamik direnci ihmal edersek araca etki eden tek direnç kuvveti yuvarlanma direnci olacaktır.

Yuvarlanma direnci (F_r) 294,3 N hesaplanmış olup. Araç kalkışı için tekerlere ulaşması gereken tork;

$$T = F \times r \quad (4.2)$$

Burada;

T: Tork (Nm), F: Direnç kuvvetleri toplamı (N), r: Tekerlek yarıçapı (m)

$$T = 294,3 \times 0,32 = 94,176 \text{ (Nm)}$$

Çıkan sonuçtan anlaşıldığı üzere hibrit yol süpürme aracının kalkışı için 94,176 Nm'lik bir tork gerekmektedir.

Aracın düz yolda 8 km/h bir hızla yol süpürme yaptığı sırada eğimin sıfır olduğu kabulü ile yokuş direnci ihmal edilebilir, yuvarlanma direnci ve aerodinamik direnç kuvveti dikkate alındığında gerekli güç ve tork;

$$F_t = F_a + F_r = 4,4 + 294,3 = 298,7 \text{ (N)}$$

$$P = F_t \times V = 298,7 \text{ N} \times 2,22 \text{ m/s} = 663,1 \text{ (W)}$$

$$T = 298,7 \times 0,32 = 95,584 \text{ (Nm)}$$

Aracın süpürme yapmadan düz bir yolda transport modunda maksimum hızı 30 km/h hız ile hareketi sırasında sağlanması gereken tork;

$$F_t = F_a + F_r = 62 + 294,3 = 356,3 \text{ (N)}$$

$$P = 356,3 \times 8,333 = 2969 \text{ (W)}$$

$$T = 356,3 \times 0,32 = 114 \text{ (Nm)}$$

Aracın 20°'lik bir yolda kalkış yapması gerektiği durumda aracın aerodinamik bir dirence maruz kalmadığı kabul edilirse yuvarlanma ve yokuş direncine göre gerekli tork;

$$F_t = F_h + F_r = 10065 + 294,3 = 10359,3 \text{ (N)}$$

$$T = 10359,3 \times 0,32 = 3304,9 \text{ (Nm) olacaktır.}$$

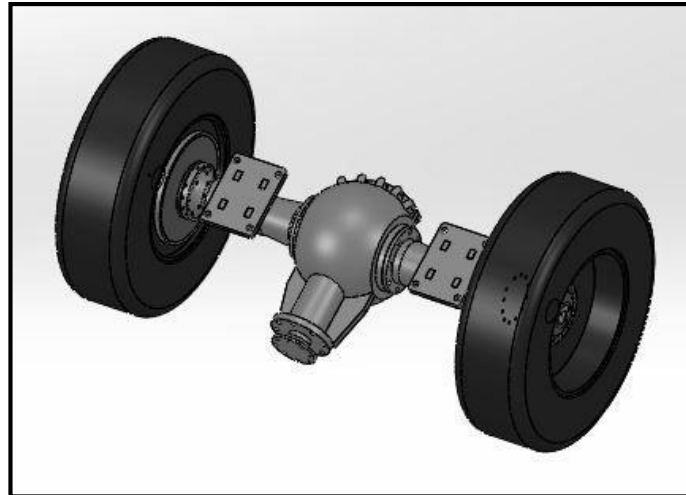
4.2. Aracın Aktarma Organlarına Bağlı Hız ve Tork Hesapları

Bölüm 4.2.'de hesaplanan güç ve tork gereksinimlerine göre araçta kullanılacak şanzıman ve diferansiyel seçilmiştir. Yapılmış olan hesaplara göre seçilen şanzıman ve diferansiyel çevrim oranları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Şanzıman ve diferansiyel çevrim oranları

| Vites | Çevrim oranı |
|---------------------------|--------------|
| 1 | 3,909 |
| 2 | 2,238 |
| 3 | 1,469 |
| 4 | 1,029 |
| 5 | 0,875 |
| Son çevrim oranı | 3,5625 |
| Diferansiyel çevrim oranı | 4 |

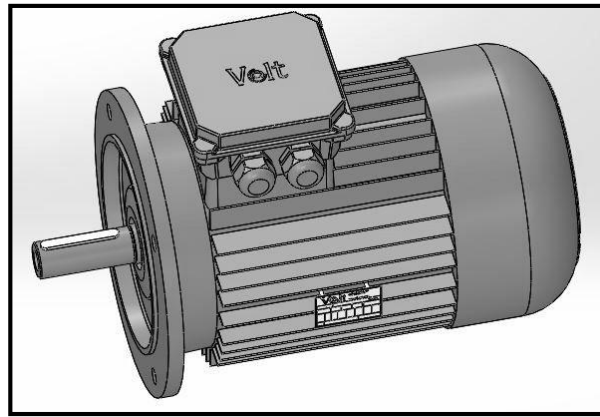
HEYSA'da kullanılan diferansiyelin çevrim oranı 4 olup gerekli tork ihtiyacına uygun olarak seçilmiştir. Şekil 4.3.'de diferansiyelin katı modeli görülmektedir.



Şekil 4.3. Diferansiyel katı modeli

Tasarlanan hibrit elektrikli yol süpürme aracının seri hibrit modeli için aracın diferansiyeli doğrudan elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Araçta bulunan İYM ve alternatör seti sisteme elektrik enerjisi sağlamaktadır. Elektrik motoru, hidrolik güç ünitesi ve su pompası doğrudan alternatörde üretilen elektrik enerjisi ile tahrik edilmektedir. Paralel hibrit durum için güç ayırma ünitesi ile tekerleri İYM veya elektrik motoru tahrik etmektedir.

HEYSA için seçilen elektrik motoruna ait katı model Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Elektrik motoruna ait katı model

Yapılan direnç kuvveti hesapları ve tork hesaplarına göre seçilen elektrik motoru, şanzıman ve diferansiyel oranları ile gerekli tork ihtiyacını karşılamaktadır.

Tablo 4.3. Elektrik motoruna ait karakteristik değerler

| Motor Teknolojisi | Alüminyum Gövdeli 3 Fazlı 2 Kutuplu Asenkron Motor |
|-------------------|--|
| Güç | 15 kW, 20 BG |
| Devir | 3000 dev/dak |
| Akım | 28,6 Amper |
| Moment | 48,8 Nm |
| Cos (φ) | 0,89 |
| Verim (η) | %89 |
| Ağırlık | 81 kg |

Tablo 4.3.'de seçilen elektrik motoruna ait karakteristik özellikler, üretici firma tarafından verilen etiket değerleridir.

Araca ait elektrik motoru, şanzıman ve diferansiyel seçimi yapıldığına göre aracın her vites için üretilen maksimum tork ve hız değerleri hesaplanabilir. Tablo 4.4'de bu değerler hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. HEYSA'da her vites için hız ve tork değerleri

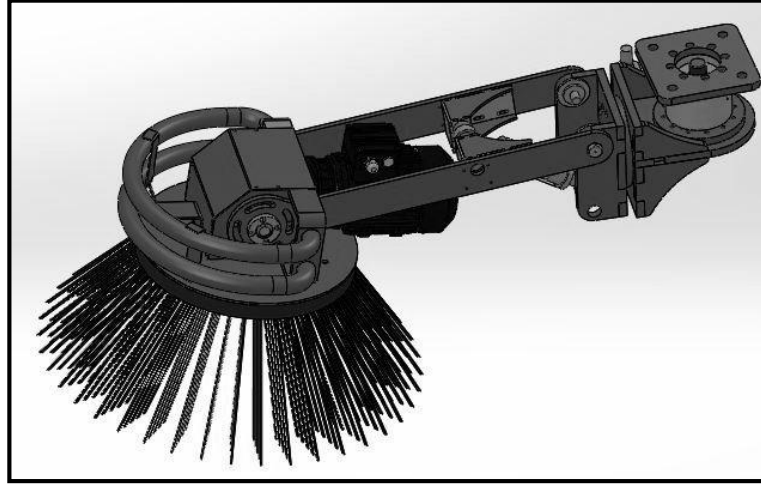
| | 1. Vites | 2. Vites | 3. Vites | 4. Vites | 5. Vites |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Çevrim oranı | 3,909 | 2,238 | 1,469 | 1,029 | 0,825 |
| Son çevrim oranı | 3,5625 | 3,5625 | 3,5625 | 3,5625 | 3,5625 |
| Diferansiyel çevrim oranı | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Motor Nominal Devri (d/dak) | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| Frekans (hz) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Elektrik Motor Torku (Nm) | 48,8 | 48,8 | 48,8 | 48,8 | 48,8 |
| Tekerlek Çevresi (m) | 2,0096 | 2,0096 | 2,0096 | 2,0096 | 2,0096 |
| Diferansiyel Çıkış Devri (rpm) | 53,8568 | 94,0689 | 143,3126 | 204,5931 | 255,1834 |
| Hız (km/h) | 6,5 | 11,5 | 17,3 | 24,7 | 30,7 |
| Tork (Nm) | 2718,3 | 1556,3 | 1021,5 | 715,5 | 573,7 |

Hibrit elektrikli yol süpürme aracı için gerekli elektrik motoru, şanzıman ve diferansiyel seçilmiştir. Seçilen komponentlere ait özellikler verilmiştir.

4.3. Aracın Tasarım Amacına Uygun Olarak Ana Elemanların Seçimi

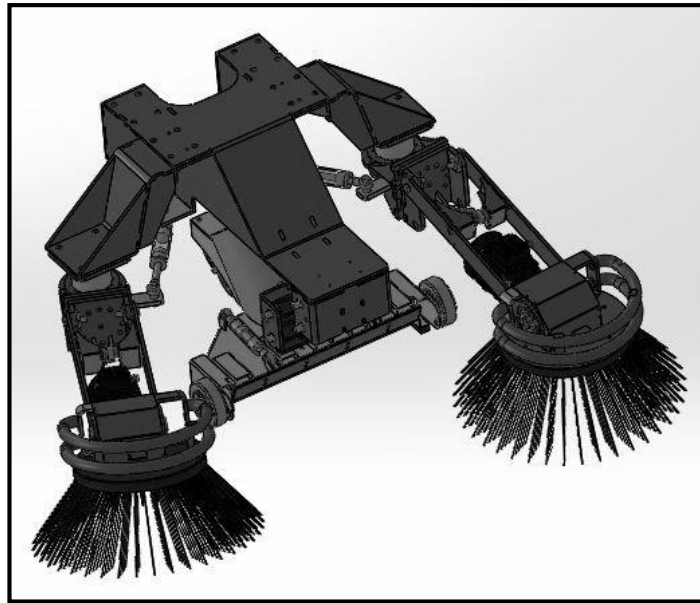
Tasarlanan araç standart otomotiv konseptinin dışında olduğu için, aracın hareketini sağlayan aktarma organları seçiminden sonra, aracın yol süpürme işlevini yapabilmesi için gerekli komponentlerin seçilmesi gerekir.

Araçta ön kısımda iki tane fırça, zeminden çöpleri hazneye vakumlayan bir vakum fanı, süpürme sırasında nozullar vasıtası ile zemini ıslatan bir pompa seti bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Süpürme grubu katı modeli

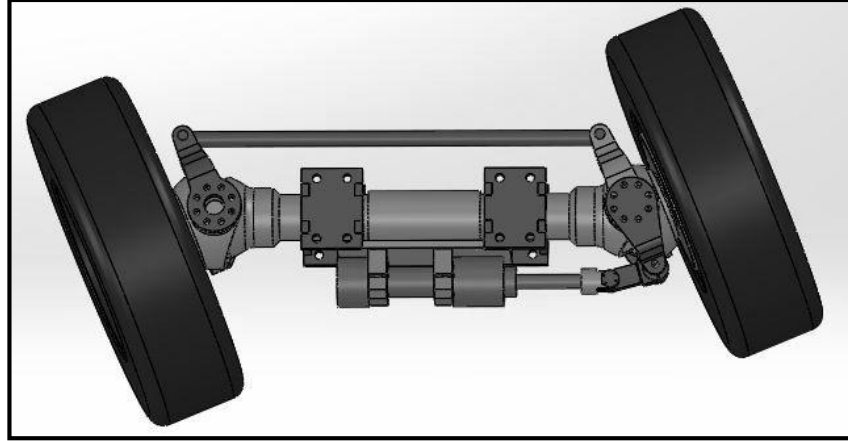
Şekil 4.5.'te hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait süpürme kolu görülmektedir.



Şekil 4.6. Süpürge ve vakum ağızına ait katı model

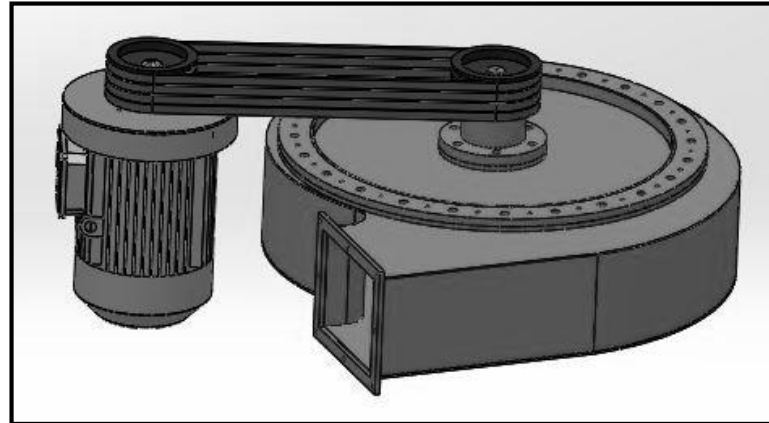
Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere süpürge kollarını sağa-sola ve aşağı-yukarı hareket ettiren dört adet hidrolik piston görülmektedir. Ayrıca süpürge kollarının ortasında

vakum ağızı olarak adlandırılan, zemindeki atıkların hazneye vakumlanmasını sağlayan bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölümde vakum ağzının kapağına ait iki adet, vakum ağzının aşağı-yukarı hareketi için bir adet olmak üzere toplam üç adet hidrolik piston daha bulunmaktadır.



Şekil 4.7. Direksiyon tahrik grubu

Şekil 4.7.'de direksiyon hareketinin tek çıkışlı bir hidrolik piston tarafından sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Hibrit elektrikli araca ait vakum fanı katı modeli

Şekil 4.8.'de HEYSA vakum fanının 7,5 kW'lık bir AC motor ve kayış-kasnak mekanizması ile tahrik edildiği görülmektedir.

