

**ELEKTRİKLİ ARAÇTA MENZİL ARTIRICI MOTOR
UYGULAMASI VE ENERJİ YÖNETİMİNİN SİNİRSEL
AĞLAR İLE TAHMİN EDİLMESİ**

Erkan TÜRKER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇTA MENZİL ARTIRICI MOTOR UYGULAMASI VE
ENERJİ YÖNETİMİNİN SİNİRSEL AĞLAR İLE TAHMİN EDİLMESİ**

Erkan TÜRKER
0000-0002-0206-7036

DOKTORA TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
(Danışman)

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Erkan TÜRKER tarafından hazırlanan “Elektrikli araçta menzil artırıcı motor uygulaması ve enerji yönetiminin sinirsel ağlar ile tahmin edilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

| | | | |
|---------------|---|--|------|
| Başkan | : | Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK 0000-0001-5767-8312 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Prof. Dr. Necmettin KAYA 0000-0002-8297-0777 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL 0000-0001-5965-0313 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNSOY 0000-0002-6449-552X Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Dr. Öğr. Üyesi Halil BAYRAM 0000-0002-4664-3883 Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başkabir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../2022

Erkan TÜRKER

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇTA MENZİL ARTIRICI MOTOR UYGULAMASI VE ENERJİ YÖNETİMİNİN SİNİRSEL AĞLAR İLE TAHMİN EDİLMESİ

Erkan TÜRKER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Bu çalışmada, menzil artırıcı donanımlar ile elektrikli bir aracın desteklenmesi ve aracın performans özelliklerinin tahmin edilmesidir. Menzil artırıcı çalışma sistematığını oluşturabilmek için, içten yanmalı motor, jeneratör ve batarya şarj durumunun başlıca parametreler olarak girdi sağlayacağı düşünülerek simülasyon modelleri oluşturularak analizler yapılmış ve sinirsel ağlar kullanılarak içten yanmalı motorun çalışma stratejisi belirlenmesi için tahminlere dayalı bir yaklaşım uygulanmıştır. İçten yanmalı motorun gürültü ve titreşim seviyesinin ölçülmesi sonucunda motorun çalışacağı sınır şartlar belirlenmiştir. Menzil artırıcı güç ünitesinin hafif ticari araç üzerine entegrasyonu, tasarımsal ve fiziksel olarak gerçekleştirilerek, son durumda deneysel yakıt tüketimi testleri gerçekleştirildi. Hafif ticari aracın ve içten yanmalı motorun teknik özelliklerinin simülasyon modele aktarılması ile değişken şartlara bağlı olarak yakıt tüketimi değerleri belirlendi.

Tezin amacı, hafif ticari bir elektrikli araç için ek güç ünitesi uygulamasını ve araç entegrasyonunun sağlanması ile sinir ağı tabanlı bir model kullanarak enerji yönetiminin tahmininin menzil artırıcı motor için yakıt tüketimini azaltmak üzere farklı yükleme koşullarına göre çalışma stratejisini uyarlayarak elde edilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Menzil artırıcı sistem, sinir ağları, 1 boyutlu analiz, emisyon seviyeleri

2022, vii + 54 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF RANGE EXTENDED ELECTRIC VEHICLE AND ESTIMATION OF ENERGY MANAGEMENT CHARACTERISTICS WITH NEURAL NETWORKS

Erkan TÜRKER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

In this study, the energy management strategy based on fuel economy is presented to achieve a further range enlargement of the range extender light commercial vehicle. Estimation of energy management strategy is carried out using neural networks based surrogate model for range extended vehicle based on fuel economy under various conditions. The surrogate based optimization plays an essential role in the optimization processes, especially when the optimization model is established based on complex problems with uncertainties in data sets due to various conditions. Neural networks have advantages in creating surrogate based models in case of complex problems with uncertainties in data sets to evaluate the process and estimate the outputs. This study discusses additional power unit application and vehicle integration for a light commercial electric vehicle. It provides preliminary design work and techniques for identifying NVH problems in particular. SIMULINK and neural network based surrogate models are established, and the changeable parameters of the vehicle, such as mass, battery/fuel-tank capacity, internal combustion engine power and electric motor power units are simulated at different dynamic and static conditions to determine energy management strategy for range extended vehicle based on fuel economy under various conditions. It is seen that APU parameters and energy management strategy significantly affect the fuel consumption of REX. The results show that the estimation and optimization of energy management using a neural network based surrogate model can be achieved by adapting the operating strategy according to different loading conditions to reduce fuel consumption for REX.

Key words: Range extended vehicle, energy management, fuel economy, neural networks, surrogate model.

2022, vii + 54 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışması ve doktora sürecinin tümünde değerli katkı ve desteklerini her zaman gösteren ve eksik etmeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Ferruh Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Proje çalışmasının fiziki altyapısını destekleyen TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. 'ye ve projeye katkı sunan tüm ekip arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte desteklerini en başından beri hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve motivasyonumun asıl nedeni olan biricik kızım Eda'ya sonsuz teşekkür ederim.

Erkan TÜRKER
.../...../.....

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 4 |
| 2.1. Menzil Artırıcı Araçlarda Gürültü ve Titreşim Özellikleri..... | 4 |
| 2.2. Menzil Artırıcı Sistemlerin Çeşitleri..... | 5 |
| 2.3. Menzil Artırıcı Sistemlerde İçten Yanmalı Motor Seçimi..... | 6 |
| 2.4. Menzil Artırıcı Sistemlerde Enerji Yönetim Stratejileri | 7 |
| 2.5. YSA (Yapay Sinir Ağları) Uygulamaları..... | 9 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 12 |
| 3.1. Prototip Elektrikli Hafif Ticari Aracın Özellikleri..... | 12 |
| 3.2. Menzil Artırıcı Sistem İçin İçten Yanmalı Motor Seçimi..... | 13 |
| 3.2. İçten Yanmalı Motorun ATV Aracından Sökülmesi | 15 |
| 3.3. Menzil Artırıcı Araçta Gürültü ve Titreşim Testleri..... | 16 |
| 3.4. Menzil Artırıcı Sistemin Araç Üzerine Yerleşimi | 21 |
| 3.5. Aracın Toplam Tahrik Kuvvetinin Hesaplanması | 31 |
| 3.5.1. Yuvarlanma Direnci | 31 |
| 3.5.2. Aerodinamik (Hava) Direnç..... | 32 |
| 3.5.3. Eğim Direnci | 33 |
| 3.5.4. İvme Direnci..... | 33 |
| 3.6. Simülasyon Modelin Oluşturulması..... | 33 |
| 4. BULGULAR | 38 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ | 48 |
| KAYNAKLAR | 51 |
| ÖZGEÇMİŞ | 54 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|----------|-------------------------------------|
| F | Çekiş kuvveti |
| F_w | Yol yükü |
| F_{ro} | Yuvarlanma direnci |
| F_{sf} | Stokes sürtünme kuvveti |
| F_{ad} | Aerodinamik sürtünme kuvveti |
| F_{cr} | Eğim direnci |
| μ | Lastik yuvarlanma direnci katsayısı |
| m | Araç ağırlığı |
| g | Yerçekimi ivmesi |
| α | Eğim açısı |
| k_A | Stokes katsayısı |
| V | Araç hızı |
| V_0 | Rüzgar hızı |
| ξ | Hava yoğunluğu |
| C_w | Aerodinamik sürtünme katsayısı |
| A_f | Araç ön kesit alanı |
| k_m | Döner atalet katsayısı |
| j_m | Elektrik motorunun ataleti |
| j_w | Tekerlek atalet momenti |
| R | Lastik çapı |

Kısaltmalar

| | |
|-------|-------------------------------------|
| ANN | Yapay sinir ağları |
| REX | Menzil artırıcı |
| NVH | Gürültü, titreşim ve sertlik |
| EV | Elektrikli araç |
| REEB | Menzil artırıcılı elektrikli otobüs |
| CD | Şarj tüketme |
| CS | Şarj sürdürme |
| BL | Karışık mod |
| SOC | Şarj durumu |
| RE-EV | Menzili artırılmış elektrikli araç |
| ICE | İçten yanmalı motor |
| DP | Dinamik programlama |
| RBC | Rota bazlı control |
| FNN | İleri bildirimli sinir ağı |
| TCS | Termostat kontrol stratejisi |
| PFCS | Güç takipli control sistemi |
| ECMS | Eşdeğer tüketim minimize stratejisi |
| NEDC | Yeni avrupa sürüş çevrimi |

| | |
|------|-------------------------------|
| UDC | Şehir içi sürüş çevrimi |
| EUDC | Şehir dışı sürüş çevrimi |
| LM | Levenberg–Marquardt |
| EMK | Elektromanyetik Kuvvet |
| LHS | Latin hiperküp örneklemeleeri |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 3.1. Menzil artırıcı araç şematik gösterimi..... | 12 |
| Şekil 3.2. Menzil artırıcı sistem için seçilen ATV motoru..... | 14 |
| Şekil 3.3. İçten yanmalı motor güç – tork eğrisi..... | 14 |
| Şekil 3.4. Motorun ATV aracından sökülmesi..... | 15 |
| Şekil 3.5. Motor üstü mikrofon yerleşimleri..... | 16 |
| Şekil 3.6. Motor devrinin artışına göre gürültü seviyesi..... | 16 |
| Şekil 3.7. Sol taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi..... | 17 |
| Şekil 3.8. Sağ taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi..... | 17 |
| Şekil 3.9. Üst taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi..... | 18 |
| Şekil 3.10. Motor devrine göre frekans spektrumu..... | 19 |
| Şekil 3.11. Sabit devirlerde sol tarafın renk haritası..... | 19 |
| Şekil 3.12. Sabit devirlerde sağ tarafın renk haritası..... | 20 |
| Şekil 3.13. Sabit devirlerde üst tarafın renk haritası..... | 20 |
| Şekil 3.14. Tersine mühendislik yöntemi ile 3D model oluşturulması..... | 22 |
| Şekil 3.15. Tersine mühendislik yöntemi ile oluşan 3D..... | 22 |
| Şekil 3.16. Menzil artırıcı sistemin araca yerleşimi..... | 23 |
| Şekil 3.17. Motor soğutma sistemi radyatör hava girişi tasarımı..... | 23 |
| Şekil 3.18. Motor soğutma sistemi radyatör hava girişi uygulaması..... | 24 |
| Şekil 3.18. İçten yanmalı motorun yakıt sistemi..... | 24 |
| Şekil 3.20. İçten yanmalı motorun hava emiş sistemi..... | 24 |
| Şekil 3.21. Egzoz susturucusu ve egzoz borusunun öngörüşel yerleşimi..... | 25 |
| Şekil 3.22. Egzoz susturucusu ve egzoz borusunun fiziksel yerleşimi..... | 26 |
| Şekil 3.23. İçten yanmalı motorun tel kontrollü gaz keleşi..... | 26 |
| Şekil 3.24. 1.4 L 8V Benzinli motorun gaz keleşi entegrasyonu..... | 27 |
| Şekil 3.25. Menzil artırıcı sistem entegrasyonu..... | 27 |
| Şekil 3.26. Menzil artırıcı sistem yakıt tüketim testi..... | 28 |
| Şekil 3.27. Menzil artırıcı sistem kontrol şeması..... | 30 |
| Şekil 3.28. Temel Simulink modeli..... | 34 |
| Şekil 3.29. Menzil artırıcı araç Simulink modeli..... | 34 |
| Şekil 3.30. Parametrelerin girildiği Simulink blok diyagramı..... | 35 |
| Şekil 3.31. NEDC sürüş çevrimi..... | 36 |
| Şekil 3.32. Elektrik mod (a) ve Menzil artırıcı mod (b) Menzil karşılaştırması... | 36 |
| Şekil 4.1. Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi..... | 40 |
| Şekil 4.2. Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi görünüşü..... | 41 |
| Şekil 4.3. Yakıt tüketimi için kurulan en iyi R değeri eğrileri..... | 42 |
| Şekil 4.4. Lineer regresyon metodu en iyi R değeri eğrisi..... | 44 |
| Şekil 4.5. Parametrelerin yakıt tüketimi (a) ve şarj durumuna (b) etkisi..... | 46 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Motor seçim kriterleri (Gage, 1997)..... | 6 |
| Çizelge 3.1. Prototip elektrikli aracın özellikleri..... | 13 |
| Çizelge 3.2. Simülasyon sınır şartları..... | 29 |
| Çizelge 4.1. Latin Hiperküp örnekleme metodu ile veri üretimi..... | 39 |
| Çizelge 4.2. Simülasyon test sonuçları ve YSA sonuçları karşılaştırması..... | 43 |
| Çizelge 4.3. YSA ve MLR ile elde edilen sınır şartların dışındaki değerler..... | 45 |

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek azaldığı ve araç sayısının giderek arttığı günümüzde elektrikli araçların kullanımı günden güne artmaktadır. Her geçen yıl artan egzoz emisyon kısıtlamaları nedeniyle, elektrikli araçlara geçiş kaçınılmaz bir gerçektir. Fakat batarya kapasitesi ve dolun süresi gibi kısıtlar nedeniyle araçların menzilleri henüz yeterli görülmemektedir. Birçok otomotiv üreticisi elektrikli araç çalışmalarını tüm hızıyla sürdürse de, batarya maliyetleri ve menzil kısıtları nedeniyle henüz bazı modellerini seri üretime geçirememektedir. Elektrikli araçlara geçiş olarak, otomotiv üreticilerinin en önemli çözümü hibrit araçlardır. Hibrit araçların kendi içinde sınıflandırılmasına bakıldığında, paralel hibrit, seri hibrit ve bu iki çözümü de içinde bulunduran, kompleks hibrit olarak adlandırılan, üç ana sınıfta değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, seri hibrit olarak adlandırılan sistemin alt grubunda yer alan, menzil artırıcı sistemi incelenmektedir. Seri hibrit sisteminde, içten yanmalı motor, mekanik olarak tekerleklere bir güç aktarımı yapmamaktadır. Bataryaya enerji sağlayan bir güç ünitesi olarak görev yapar. Menzil artırıcı sistemin kullanımıyla optimum emisyon, yakıt tüketimi, şarj voltajı ve ses titreşim gibi değerlerle menzil artırımı hedeflenmektedir. Yeni emisyon hedeflerinin giderek zorlayıcı olduğu bu dönemde, mümkün olduğunca elektrik enerjisinden faydalanarak yol alabilmek son derece önem kazanmıştır. Menzilin artırılması için kullanılan ilave kaynakların da bu duruma paralel olarak minimum emisyon üretmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir. Aracın menzilini artırırken, aynı zamanda uygun bir içten yanmalı motor ile optimum çalışma noktalarında enerji üretimine katkı sağlanması hedeflenir. Bu durumda içten yanmalı motor seçim kriterleri önem kazanmaktadır. Motorun optimum verimlilikte çalıştığı şartlarda, ses ve titreşim açısından da uygun seviyede olması, kullanıcı konforu açısından önem kazanmaktadır. Bu nedenle, içten yanmalı motor seçiminde ses ve titreşim hedef değerlerine uygun içten yanmalı motor seçilmelidir. Tüm hedef değerlerin sağlandığı durum için, batarya yönetim sistemi belirlenerek, içten yanmalı motorun devreye giriş zamanları ve bataryanın şarj durumu (SOC) anlık takip edilmektedir. Aracın toplam ağırlığı, rüzgar direnci katsayısı, redüktör oranı, kullanılan lastikler gibi tasarımsal değişkenlerin, aracın enerji ihtiyacına etkisi önem kazanmaktadır.