4.3.1. Aracın hidrolik güç ünitesinin seçimi

Tasarımı yapılan hibrit elektrikli aracın mekanizmaları, elektrik motorları ve hidrolik güç ünitesi tarafından tahrik edilmektedir. Bu bölümde araçta kullanılan hidrolik pistonların hacimleri ve tahrik süreleri dikkate alınarak, uygun hidrolik güç ünitesinin seçimi yapılacaktır.

Önceki bölümde hidrolik pistonların ve bağlı oldukları sistemlerin katı modelleri gösterilmiştir. Araçta toplam on iki adet hidrolik piston bulunmaktadır ve bunlardan iki tanesi çöp haznesini kaldırmak ve boşaltmak için kullanılan ana pistonlardır. Hidrolik güç ünitesinin seçimi bu pistonların hacimleri ve tahrik süreleri dikkate alınarak yapılacak, diğer pistonlarda kısıcılar kullanılacaktır.

Tablo 4.5. Hidrolik pistonlara ait hacim hesapları

| | Adet | Strok (mm) | Çap (mm) | Hacim (mm^3) | Hacim (Lt) |
|---------------------------|------|------------|----------|---|------------|
| Süpürge kolu indir-kaldır | 2 | 40 | 40 | $\pi \times \frac{40^2}{4} \times 40$ | 0,1 |
| Süpürge kolu sağa-sola | 2 | 70 | 40 | $\pi \times \frac{40^2}{4} \times 70$ | 0,17 |
| Vakum ağzı kapak | 2 | 45 | 32 | $\pi \times \frac{32^2}{4} \times 45$ | 0,07 |
| Vakum ağzı aşağı-yukarı | 1 | 150 | 40 | $\pi \times \frac{40^2}{4} \times 150$ | 0,18 |
| Hazne kapağı açma kapama | 2 | 45 | 32 | $\pi \times \frac{32^2}{4} \times 45$ | 0,07 |
| Direksiyon sağ-sol | 1 | 160 | 50 | $\pi \times \frac{50^2}{4} \times 160$ | 0,31 |
| Hazne kaldır-indir | 2 | 550 | 100 | $\pi \times \frac{100^2}{4} \times 550$ | 8,63 |
| | | | | Toplam | 9,53 Lt |

Tablo 4.5.'de hibrit yol süpürme aracında kullanılacak olan her piston için hacim hesabı yapılmıştır ve toplam piston hacimleri gösterilmiştir. Yapılan bu hesaplar kullanılacak olan yağ tankının hacmi ve hidrolik pompanın seçiminde gerekli olan debiyi bulmak için kullanılacaktır.

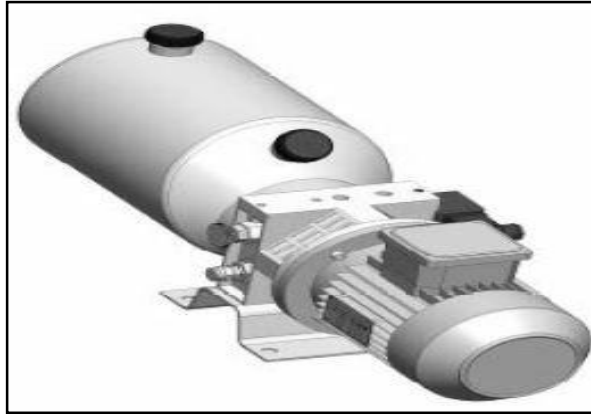
Hidrolik güç ünitesi seçimi hazneyi indiren ve kaldıran pistonlar temel alınarak yapılacağına göre seçilecek hidrolik pistonun debisini şu şekilde hesaplayabiliriz.

Haznenin 25 saniyede strokunu tamamlanması istenmektedir. Bu yüzden hidrolik pompanın pistonlara 25 s'de 8,63 Lt yağ basması istenmektedir. Buradan 8,63 Lt/25s debinin karşılığı 20,17 Lt/dak olarak çıkmaktadır. Bu sonuçtan da şu anlaşılmaktadır. Seçilen pompanın dakika da en az 20,17 Lt yağ basma kapasitesine sahip olması gerekir.

Tablo 4.6. Hidrolik güç ünitesine ait veriler.

| | Güç | Hız (rpm) | Gerilim (V) | Boşaltma (ml/rpm) | Basınç (bar) |
|----------------------|--------|-----------|-------------|-------------------|--------------|
| Hidrolik Güç Ünitesi | 2,2 kW | 3000 | 380 | 8 cm ³ | 170 |

Tablo 4.6.'da seçilen hidrolik güç ünitesine ait özellikler verilmiştir. 3000 dev/dak hızla dönen bir pompa dakikada 24000 cm³ (24Lt) yağ basmaktadır.



Şekil 4.9. Hidrolik güç ünitesi katı model

4.4. Hibrit Elektrikli Araçta Toplam Güç İhtiyacı

Bu bölüme kadar hibrit elektrikli yol süpürme aracında kullanılan aktarma organları, süpürme aksamına ait tasarımlar, vakum fanı tahrik modeli ve hidrolik güç ünitesi tanımlandı. Tanımlanan sistemlerde gerekli güç (kW) değerleri belirtildi. Bu bölümde aracın alt sistemlerinde kullanılan elektrik motorlarına ait güç değerleri ile sistemin toplam güç ihtiyacı hesaplanacaktır.

Araçta süpürme kollarında iki adet 0,55 kW AC motor bulunmaktadır. Süpürme sırasında fırça mekanizmasında bulunan nozullar ile zemin su ile ıslatılmaktadır. Nozullara su 0,75 kW'lık bir pompa ile sağlanmaktadır. Fırça motorları ve su pompası İYM-alternatör setinden üretilen elektrik enerjisi ile tahrik edilmektedir.

HEYSA'nın en önemli bölümlerden biri vakum fanıdır. Araç süpürme sırasında yerdeki çöpleri hazneye vakumlamaktadır. Vakum fanı 7,5 kW'lık bir AC motor yardımıyla tahrik edilmektedir. Kayış-kasnak sistemi ile fan 2000 dev/dak döndürülmektedir.

Hibrit yol süpürme aracında, diğer önemli bir bölüm ise süpürme kollarının sağa-sola, aşağı-yukarı hareketi, vakum ağzının kaldırılması, çöz haznesinin kaldırılması, çöz haznesinin boşaltılması sırasında kapağın açılması ve direksiyon hidrolik sisteminin tahriki gibi doğrudan hidrolik sistemle tahrik edilecek mekanizmaların olmasıdır. Bütün bu hareketler seçilen 2,2 kW'lık hidrolik güç ünitesi seçilmiştir.

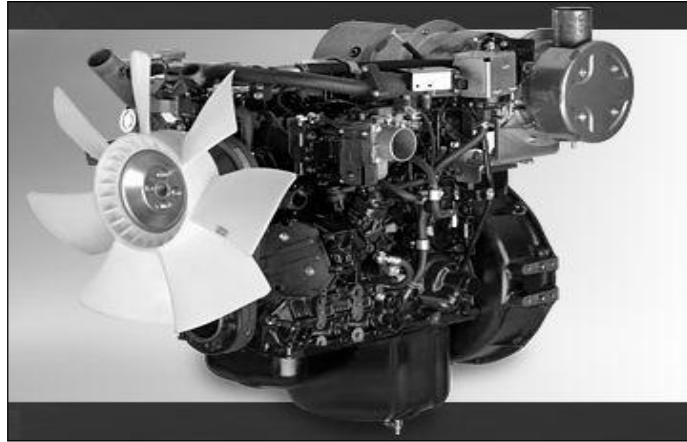
Tablo 4.7. Hibrit araçta toplam güç ihtiyacı tablosu

| Hibrit Araç Komponenti | Güç Değeri |
|------------------------|------------|
| Süpürme Motorları | 1,1 kW |
| Su Pompası | 0,75 kW |
| Hidrolik Güç Ünitesi | 2,2 kW |
| Fan Motoru | 7,5 kW |
| Ana Yürüyüş Motoru | 15 kW |
| Toplam | 26,55 kW |

Tablo 4.7.'de HEA için hesaplanmış ve belirlenmiş olan komponentlere ait güç ihtiyaç tablosu görülmektedir. Toplam ihtiyaç 26,55 kW değerindedir. Bu toplam güç referans alınarak hibrit elektrikli yol süpürme aracı için içten yanmalı motor ve alternatör seti seçilecektir.

4.4.1. Araç için içten yanmalı motor ve alternatör seçimi

Bu bölüme kadar araçta kullanılacak ana komponentler belirlenmiş ve teknik özellikleri verilmiştir. Kullanılacak olan her komponent için güç değerleri (kW) tablolar ile gösterilmiştir. Araca etkiyen direnç kuvvetleri doğrultusunda aracı yürüten ana motor, transmisyon ve diferansiyel belirlenmiştir. Aracın süpürme, vakum, kaldır-indirme vb. işlevleri yerine getirmesi için kullanılacak elektrik motorları ve hidrolik tahrik grubuna ait hesaplamalar sunulmuştur. Bu hesaplamalar doğrultusunda aracın dizel motor seçimi yapılmıştır.



Şekil 4.10. Mitsubishi dizel motoru

Şekil 4.10.'da hibrit yol süpürme aracında kullanılacak içten yanmalı motor gösterilmiştir. Toplam güç ihtiyacı belirlendikten sonra araç için Mitsubishi markalı dizel motor seçilmiştir.

Tablo 4.8. Mitsubishi Diesel Engine

| Motor | Mitsubishi |
|------------------|---|
| Tip | 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt püskürtmeli |
| Silindir Sayısı | 4 |
| Silindir Hacmi | 3331 cm^3 |
| Sıkıştırma Oranı | 17:1 |
| Silindir x Strok | 94 mm x 120 mm |
| Güç | 36,8 kW/1500 rpm |
| Tork | 196 Nm/1500 rpm |

Tablo 4.8.'de HEA'da kullanılacak olan içten yanmalı motora ait teknik özellikler verilmiştir. Farklı firmalara ait dizel jeneratör motorları incelenmiş, yakıt tüketimi ve verim açısından araca en uygun motorun Mitsubishi firmasına ait 3,3 Lt'lik bu dizel motor olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere jeneratör motorları 50 hz için 1500 dev/dak olarak dizayn edilmektedir. Tasarlanan aracın seri hibrit elektrikli modelinde, araçta kullanılacak olan içten yanmalı motor ile aktarma organları arasında mekanik bir bağlantı bulunmamaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda seri hibrit elektrikli araçta maksimum tork ve verimin olduğu devir sayısında önemli yakıt tasarrufları sağlanmaktadır. Bu bilgiler seri hibrit elektrikli araçlarda yakıt tasarrufunun nasıl sağlandığını açıklamaktadır. İçten yanmalı motor sürekli verimli bölgede çalıştırılmaktadır.

Hibrit elektrikli araç için içten yanmalı motor seçimi yapıldıktan sonra, sıra alternatör seçimindedir. İçten yanmalı motor seçiminde görüldüğü üzere toplam güç ihtiyacına en yakın ama ihtiyaçtan büyük en uygun alternatör seçimi yapılmalıdır. Bütün bu seçimler yapılırken unutulmamalıdır ki İYM ve alternatör aracın şasisi üzerine montaj edilecektir. Yakıt, performans ve verimin dikkate alındığı kadar İYM ve alternatör boyutları da tasarım açısından önemlidir. Gereksiz ağırlıklar ve boyutlar araç kütlesinin ve boyutlarının artmasına sebep olacaktır. Bu sebepler dikkate alınıp en uygun İYM ve alternatör seçimi yapılmıştır.



Şekil 4.11. HEA için seçilen alternatör

Şekil 4.11.'de görülen alternatör, GENSAN firmasına ait 30 kVA gücünde olup 38,5 Bg tahrik gücüne sahiptir.

Tablo 4.9. Alternatöre ait teknik özellikler

| Alternatör | GENSAN |
|-------------------|---------------|
| Sürekli Güç | 30 kVA |
| Standby Güç | 33 kVA |
| Devir | 1500 d/dak |
| Frekans | 50 Hz |
| Gerilim | 231/400 V |

Tablo 4.9.'da seçilen alternatöre ait teknik özellikler verilmiştir. Görüldüğü üzere 30 kVA toplam güce sahip bir alternatör seçilmiştir. Güç, teknik değerler ve boyutlar göz önüne alındığında, tasarlanan araca en uygun alternatörün GENSAN firmasına ait 30 kVA değerindeki bu alternatör olduğuna karar verilmiştir.

BÖLÜM 5. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARACIN AVL CRUISE SİMÜLASYONLARI VE SONUÇLARI

Bu bölüme kadar HEA'ya ait ana komponentler belirlenmiş ve araç için gerekli güç değerleri hesaplanmıştır. Aracın farklı yol ve sürüş koşullarında tahrik edilmesi için gerekli tork ve buna bağlı olarak şanzıman dişli oranları hesaplanmıştır. Simulasyon için gerekli teknik veriler sunulmuştur. Hibrit elektrikli araç simulasyon teorisinde temel olarak araca ait genel özellikler (ağırlıklar, boyutlar vb.), elektrik motoru, içten yanmalı motor, alternatör, transmisyon ve bataryalar gibi temel komponentlere ait teknik özellikler gerekmektedir. Bu komponentlerin hepsi önceki bölümlerde katı modelleriyle birlikte sunulmuştur. Fakat bunlara ek olarak aracın analiz edileceği sürüş çevrimi belirlenmelidir.

Simulasyonu yapılacak olan aracın otomotiv konseptinde olmaması, mevcut seyir çevrimleri ile gerçeğe yakın bir analiz yapılmasını zorlaştırmaktadır. Analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar vermesi için yol süpürme aracına uygun bir seyir çevriminin oluşturulması gerekmektedir.

5.1. AVL Cruise

AVL Cruise araç ve güç aktarma sistemlerinin analizlerinde, konsept planlamasından araç tasarımına kadar tüm süreci destekleyen bir paket programdır. Konvansiyonel araçlardan gelişmiş hibrit elektrikli araç sistemlerine kadar tüm araç sistemlerini kapsamaktadır.

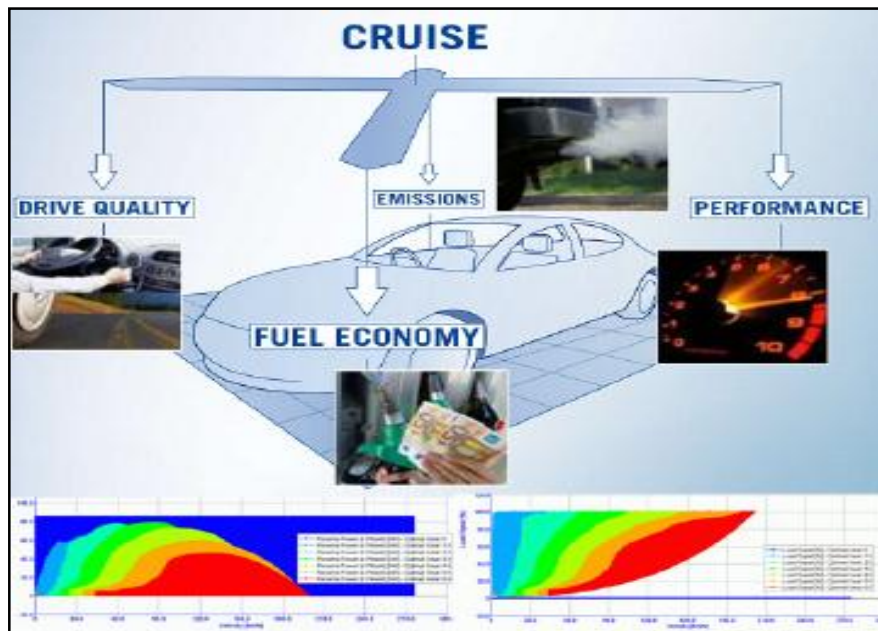
Fiziksel nesne odaklı model yapı yaklaşımı AVL Cruize güç aktarma sistemlerinin gerçek hayattaki durumları yansıtmasını sağlar. Erken evrelerde bir kaç giriş değeri ile başlar, artan simulasyon gereksimlerine göre gelişme arttıkça model olgunlaşır.

Cruise parametre optimizasyonu, komponent belirleme gibi alanlarda kullanıcıya pratik ve uygulanabilir bir iş akışı sunmaktadır [55].

5.1.1. AVL Cruise uygulama alanları

AVL Cruise otomobiller, otobüsler, kamyonlar ve hibrit araçlarda güç aktarma organları ve motorların geliştirilmesinde, araç sistemlerinin optimizasyonunda kullanılmaktadır. Belirli veya belirsiz bir çevrim için araç komponentleri ve kontrol stratejisine göre yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin belirlenmesinde kullanılmakla birlikte ivmelenme, tırmanma, itme gücü ve frenleme için sürüş performanslarının analiz edilmesi başlıca kullanım alanlarıdır.

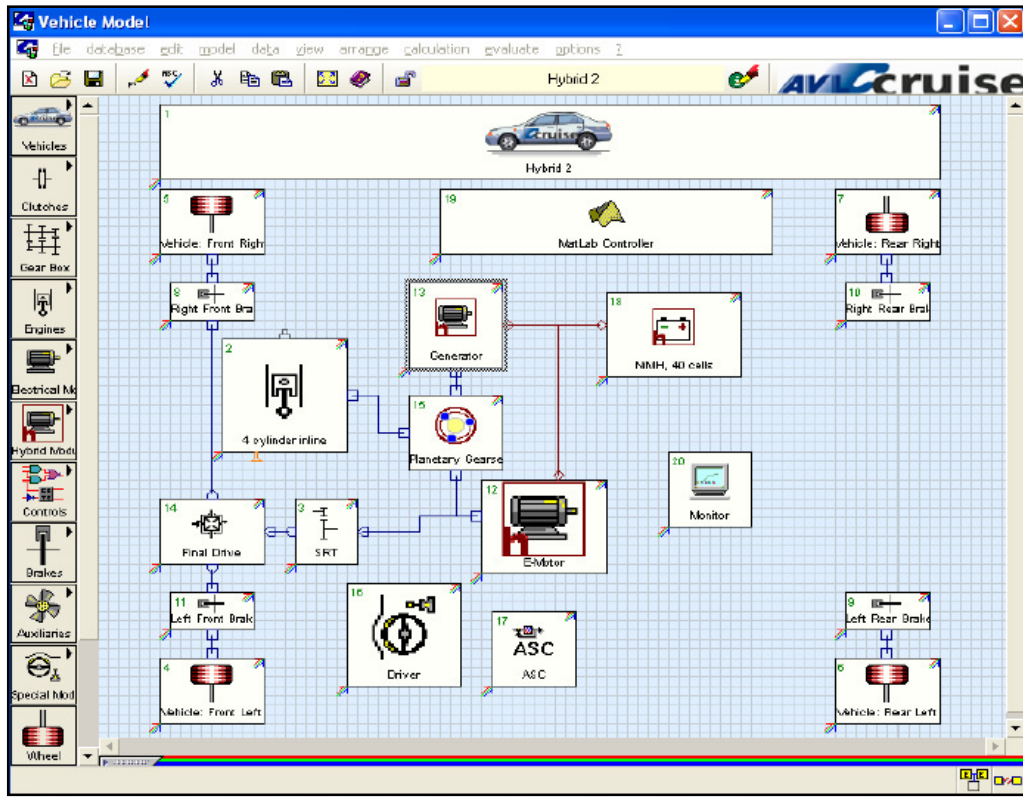
AVL Cruise belirtilen bu kullanım alanlarının dışında, hibrit konseptli yeni araçların değerlendirilmesinde, transmisyolların analizi ve yeni transmisyolların tasarımı (DCT, AMT), dinamik yükler altında elastik aktarma organlarının burulma titreşimlerinin analizinde, vites geçişlerinin sürüş kalitesine etkisinin değerlendirmesinde, araç ısı yönetimi, enerji akış analizleri, enerji dağıtım ve kayıpları gibi alanlarda da kullanılmaktadır [55].



Şekil 5.1. AVL Cruise [55]

5.1.2. AVL Cruise araç modeli

AVL Cruise'da araç modeli gerçekte olduğu gibi farklı komponentlerden oluşur. Her model güç aktarma ve karışık transmiyon sistemleri ile oluşturulabilir. AVL Cruise'da bulunan komponentler şöyle sıralanabilir; araç, karavan, römork, içten yanmalı motor, egzoz katalizör sistemi, kavramalar, transmiyonlar, control elemanları, şaftlar, tekerler, hibrit araç komponentleri, frenler, klimalar, sürücü ve çevresel faktörler yer almaktadır [55].



Şekil 5.2. AVL Cruise araç model blok diyagramları [55]

5.2. AVL Cruise ile Seyir Çevriminin Oluşturulması

Hibrit elektrikli yol süpürme aracı için AVL Cruise yazılımı ile araca uygun bir seyir çevrimi oluşturulmuştur. Seyir çevrimi oluşturulurken, aracın tasarlanma amacı olan süpürme işlevi ve süpürme yapmadığı durumdaki hızlarının belirlenmesi gerekir. Hızlara ek olarak seyir çevrim mesafesi, süre, duraksamalar ve fren süreleri gibi aracın hareketini etkileyen parametrelerin sisteme girilmesi gerekmektedir. Seyir

çevrimine ilave edilen bu parametreler simülasyon sonuçlarının gerçeğe yakınlığını doğrudan etkilemektedir.

Araçta temel olarak iki hareket modu vardır. Bunlar transport modu ve süpürme modudur. Transport modu aracın süpürme yapmadan, bir lokasyondan başka bir lokasyona hareketini temsil etmektedir. Süpürme modu ise aracın düşük hızlarda temel işlevi olan süpürme işlevini yaptığı modudur. Aracın transport modundaki hızı 25 km/h civarlarındayken, süpürme sırasındaki hızı 8 km/h civarlarındadır. Bu hız değerleri ile seyir çevriminin temel parametreleri oluşturulmuştur.

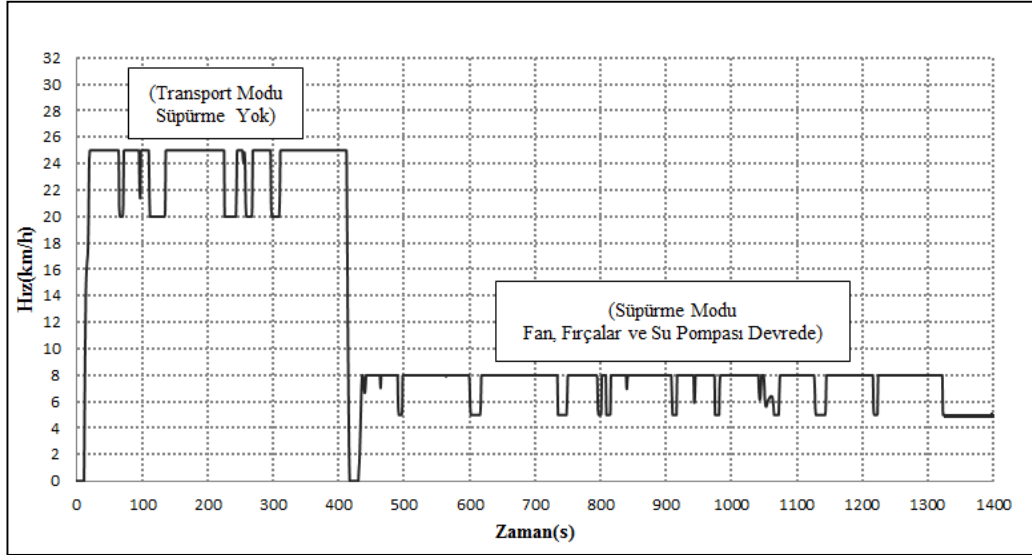
AVL Cruise yazılımında “Random Cycle Generator” modülü ile yol süpürme aracına ait hız, işlev ve duraksamalar göz önüne alınarak bir seyir çevrimi oluşturulmuştur. Şekil 5.4.’de görüldüğü üzere araç süpürme bölgesine 25-30 km/h hızlarda gitmektedir. Süpürme sırasında 8 km/h civarlarında seyretmektedir.

Şekil 5.4.’de görülen hız grafiği AVL Cruise yazılımında “Random Cycle Generator” modülü ile oluşturulmuştur. Grafiği oluşturan değerler yazılımdan export edilip, excel’de grafik olarak sunulmuştur.

| file | edit | view | Time [s] | Velocity_Vehide [km/h] |
|------|------|------|------------------|------------------------|
| 133 | | | 13,0208333333333 | 2,9142023313506 |
| 134 | | | 13,1208333333333 | 3,222339126922 |
| 135 | | | 13,2208333333333 | 3,5304756682794 |
| 136 | | | 13,3208333333333 | 3,8386119298929 |
| 137 | | | 13,4208333333333 | 4,1467478862331 |
| 138 | | | 13,5208333333333 | 4,4548835117704 |
| 139 | | | 13,6208333333333 | 4,7630187809755 |
| 140 | | | 13,7208333333333 | 5,0711536683191 |
| 141 | | | 13,8208333333333 | 5,379288148272 |
| 142 | | | 13,9208333333333 | 5,6874221953052 |
| 143 | | | 14,0208333333333 | 5,9955557838898 |
| 144 | | | 14,1208333333333 | 6,3036888884972 |
| 145 | | | 14,2208333333333 | 6,6118214835986 |
| 146 | | | 14,3208333333333 | 6,9199535436658 |
| 147 | | | 14,4208333333333 | 7,2280850431705 |
| 148 | | | 14,5208333333333 | 7,5362159565847 |
| 149 | | | 14,6208333333333 | 7,8443462583804 |
| 150 | | | 14,7208333333333 | 8,1524759230301 |
| 151 | | | 14,8208333333333 | 8,4606049250063 |
| 152 | | | 14,9208333333333 | 8,7687332387817 |
| 153 | | | 15,0208333333333 | 9,0768608388293 |
| 154 | | | 15,1208333333333 | 9,3849876996224 |
| 155 | | | 15,2208333333333 | 9,6931137956345 |
| 156 | | | 15,3208333333333 | 10,001239101339 |
| 157 | | | 15,4208333333333 | 10,30936359121 |
| 158 | | | 15,5208333333333 | 10,617487239723 |
| 159 | | | 15,6208333333333 | 10,92561002135 |
| 160 | | | 15,7208333333333 | 11,233731910568 |
| 161 | | | 15,8208333333333 | 11,541852881851 |

Şekil 5.3. AVL Cruise seyir çevriminden export edilen değerler

Şekil 5.3.'de AVL Cruise yazılımında oluşturulan seyir çevrimine ait zamana bağlı hız değerleridir. Bu değerler yazılımdan export edilmiş ve Şekil 5.4.'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 5.4. Yol süpürme aracının seyir çevrimine bağlı hız grafiği

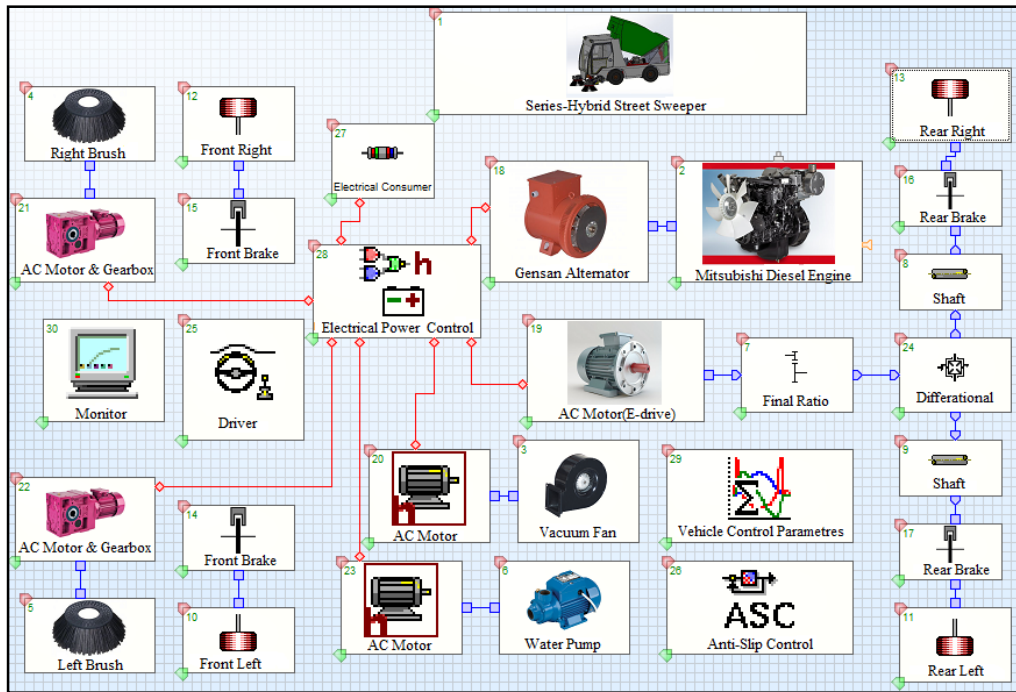
Şekil 5.4.'de görüldüğü üzere 1400 saniyelik bir seyir çevrimi oluşturulmuş ve farklı zaman aralıkları için iki farklı sürüş modu oluşturulmuştur. Grafikte görülen 0 – 400 s aralığında araç sadece bir lokasyondan başka bir lokasyona hareket etmektedir. 400 – 1400 s aralığı ise aracın süpürme yaptığı aralıktır ve bu aralıkta vakum fanı, fırçalar ve su pompası devredir.