Özellikle hafif ticari araçlarda, gün içerisinde bile farklılık gösteren yük durumu nedeniyle, anlık enerji ihtiyacı da değişkenlik gösterir. Hafif ticari araç için yapılacak menzil hesaplamaları ve öngörüler bu noktada daha belirsiz ve üzerinde çalışmaya değer bir hal almaktadır. Menzil artırıcı sisteme sahip bir hafif ticari araçta, batarya yönetim sistemini en iyi şekilde tanımlamak için, çok sayıda veriye ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada, prototip bir elektrikli hafif ticari araç üzerine tek silindirli bir içten yanmalı motor, jeneratör ve invertör seti entegre ederek, bu verilerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Aracın mevcut batarya kapasitesine göre, farklı yük ve kullanım şartlarına göre, elektrikli moddaki menzili bellidir. Aracın Matlab/Simulink modelinin oluşturularak, yuvarlanma direnci, rüzgar direnci ve ivmelenme direnci gibi kuvvetleri yenerken harcadığı enerji hesaplanmaktadır.

Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) standardına göre yapılan deneysel test ile simülasyon model karşılaştırılarak modelin hassasiyeti tespit edilir. Bu model üzerinden çok farklı şartlarda araç simülasyonu yapılarak elde edilen verilerle sonraki aşamalar için yeni araçların tasarım kriterlerini belirleyecek sonuçlar elde edildi. Veri türetilmesi konusunda latin hiperküp örneklemeleri (LHÖ) metodu kullanılarak, sınır şartları içerisindeki veriler türetilerek simülasyon modelde koşturularak, çıkan sonuçlara göre yorum yapılır. Bu değerler, yapay sinir ağı (YSA) ve çoklu lineer regresyon (ÇLR) metotları ile çalıştırıldığında, çıkan sonuçların karşılaştırılması ile uygun metodun belirlenmesi mümkün olur. En doğru değeri veren metodun yapay sinir ağı mimari olduğu durum için, yapılacak ekstrapolasyonlar ile, sınır şartların dışındaki değerlerde dahi hassas sonuçlar elde edilerek, gelecek projeler için girdi verileri elde edilir.

Literatürde, geçmişten günümüze kadar, menzil artırıcı sistemlerle ilgili yapılan birçok çalışma vardır. Bu tezde yapılan çalışmanın farkı, fiziksel olarak tamamen elektrikli bir hafif ticari araca, menzil artırıcı sistemin sonradan entegre edilmesi ve deneysel verilerin simülasyon modele aktarılarak tahmine yönelik yapay zeka destekli bir yöntem geliştirilmesidir. Bu çalışmada yüksek doğrulukta yapılan öngörüler sayesinde, proje maliyetlerinde çok büyük tasarruf sağlanmaktadır. Hafif ticari araçlar için günlük kullanım şartlarının değişken olması, binek araçlardaki kadar öngörülebilir şartların

oluşmaması, menzil artırıcı sistemdeki değişkenleri de arttırdığından, bu çalışmada öngörü olarak çok daha fazla veri çeşitliliği ihtiyaı doğmuştur. YSA metodu ile geliştirilen model, bu konuda ihtiyaçları karşılamaktadır.

Takip eden bölümlerde yapılan çalışmada kullanılan teknikler, elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektrikli araçlara geçiş fazı olarak da görülen, menzil artırıcı sistemlerle ilgili literatürde birçok çalışma vardır. Bunlardan bazıları, aracın ses ve titreşim performansına odaklanırken, büyük bir çoğunluğu da emisyon ve batarya yönetim stratejisine odaklanmıştır.

2.1. Menzil Artırıcı Araçlarda Gürültü ve Titreşim Özellikleri

İçten yanma motora sahip konvansiyonel araçlarda oluşan gürültü ve titreşimin kaynakları farklıyken, elektrikli ve menzil artırıcı araçlarda gürültünün kullanıcıya verdiği hissiyat farklılaşmaktadır. Tamamen elektrikli bir araçta yol sesi ve trim sesleri daha baskın gelirken, menzil artırıcı sistemde bulunan içten yanmalı motorun, tekerleklerden bağımsız, farklı çalışma noktalarındaki gürültü ve titreşimi kullanıcıyı rahatsız etmektedir.

Guo ve ark. (2015), çalışmalarında kabin içindeki ses düzeyinin konforu önemli derecede etkilediğini ve bu konu üzerine iyileştirmeler yapılabileceğini belirtmişlerdir. İçten yanmalı motorun araç hızından bağımsız şekilde devrinin artması ve azalması durumu, beklenmedik anda gelen bir gürültü olarak algılanır. Özellikle içten yanmalı motorun kapalı konumdayken çalışır duruma geçmesi arasında 11.1 dBA gürültü farkı ölçülmüştür. Bu problemin çözümü olarak menzil artırıcı sistemin bağlantı takozlarının iyileştirilebileceği ve motor hızının kademeli olarak artırılması önerilmiştir.

Pischinger ve ark. (2012), çalışmalarında tek rotorlu Wankel motorunun ve 2 silindirli V motorun kullanımının gürültü ve titreşim probleminin bir çözümü olarak belirlemiştir.

Govindswamy ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışma sonucunda, menzil artırıcı motorlar arasındaki karşılaştırmada, sıralı 6 silindirli motor, tek rotorlu Wankel motoru ve 2 silindirli boxer tip motor, ses ve gürültü performansı açısından en iyi sonucu vermiştir.

2.2. Menzil Artırıcı Sistemlerin Çeşitleri

Literatürde her ne kadar içten yanmalı motorlarla ilgili çalışmalar çok yaygın olsa da, yakıt hücreli ve mikro gaz türbinli menzil artırıcı sistemlerle ilgili de çalışmalar yapılmıştır.

Tan ve ark. (2017), elektrikli bir araç için menzil artırıcı olarak bir mikro gaz türbini üzerinde çalıştılar. Çalışma sonucunda deneysel ve simülasyon verileri elde edilmiştir. Mikro gaz türbininden alınan maksimum güç 9,5kW olarak ölçülmüştür. Ji ve ark. (2020), mikro gaz türbini üzerine yaptıkları menzil artırıcı sistem çalışmasında, mikro gaz türbininin güç/ağırlık oranının yaklaşık 0,48-0,8 kW/kg olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca termal verim 35% olarak hesaplanmıştır. Wu ve ark. (2019), elektrikli araçlar için akıllı hidrojen yakıt hücreli menzil artırıcı sistem üzerine öneri bir tasarım hazırladı. Önerilen tasarıma göre, aracın menzili küçük elektrikli araçlar için %50'den ve büyük elektrikli araçlar için %25'ten fazla artırılabilir.

Zander ve ark. (2022), ağır vasıta taşımacılığında kullanılmak üzere 3 farklı sistem üzerine çalışmışlardır. Bunlar menzil artırıcı içten yanmalı motor, yakıt hücreli menzil artırıcı ve yedek içten yanmalı menzil artırıcı sistemlerdir. Bu sistemlerin karşılaştırılması sonucunda, yedek menzil artırıcı sistemin, elektrikli ağır vasıtalar için en uygun çözüm olduğu sonucuna varıldı. Bu sistemde içten yanmalı motor, elektrikli aracın elektrik motoruna direkt olarak bağlanarak, elektrik motorunun jeneratör görevi görmesini sağlamaktadır. Borghi ve ark. (2017), menzil artırıcı sistemde kullanılan 2 zamanlı ve 4 zamanlı motorları arasında bir karşılaştırma yaptılar. Çalışma sonucunda, 2 zamanlı motorun, 4 zamanlı motora göre 35% daha hafif olduğu ve mekanik yüklerin 40% daha düşük olduğu sonucuna varıldı. 2 zamanlı motorun en büyük dezavantajı, emisyon seviyesinin yüksek olmasıdır. Egzoz emisyonu değerlerinin düşürülmesi için ilave çalışmalar gerektirir.

Li ve ark. (2017), menzil artırıcı sisteme sahip elektrikli otobüs üzerinde yaptıkları çalışmada, içten yanmalı motorun yakıt tüketimi ve batarya sağlık durumunu optimum noktada buluşturmak için bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada amaç, hem bataryanın

uzun ömürlü olmasını sağlamak, hem de yakıt tüketimini minimumda tutmaktır. Sadece yakıt tüketimine odaklanıldığı durumda, bataryanın sağlık durumunun, aşırı şarj ve deşarj çevrimi nedeniyle bozulduğu ve bu nedenle hem yakıt tüketimi, hem de batarya sağlık durumuna odaklanıldığı belirtilmiştir.

2.3. Menzil Artırıcı Sistemlerde İçten Yanmalı Motor Seçimi

Menzil artırıcı sistemlerde kullanılan motorların seçiminde birçok kriter bulunmaktadır. Gage ve ark. (1997), içten yanmalı motor seçiminde hedef olarak en az 20kW sürekli güç üretebilen bir motor seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Emisyon seviyesinin düşürülmesi için 2 zamanlı motorlar yerine, 4 zamanlı motorların kullanılması gerekliliği de bu çalışmada önerilmiştir. 2 zamanlı motorların emisyon seviyesinin istenilen seviyeye gelebilmesi için, direkt enjeksiyon teknolojisi ve geliştirilmiş katalizör sisteminin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca hava soğutmalı motorların emisyon değerleri de hedeflendiği gibi olmadığından, su soğutmalı sisteme sahip motorların tercih edilmesi gerektiği belirtildi.

Çizelge 2.1. Motor seçim kriterleri (Gage, 1997)

| KRİTERLER | GEREKLİLİKLER | DEĞERLENDİRME |
|-------------------------|-------------------------------|--|
| Çevrim sayısı | Buji ateşlemeli, 4 zamanlı | Ticari dizel motorlar ağır, 2 zamanlı motorların da emisyon seviyesi yüksektir. |
| Soğutma sistemi | Su soğutmalı | Emisyon ve dayanıklılık |
| Güç | 30-40 kW | 2200 m üzerindeki yüksekliklerde 20 kW |
| Çalışma aralığı | 6000-9000 d/d | Boyut ve ağırlık açısından dikkate alınır. |
| Ağırlık | <70 kg | Toplam 150 kg ağırlık hedefiyle tutarlı olmalı. |
| Boyut | Küçük ve kompakt | Sıralı, V, rotary veya boxer tip silindir düzeni. |
| Silindir sayısı | 1 veya 2 | Boyut ve mekanik verim açısından dikkate alınır. |
| Fiyat ve bulunabilirlik | Seri üretim | Seri üretim bir motor ve düşük maliyetli olması. |

Çizelge 2.1’de verilen kriterlere göre belirlenecek motor, menzil artırıcı sistem için ideal bir seçim olacaktır. Projenin imkanları dahilinde yapılan değerlendirmede, bu kriterlere yakın bir motor bulundu. Tek silindirli, 570cc motor hacminde, 4 zamanlı, su soğutmalı ve 44 HP maksimum güç verebilen bir ATV motoru kullanılmasına karar verildi.

2.4. Menzil Artırıcı Sistemlerde Enerji Yönetim Stratejileri

Batarya yönetim sistemi, menzil artırıcı sisteme sahip elektrikli araçlarda son derece öneme sahiptir. Belirlenecek strateji, aracın menziline etki edebileceği gibi, aynı zamanda batarya ömrü ve egzoz emisyonları için de kritik öneme sahiptir. Tran ve ark. (2021), menzil artırıcı uygulamaları, ilerleyen zamanda hızla artacak elektrikli araç kullanımında, kullanıcıların menzil kaygısını giderecek, dinamik, verimli, güvenilir ve maliyet odaklı sistemler olarak tanımlamıştır.

Wang ve ark. (2021), yaptıkları araştırmada, menzil artırıcı sistemlerde kontrol stratejilerini iki ana modda değerlendirmişlerdir. Bunlar, harmanlanmış (BL) mod ve şarj tüketen-şarj sürdüren (CD-CS) modlardır. Şarj tüketen-şarj sürdüren (CD-CS) kontrol stratejisi, bataryanın belli bir şarj oranına düşene kadar, elektrik enerjisinin kullanılması nedeniyle, emisyon azaltımı ve yakıt tasarrufu açısından daha avantajlı bir stratejidir. Menzil artırıcı sistem, şarj sürdürme (CS) aşamasında, talep edilen gücü karşılayarak batarya şarj durumunu (SOC) istenen seviyede tutmalıdır. Bu nedenle enerji yönetim stratejisinde bu aşamaya odaklanılır.

Chen ve ark. (2015), menzili artırıcı sisteme sahip bir otobüs simülasyon modeli oluşturarak, Harbin şehir içi sürüş çevriminde dinamik programlama (DP) kontrol stratejisini kullanarak minimum enerji kullanımını hedeflemişlerdir. Simülasyon sonucuna göre, bataryanın saniyedeki şarj durumu (SOC) değişimi ile motor gücü arasındaki ilişki temel alınarak kontrol stratejisi belirlenmiştir. Menzil artırıcı sisteme sahip elektrikli otobüsün Harbin şehir içi sürüş çevrimindeki simülasyon sonuçlarına göre, yapılan 189 km yolun sonunda, yakıt tasarrufunun 30%’un üzerinde olduğu görülmektedir.

Bir diğer araştırmada, You ve ark. (2016), şarj tüketen-şarj sürdüren (CD-CS) kontrol stratejisinin, bazı şartlarda yakıt verimliliğini düşürebildiği düşüncesiyle, sistemin enerji yönetimini optimize etmek için, rota bazlı ve sürücü karakteristiğini de dikkate alan bir kontrol stratejisi üzerinde çalışmışlardır. Bu araştırma çalışması sonucunda, hem rota bilgisi ve hem de sürücü karakteristiğinin dikkate alındığında, eşdeğer yakıt tasarrufunda, şarj tüketen-şarj sürdüren (CD-CS) kontrol stratejisine kıyasla 8,6% oranında iyileşme görülmüştür.

Chen ve ark. (2014), menzil artırıcı elektrikli araçlardaki enerji yönetim stratejilerini 3 tipte sınıflandırmıştır. İlk strateji, ana güç kaynağı olarak bataryanın kullanıldığı termostat kontrol stratejisidir (TCS). Araç, batarya şarj durumu (SOC) alt sınıra düşene kadar tamamen bataryadan enerji olarak elektrik modda çalışır. Sonrasında, içten yanmalı motor devreye girerek en verimli çalışma noktasında çalışır ve jeneratörün enerji üretimini sağlayıp, batarya şarj durumu (SOC) en üst seviyeye gelene kadar çalışmaya devam eder. Bu çalışma stratejisi, diğer çalışmalarda belirtilen şarj sürdürme (CS) kontrol stratejisinin diğer bir adı olarak belirtilmektedir. İkinci tip strateji ise, sürücünün güç talebini direkt olarak jeneratörden karşılayan güç takibi kontrol stratejisidir (PFCS). Maksimum jeneratör gücünün yeterli olmadığı durumda bataryadan enerji talep edilir. Üçüncü tip strateji ise, eşdeğer tüketimi en aza indirme stratejisidir (ECMS). Eşdeğerlik faktörü, batarya gücünü eşdeğer yakıt tüketimine dönüştürmek için kullanılır ve genellikle batarya şarj durumunun önceden belirlenmiş bir fonksiyonu olarak seçilir. Jeneratörün yakıt tüketiminden ve bataryanın eşdeğer yakıt tüketiminden oluşan anlık yakıt tüketiminin bir maliyet fonksiyonu, jeneratör ve batarya arasındaki optimum güç dağılımını elde etmek için minimize edilir. Ancak, önceden belirlenmiş strateji, farklı sürüş döngüleri için ideal olmamaktadır. 12 NEDC sürüş çevrimi sonucunda, batarya şarj durumunu izleme performansı en iyi stratejinin, eşdeğer tüketimi en aza indirme stratejisi (ECMS) olduğu görülmektedir.

Barillas ve ark. (2015), model tabanlı tahmin algoritmaları için batarya yönetim sistemlerinin, durum tahmin algoritmalarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi ve doğrulanması sağlanmışır. Kalman tabanlı yöntemlerle basit bir tahmin yönteminin daha az hesaplama süresi ve bellek kullanımı sunduğu görülmektedir.

Mark ve ark. (2013), batarya yönetim sisteminin ana işlevi olarak batarya hücreleri arasındaki dengelemeye odaklandı. Bataryanın ömrünü uzatmak için farklı batarya yönetim sistemleri araştırıldı.

2.5. YSA (Yapay Sinir Ağları) Uygulamaları

Simulink ve yapay sinir ağı tabanlı modeller kurulmuş ve aracın kütle, batarya/yakıt-depo kapasitesi, içten yanmalı motor gücü ve elektrik motorunun gücü gibi değişken parametreler, farklı dinamik ve statik koşullarda simüle edilerek, yakıt ekonomisine dayalı menzili uzatılmış araç için enerji yönetimi stratejisi belirlendi.

Pfrommer ve ark. (2018), makalelerinde de belirttiği gibi, sinir ağı tabanlı optimizasyon, veri kümelerinde çeşitli koşullar nedeniyle belirsizlikler bulunan karmaşık yapılara dayanan optimizasyon problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Kang ve ark. (2014) makalelerinde, batarya şarj durumu (SOC), elektrikli araçtaki batarya yönetim sisteminin önemli bir parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Bataryanın bozulma sürecinde uygulanabilir kapasitesini tahmin etmek için çevrim ömrü modeli, 6Ah lityum iyon bataryanın yaşlanma döngüsü testlerine dayalı olarak oluşturulmuştur. Çevrim ömrü modeliyle birlikte, orijinal eğitilmiş modelin SOC tahmin doğruluğu üzerindeki batarya yaşlanmasının etkisini ortadan kaldırmak için yeni bir Radyal Temel Fonksiyonlu Sinir Ağı (RBFNN) modeli önerilmiştir. Önerilen bu model, 6Ah lityum iyon batarya ile doğrulanmıştır. İlk olarak, Kentsel Dinamometre Sürüş Programı (UDDS) ve Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) döngüleri, farklı sıcaklık ve yaşlanma seviyelerindeki piller üzerinde denir. Ardından, yeni RBFNN modelinin farklı yaşlanma seviyelerine, sıcaklıklara ve yükleme profillerine karşı sağlamlığı, deneylerin veri kümeleriyle test edilmiş ve geleneksel sinir ağı modeliyle karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar, yeni modelin SOC tahmininin doğruluğunu etkili bir şekilde artırabildiğini ve değişen yaşlanma döngülerine, sıcaklıklara ve yükleme profillerine karşı yüksek bir dayanıma sahip olduğunu belirtmektedir. Son olarak, elektrikli araçlarda şarj durumunun bataryanın gerçek yaşlanma döngüsüne etkisi ölçümlendi.

Tong ve ark. (2016) makalelerinde, batarya şarj durumu tahminin, batarya yönetim sistemi tasarımında önemli bir bileşen olduğunu belirtmişlerdir. Performans düşüşü, hızlı yaşlanma ve hatta tehlikeli olaylar gibi lityum iyon bataryalarla ilgili bilinen birçok sorun, hatalı şarj durumu tahminiyle ilişkilendirildi. Farklı tahmin algoritmaları kısaca şu şekilde özetlenir: modelsiz yaklaşımlar, model tabanlı gözlemciler, veri odaklı doğrusal olmayan modeller, yani sinir ağları ve öğrenen makineler. Bu makale üçüncü yaklaşımı benimser ve yük sınıflandırıcı bir sinir ağı kullanarak SOC tahmini için yeni bir mimari önerir. Bu yaklaşım, batarya girişlerini önceden işler ve paralel olarak eğitilmiş üç sinir ağı ile batarya çalışma modlarını boşa, şarj ve deşarj olarak sınıflandırır. Model eğitimi için bir araç sürüş döngüsü yük profili ve doğrulama için bir darbe testi görev döngüsü kullanan önerilen yöntem, ortalama %3,8'lik bir tahmin hatası verir. Bu sonuç, veri tabanlı makine öğrenimi yaklaşımının, diğer gelişmiş tasarımlarıyla karşılaştırılabilir tahmin performansına sahip olduğunu belirtir. Bununla birlikte, sinir ağı daha basit bir model öğrenme prosedürüne, daha geniş öğrenme verisi seçimine ve daha düşük hesaplama maliyetine sahiptir.

Chemali ve ark. (2018) makalelerinde, batarya ölçümlerinin doğrudan SOC ile eşlendiği batarya SOC tahmini için Derin İleri Beslemeli Sinir Ağlarını (DSA) kullanan yeni bir yaklaşım kullanılmaktadır. Eğitim verileri, bataryanın değişken dinamiklere maruz kalması için bir Lityum-iyon bataryaya laboratuvarında çeşitli ortam sıcaklıklarında sürüş döngüsü yükleri uygulanarak oluşturulur. DSA'nin bağımlılıkları zaman içinde ağırlıklarına kodlama ve süreçte SOC'nin doğru tahminlerini sağlama yeteneği verilir. Ayrıca, -20 °C ile 25 °C arasındaki ortam sıcaklıklarında kaydedilen veriler, eğitim sırasında DSA'ye beslenir. Eğitildikten sonra, bu tek DSA, çeşitli ortam sıcaklığı koşullarında SOC'yi tahmin edilir. DSA, birçok farklı veri kümesi üzerinde doğrulanmıştır ve 25 °C veri kümesi üzerinde %1,10'luk bir Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve -20 °C veri kümesi üzerinde %2,17'lik bir MAE elde eder.

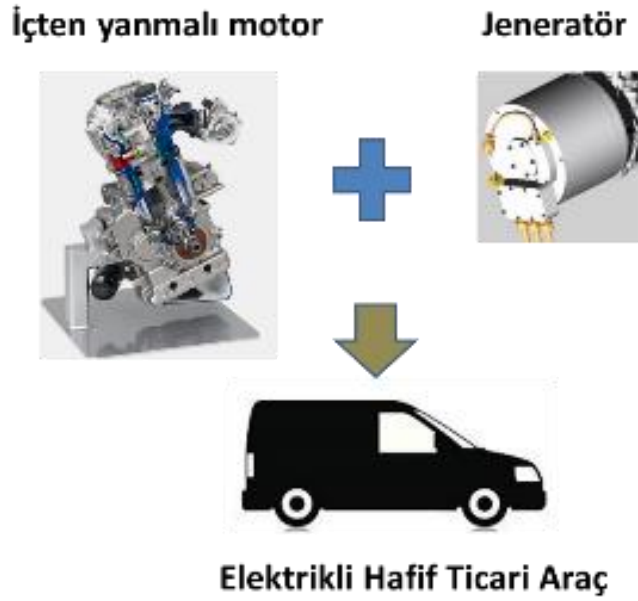
Chen ve ark. (2014) makalelerinde, bir plug-in hibrit elektrikli aracın (PHEV) yakıt ekonomisini iyileştirmek için verimli, çevrimiçi ve akıllı bir enerji yönetimi denetleyicisi oluşturmaya odaklanmaktadır. Ayrıntılı bir aktarma organı analizine dayanarak, dinamik programlama (DP) kullanılarak yakıt ekonomisini iyileştirmek için batarya akımı

optimize edilir. Otoyol, şehir içi ve şehir içi olmak üzere üç tür sürüş çevrimi sınıflandırılır ve tüm sürüş koşullarını incelemek için altı tipik sürüş çevrimi analiz edilir ve simüle edilir. Yolculuğun uzunluğu ve süresi dikkate alınarak DP yöntemleriyle elde edilen optimize edilmiş sonuçlara dayalı olarak eğitilen iki sinir ağı (NN) modülünden oluşan çevrimiçi akıllı enerji yönetimi denetleyicisi oluşturulmuştur. Yolculuğun uzunluğunun ve süresinin bilinip bilinmemesine bağlı olarak, kontrol sistemi, enerji yönetimini gerçekleştirmek için etkin batarya akımı komutlarının çıktısını almak üzere karşılık gelen NN modülünü seçmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre, önerilen kontrol sistemi, aracın yakıt ekonomisini iyileştirmektedir.

Moreno ve ark. (2006) makalelerinde, sinir ağlarını (NN) kullanan hibrit elektrikli araç (için çok verimli bir enerji yönetim sistemi geliştirip test edildiğini belirtmişlerdir. Bu enerji yönetim sistemi, yakıt pilleri, mikro türbinler gibi farklı güç kaynaklarında da olumlu sonuçlar vermiştir. Deneysel HEV, kurşun-asit batarya, bir ultra kapasitör (UCAP) ve 32 kW nominal güce ve 53 kW tepe güce sahip fırçasız bir dc motor kullanır. Dijital sinyal işlemci (DSP) kontrol sistemi aşağıdaki parametreleri ölçer ve saklar: birincil kaynak voltajı, araç hızı, her iki terminaldeki anlık akımlar ve UCAP'ın gerçek voltajı. Ultra kapasitörler araca takıldığında şehir içi testlerde menzil artışı %5,3 civarındaydı. Ancak NN ile optimal kontrol kullanıldığında bu rakam %8,9'a yükselir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, daha önceden elektrikli araç olarak üretilmiş, prototip hafif ticari aracın üzerine, menzil artırıcı sistemin entegrasyonu yapılmıştır. Mevcut prototip elektrikli aracın parçalarının yerleşim konumları değiştirilmeden, aracın kargo bölümüne entegre edilen içten yanmalı motor, jeneratör ve invertör seti ile fiziksel entegrasyon sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Menzil artırıcı araç şematik gösterimi

3.1. Prototip Elektrikli Hafif Ticari Aracın Özellikleri

Daha önceden elektrikli araç çalışmaları için üretilmiş olan, prototip hafif ticari aracın farklı teknik özellikleri, motor, batarya, batarya ömrü, yükleme hacmi, hızlanma süresi, fren özelliği, boş ağırlık vd. özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Menzil artırıcı sistem entegre edilmeden önceki durumda, aracın teknik detaylarının incelenmesi, gerek fiziksel, gerekse elektronik anlamda bir yapılabirlik değerlendirilmesi gereksinimi doğmuştur.

Çizelge 3.1. Prototip elektrikli aracın özellikleri

| Prototip Elektrikli Aracın Özellikleri | |
|--|------------------------------|
| Motor Tipi | Sabit mıknatıslı AC |
| Maksimum Güç | 105 kW (140 HP) |
| Maksimum Moment | 317 Nm @ 4000 d/d |
| Maksimum Hız | 110km/h (sınırlandırılmış) |
| 0-50 km/h hızlanma süresi | 3.8 s |
| 0-100 km/h hızlanma süresi | 9.6 s |
| Batarya | Li-Ion (21 kWh) |
| Batarya Ömrü | 10 yıl >3.000 şarj-deşarj |
| Boş ağırlık | 1580 kg |
| Frenleme | Enerji geri kazanımlı |
| Yükleme Hacmi | 3.4 m ³ |

Araca herhangi bir müdahale olmadan önceki durum için, değişecek olan en önemli teknik özellik toplam ağırlıktır. Aracın ağırlığı ve yükleme hacmi, menzil artırıcı sistem entegre olduktan sonra değişiklik gösterir. Aracın tamamen elektrikli durum için hız limiti 110 km/h olduğunda, bu çalışmada da maksimum hız sınır değeri olarak alınmaktadır. Araçtan kullanılan batarya 21 kWh kapasiteli lityum iyon bataryadır. Elektrikli bir araç için nispeten düşük kapasiteye sahip olması nedeniyle bu çalışmada bu aracın kullanımına karar verildi. Menzil artırıcı sistemlerin amaçlarında biri de batarya maliyetini düşürüp ilave güç kaynağı ile daha ekonomik bir işletim sağlamaktır. Bu nedenle seçilen araç bu çalışmaya uygun görülmektedir.