5.3. Aracın Seri ve Paralel Hibrit Modları İçin AVL Cruise Modelleri

Hibrit elektrikli yol süpürme aracının iki farklı sürüş modu (transport ve süpürme) için seri ve paralel hibrit model simülasyonlar yapılmıştır. Seri ve paralel hibrit modelleri için AVL Cruise yazılımında ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Her bir model için yakıt tüketimi, emisyon değerleri ve İYM gücü kıyaslanmıştır.

5.3.1. Seri hibrit elektrikli model için AVL Cruise simülasyonu

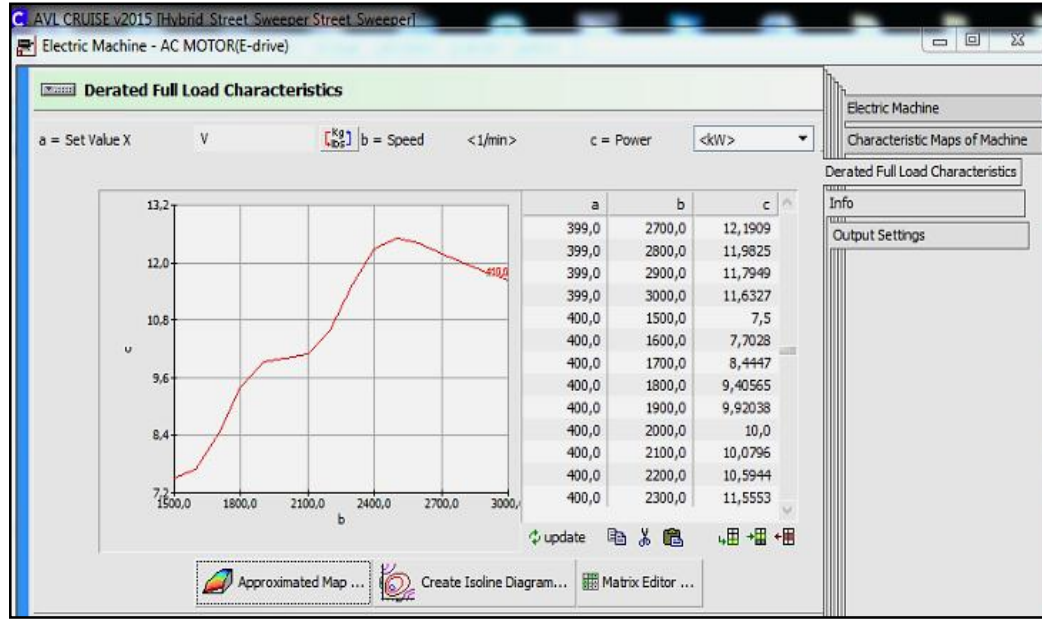
Seri hibrit mod aracın sadece elektrik motoru ile tahrik edilmesidir. İYM ve alternatör sürekli çalışmaktadır. İYM devamlı verimli bölgede çalıştırılarak maksimum verim elde etmek amaçlanmaktadır. Oluşturulan çevrim boyunca araç elektrik motoru ile tahrik edilmiş, çevrimde belirtilen süpürme modunda fan, fırça ve su pompasına ait motorlar devreye girmektedir. Devreye giren motor sayısı ile gerekli güç ihtiyacı artmakta ve alternatörden talep edilen tork ihtiyacı da artmaktadır.



Şekil 5.5. Seri hibrit elektrikli yol süpürme aracı için AVL Cruise modeli

Şekil 5.5.'de AVL Cruise yazılımında oluşturulmuş seri hibrit elektrikli yol süpürme aracına ait model verilmiştir. Model seri hibrit konfigürasyon olduğu için aracın diferansiyelini doğrudan elektrik motoru tahrik etmektedir. İYM sadece alternatörden sağlanacak olan tork ihtiyacını karşılamak üzere elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Şekildeki komponentlerinin birbirine bağlantılarında görülen kırmızı çizgiler elektrik bağlantılarını, mavi çizgiler ise mekanik bağlantıları temsil etmektedir.

AVL Cruise’da model oluşturulurken şekilde görülen her komponente ait önceki bölümlerde verilen teknik özellikler sisteme girilmiş ve değerlerin gerçek değerlere yakın olması hedefiyle her komponent için üreticilerden test raporları istenmiştir. Alınan veriler AVL Cruise’da gerekli bölümlere girilmiş ve simülasyon yapılmıştır.



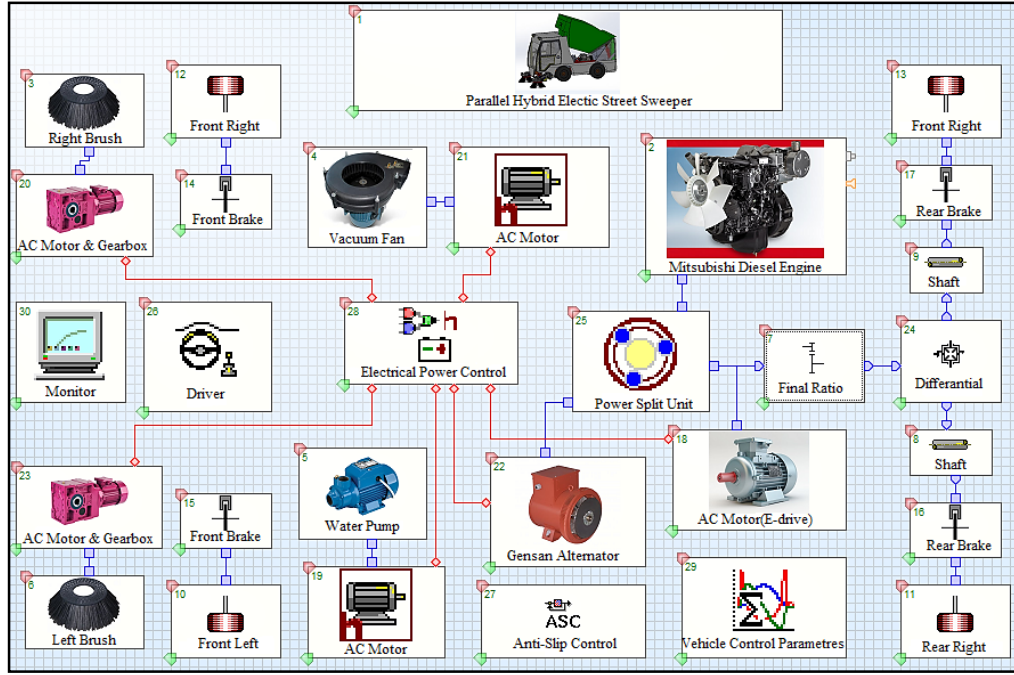
Şekil 5.6. Seri hibrit mod için AC motor voltaj, devir sayısı ve güç

Şekil 5.6.’da seri hibrit elektrikli mod için aracı tahrik eden ana AC motorun belirli bir voltaj aralığında devir sayısına bağlı güç değerleri görülmektedir. Bu grafik seçilen AC motor için üretici firmanın test raporlarına göre AVL Cruise’da oluşturulmuştur.

5.3.2. Paralel hibrit elektrikli mod için AVL Cruise simülasyonu

Paralel hibrit yol süpürme aracı, bir güç ayırma ünitesi ile hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor ile tahrik edilmektedir. Oluşturulan paralel hibrit elektrikli yol süpürme araç modelinde batarya ünitesi olmadığı için, İYM sürekli çalışmakta olup transport modu veya süpürme modu için araç ya elektrik motoru ya da İYM ile tahrik edilmektedir. Belirlenen araç kontrol algoritmasına göre araç transport modunda güç ayırma ünitesi vasıtasıyla İYM ile tahrik edilebilmektedir. Transport modunda fan, fırça ve su pompasının devrede olmaması bu mod için aracı sadece

İYM ile tahrik etmeye uygundur. Süpürme modunda İYM-alternatör seti ile üretilen elektriksel güç aracın fan, fırça ve su pompa motorlarını ayrıca aracı yürüten ana AC motoru tahrik etmektedir. Paralel hibrit model için güç ayırma ünitesi, araca İYM-alternatör modu ve sadece İYM modu olmak üzere iki farklı mod seçeneği sunmaktadır.



Şekil 5.7. Paralel hibrit mod için AVL Cruise modeli

Şekil 5.7.'de paralel hibrit elektrikli yol süpürme aracının AVL Cruise modeli görülmektedir. Model blok diyagramları AVL Cruise ile oluşturulmuş, simülasyon sonuçlarının gerçek değerlere yakın olması hedefiyle her komponent için üreticilerden alınan teknik veriler sisteme girilmiştir. Modelde görülen "Power Split Unit", aracı yürüten tahrik sistemini ayıran güç ayırma ünitesidir. Bu ünite ile aracın diferansiyelini tahrik edecek olan İYM veya AC motor bir kavrama sistemi ile ayrılmaktadır. Modelde görülen "Vehicle Control Functions" sekmesine girilen kontrol algoritması ile araç transport modunda güç ayırma ünitesi üzerinden İYM ile tahrik edilmektedir. Seyir çevrimine göre süpürme moduna gelindiğinde güç ayırma ünitesi ile İYM-alternatör seti devreye girmekte ve elektrik üretimi başlamaktadır. Aracı yürüten AC motor, fırça motorları, fan motoru ve su pompası üretilen elektriksel güç ile tahrik edilmektedir.

Vehicle - Paralel-Hybrid Electrical Street Sweeper

Distance of Gravity Center in <mm> Height of Gravity Center in <mm>

Height of PFA <mm> Tire Inflation Pressure Front Axle in bar

| Load State | Distance of Gravity Center | Height of Gravity Center | Height of Hitch | Height of PFA | Tire Inflation Pressure F |
|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|
| empty | 2500,0 | 100,0 | 500,0 | 0,0 | |
| half | 2800,0 | 900,0 | 480,0 | 0,0 | |
| full | 3000,0 | 800,0 | 460,0 | 0,0 | |

Nominal Weight

Curb Weight kg Gross Weight kg

Air Coefficient

Frontal Area m² Drag Coefficient Drag Area m²

Lift Coefficient Front Axle Lift Coefficient Rear Axle

properties...

Şekil 5.8. Paralel hibrit mod için AVL Cruise araç verileri

Şekil 5.8.'de AVL Cruise yazılımında modellenen aracın temel karakteristikleri görülmektedir. Araca etki eden direnç kuvvetleri ve direnç katsayıları yazılıma da aynı şekilde girilmiş ve simülasyonlar hesaplamalarda alınan temel katsayılar ile gerçekleştirilmiştir.

5.3.2.1. Seri hibrit elektrikli mod için AVL Cruise sonuçları

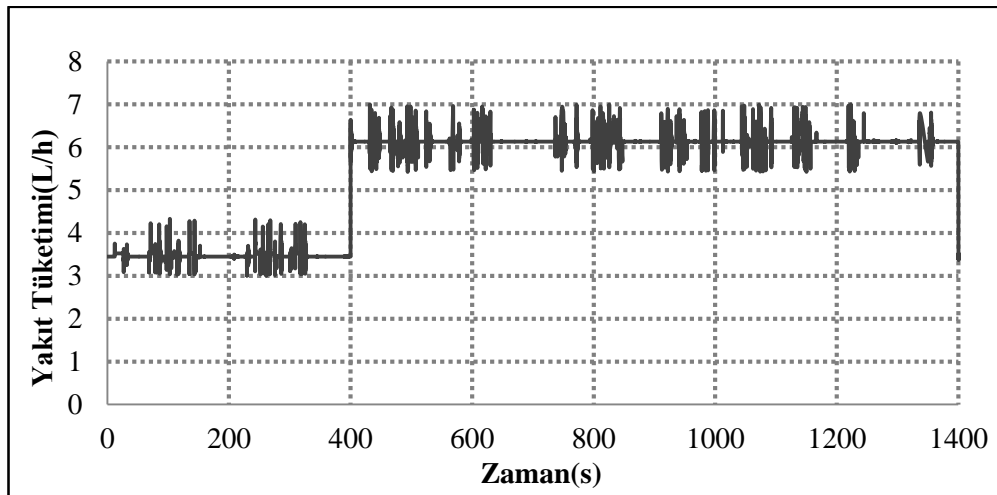
AVL Cruise simülasyonları için gerekli seyir çevrimi ve komponentlerin teknik özellikleri yazılıma girilmiştir. Oluşturulan araç modeli ile seyir çevriminde simülasyon yapılmıştır. Seri hibrit model için belirlenen kontrol algoritması, yazılımda Şekil 5.7.'de görülen "Vehicle Control Parameters" sekmesine girilmiş ve elektrik motorlarının devreye girmesi sürüş moduna göre kontrol edilmiştir. Seyir çevriminde belirtilen süpürme modunda fan, fırça ve su pompasını tahrik eden motorların devreye girmesi kontrol algoritmasına eklenmiştir. Yazılım transport modunda veya süpürme modunda hangi motorların devreye gireceğini, bu motorların ne kadarlık bir tork ihtiyacı olduğunu kontrol algoritmasına göre belirlemektedir. Devreye giren motorların tork ihtiyacına göre alternatörün ve içten yanmalı motorun yük durumu değişmektedir. Oluşturulan çevrim süresince içten yanmalı motorun

yakıt tüketimi, emisyon değerleri ve içten yanmalı motorun yük durumu (kW) grafiklerle verilmiştir.