3.2. Menzil Artırıcı Sistem İçin İçten Yanmalı Motor Seçimi

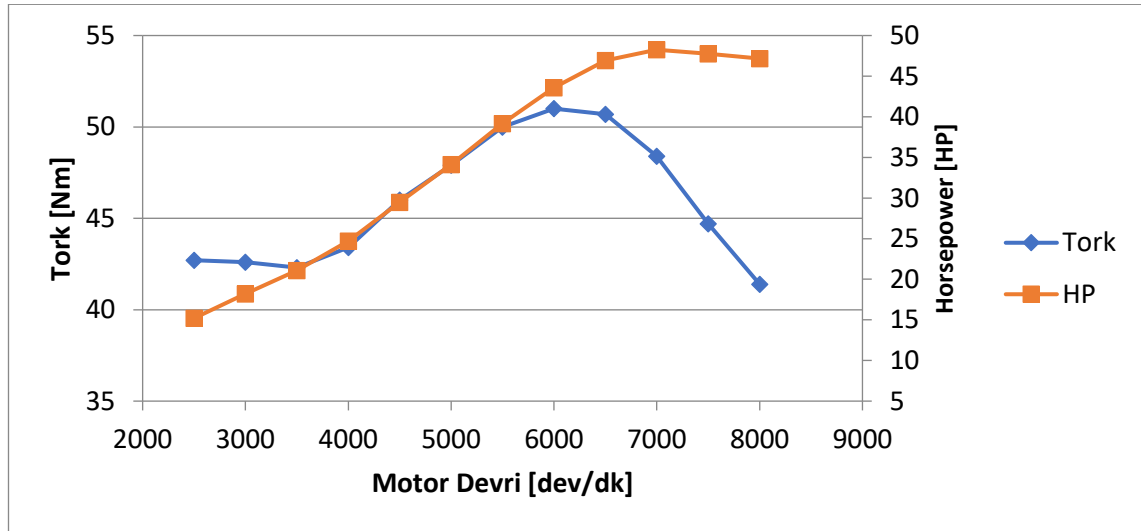
Yapılan literatür araştırmalarına göre, içten yanmalı motorun seçim kriterlerine göre ideal motorun nasıl seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Mevcut imkanlar dahilinde bu çalışma için bulunan motor, 44 hp gücünde, 570cc silindir hacminde, tek silindirli, sıvı soğutmalı ve 4 zamanlı bir ATV motorudur. Ayrıca bu motor 17 litrelik yakıt deposuna sahiptir. Kriterlere göre değerlendirildiğinde teorik olarak bu motorun 4 zamanlı olması ve sıvı

soğutmalı sisteme sahip olması avantaj olarak görülmektedir. Fakat gerek gürültü-titreşim, gerekse yakıt tüketimi açısından menzil artırıcı sistem için ne kadar uygun olduğu bu çalışma sırasında görülecektir.



Şekil 3.2. Menzil artırıcı sistem için seçilen ATV motoru

Çalışma için seçilen motor direkt olarak satışta bulunmadığından, uygun bir ATV satın alınarak motorun bu aracın üzerinden sökülmesine karar verildi. Motorun performans eğrilerine bakıldığında, bu çalışma için uygun güç ve tork değerlerine uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. İçten yanmalı motor güç – tork eğrisi

İçten yanmalı motorun performans eğrileri Şekil 3.3'te verilmektedir. Motorun maksimum tork değerini 6000 dev/dk'da verdiği görülmektedir. Beygir gücünün maksimum olduğu nokta ise 7000 dev/dk'dır. Motorun, araç entegrasyonu sonrasında,

jeneratör karşı EMK değerlerinin değişkenliğinde, bu devirlerde çalıştırıp çalıştırılmayacağı da bu çalışmanın araştırma konularındandır.

3.2. İçten Yanmalı Motorun ATV Aracından Sökülmesi

ATV üzerinde çalışır durumda bulunan içten yanmalı motor, araç üzerinden sökülerek sadece motor kalacak şekilde diğer çalışmalara hazır hale getirildi. Araç üzerinde bulunan 4X4 arazi şanzımanı ve kasnak grubu söküldü. Motorun NVH testleri yapılacağından, motora ilave olarak bağlı tüm parçaların sökülmesi gerekmektedir. Söküm işlemi sonunda, aracın ana karkasına bağlı 3 adet motor takozunun bulunduğu görüldü. Bu karkasın, prototip elektrikli araca mevcut haliyle montajı hedeflendiğinde, mevcut takozlara müdahale yapılmadı. NVH testlerinin bu durum itibariyle yapılması uygun bulunmuştur.



Şekil 3.4. Motorun ATV aracından sökülmesi

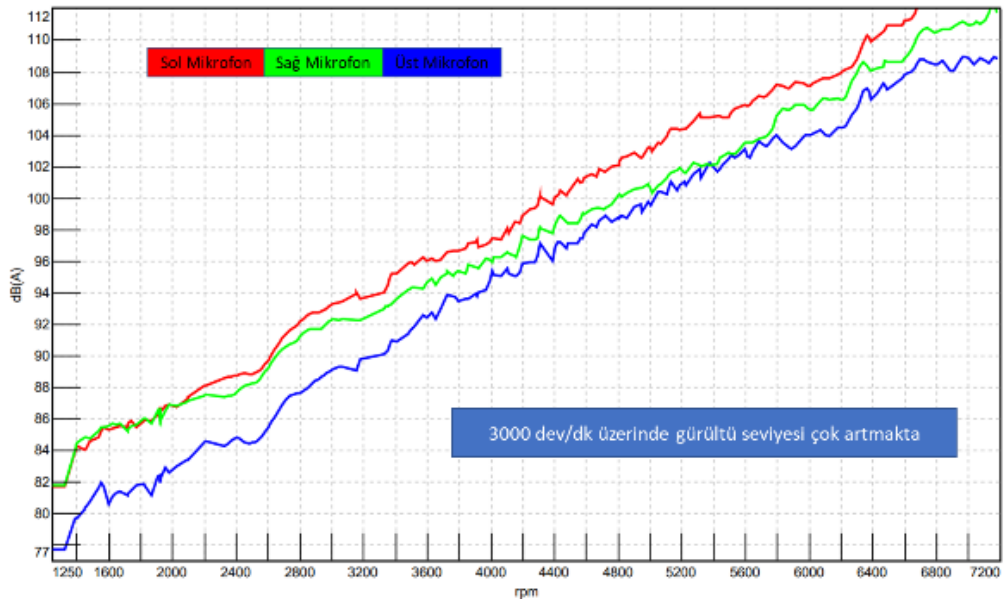
3.3. Menzil Artırıcı Araçta Gürültü ve Titreşim Testleri

Seçilen motorun direkt olarak menzil artırıcı sistem için tasarlanmış olmaması nedeniyle, en önemli noktalardan biri olan NVH testlerinin sonuçları son derece önem kazanmaktadır.



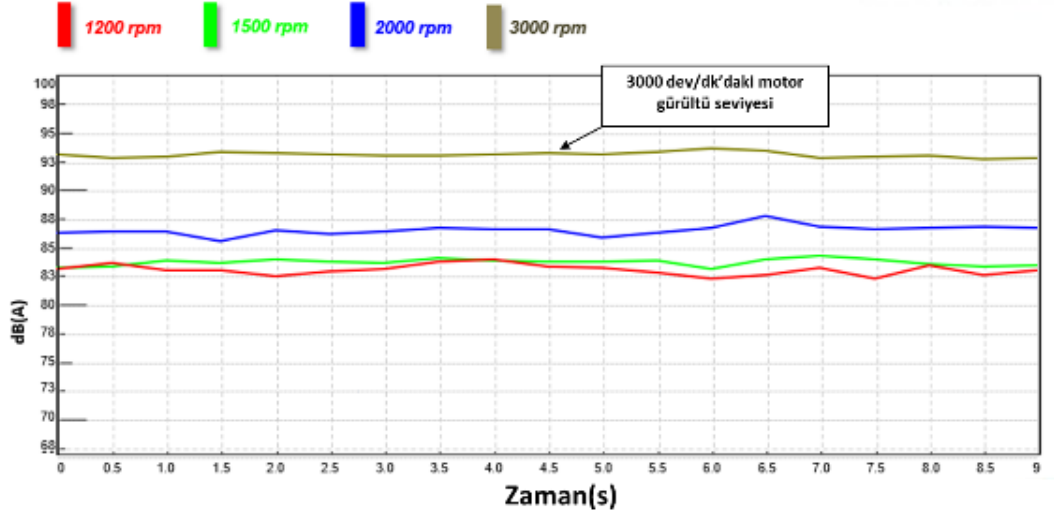
Şekil 3.5. Motor üstü mikrofon yerleşimleri

Motorun gürültü seviyesini ölçmek için, motorun sağ, sol ve üst kısmına Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, mikrofonlar yerleştirildi. Bu testlerden çıkacak sonuç sonuçlara göre motorun NVH performansı hakkında yorul yapılabilir.



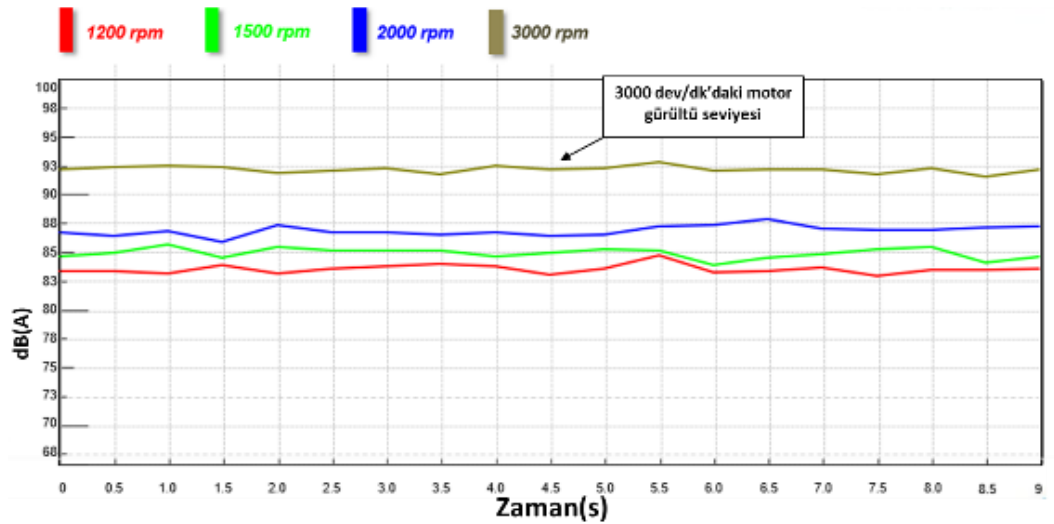
Şekil 3.6. Motor devrinin artışına göre gürültü seviyesi

1250 d/d'dan 7200 d/d'ya yavaş ivmelenme ile motor devri artırıldığında, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, 3000 dev/dk motor devrinin üzerinde, gürültü seviyesi kabul edilir seviyenin üzerine çıkmaktadır.



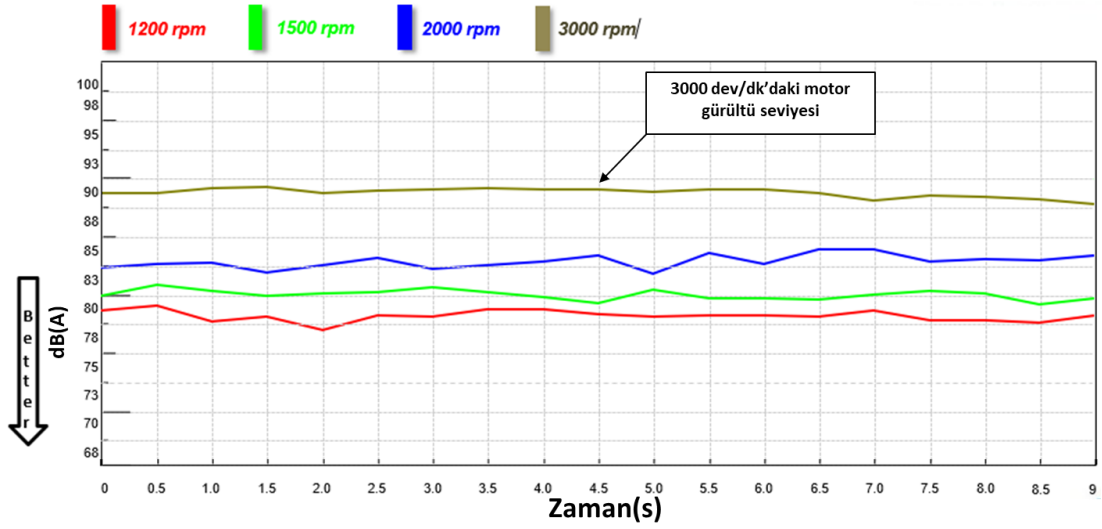
Şekil 3.7. Sol taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi

Motorun sol tarafına yerleştirilen mikrofondan, farklı devirlerdeki gürültü seviyesi ölçüldüğünde, Şekil 3.7'de, en yüksek gürültü seviyesinin 3000 d/d motor devrinde ölçüldüğü görülmektedir.



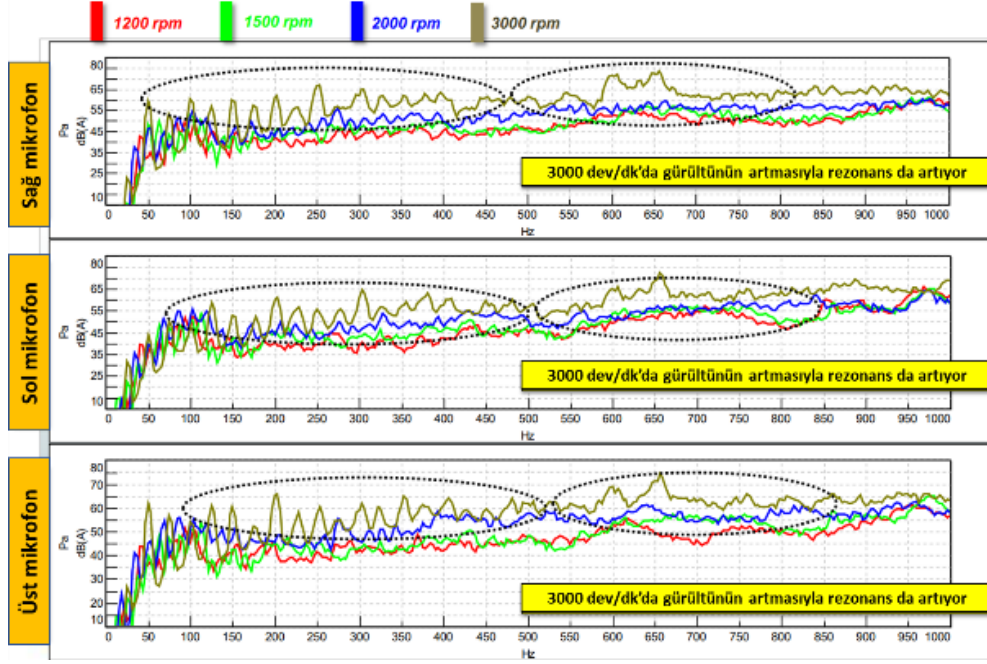
Şekil 3.8. Sağ taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi

Motorun sağ tarafına yerleştirilen mikrofondan, farklı devirlerdeki gürültü seviyesi ölçüldüğünde, Şekil 3.8’de, en yüksek gürültü seviyesinin 3000 d/d motor devrinde ölçüldüğü görülmektedir.



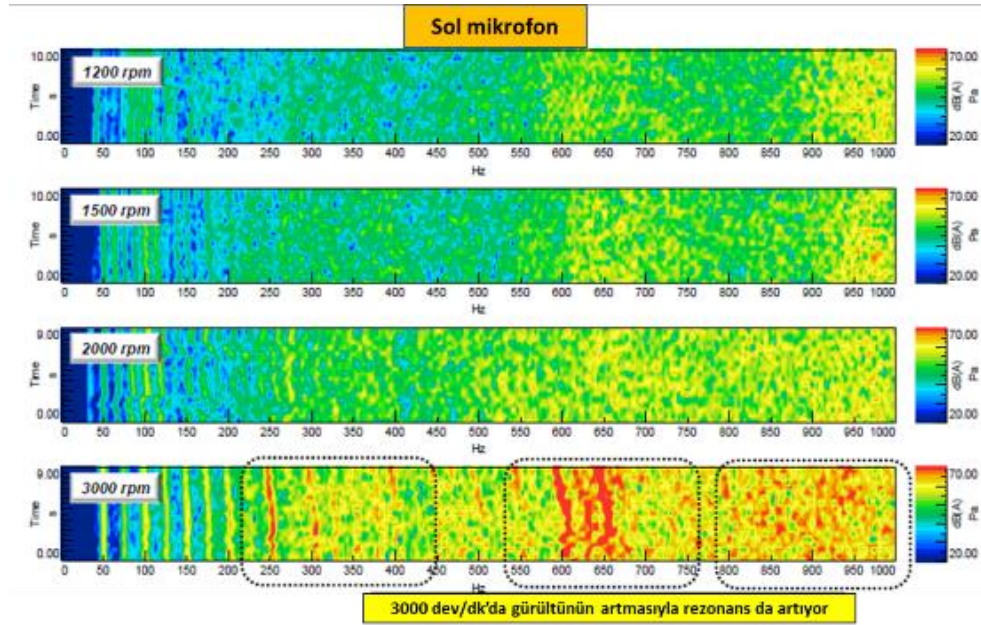
Şekil 3.9. Üst taraftaki mikrofondan alınan gürültü seviyesi

Motorun üst tarafına yerleştirilen mikrofondan, farklı devirlerdeki gürültü seviyesi ölçüldüğünde, Şekil 3.9’da, en yüksek gürültü seviyesinin 3000 dev/dk motor devrinde ölçüldüğü görülmektedir.

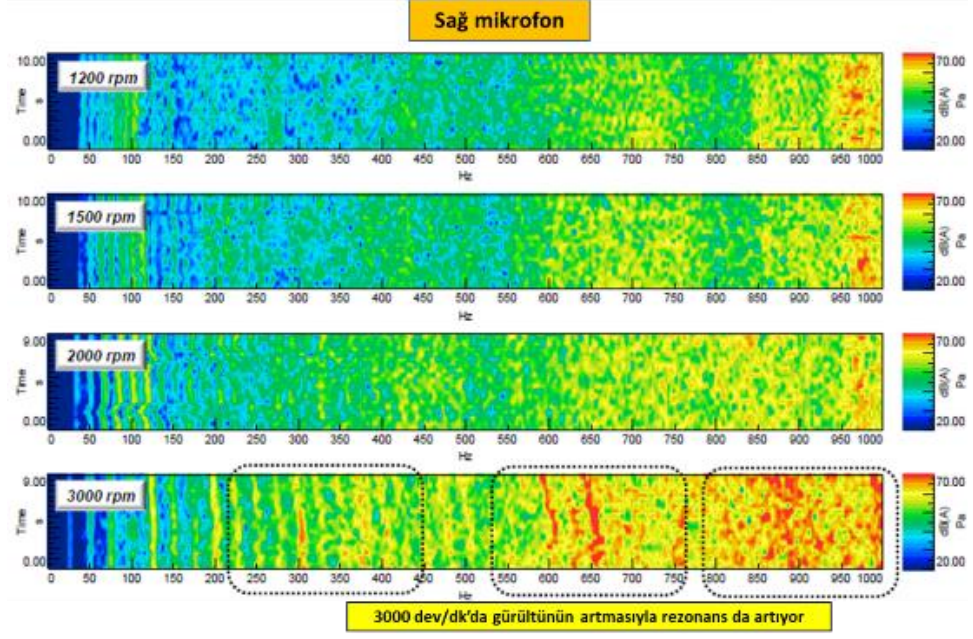


Şekil 3.10. Motor devrine göre frekans spektrumu

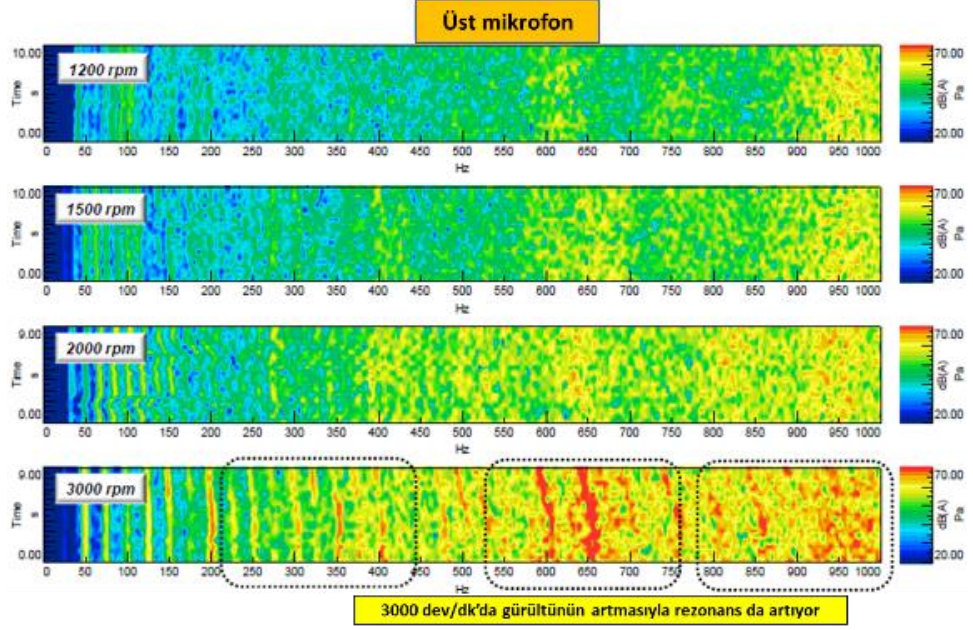
Motorun farklı sabit devirlerde test edildiği durum için, diğer grafiklerdeki sonuçlara paralel olarak, Şekil 3.10'da, frekans spektrumu grafiğinde de gürültü seviyesinin artmasına bağlı olarak 3000 dev/dk'da rezonansların arttığı görülmektedir.



Şekil 3.11. Sabit devirlerde sol tarafın renk haritası



Şekil 3.12. Sabit devirlerde sağ tarafın renk haritası



Şekil 3.13. Sabit devirlerde üst tarafın renk haritası

Renk haritalarından da anlaşıldığı gibi, 3000 dev/dk motor devrinde, kırmızı bölgelerin artması, motorun bu devrin üzerinde çalışması durumunda kabul edilemeyecek seviyede gürültü oluşturacağı anlamına gelir (Şekil 3.11, 3.12, 3.13). Bu nedenle, motorun elektrikli araç üzerinde menzil artırıcı sistemin enerji kaynağı olarak kullanılması söz

konusu olduğunda, ilk sınır şart olarak motorun maksimum çalışabileceği hız 3000 d/d olarak belirlenmiştir. Gürültü seviyesinin bu kadar yüksek olmasının sebebi, motorun tek silindirli olmasıdır. 2 silindirli motorlarda gürültü seviyesinin daha düşük olduğu bilinmektedir. Sistemin enerji yönetimini belirlerken, tespit edilen bu sınır şart, sistemin çalışmasını tamamen etkileyecek bir durumdadır. Tüm batarya yönetim stratejisi bu sınır şart dikkate alınarak oluşturulacaktır. Kullanılan motorun maksimum güç ve tork değerlerinin 6000-7000 d/d aralıklarında olduğu düşünüldüğünde, bu durum içten yanmalı motorun maksimum performansında kullanılamayacağı anlamına gelmektedir. Bu testlerin yüksüz sabit devirlerde yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda, jeneratör ile ters EMK yüküne maruz bırakılan motorun subjektif değerlendirmeleri de önem kazanmaktadır.

3.4. Menzil Artırıcı Sistemin Araç Üzerine Yerleşimi

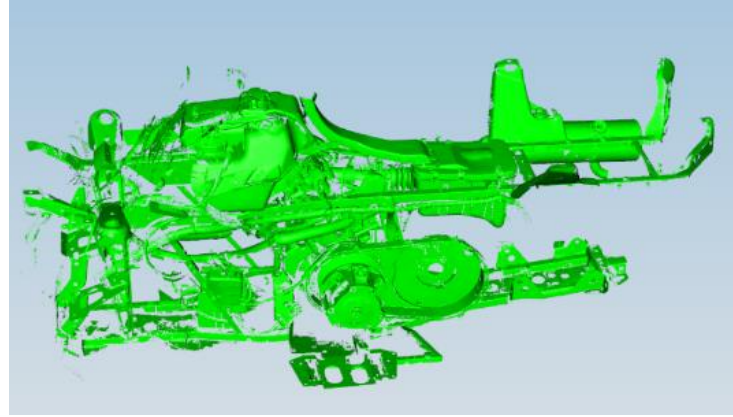
İçten yanmalı motorun ATV aracında sökülmesi ve motor harici diğer parçalarının ayrılması sonucunda, mevcut karkas üzerinde bulunan motorun, elektrikli aracın kargo bölümüne yerleşimi için çalışmalara başlanır.

Sıvı soğutmalı bir motor olması sebebiyle, radyatörün hava akışını engellemeyecek bir çözüm gerekmektedir. Ayrıca elektrikli aracın mevcut sistemini bozmadan entegrasyonu yapmak en önemli kısıttır. Bu noktada bataryanın araç altındaki yeri ve aracın soğutma sistemine müdahale etmeden yapılması gereken bir çalışma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle 3D tasarım programlarından yararlanarak çalışılması gerekmektedir.

Öncelikle araca sonradan entegre edilecek içten yanmalı motor, jeneratör ve invertör setinin 3D modelde araçla entegre edilebilmesi için, bu sistemin 3D datasının oluşturulması gerekmektedir. Bu datayı oluşturmanın en kolay yolu, Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, tersine mühendislik yöntemini kullanarak motorun taratılmasıdır.

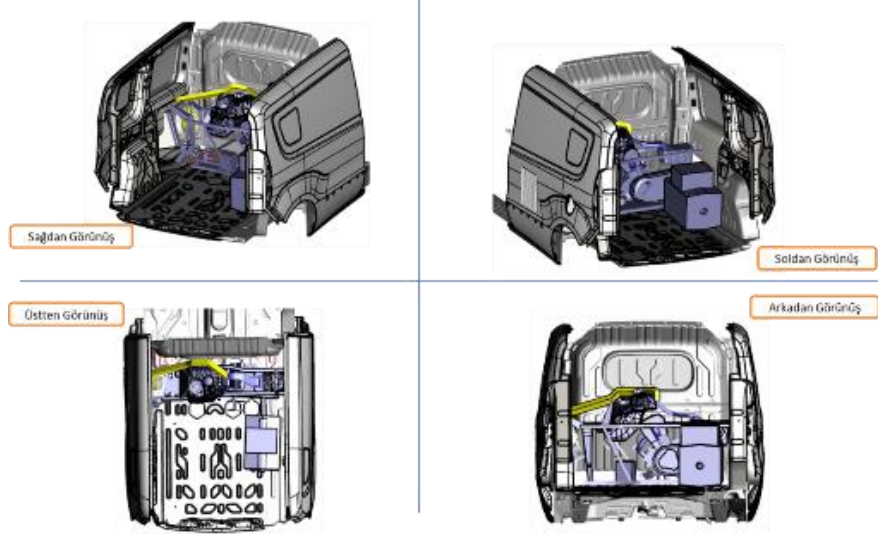


Şekil 3.14. Tersine mühendislik yöntemi ile 3D model oluşturulması



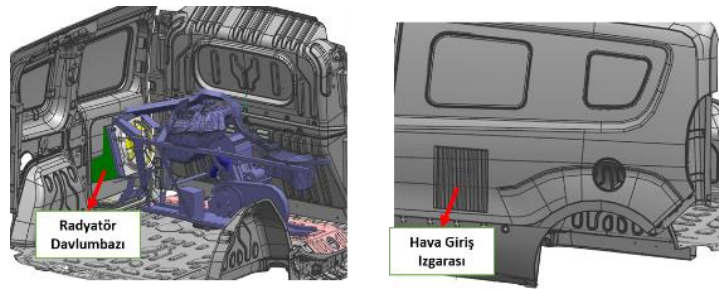
Şekil 3.15. Tersine mühendislik yöntemi ile oluşan 3D

Tersine mühendislik ile oluşturulan 3D model, elektrikli aracın kargo bölümüne sistemin ne şekilde yerleştirebileceğinin görülmesi açısından son derece önemlidir. Prototip elektrikli aracın sistemsel ve fiziki kısıtlarından dolayı, karkası ile bir bütün halinde taranarak oluşturulan bu modelin haricinde, detay parça ve sistemler bazında da modellere ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.16. Menzil artırıcı sistemin araca yerleşimi

Elektrikli aracın mevcut sistemine müdahale etmeden, menzil artırıcı sistemin entegrasyonuna çalışılırken, diğer kısıtlar ise içten yanmalı motorun soğutma, yakıt, hava emiş ve egzoz sistemlerinden gelmektedir. Sıvı soğutmalı bir soğutma sistemine sahip motorun, radyatörünün soğutulabilmesi için dışa açık bir yerden havayla teması gerekmektedir. Bu nedenle 3D model aracın üzerine konumlandırılırken, Şekil 3.17’de görüldüğü gibi, motorun ön kısmı, aracın yan tarafından açılacak pencereye bakacak şekilde aracın Y eksenine paralel konumlandırılmıştır.

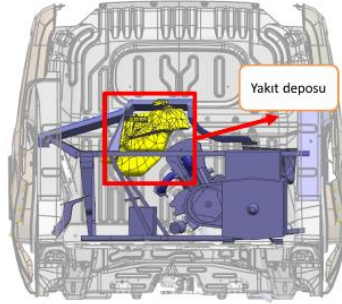


Şekil 3.17. Motor soğutma sistemi radyatör hava girişi tasarımı

Elektrikli aracın soğutma sistemine müdahale etmeden, motorun kendi soğutma sistemini koruyarak bulunan bu çözüm ile çalışmaya devam edilmiştir.