| Time [s] | Fuel_Consumption (Mass Flow) [kg/h] | Fuel_Consumption (Volume flow) [l/h] |
|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 14.257 | 5,0875366054904 | 6,1295621752897 |
| 14.258 | 5,0874538727478 | 6,1294624972865 |
| 14.259 | 5,087529466483 | 6,1295535740759 |
| 14.260 | 5,0874603957298 | 6,1294703563009 |
| 14.261 | 5,0875235063692 | 6,1295463932159 |
| 14.262 | 5,087465841545 | 6,1294769175241 |
| 14.263 | 5,0875185304738 | 6,1295403981612 |
| 14.264 | 5,0874703880707 | 6,1294823952659 |
| 14.265 | 5,0875143762673 | 6,1295353930931 |
| 14.266 | 5,0874741838107 | 6,1294869684467 |
| 14.267 | 5,0875109080614 | 6,1295312145319 |
| 14.268 | 5,0874773527459 | 6,1294907864409 |
| 14.269 | 5,087508012573 | 6,1295277259916 |
| 14.270 | 5,0874799983821 | 6,1294939739543 |
| 14.271 | 5,0875055952293 | 6,1295248135293 |
| 14.272 | 5,0874892818486 | 6,1295051588538 |
| 14.273 | 5,087491400767 | 6,1295077117675 |
| 14.274 | 5,0874924224794 | 6,1295089427463 |
| 14.275 | 5,0874929151337 | 6,1295095363057 |
| 14.276 | 5,0874931526854 | 6,1295098225125 |
| 14.277 | 5,0874932672295 | 6,1295099605175 |
| 14.278 | 5,087493322461 | 6,1295100270614 |
| 14.279 | 5,0874933490928 | 6,129510059148 |
| 14.280 | 5,087493361934 | 6,1295100746192 |
| 14.281 | 5,0874933681258 | 6,1295100820793 |
| 14.282 | 5,0874933711114 | 6,1295100856764 |
| 14.283 | 5,0874933738935 | 6,1295100890283 |
| 14.284 | 2,49196235354 | 3,0023642813735 |
| 14.285 | 3,1612013671814 | 3,8086763460016 |

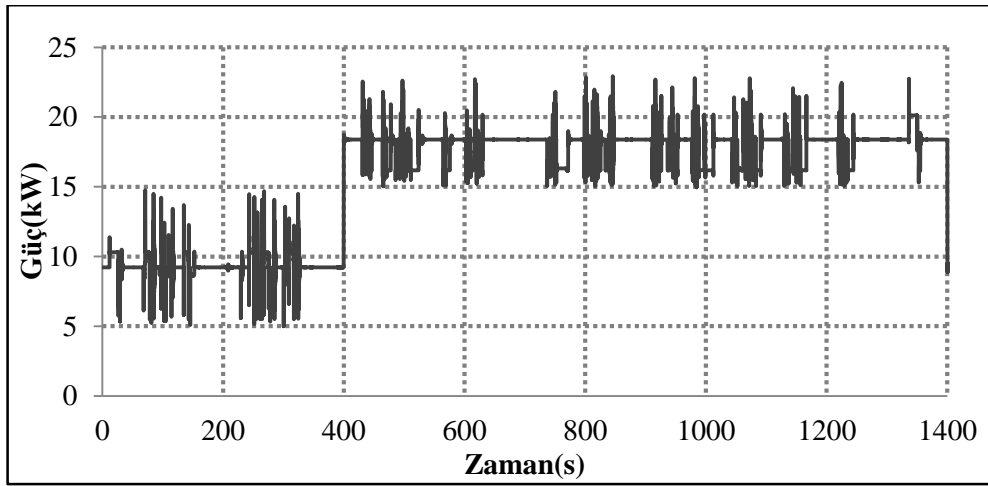
Şekil 5.9. Seri hibrit konfigürasyonda yakıt tüketimi için AVL Cruise değerleri

Şekil 5.9.'da AVL Cruise yazılımı ile yapılan simülasyon sonucunda, aracın seyir çevrimine bağlı yakıt tüketim değerleri (L/h) görülmektedir. Bu değerler export edilerek Şekil 5.10.'da verilen grafik oluşturulmuştur.



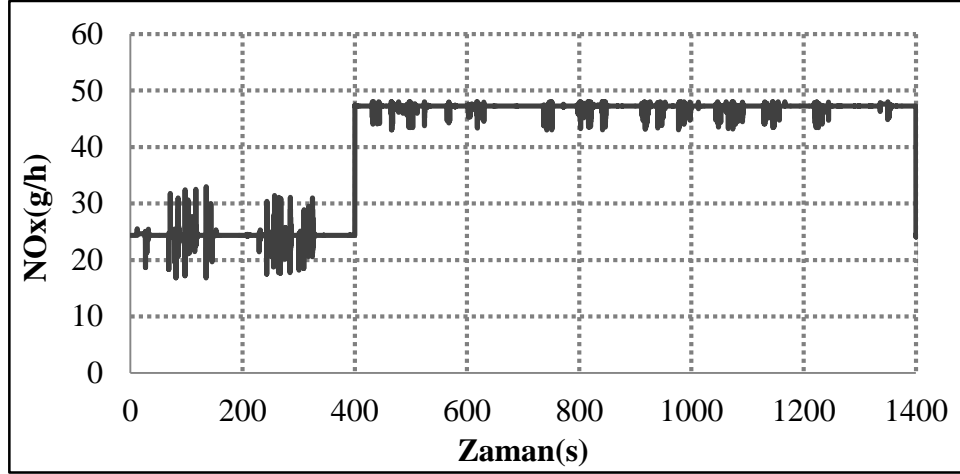
Şekil 5.10. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi

Şekil 5.10.'da AVL Cruise ile yapılan simülasyona göre aracın seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi görülmektedir. Grafikte 0-400s aralığı (transport modu) için 3,5 L/h dolaylarında yakıt tüketimi görülmektedir. Bu aralıktaki yakıt tüketiminin 400-1400s aralığına göre düşük olmasının sebebi, sadece aracı yürüten ana elektrik motorun devrede olmasıdır. Seyir çevrimi ve kontrol algoritmasına göre 400s'den itibaren süpürme modu başlamakta fan, fırça ve su pompası devreye girmektedir. Devreye giren elektrik motorlar ile alternatörden talep edilen güç ihtiyacı artmaktadır. Artan güç ihtiyacı ile içten yanmalı motorun yük değeri (kW) artmakta ve yakıt tüketimi 6 L/h dolaylarına çıkmaktadır.



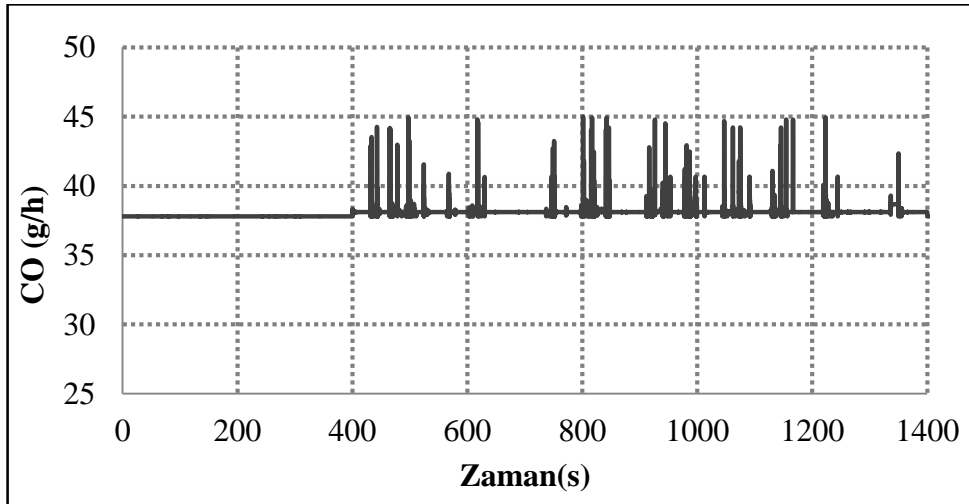
Şekil 5.11. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu

Şekil 5.11.'de İYM'nin seyir çevrimine bağlı yük (kW) durumu verilmiştir. 0-400s aralığında fan, fırça ve su pompası devrede olmadığı için İYM'den talep edilen güç ihtiyacı 5-15 kW aralığında seyretmektedir. Bu aralıkta güç ihtiyacının grafikteki gibi dalgalı olması seyir çevriminde oluşturulan dur-kalk ve frenlemelerden kaynaklanmaktadır. Araç sabit hızla hareket etmemekte, çevrimdeki dur-kalklar ve frenlemeler İYM'nin yük durumunu doğrudan etkilemektedir. Seyir çevriminde 400-1400s aralığında fan, fırça ve su pompasının devreye girmesi İYM'nin yük durumundaki artışın sebebidir.

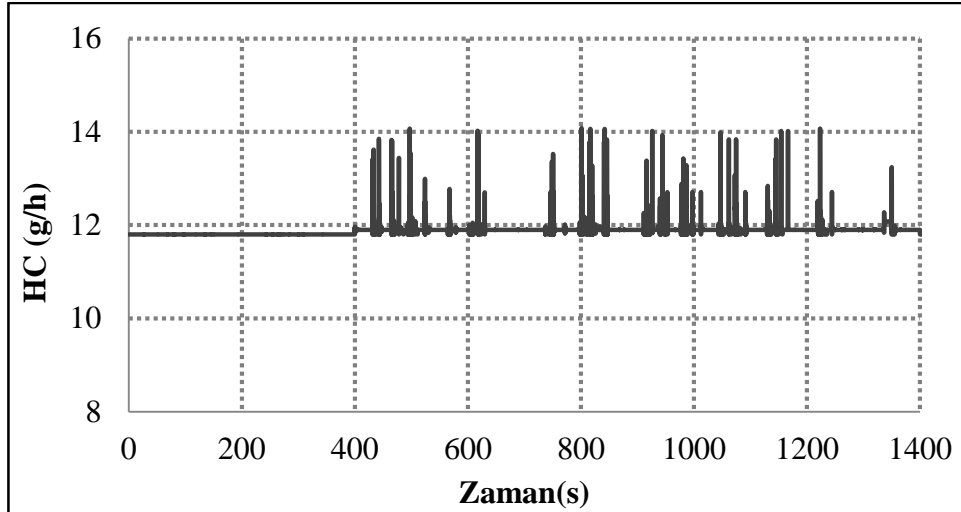


Şekil 5.12. Seri hibrit model için seyir çevrimine bağlı NOx değerleri

Şekil 5.12.'de ve Şekil 5.13.'de seri hibrit elektrikli yol süpürme aracı için seyir çevrimine bağlı İYM NOx ve CO salınım değerleri verilmiştir. Sonuçlar HEYSA'nın transport modunda 25 g/h, süpürme modunda ise 48 g/h civarlarında NOx salınımı olduğunu göstermektedir. Seyir çevrimi boyunca CO salınımı ise 38 g/h civarlarında seyrettiği görülmektedir.

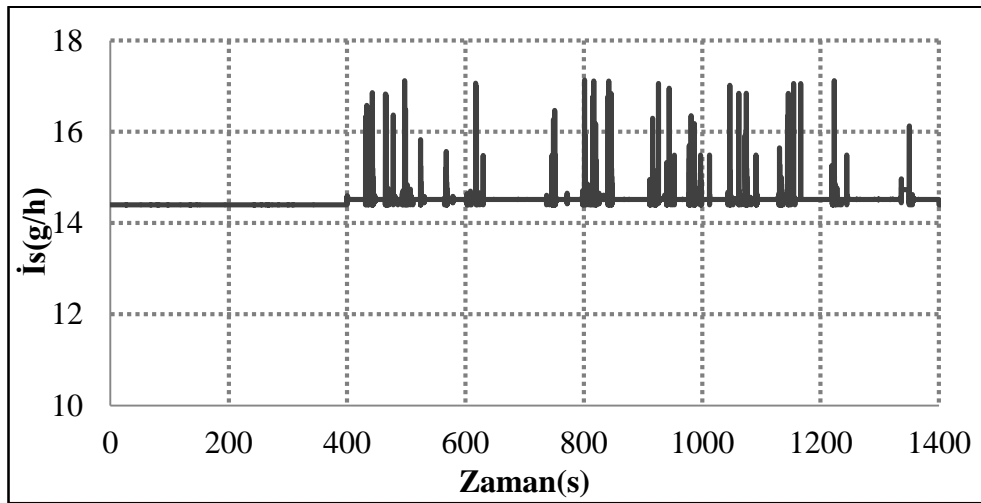


Şekil 5.13. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı CO değerleri



Şekil 5.14. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı HC değerleri

Şekil 5.14.'te ve Şekil 5.15.'de seri hibrit elektrikli yol süpürme aracının HC ve is salınım değerleri görülmektedir. Seyir çevrimi boyunca HC salınımı 12 g/h, is salınımı ise 15 g/h civarlarında seyretmektedir.



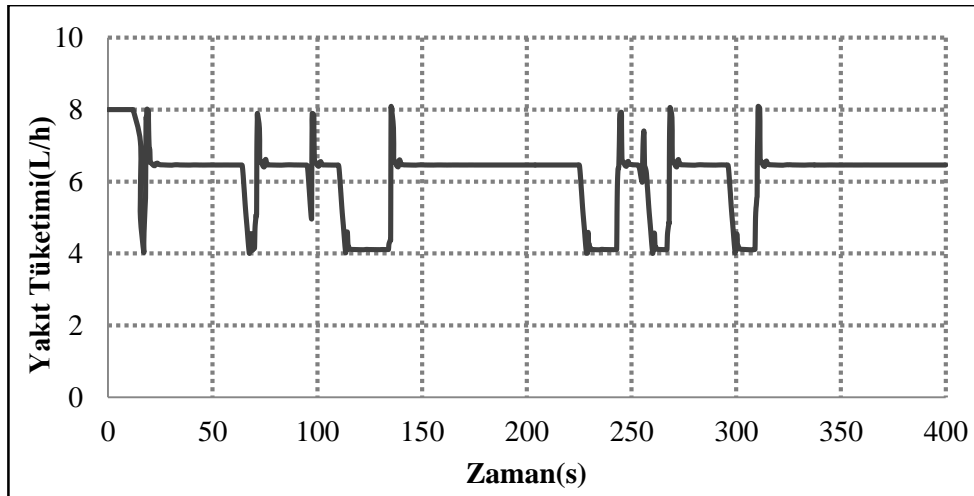
Şekil 5.15. Seri hibrit mod için seyir çevrimine bağlı is değerleri

HEYSA için NOX, CO, HC ve is salınımları grafiklerle verilmiştir. Seyir çevrimi ve araç kontrol algoritması göz önüne alındığında 0-400s aralığında emisyon değerlerinin düşük olması içten yanmalı motorun verimli bölgede çalıştırılmasının sonucudur. 400-1400s aralığında, araç süpürme modunda olduğu için içten yanmalı motordan fan, fırçalar ve su pompası için ilave güç sağlanmaktadır. Bu durum, bu

aralıkta yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini doğrudan etkilemektedir. Grafiklerde görülen dalgalanmalar seyir çevrimindeki dur-kalk ve frenlemelerin sonucudur.