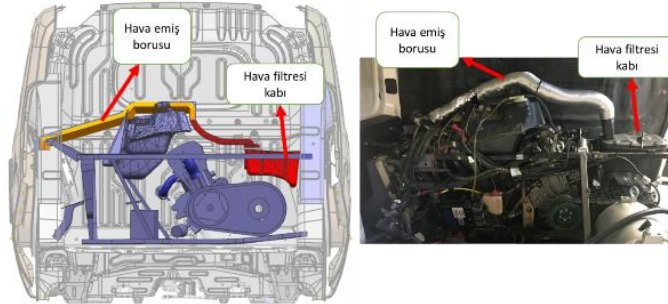


Şekil 3.18. Motor soğutma sistemi radyatör hava girişi uygulaması



Şekil 3.18. İçten yanmalı motorun yakıt sistemi

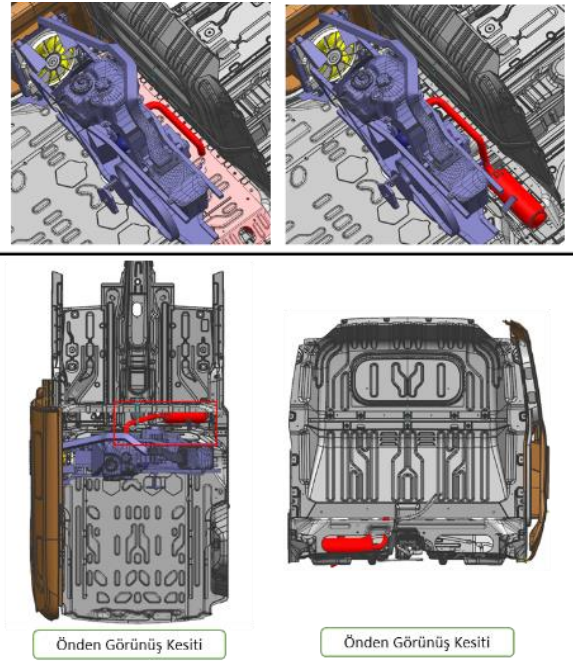
İçten yanmalı motorun yakıt sistemi, enjeksiyonlu püskürtme sistemine sahiptir. Motor kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen bu enjeksiyon sistemi, günümüz çok nokta enjeksiyon sistemi ile çalışan araç motorları gibi, subap arkasına püskürtme yaparak hava yakıt karışımının silindir içerisine alınması yöntemi ile çalışır. Yakıt deposu 17 litre benzin almaktadır ve yakıt basıncı, 3,5-4 bar aralığındadır. Günümüz çok silindirli çok nokta enjeksiyonlu benzinli motorlarının tek silindirli versiyonu olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, yakıt sistemine herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır. Depo içerisinde bulunan pompadan enjektöre gelen yakıt subap arkasına püskürtülerek silindir içerisine hava ile birlikte karışarak giriş yapar.



Şekil 3.20. İçten yanmalı motorun hava emiş sistemi

Motorun hava emiř borusu, orijinalinden farklı olarak, dışarıdan hava alacak şekilde, radyatör davlumbazı için oluşturulan hava girişi ile, hava filtresi kabı arasına yerleştirilmiştir. Bu sayede soğuk hava emişi sağlanarak volümetrik verimin dūřmesi engellenmiştir.

Araç üzerinde entegrasyon açısından en çok zorlanılan sistem egzoz sistemidir. Sıcaklığın yüksek olması ve aracın batarya ve soğutma sistemlerinin büyük oranda yer kaplaması nedeniyle, egzoz sisteminin yerleşimi için farklı öneriler değerlendirilmiştir.



şekil 3.21. Egzoz susturucusu ve egzoz borusunun öngörüs el yerleşimi

Egzoz susturucusunu taban sacının altına yerleştirerek egzoz borusunu da dışarı verecek şekilde yapılan tasarımda kritik nokta, susturucunun ve egzoz borusunun taban altında bulunan bataryaya yakın olmamasıdır. Bu nedenle şekil 3.22’de görüldüğü gibi, aracın ön tarafına yakın bölgeden taban kesilerek susturucu ve borunun bu kısımdan geçmesi planlandı.



Şekil 3.22. Egzoz susturucusu ve egzoz borusunun fiziksel yerleşimi

Önerilen tasarım yerleşimi, araç üzerine uygulandığında, ilk durumda taban sacı kesilerek susturucu taban altına yerleştirilmiştir. Sonrasında egzoz borusu montajı yapıp taban sacı kapatılmıştır. Burada en önemli nokta, yüksek sıcaklık nedeniyle ısı sacı montajlarının hem egzoz borusuna, hem de taban sacına yapılmasıdır. Motor tarafında da olası risklere karşı ısı sacı montajı yapılmıştır.

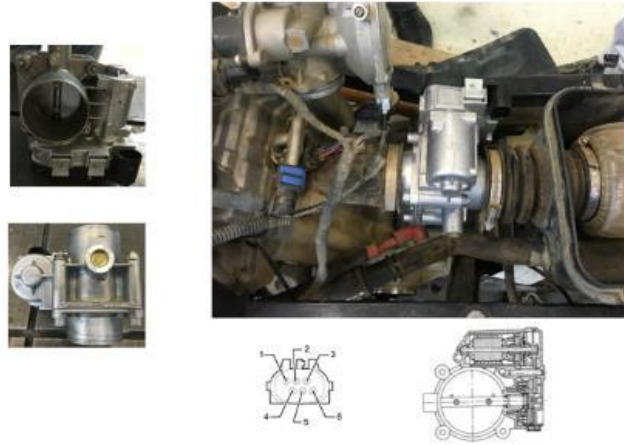
İçten yanmalı motorun bir diğer özelliği de gaz kelebeğinin telle kontrol edilmesidir. Bilindiği gibi günümüz araçlarında, elektronik kontrollü sürüşe geçilmiştir ve gaz pedallarının kontrolü de elektronik olarak yapılmaktadır. Bu motorun, gaz kelebeğinin telle kontrol edilmesi demek, menzil artırıcı sistemin devreye giriş çıkışlarını ve devir artırıp azaltma durumlarını elektronik kontrolle yapamamak demektir. Bu nedenle telli kontrolün elektronik kontrole dönüştürülmesi gerekmektedir.



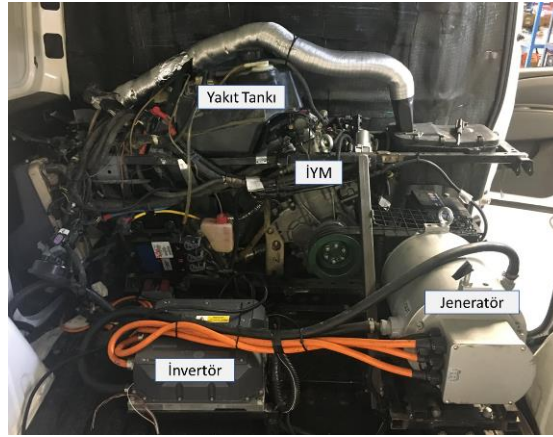
Şekil 3.23. İçten yanmalı motorun tel kontrollü gaz kelebeği

Gaz kelebeğini elektronik kontrollü yapıya dönüştürmek için, 1.4 lt 8V benzinli motorun gaz kelebeğinin entegre edilmesine karar verildi. Fakat, motorun üzerinde bulunan gaz

kelebeğinin konum sensörünün, yeni takılacak gaz kelebeğinin üzerine taşınması gerekmektedir. Gaz kelebeklerinin üzerindeki konum sensörlerinin birbirlerine ters yönde çalıştığı tespit edildiğinden bu değişikliği yapılması gereklidir. Telle kontrol yerine yeni kelebeğin aktüvatörüne motor kontrol ünitesinden çekilen bağlantı ile hareket verilmektedir.



Şekil 3.24. 1.4 L 8V Benzinli motorun gaz kelebeği entegrasyonu

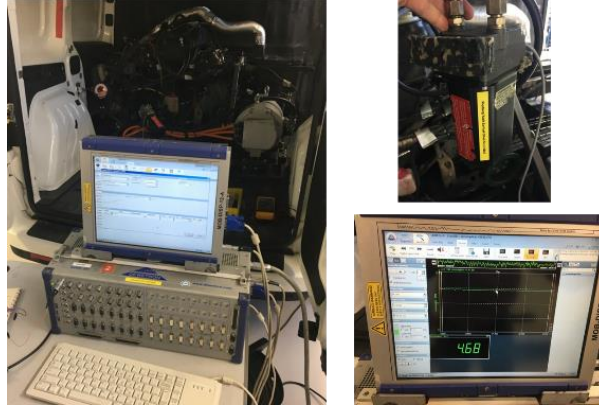


Şekil 3.25. Menzil artırıcı sistem entegrasyonu

İçten yanmalı motorun ATV aracından ayrılması, tersine mühendislik ile 3D modellerin oluşturulması sonucunda, yerleşim planı oluşturulan sistem, Şekil 3.25'te görüldüğü gibi, tasarlandığı şekilde elektrikli araca entegre edilmiştir. İçten yanmalı motorun (İYM) çeşitli şartlarda araç üzerindeyken çalıştırılması ve motordan veriler alınması gerekmektedir. Alınan veriler Matlab/Simulink model içine girileceğinden, simülasyon

sonuçlarının doğruluğu açısından son derece önemlidir. NVH testleri sonucunda, içten yanmalı motorun çalışabileceği maksimum motor devrinin 3000 d/d olması gerektiği belirlenmişti. Bu motor devri sınır koşuluna göre, jeneratör tarafından motora gelecek karşı yükü ters EMK (Elektromanyetik Kuvvet) olarak tanımlıyoruz. Farklı yüklerde içten yanmalı motorun performansı görebilmek için, jeneratörün ters EMK değerlerini kademe kademe artırarak yapılan deneylerde, içten yanmalı motorun 8 kW jeneratör ters EMK değerinin üzerinde bir yükte karşılaştığında, vuruntu yapmaya başladığı tespit edildi.

Bu durumda, diğer bir sınır şartı olarak jeneratörün maksimum ters EMK değerinin 8 kW olabileceği tespit edildi. Bundan sonra yapılacak test ve simülasyonların bu sınır şartlara göre yapılacak olması, aracın batarya yönetim stratejisini etkileyecek en önemli parametrelerden biri oldu.



Şekil 3.26. Menzil artırıcı sistem yakıt tüketim testi

Menzil artırıcı sistemin yakıt tüketim haritasını oluşturmak için, Şekil 3.26'da görüldüğü gibi, yakıt ölçüm cihazı kullanılarak, sınır şartlara bağlı kalacak şekilde testler yapıldı. İçten yanmalı motorun yakıt pompası ile yakıt enjektörü arasına monte edilen yakıt ölçüm cihazı ile, anlık yakıt tüketim değerleri alınarak kaydedildi. İçten yanmalı motorun yakıt sistemi tek yönlü olduğundan, pompadan enjektöre giden yakıtın tamamının tüketildiği anlamına gelmektedir. Buradaki yakıt debisini ölçmek, motorun o şartlardaki anlık tüketimini verir. Örnek olarak, Şekil 3.26.'da içten yanmalı motorun 3000 d/d'da çalıştığı ve jeneratörün 8 kW ters EMK ile motora yük uyguladığı şartlarda anlık yakıt tüketimi

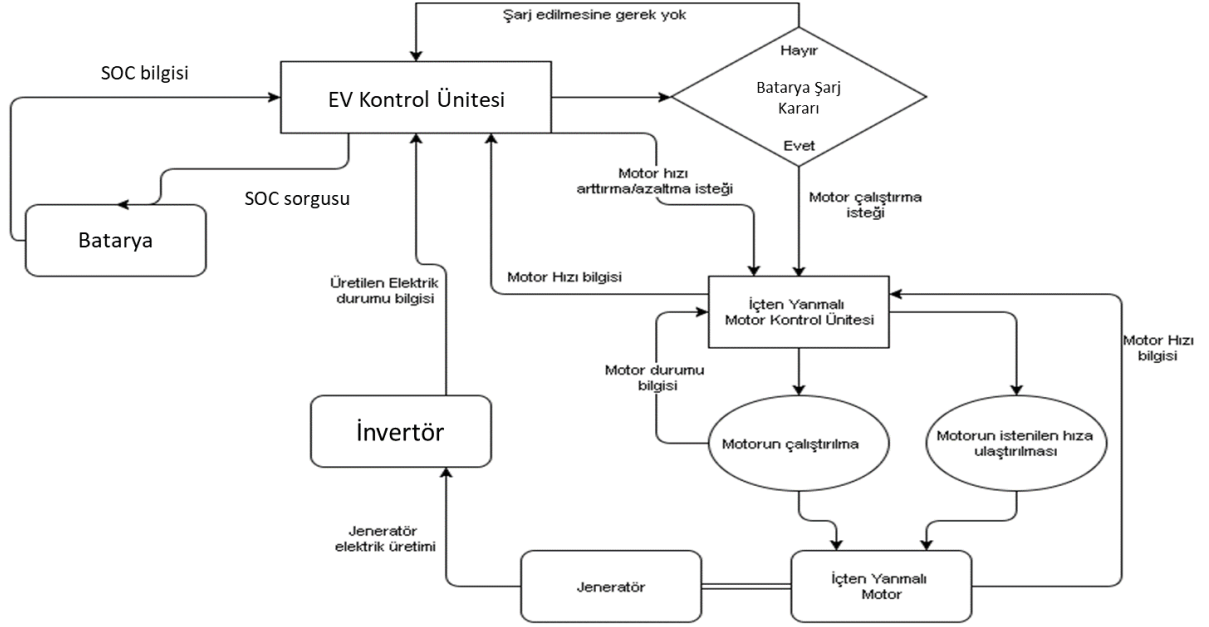
4,68 L/h olarak ölçülmüştür. Bu değer, motor devrine ve jeneratör yüküne bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 3.2. Simülasyon sınır şartları

| Sınır Şartlar | Değerler |
|---------------------------|-----------------|
| Araç Hızı | 10-110 km/h |
| Toplam Ağırlık | 1690-2090 kg |
| Jeneratör Ters EMK | 4-8 kW |
| Batarya Şarj Durumu (SOC) | 10-90 % |
| Motor Devri | ≤ 3000 d/d |
| Yakıt Tankı | 17lt |
| Batarya Kapasitesi | 21 kWh |

Menzil artıcı sistemin araca montajı sonrası yapılan testlerde, yakıt tüketim haritasının belirlenmesiyle birlikte, aynı zamanda motora yüklenebilecek maksimum yük de belirlendi. 8 kW ters EMK yükünün üzerinde bir karşı kuvvete maruz kalan içten yanmalı motorda vuruşta meydana gelmektedir ve bu istenmeyen bir durumdur. Bu tespitle birlikte simülasyon için belirlenen sınır şartlar Çizelge 3.2’de verilmektedir. Elektrikli aracın bir kısıtı olarak alınan 110 km/h maksimum hız bilgisi, menzil artırıcı sistem entegrasyonu sonrasında değişmedi. Aracın son durumdaki toplam ağırlığı 1690 kg’a ulaştı. Aracın kargo bölümünün bir kısmının menzil artırıcı sistem ile kullanılması sonucu, aracın taşıyabileceği maksimum yük de azalmış oldu. Son durumda aracta maksimum 400 kg yük taşınabileceği öngörüldü. Hafif ticari araçlarda, gün içinde bile çok farklı yük değerleri taşınabildiğinden, araç ağırlığının değişkenliği, menzile direkt olarak etki etmektedir. Binek araçlarda çok daha sabit olabilen değerler, hafif ticari araçlarda çok daha değişkendir. Bu nedenle ağırlığa bağlı olarak menzil değişiminin hesaplanması, bir aracın tasarım aşamasından itibaren önem kazanmaktadır. Batarya şarj durumunun (SOC) 10% ile 90% arasındaki doluluk oranlarında çalışması kararlaştırılmıştır. Bilindiği gibi, lityum-iyon bataryalarda, bataryanın tam kapasite kullanılması batarya ömrü açısından istenmeyen bir durumdur. Batarya ömrünü düşünerek bu çalışmada sınır şartlar belirlenmiştir. Yakıt deposu ve batarya kapasitesi

değişmeyen sabitlerdir. Menzil hesaplamalarında mevcut kapasitelerine göre simülasyon modeldeki sonuçlara etki etmektedirler.