5.3.2.2. Paralel hibrit elektrikli mod için AVL Cruise sonuçları

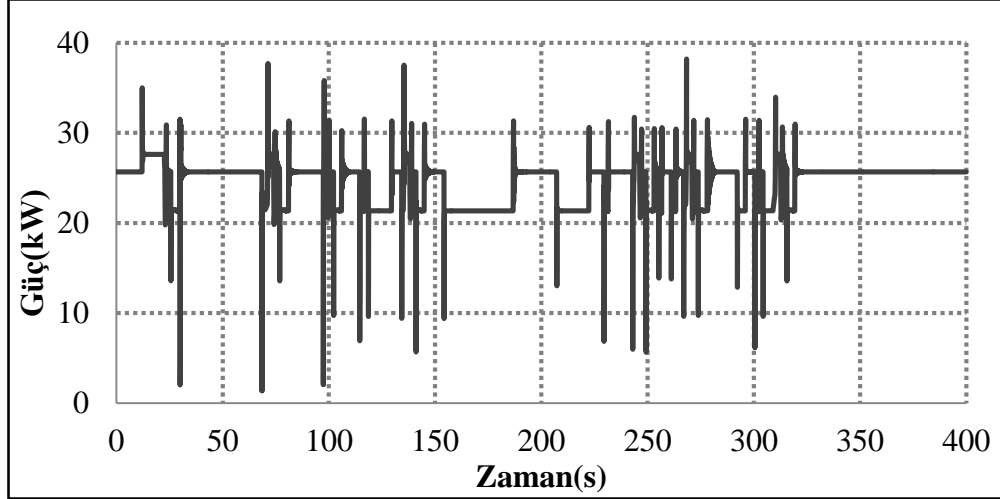
Paralel hibrit elektrikli yol süpürme araç modeli için seri hibrit konfigürasyona ek olarak yazılıma güç ayırma ünitesi eklenmiş ve aracın İYM veya AC motor ile tahrik edilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan seyir çevrimi ile aracın çevrimde transport modu veya süpürme modu aralıklarında nasıl tahrik edileceği belirlenmiştir. Oluşturulan kontrol algoritması aracın transport modunda İYM ile tahrik edilmesi, süpürme modunda ise İYM-alternatör seti ile elektrik motorlarına elektriksel güç sağlanması şeklinde tanımlanmıştır. Paralel hibrit modelde seri modelden farklı olarak araç transport modunda İYM ile tahrik edilmiş ve bu model için yakıt tüketimi, emisyon değerleri ve İYM yük durumu (kW) incelenmiştir.



Şekil 5.16. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi

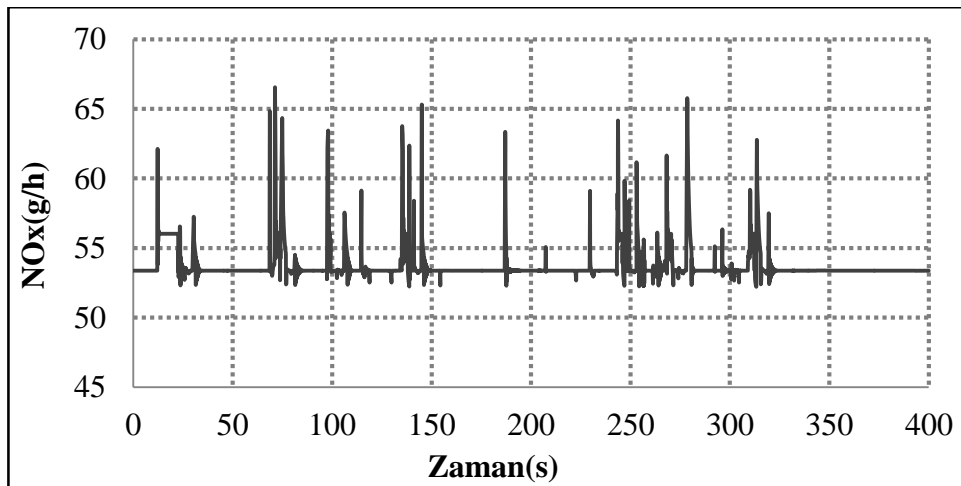
Şekil 5.16.'da AVL Cruise ile paralel hibrit elektrikli model için yapılan simülasyon sonucu görülmektedir. Grafik, AVL sonuç ekranında verilen değerlerin export edilip grafik haline getirilmesiyle oluşturulmuştur. Paralel hibrit model için tanımlanan araç kontrol algoritmasına göre, çevrimin 0-400s aralığında güç ayırma ünitesi ile araç doğrudan İYM ile tahrik edildiği için grafikte 0-400s aralığı verilmiştir. Çevrime göre 400-1400s aralığı seri hibrit modelde olduğu gibi doğrudan İYM-alternatör seti

ile tahrik edilmektedir. Dolayısıyla bu aralıkta bütün değerler seri hibrit konfigürasyonla aynı değerlerdedir.



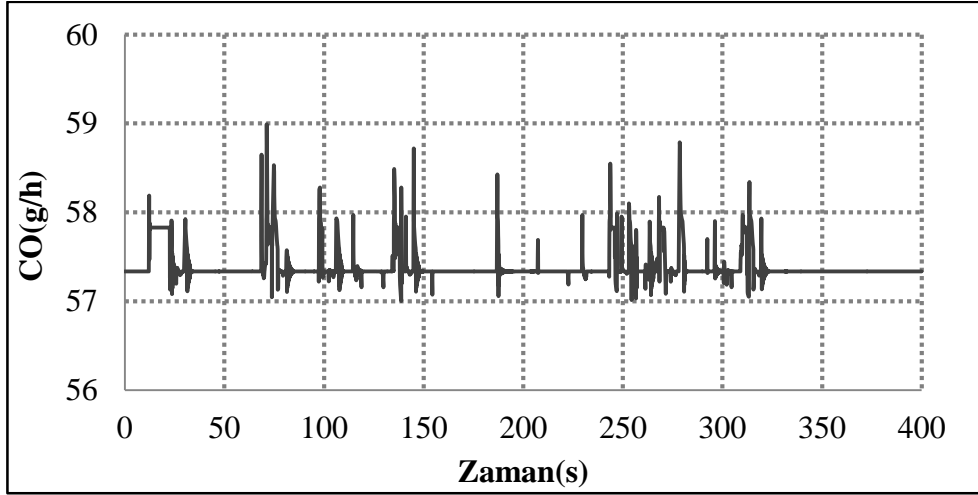
Şekil 5.17. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu

Şekil 5.17.'de AVL Cruise ile yapılan paralel hibrit elektrikli yol süpürme modeli için seyir çevrimine bağlı olarak içten yanmalı motorun yüklenme (kW) durumu görülmektedir. Grafikteki güç değerlerindeki dalgalanmalar seyir çevrimindeki dur-kalk ve frenlemelerin sonucudur. Şekil 5.16.'da görülen yakıt tüketim değerlerindeki dalgalanmalar da içten yanmalı motorun yüklenme durumuyla doğrudan ilişkilidir.

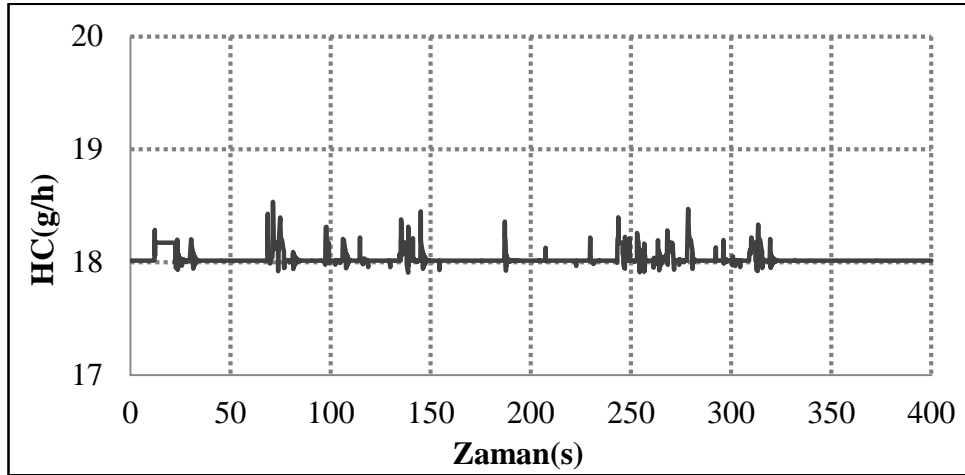


Şekil 5.18. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı NOx değerleri

Şekil 5.18.'de ve Şekil 5.19.'da paralel hibrit elektrikli yol süpürme aracının seyir çevrimine bağlı İYM NOx ve CO salınım değerleri verilmiştir. Sonuçlara göre NOx değerleri 52 g/h, CO değerleri 58 g/h değerlerinde seyretmektedir.

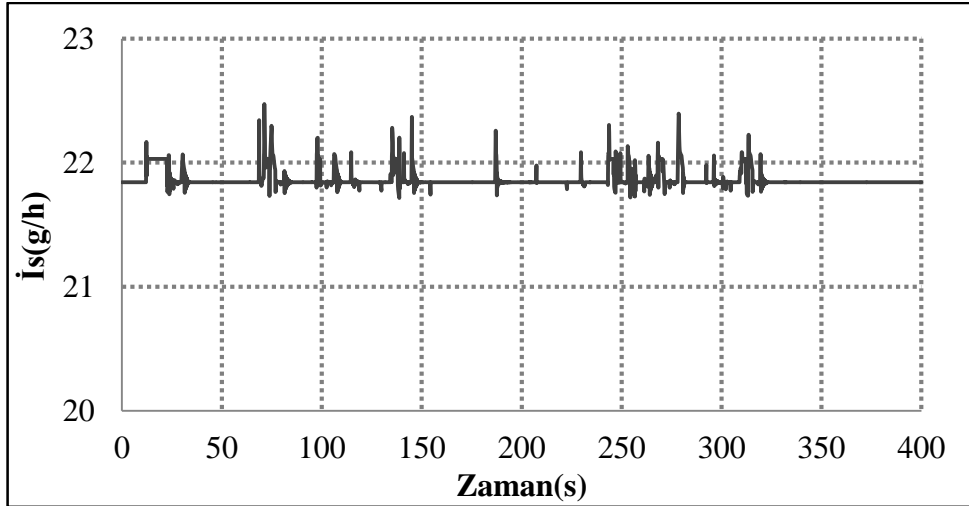


Şekil 5.19. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı CO değerleri



Şekil 5.20. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı HC değerleri

Şekil 5.20.'de ve Şekil 5.21.'de paralel hibrit elektrikli yol süpürme aracının HC ve is salınım değerleri görülmektedir. Seyir çevrimi boyunca HC salınımı 12 g/h, is salınımı ise 15 g/h civarlarında seyretmektedir.

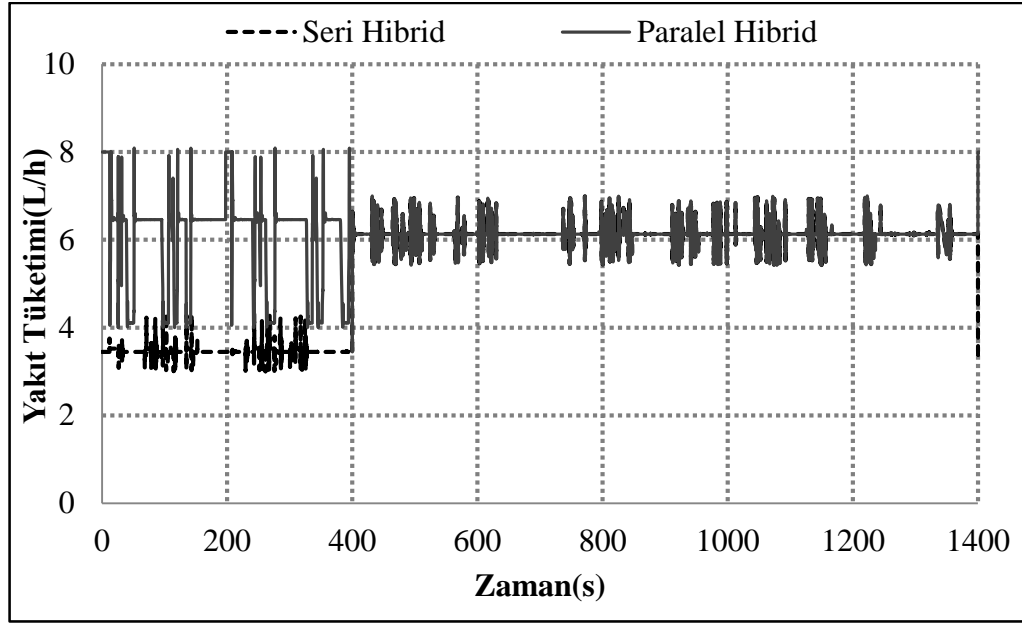


Şekil 5.21. Paralel hibrit mod için seyir çevrimine bağlı is değerleri

Şekil 5.18.'de, Şekil 5.19.'da, Şekil 5.21'de. ve Şekil 5.22.'de sırasıyla paralel hibrit elektrikli yol süpürme aracı için içten yanmalı motorun NOX, CO, HC ve is salınımları görülmektedir. Seyir çevriminin 0-400s aralığı için araç kontrol algoritmasına göre paralel hibrit modelin İYM emisyon salınım değerleri verilmiştir. Bu aralıkta fan, fırçalar ve su pompası devrede olmayıp araç transport modunda olduğu için aracı sadece İYM tahrik etmektedir. Ana elektrik motorunun tahrike bir katkısı olmadığı ve diğer motorların devrede olmadığı göz önüne alınırsa, aracın bu aralıkta konvansiyonel tahrik sistemine sahip olduğu düşünülebilir.

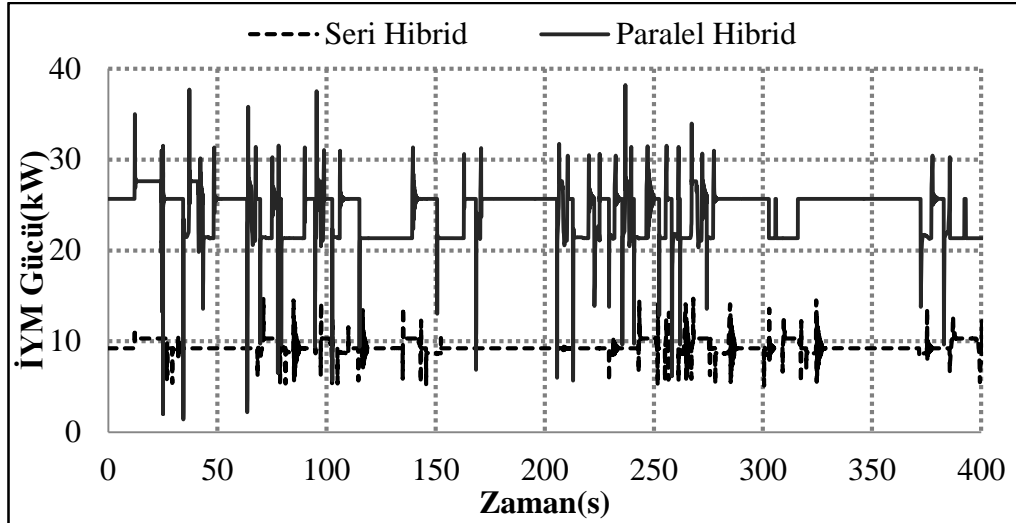
5.4. Seri ve Paralel Hibrit Mod İçin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Seri ve paralel hibrit yol süpürme araç modelleri için yapılan AVL Cruise simülasyon sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Seyir çevrimi ve aracın kontrol algoritmasına göre aracın çevrim süresince ne zaman ve nasıl tahrik edileceği, hangi motorların devrede olacağı bu bölüme kadar tanımlanmıştır. Bu bölüme kadar seri ve paralel hibrit konfigürasyonlar için yakıt tüketim değerleri, emisyon değerleri ve İYM yük durumu (kW) ayrı ayrı sunulmuştur. Bu bölümde seri ve paralel model için sonuçlar aynı grafiklerde verilerek ve sonuçlar incelenecektir.



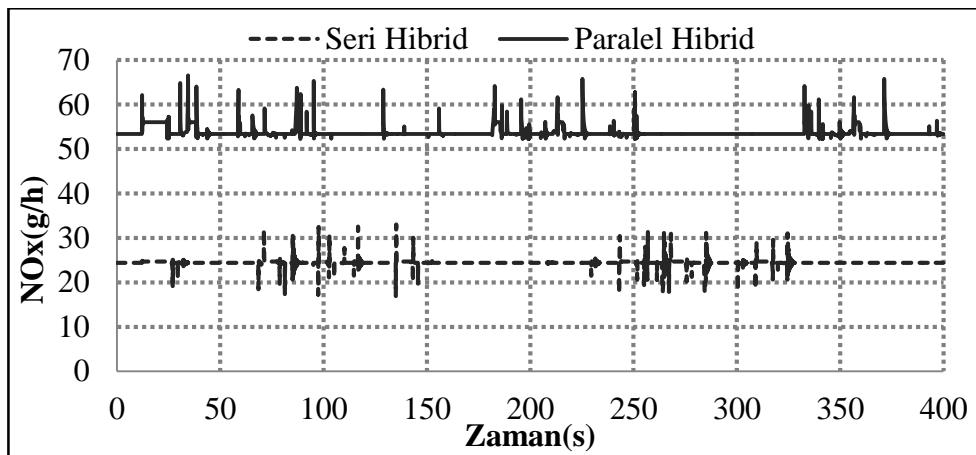
Şekil 5.22. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketimi

Şekil 5.22.'de hibrit elektrikli yol süpürme aracı için seyir çevrimine bağlı yakıt tüketim değerleri verilmiştir. Seyir çevrimi ve araç kontrol algoritmasına göre 0-400s aralığında araç seri hibrit modeli için AC motor, paralel hibrit modeli için İYM ile tahrik edilmiştir. Seri hibrit modelde İYM-alternatör seti jeneratör modunda çalıştırılmıştır. İYM sabit devirde (rpm) verimli bölgede çalıştırılmış, araç AC motor ile tahrik edilmiştir. Seri hibrit model için yakıt tüketim değerleri 3,5 L/h saat civarlarında seyrederken, paralel hibrit model için 6,5 L/h civarlarında seyrettiği görülmektedir. Bu aralıkta paralel hibrit mod için güç ayırma ünitesi ile araç doğrudan İYM ile tahrik edilmiş olup konvansiyonel tahrik sistemi gibi çalıştırılmıştır. Paralel hibrit modelde ise İYM'nin devir aralığı (rpm) seyir çevriminde oluşturulan hız (km/h) profiline göre değişkenlik göstermektedir. Motor devrindeki dalgalanmaların yakıt tüketim değerlerini doğrudan etkilediği grafikte görülmektedir.



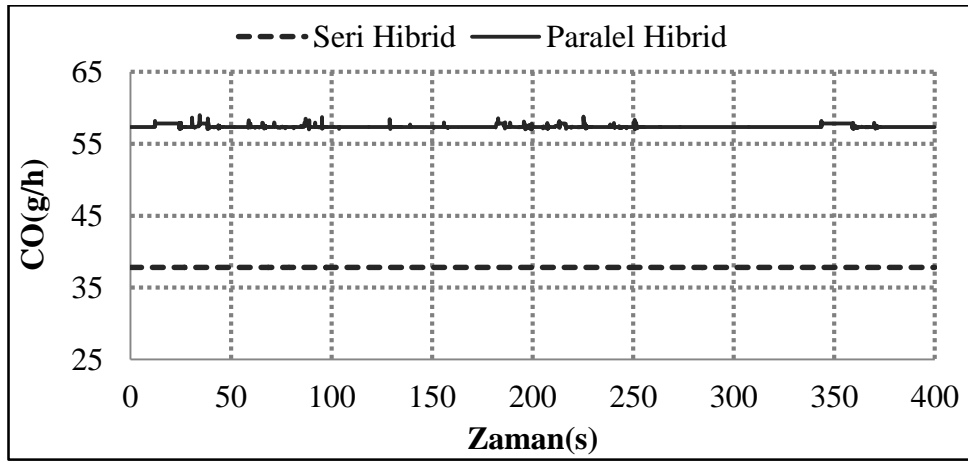
Şekil 5.23. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM yük durumu

Şekil 5.23.'te AVL Cruise ile simülasyonları yapılan yol süpürme aracının seyir çevrimine bağlı içten yanmalı motor yük durumları görülmektedir. Şekil 5.22'de seri ve paralel hibrit mod için verilen yakıt tüketim değerlerindeki farklılıklar içten yanmalı motorun yük durumuyla ve devir sayısı (rpm) ile doğrudan bağlantılıdır. Grafikte seri hibrit mod için içten yanmalı motor yükünün daha düşük değerlerde olması, bu aralıkta aracın doğrudan elektrik motor ile tahrik edilmesinin sonucudur. Elektrikli motorların düşük devirlerdeki tork değerlerinin ve tork aralığının içten yanmalı motorlara göre daha yüksek olması grafikteki içten yanmalı motor yük durumundaki farklılığı açıklamaktadır.



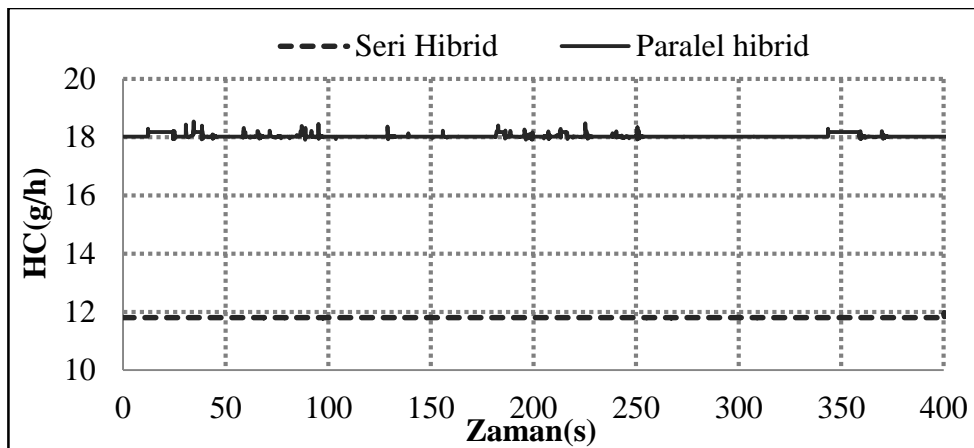
Şekil 5.24. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM NOx salınımı

Yapılan simülasyonlara göre, HEYSA'nın seri ve paralel hibrit modelleri için oluşturulan seyir çevrimine bağlı NOx salınım değerleri Şekil 5.24. ile verilmiştir. Grafik seri hibrit model için NOx değerlerinin 25 g/h civarlarında seyrettiğini gösterirken, paralel hibrit model için 52 g/h civarlarında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak seri hibrit mod için NOx değerlerinin %52 daha az olduğu görülmektedir.



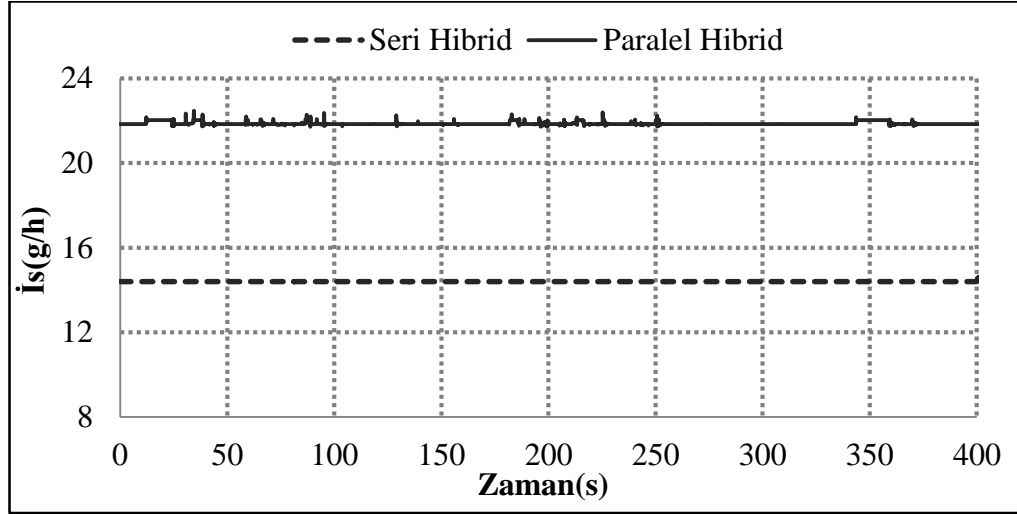
Şekil 5.25. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM CO salınımı

Şekil 5.25.'de HEYSA için CO salınım değerleri verilmiştir. Simülasyonlar seri hibrit mod için 38 g/h CO salınım değerini göstermekteyken, paralel hibrit mod için 58 g/h değerini göstermektedir. Buradan seri hibrit modelde, paralel hibrit modele göre %34 daha az CO salınımı görülmektedir.



Şekil 5.26. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM HC salınımı

Şekil 5.26.'da HEYSA'nın seri ve paralel hibrit modelleri için oluşturulan seyir çevrimine bağlı HC salınım değerleri verilmiştir. Seri hibrit model için HC değerleri 12 g/h civarlarında seyrederken, paralel hibrit için 18 g/h civarlarında seyretmektedir. Simulasyon sonuçlarına göre, seri hibrit model için HC salınımı paralel hibrit modele göre %33 daha azdır.



Şekil 5.27. Seri ve paralel hibrit için seyir çevrimine bağlı İYM is salınımı

Şekil 5.27.'de HEYSA'nın seri ve paralel hibrit model için seyir çevrimine bağlı is salınım verilmiştir. Seri hibrit model için is salınımı 15 g/h civarlarında seyrederken, paralel hibrit için 22 g/h civarlarında seyretmektedir. Sonuçlar seri hibrit model için is salınımının paralel hibrit modele göre %31 daha az olduğunu göstermektedir.

HEYSA için seyir çevrimine bağlı, seri ve paralel mod emisyon karşılaştırmaları grafiklerle verilmiştir. Grafiklerde seri hibrit model için emisyon değerlerinin paralel hibrit modele göre daha az düşük değerlerde olması, seri hibrit modelde içten yanmalı motorun sabit devir aralığında ve verimli bölgede çalıştırılmasının sonucudur. İçten yanmalı motorun verimli bölgede çalıştırılması ile yanma sonucu oluşan emisyon değerlerinde ve yakıt tüketim değerlerinde iyileşmelerin olduğu AVL Cruise simülasyonları ile gösterilmiştir.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada mevcut yol ve kaldırım süpürme araçlarının, AVL Cruise yazılımı ile hibrit elektrikli bir araca dönüştürülmesi ve aracın seri ve paralel hibrit durumları incelenmiştir. Aracın seri ve paralel hibrit elektrikli modelleri için AVL Cruise yazılımında ayrı ayrı simülasyonlar yapılmıştır. Önceki bölümlerde sunulan, ana aktarma elemanlarına (İYM, alternatör, elektrik motoru) ait teknik özellikler yazılıma aktarılmıştır. Oluşturulan araç modeli ayrıca Solidworks ile üç boyutlu desteklenmiş ve ana aktarma elemanlarının üç boyutlu modelleri verilmiştir.

Mevcut seyir çevrimlerinin hız ve işlevsellik açısından yol süpürme araçlarına uygun olmaması sebebiyle, AVL Cruise ile yol ve kaldırım süpürme araçlarının günlük çalışma koşullarına uygun bir seyir çevrimi oluşturulmuştur. Bu araçlarda süpürme yapmadan bir lokasyondan başka bir lokasyona hareket hızı 20-30 km/h aralığında değişmektedir. Aracın süpürme hızı ise 7-10 km/h aralığında değişmektedir.

Oluşturulan seyir çevriminde aracın seri ve paralel hibrit modelleri analiz edilmiş ve sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Grafiklerde yakıt tüketim değerleri incelendiğinde transport modunda yani süpürmenin olmadığı aralıklarda seri hibrit için 3,5 L/h, paralel hibrit için 6,5 L/h yakıt tüketimi görülmektedir. AVL Cruise'dan alınan değerlere göre, seri hibrit aracın aynı çevrimde paralel hibrit modelden 3 L/h daha az yakıt tükettiği görülmektedir. Bu değer seri hibrit aracın paralel hibritle göre yaklaşık %46 daha az yakıt tükettiğini göstermektedir. Seyir çevriminin 400-1400s aralığı süpürme modu olup, bu aralıkta İYM-alternatör seti jenaratör gibi çalışmakta, araçtaki tüm elektrik motorlarını tahrik etmektedir. Bu aralıktaki simülasyon sonuçları içten yanmalı motorun yakıt tüketimini 6 L/h olarak göstermektedir.

Süpürme motorları, vakum motoru, su pompası ve ana AC motor bu aralıkta devrede olup seri hibrit elektrikli konfigürasyon geçerlidir. Süpürmenin olmadığı seri hibrit durum için yakıt tüketimi 3,5 L/h iken süpürme durumunda devreye giren elektrik motorları ile yakıt tüketimi 6 L/h değerine yükselmektedir.