Şekil 3.27. Menzil artırıcı sistem kontrol şeması

Menzil artırıcı sistemin fiziksel entegrasyonu sonucu, çalışma stratejisinin belirlenmesinden önce, Şekil 3.27'deki gibi, sistemin kontrol şeması oluşturuldu. Tasarlanacak Matlab/Simulink modelde, bu şemanın üzerine ilave edilecek blok diyagramlarıyla yönetimi sağlanacağından, bu şemanın doğruluğu önem kazanmaktadır. Elektrikli aracın kontrol ünitesi tarafından verilen bataryanın şarj edilmesi gerektiği kararı, içten yanmalı motorun kontrol ünitesine iletilir. Bu talebe karşılık motor çalıştırılır. Ayrıca, elektrikli aracın kontrol ünitesi, motor hızının azaltılması ve artırılması bilgisine de içten yanmalı motorun kontrol ünitesine iletir. Bu talebe karşılık olarak motor kontrol ünitesi gerekli devre ulaşır. İçten yanmalı motorun üzerinde bulunan sensörler ve aktüvatörler sayesinde, gaz kelebeği açısı, enjeksiyon miktarı gibi parametreler kontrol edilebildiğinden istenilen sabit devirlerde çalışmak mümkündür. Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi, invertörden geçerek bataryaya ulaşır. İnvertör ile elektrikli aracın kontrol ünitesi arasındaki iletişim sayesinde, anlık olarak üretilen elektrik enerjisinin bilgisi alınır. Elektrikli aracın ünitesi, bataryanın şarj durumu (SOC) bilgisini sorgular. Bataryadan gelen bilgiye göre içten yanmalı motorun çalıştırılıp çalıştırılmayacağı

kararını verir. Temel kontrol sistematığının belirlenmesi sonucunda simülasyon modelin ana hatları oluşturulmuştur.

3.5. Aracın Toplam Tahrik Kuvvetinin Hesaplanması

Araçlarda tahrik kuvvetinin aksi yönünde direnç kuvvetleri oluşur. Araç mevcut güç kaynağını kullanarak bu direnci yenmek durumundadır. Direncin artması, enerji tüketiminin de artması anlamına gelir. Bir araçta toplamda 4 çeşit direnç kuvveti oluşur. Bunlar, yuvarlanma direnci, aerodinamik(hava) direnç, eğim direnci ve ivme direncidir.

$$F_w = F_{ro} + F_{ad} + F_{cr} + F_a \quad (3.1)$$

Hava direnci araç ile rüzgarın bağıl hızına bağlı olarak değişir. Yuvarlanma direnci ise lastik ile yol yüzeyi arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Araç ağırlığının büyük etkisi buradan gelir. Eğim direnci aracın tırmandığı yokuşun eğim açısına bağlıdır. İvme direnci ise aracın mevcut ağırlığı ile ivmelenmesine bağlı olarak değişen bir dirençtir.

3.5.1. Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci, lastiğinin bir yüzey üzerinde yuvarlanırken karşılaştığı direnci ifade eder. Bu direnci ana nedenleri, lastiğin yol yüzeyiyle olan sürtünmesi ve lastiğin deformasyonudur. Lastik deformasyonu olarak tanımlanan ifade, yuvarlanma esnasındaki lastiğin şekil değiştirmesidir. Yuvarlanma direnci ne kadar yüksek olursa, bu direnci yenmek için harcanan enerji de artacağından, güç tüketimi artacaktır. Bu nedenle yuvarlanma direncinin düşürülmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Her geçen gün daha da daralan emisyon hedeflerinin yakalanabilmesi için, özellikle içten yanmalı motorlu araçlarda yakıt tüketiminin düşürülmesi için bu alanda geniş çalışmalar yapılmaktadır. Temelde hedef güç tüketiminin azaltılması olduğundan, Hibrit ve elektrikli araçlar açısından da bu çalışmalar son derece önemlidir. Hibrit ve elektrikli araçlardaki menzil kısıtı nedeniyle, yuvarlanma direncinin düşürülmesiyle yapılacak iyileştirmeler, bu araçların daha hızlı piyasa sürülebilmeleri için de katkı sağlamaktadır. Araç toplam ağırlığının yuvarlanma direncine etkisi direkt olarak görüldüğünden, ağırlık arttıkça yuvarlanma direnci artış göstereceğinden, enerji tüketimi de artar.

$$F_{ro} = \mu mg \cos \alpha \quad (3.2)$$

Denklemdede görüldüğü gibi, araç toplam ağırlığı ve yuvarlanma direnci katsayısı, yuvarlanma direncinin toplam değerine etki etmektedir. μ yuvarlanma direnci katsayısı düştükçe toplam direnç düşecektir. Lastik üreticilerinin odaklandığı nokta, bu katsayıyı düşürmektir. Ayrıca, lastik basınçlarına bağlı olarak da yuvarlanma direnci değişiklik gösterir.

$$F_{sf} = k_A V \quad (3.3)$$

Stokes sürtünme kuvveti denkleminde göre, lastik basıncı artırıldıkça yuvarlanma direnci minimuma iner.

3.5.2. Aerodinamik (Hava) Direnç

Aracın tasarımı ve fiziksel ölçüleri hava direncini etkileyen en önemli faktördür. Hava direncinin yüksek olması, yuvarlanma direncinde de olduğu gibi, aracın enerji tüketimini artırmaktadır. Gerek içten yanmalı motorlu araçlarda, gerekse hibrit ve elektrikli araçlarda hava direncinin düşük olması enerji tüketimine, buna bağlı olarak da aracın menziline direkt olarak etki eder. Aracın tasarım aşamasında bu konuda yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu konuda, ticari araçların binek araçlara göre dezavantajları bulunmaktadır. Ticari araçlar yük taşımaya göre tasarlandığından, gövde kesit alanları binek araçlara göre daha geniş olmaktadır. Bu durum hava direnç katsayılarını etkilediğinden, yüksek hızlardaki hava dirençlerinin daha yüksek olması beklenir.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \xi C_w A_f (V + V_0)^2 \quad (3.4)$$

Hava direnci kuvvetinin hesaplandığı denklem incelendiğinde, aracın kesit alanı, hava direnci katsayısı ve hava yoğunluğunun etkisi görülmektedir. En önemli değişken araç hızı ve rüzgar hızıdır. Bu değişkenlerin mevcut değerlerine göre araç üzerine gelen hava direnci değişiklik gösterir. Bu çalışmada değişken hızlarda yapılacak simülasyon çalışmalarında aracın enerji tüketimi hesaplanır.

3.5.3. Eğim Direnci

Araç yokuş yukarı giderken, ağırlığının bir bileşeni hareket yönünün tersine doğru etki eder. Bu kuvvete bir güç ile karşılık verilmezse araç yavaşlar, durur ve hatta geriye doğru hareket eder.

$$F_{cr} = \pm mg \sin\alpha \quad (3.5)$$

Araç α eğiminde yokuş yukarı gidiyorsa, aracın ağırlığı m 'in iki bileşeni vardır. Biri yol yüzeyine dik $mg \cos\alpha$ değeri, diğeri ise yola yola paralel $mg \sin\alpha$ değeridir. Harekete direnç gösteren kuvvet $mg \sin\alpha$ bileşenidir. Eğim açısı büyüdükçe direnç artmaktadır. Toplam ağırlık yine değişkenlerden biridir ve artışına bağlı olarak enerji tüketimi artar.

3.5.4. İvme Direnci

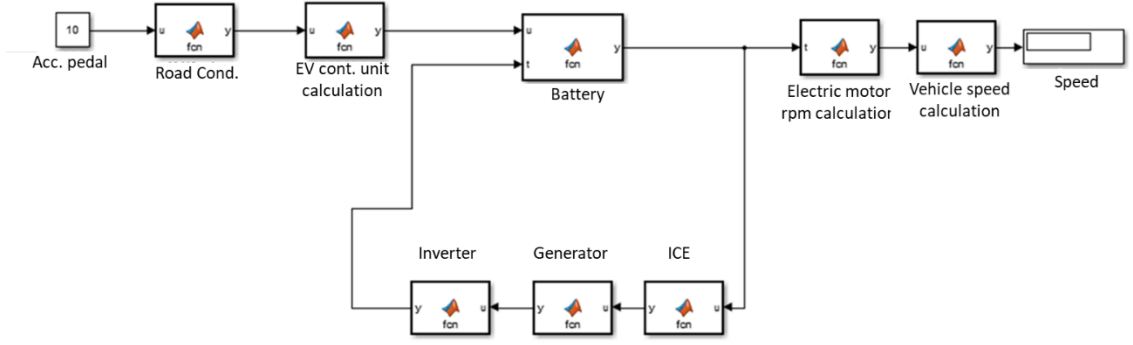
İvme direnci aracın atalet kuvvetine bağlıdır. Hız değişimi ne kadar fazla ise ivme direnci de o kadar büyük olur.

$$F_a = ma \quad (3.6)$$

Araç ağırlığı arttıkça atalet kuvveti de artacağından, ivmelenme sırasında gereken enerji miktarı da artar.

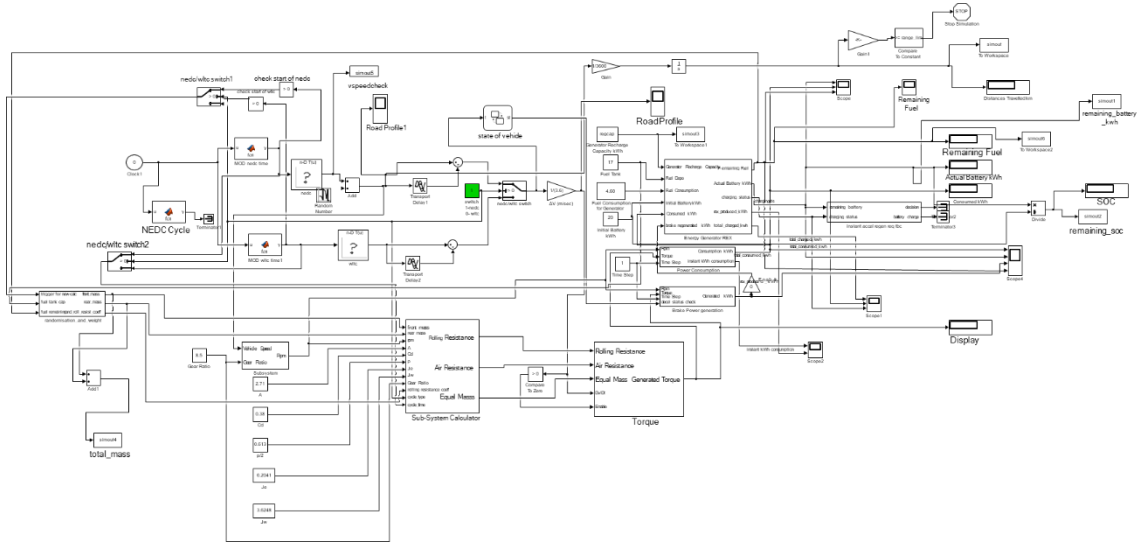
3.6. Simülasyon Modelin Oluşturulması

Menzil artırıcı sistemin fiziksel olarak araca entegrasyonu sonrasında fiziksel testler bitirilip çıkan sonuçlara göre sınır şartlar elde edildi. Ayrıca oluşturulan fiziksel modelin kontrol şeması da oluşturuldu. Bu yapılan faaliyetler sonucunda, simülasyon modeli oluşturmak için gerekli tüm veriler elde edildi. Aracın toplam tahrik gücünün hesaplanabilmesi için gerekli denklemler bir önceki bölümde açıklandı. Bu denklemlerin simülasyon modele aktarımı ile fiziksel aracın Matlab/Simulink programında modellenerek doğruluğunun test edilmesi gerekir.