İncelenen güç ve yakıt tüketim parametrelerine ek olarak simülasyonlar ile elde edilen emisyon değerleri grafiklerle verilmiştir. Simulasyonlar seri hibrit için 25 g/h NO_x, 38 g/h CO, 12 g/h HC ve 15 g/h is değerlerini gösterirken, paralel hibrit için 52 g/h NO_x, 58 g/h CO, 18 g/h HC ve 22 g/h is değerlerini göstermektedir. Sonuçlar seri hibrit model için NO_x, CO, HC ve is emisyon değerlerinde, sırasıyla %52, %34, %33 ve %31 iyileşme olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasından elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir;

- Bu çalışma ile hibrit elektrikli araç dönüşümlerinin, bir yol ve kaldırım süpürme aracına uygulanabileceği AVL Cruise simülasyonları ve Solidworks yardımı ile elde edilen üç boyutlu modellerle gösterilmiştir. Aracın blok diyagramları oluşturulmuş ve ana aktarma organları tanımlanmıştır.
- Bu çalışmada yol ve kaldırım süpürme araçlarının çalışma koşullarına uygun bir seyir çevrimi oluşturulmuş ve simülasyonlar bu çevrimde yapılmıştır.
- İş makinelerinde yaygınlaşan hidrostatik tahrik sistemlerinin (hidrolik pompa-hidromotor) yerine, elektrik destekli tahrik sistemlerinin kullanılabilmesi gösterilmiştir.
- AVL Cruise ile tasarlanan yol ve kaldırım süpürme araç modeli için seri ve paralel hibrit konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Aracın seri ve paralel hibrit çalışma koşullarına göre içten yanmalı motorun gücü, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Seri hibrit modelde yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin daha iyi olduğu grafiklerle gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Bilirođlu, A. Ö., Seri Hibrit Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Pg: 1-5, 13-20, 2009.
- [2] Amaç, A. E., Şahin, C., Hibrit Elektrikli Araçlarda Yakıt Ekonomisinin ADVISOR İle Analizi, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İzmit Pg: 119-123.
- [3] Suvak, H, Erşan K, Gerçek Zamanlı Hibrit Araç Tasarımı ve Simülasyonu, Karabük Üniversitesi, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği, Pg: 1-6, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi BURSA, Mayıs 2014.
- [4] Amaç, A. E., Şahin, Y. G., Aras, F., Analysis and Simulation of Automotive Electrical System with ADVISOR, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İzmit Pg: 1-6.
- [5] Gökçe, C., Üstün, Ö., Yılmaz, M., Tuncay, R. N., Modeling and Simulation of A Serial –Paralel Hybrid Electrical Vehicle, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Pg:1-5.
- [6] Çınar, M. A., Gündođan, Ç., Kuyumcu, F. E., Elektrik Tahrikli Taşıtlar İçin Çekiş Kontrol Sistemi Simulasyonu, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Pg:1-4 İzmit/KOCAELİ.
- [7] Boyalı, A., Güven, L., Hibrit Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kural Tabanlı Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, Pg:84-93 Ayazađa/İSTANBUL, Nisan-2010.
- [8] Dobri, C., Goce, S., Vasilija, S., Configurations of Hybrid-Electric Cars Propulsion Systems, Faculty of Electrical Engineering, University of Goce Delcev, Republic of Macedonia.
- [9] Gao, W. D., Mi, C., Emadi, A., Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles, University of Michigan, April 2007.
- [10] Markel, T., Wipke, K., Modeling Grid-Connected Hybrid Electric Vehicles Using ADVISOR, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Blvd, Golden, CO 80401.

- [11] Xiong, W., Zhang, Y., Yin, C., Optimal energy management for a series-parallel hybrid electric bus, Institute of Automotive Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Room 308, 800 Dongchuan Road, Shanghai 200240, PR China.
- [12] Taymaz, I., Benli, M., Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle, Department of Mechanical Engineering, University of Sakarya, 54187 Adapazari, Turkey
- [13] Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprik, S., Wipke, K., ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401, USA.
- [14] Chase, N., Averill, R.C., Optimization of a Hybrid Electric Bus, Michigan State University, Red Cedar Technology, Inc.
- [15] Xu, C., Niu, J., Pei, F., Design and Simulation of the Power train System for an Electric Vehicle, School of Mechanical & Electrical Engineering, Zhengzhou Huaxin College, Zhengzhou 451150, China, College of Automotive Engineering Tongji University (Jiading Campus), 4800 Caoan Road Shanghai 201804, China.
- [16] Peng, Y., Shang, M., Zeng, X., Song, D., Zhu, Q., Bai, G., Zhang, C., Control Strategy of Four-wheel Drive Plug-in Hybrid Electric Vehicle, College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun, China, Zhengzhou yutong bus co. LTD, Zhengzhou, China, Associate professor, State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun, China, Qiming Information Technology CO., LTD, Changchun, China.
- [17] Du, F., Guan, Z. W., Liu, C. H., Wan, Y. S., Matching Research Between Engine and Transmission of Vehicle Based on AVL-Cruise, School of Automobile and Transportation Tianjin University of Technology and Education Tianjin, China, Collage of mechanical engineering, Tianjin University of Technology and Education Tianjin, China.
- [18] Ma, K., Chu, L., Liang, Y., Wang, Y., Study on Control Strategy for Regenerative Braking in a Pure Electric Vehicle, State Key Laboratory of Automobile Simulation and Control, Jilin University, Changchun, China.
- [19] Jianguo, X., Zhili, Z., Yan, L., The simulation study of vehicle Hydro Mechanical continuously variable transmission test based on AVL CRUISE, School of Mechanical and Precision Instrument Engineering Xi’an University of Technology Xian, China, Vehicle and Transportation College Henan University of Science and Technology Luoyang, China.

- [20] Wahono, B., Santoso, W. B., Nur, A., Amin., Analysis of range extender electric vehicle performance using vehicle simulator, Research Centre for Electrical Power & Mechatronics, Indonesian Institute of Sciences Komp LIPI Jl Cisit 21/54D, Gd 20, Bandung 40135, Indonesia.
- [21] Briggs, I., Murtagh, M., Kee, R., Mcclough, G., Douglas, R., Sustainable non automotive vehicles: The simulation challenges, School of Mechanical & Aerospace Engineering, Queen's University Belfast, BT9 5AH, United Kingdom.
- [22] Hassan, A., Mushtaq, Z., Rehman, A., Performance Analysis of Drive Train Configurations using ADVISOR, Electrical Engineering GCU Lahore, Electrical Engineering, GCU Lahore, Computer Science BIT China, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), Issue 1, Volume 2, January 2015.
- [23] Same, A., Stipe, A., Grossman, D., Park, J. W., A study on optimization of hybrid drive train using Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR), Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of California, Davis, One Shields Ave, Davis, CA 95616, United States.
- [24] Wipke, K. B., Cuddy, M. R., Using an Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) to Guide Hybrid Vehicle Propulsion System Development, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
- [25] Johnson, V. H., Battery performance models in ADVISOR, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401, USA.
- [26] Brown, D., Alexandar M, Brunner D, Advani S.G, Prasad A.K, Drive-train simulator for a fuel cell hybrid vehicle, Fuel Cell Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA 94304, USA.
- [27] Lajunen, A., Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses, Aalto University, School of Engineering, Puumiehenkuja 5a, 02150 Espoo, Finland.
- [28] Montazeri-GH, M., Mahmoodi-k, M., Development a new power management strategy for power split hybrid electric vehicles, Systems Simulation and Control Laboratory, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, P.O. Box 16846-13114, Iran.
- [29] Negoro, A. B., Purwadi, A., Performance Analysis on Power Train Drive System of the 2012 Toyota Camry Hybrid, Electrical Power Engineering, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40123, Indonesia.

- [30] Wipke, K.B., Cuddy, R.M., Burch, S.D., ADVISOR 2.1: A User-Friendly Advanced Powertrain Simulation Using a Combined Backward/Forward Approach, *Ieee Transsaction On Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 6, November 1999.
- [31] Montazeri-GH, M., Mahmoodi-k, M., An optimal energy management development for various configuration of plug-in and hybrid electric vehicle, *Systems Simulation and Control Laboratory, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, P.O. Box 16846-13114, Iran.*
- [32] Kutrašnik, T.K., Trenc, F., Oprešnik, S.R., Analysis of Energy Conversion Efficiency in Parallel and Series Hybrid Powertrains, *Ieee Transsaction On Vehicular Technology*, Vol. 56, No. 6, November 2007.
- [33] Li, X., Williamson, S. S., Comparative Investigation of Series and Parallel Hybrid Electric Vehicle (HEV) Efficiencies Based on Comprehensive Parametric Analysis, P. D. Ziogas Power Electronics Laboratory Department of Electrical and Computer Engineering Concordia University 1455 de Maisonneuve Blvd. W. Montreal, Quebec H3G 1M8, Canada.
- [34] Zeng, X., Peng, Y., Song, D., Powertrain Parameter Matching of A Plug-In Hybrid Electric Vehicle, *State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun, Jilin 130000, China.*
- [35] Hui, X., Yunbo, D., The Study of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Power Management Strategy Simulation, *Tianjin University State Key Lab of Engines, Tianjin, Peoples R China, 2008.*
- [36] Salisa, A. R., Zhang, N., Zhu, J. G., A Comparative Analysis of Fuel Economy and Emissions Between a Conventional HEV and the UTS PHEV, January 2011.
- [37] Khanipour, A., Ebrahimi K. M., Seale W. J., Conventional Design and Simulation of an Urban Hybrid Bus, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol:1, No:4, 2007.
- [38] Fu, X., Wang, H., Cui, N., Zhang, C., Energy Management Strategy Based on the Driving Cycle Model for Plugin Hybrid Electric Vehicles, *School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, China, 5 June 2014.*
- [39] Zhou, Y., Ou, S., Lian, J., Li, L., Optimization of Hybrid Electric Bus Driving System's Control Strategy, *School of Automotive Engineering, Faculty of Vehicle Engineering and Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian, 116024, PR China.*

- [40] Suh, B., Frank, A., Chung, Y.J., Lee, E.Y., Chang, Y. H., Han, S.B., Powertrain System Optimization For A Heavy-Duty Hybrid Electric Bus, Department of Mechanical & Aeronautical Engineering, University of California Davis, Davis, CA 95616, USA, 4 November 2009.
- [41] Pangaribuan, K.A., Purwadi, A., Performance Analysis on EV Mode of the 2012 Toyota Hybrid, Electrical Power Engineering, School of Electrical Engineering & Informatics- Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeca 10, Bandung, 40132.
- [42] Yu, K., Yang, H., Kawabe, T., Tan, X, Model predictive control of a power-split hybrid electric vehicle system with slope preview, 7 November 2015.
- [43] Feroldi, D., Roig, E., Serra, M., Riera, J., Energy Management Strategies For Fuel Cell-Hybrid Vehicles, Institut de Robòtica i Informàtica Industrial (IRI), Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Llorens i Artigas, 4-6, Planta 2, 08028, Barcelona.
- [44] Fu, Z., Xiao, J, Gao A, Research on Energy Management and Optimization for PHEV, Electronic & Information Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, P. R. China.
- [45] Bin, Z., Pin, F., Guoqing X, Simulation of Hybrid Electric Truck and Plug-in Hybrid Electric Truck Based on ADVISOR, Department of automobile electric center, Shenzhen institute of advanced technology, Shenzhen, Guangdong Province, China, College of Machine and Automobile Engineer University of Hunan Changsha, Hunan Province, China.
- [46] Li, Q., Chen, W., Li, Y., Liu, S., Huang, J., Energy management strategy for fuel cell/battery/ultracapacitor hybrid vehicle based on fuzzy logic, School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan Province, China, 2012.
- [47] Li, Y., Yi, P., Wang, M., Investigation to Simulation of Control Strategy for Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle, Clean Energy Automotive Engineering Center Tongji University Shanghai, China.
- [48] Li, X., Lu, X., Han, G., The Design and Simulation Research of Mazda6 Hybrid Electric Vehicle, Chang'an University, College of Automotive Engineering.
- [49] Zang, Y., Lin, H., Zang, B., Mi, C., Performance Modeling and Optimization of a Novel Multi-mode Hybrid Powertrain, Department of Mechanical Engineering, University of Michigan-Dearborn, Dearborn, MI 48128, Assistant Professor Department of Electrical and Computer Engineering, University of Michigan-Dearborn, Dearborn, MI 48128.

- [50] Holder, C., Gover, J., Optimizing the Hybridization Factor for a Parallel Hybrid Electric Small Car, IEEE Fellow, Kettering University, 1700 West Third Ave, Flint, MI 48504.
- [51] Koç, C., Hibrit Araçlarda Değişik Parametrelere Göre Elektrik Motoru Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Pg: 13-15, İstanbul, 2012.
- [52] Ergenekon, E., Hibrit Arazi Taşıt Tasarımı ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Pg: 13- 14, Ocak 2012.
- [53] Alkan, G., Şehir İçi Tipte Bir Otobüsün Hibrit Dönüşümünün Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Otomotiv Programı, Pg:23-39, Haziran 2008.
- [54] Ertaç, Y., Elektrikli Taşıtların Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Pg:47-51 Ankara , Ekim 2008.
- [55] AVL Product Description Cruise, AVL – Advanced Simulation Technologies 2009 AVL List GmbH Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Austria.
- [56] Tat, E. M., Özenç, F., Otobomobil Lastiklerinde Yuvarlanma Direncine Etkiyen Faktörlerin ve Standart Yuvarlanma Direnci Ölçüm Tekniklerinin İncelenmesi, Osman Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Pg:17-21.
- [57] <http://www.tkscientist.8m.com/23yok.htm>, Erişim Tarihi: 22.08.2016.
- [58] Otlu, S., İçten Yanmalı Motorlu Bir Taşıtın Basit Bir Hibrit Elektrikli Araca Dönüşümü İçin Bir Model, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2010.
- [59] Çetin, S., Seyir Çevrimlerinin Oluşturulmasında Yokuş Direnci Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Pg:22-23, Ocak 2012.
- [60] Nyberg, P., Evaluation, Transformation, and Extraction of Driving Cycles and Vehicle Operations, Linköping studies in science and technology, Licentiate Thesis. No. 1596.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan Canbolat, 20.08.1990'da Ermenek'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Alanya'da tamamladı. 2008 yılında Alanya Hasan Çolak Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'den 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Enerji Anabilim dalında yüksek lisans yapmaya başladı ve 2016 yılında mezun oldu. 2013 – 2016 yılları arasında hibrit elektrikli bir aracın geliştirilmesi üzerine bir Tübitak projesinde Makine Mühendisi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde projenin AR-GE, tasarım, imalat ve montaj bölümlerinde aktif rol aldı.