Şekil 3.28. Temel Simulink modeli

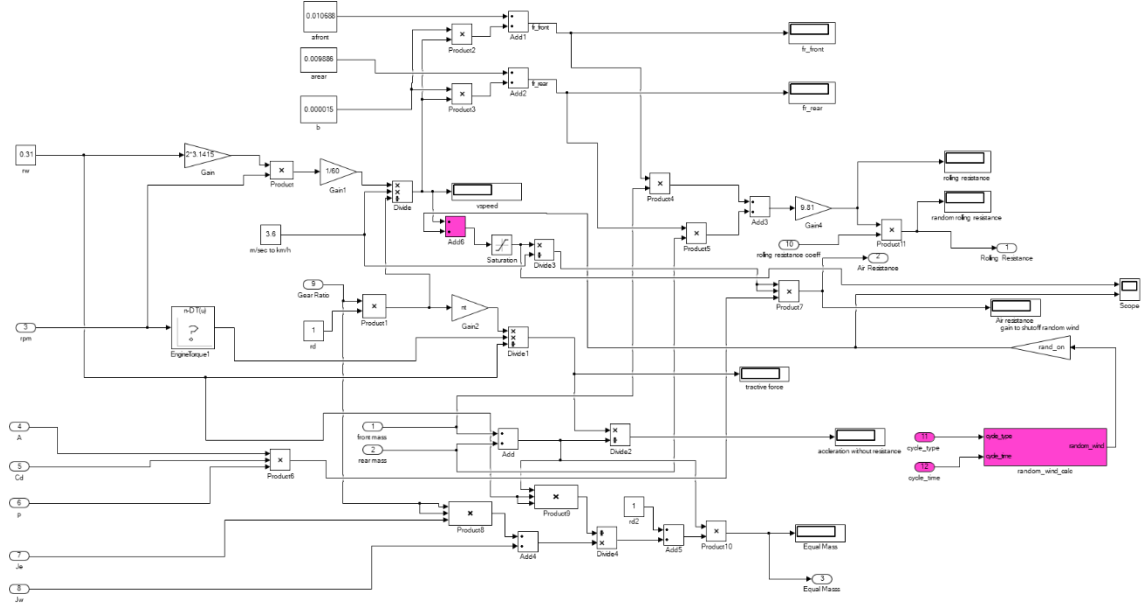
Simülasyon modelin oluşumuna başlarken öncelikle, Şekil 3.28’de görüldüğü gibi, temel simulink model oluşturuldu. Prototip hafif ticari elektrikli araç, henüz dönüşüme uğramadan önce sadece elektrik enerjisi ile çalışırken, mevcut durumda içten yanmalı motor, jeneratör ve invertör ilave ile temel modelin oluşumu tamamlandı. Simulink üzerinde tüm denklemlerin ve parametrelerin eksiksiz girilerek simülasyon modelin oluşturulması için bu temel modelin detaylandırılması gerekmektedir.



Şekil 3.29. Menzil artırıcı araç Simulink modeli

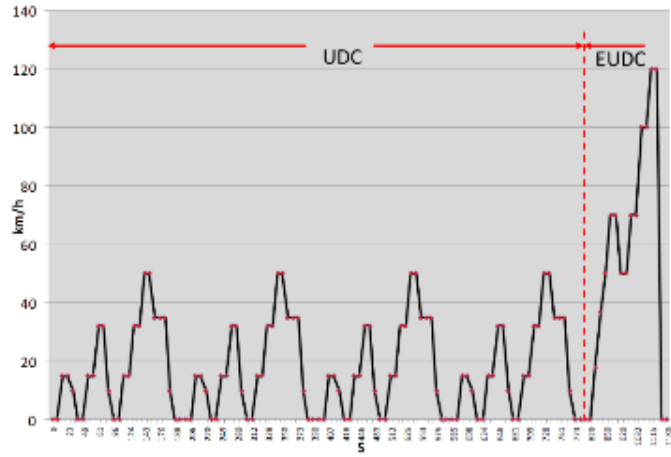
Menzil artırıcı aracın tüm teknik verileri simülasyon modele girilerek, Şekil 3.29’da görüldüğü gibi, aracın modellemesi tamamlandı. Aracın toplam tahrik kuvvetini hesaplamak için gerekli denklemler modele entegre edilerek, enerji tüketimini yüksek hassasiyetle hesaplanması hedeflendi. Araç ağırlığı, kullanılan lastik özellikleri, yakıt

tüketimi haritası gibi detaylar modele entegre edildi. Blok diyagramlarının detayında, yuvarlanma direnci, hava direnci, eğim direnci ve ivme direnci denklemleri girildi. Ayrıca aracın Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) ile test edilebilmesi için, bu çevrimin tüm verileri modele entegre edildi. Bu sayede farklı değişkenlerle standart sürüş çevrimine göre simülasyon sonuçları elde edilerek doğrulama yapılması imkanı sağlandı.



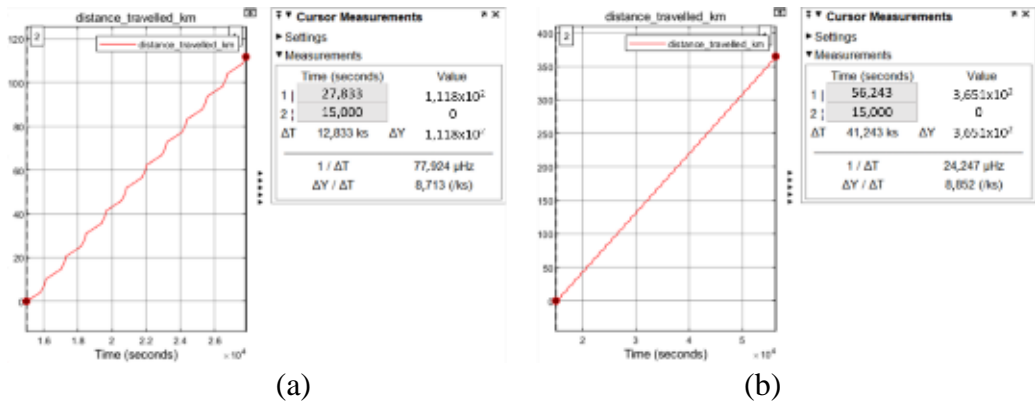
Şekil 3.30. Parametrelerin girildiği Simulink blok diyagramı

Aracın redüktör dişli oranı ve aerodinamik direnç hesaplamasında kullanılan kesit alanı gibi değiştirilemez tasarımsal parametrelerin girişi yapıldı. İçten yanmalı motorun yakıt deposu kapasitesi ve batarya kapasitesi de değiştirilemez tasarımsal sabitler olarak tanımlandı.



Şekil 3.31. NEDC sürüş çevrimi

Simülasyon modelin doğruluğunu teyit etmek için standart çevrimi kullanarak doğrulama yapıldı. NECD sürüş çevriminde çalıştırılan simülasyonda, batarya şarj durumu (SOC) alt sınıra gelene kadar çalıştırılarak maksimum menzil değeri ölçüldü. Öncelikle sadece elektrikli moda yapılan testte batarya enerjisi ile bir NEDC çevrimi sonucunda 2,05 kWh enerji tüketimi hesaplandı. Bir döngünün yaklaşık 11 km olduğu düşünüldüğünde mevcut batarya kapasitesi ile 118 km toplam menzil hesaplanmıştır. Aracın elektrikli moda geçmişte yapılan deneysel testlerindeki sonuçlara çok yakın olması sebebiyle, simülasyon modelin doğru çalıştığı teyit edildi. Simülasyon modelin tüm diğer sürüş çevrimleri ile de çalışması mümkündür. Bu çalışmada daha önceden elde edilmiş NEDC sürüş çevrimine göre deneysel sonuçlar olduğundan simülasyon modelde bu çevrime göre karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 3.32. Elektrik mod (a) ve Menzil artırıcı mod (b) Menzil karşılaştırması

İçten yanmalı motor sabit 3000 d/d'da çalışırken ve jeneratör 8 kW ters EMK ile yüklendiğinde, Şekil 3.32b'de görüldüğü gibi aracın 17 L yakıt ve batarya kapasitesinin tamamı kullanıldığında menzili, Şekil 3.32'de gösterildiği gibi, 365 km olarak hesaplanmıştır. Modelin doğruluğu, standart bir çevrime referansla yapılan doğrulama sonucunda teyit edilmiştir. Ancak kullanım koşullarının ve yük durumunun sürekli değiştiği bir hafif ticari araç için daha fazla değişkenin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yakıt tüketimi ve batarya SOC verilerini tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir model yaklaşımı uygulandı. Farklı veri kombinasyonları ile simülasyon sonuçları almak ve bu verileri yapay sinir ağlarında (YSA) kullanmak için Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) metodu kullanıldı.

Belirlenen sınır şartlara göre Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) türetilen verilere göre, 1 boyutlu Simulink modele girdi oluşturularak rastgele şartlardaki sonuçlara ulaşılarak yapay sinir ağları (YSA) metodu için de veri oluşturuldu.

Yapay sinir ağları (YSA) metodu birçok alanda kullanılan bir yöntemdir. Yapay Sinir ağları (YSA), insan beyninin temel özelliği olan öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren bir sistemdir. Öğrenme işlemini örnek veriler yardımıyla gerçekleştirilir. Bu ağlar birbirine bağlı elemanlardan oluşur. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. Yapay sinir ağının sahip olduğu bilgi bu ağırlık değerlerinde saklı olup ağa yayılmıştır. Yapay sinir ağlarının bilinen hesaplama metotlarından farklı bir hesaplama metodu vardır. Buldukları ortama uyum sağlayan, adaptif, eksik veri ile çalışabilen, belirsizlikler altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olan bu hesaplama metodu, birçok sektörde kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağlarını birbirlerine bağlayan bağlantıların değerlerine ağırlık değerleri denmektedir. Proses elemanları birbirlerine paralel olarak 3 katman halinde bir araya gelerek bir ağ oluştururlar. Bunlar;

- Girdi katmanı
- Ara katmanlar
- Çıktı katmanı

Bilgiler ağa girdi katmanından iletilir. Ara katmanlarda işlenerek oradan çıktı katmanına gönderilirler (Öztemel 2006).

4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen fiziksel model ile elde edilen verilerin bir boyutlu simülasyonla ve yapay sinir ağları ile karşılaştırması ele alınmıştır.

Adım 1: Tezin içeriğinde, öncelikle literatür araştırması yapılarak, menzil artırıcı sistemlerle ilgili geçmişten günümüze yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Bu çalışmaların tez içeriğiyle olan benzerlikleri ve farklılıkları belirlenmiştir. Literatüre olan katkı netleştirilmiştir.

Adım 2: Menzil artırıcı sistemde kullanılacak içten yanmalı motorun seçilmesi ve araca entegrasyonu sağlandı. Entegrasyon sonrasında yapılan NVH testlerinde, içten yanmalı motorun gürültü seviyesinin kabul edilir çalışma şartlarının maksimum 3000d/d olduğu tespit edildi. Ayrıca, jeneratör ters EMK değerinin 8 kW'ın üzerine çıktığı durumlarda, içten yanmalı motorun vuruntulu çalıştığı tespit edildiğinden, maksimum değer, 8 kW olarak belirlendi. Yakıt tüketim testleri bu değerlere göre yapıldı.

Adım 3: Matlab/Simulink modeli oluşturularak bir boyutlu analiz için tüm veriler denklemler modele entegre edildi. Enerji yönetim stratejisi, batarya şarj durumunun 80%'e indiği anda menzil artırıcı sistemin devreye girmesi üzerine kuruldu. Bu stratejiye göre, NEDC sürüş çevrimi ile yapılan testlerde, elektrikli modda 118 km, menzil artırıcı modda 365 km menzil elde edildi. Daha önceden elektrikli modda yapılan deneysel testlerde 113km menzil gözlemlendiğinden, modelin doğruluğu teyit edildi.

Adım 4: Latin hiperküp örnekleme ile standart çevrimin dışında, 30 örnekleme ile rastgele yapılan giriş verileri ile simülasyon sonuçları elde edildi. Aracın ağırlık, jeneratör yükü ve hızının artışıyla, yakıt tüketiminin artış durumu gözlemlendi.

Adım 5: Oluşturulan veriler yapay sinir ağları (YSA) yöntemine girdi oluşturdu. YSA ile yapılan çalışmada, R değerleri, $R = 0,994$, doğrulama: $R = 0,925$ ve test: $R = 0,989$ olarak sonuç verdi.

Adım 6: YSA sonuçlarının son derece yüksek doğrulukta çıkmasına rağmen, bir diğer metot olan çoklu lineer regresyon metodu ile de çalışma yapılarak YSA ile karşılaştırıldı. Çoklu lineer regresyon metodunun R değerlerinin 0,52 ve 0,90 çıkması nedeniyle, yapay sinir ağlarının uygun metot olduğu kararına varıldı.

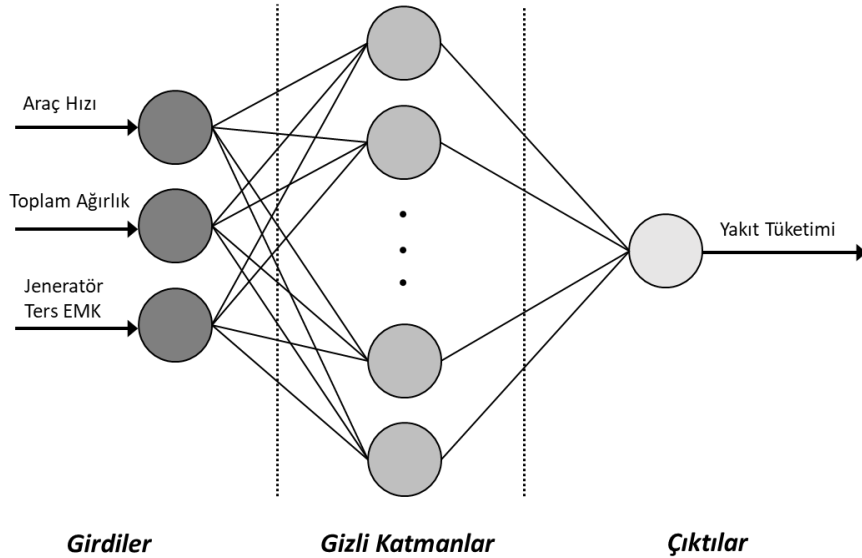
Çizelge 4.1. Latin Hiperküp örnekleme metodu ile veri üretimi

| LHÖ No | GİRDİLER | | | ÇIKTILAR | |
|-----------|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|
| | Araç Hızı (km/h) | Toplam Ağırlık (Kg) | Jeneratör Ters EMK (kW) | Kalan Şarj Durumu | Yakıt Tüketimi (lt) |
| 1 | 80,7 | 1813,8 | 7,4 | 86% | 6,02 |
| 2 | 53 | 1740,7 | 4,8 | 90% | 6,65 |
| 3 | 15,4 | 1981,9 | 4,2 | 88% | 3,83 |
| 4 | 77,6 | 2087,3 | 7,9 | 90% | 6,31 |
| 5 | 40,2 | 1935,5 | 4,1 | 90% | 6,3 |
| 6 | 55,6 | 1728,5 | 4,3 | 89% | 6,6 |
| 7 | 30,4 | 1712,6 | 5,4 | 90% | 3,26 |
| 8 | 34,3 | 1791,9 | 7 | 87% | 2,49 |
| 9 | 37,1 | 1859,3 | 5,6 | 88% | 3,51 |
| 10 | 97,2 | 1907,1 | 5,9 | 56% | 5,58 |
| 11 | 76,5 | 2003,9 | 5,2 | 75% | 6,31 |
| 12 | 44,3 | 1827,2 | 6,1 | 87% | 3,48 |
| 13 | 86,4 | 2073,7 | 6,8 | 73% | 5,99 |
| 14 | 101,9 | 2025,5 | 4,6 | 40% | 5,46 |
| 15 | 108,6 | 2014,5 | 4,4 | 30% | 5,26 |
| 16 | 23,7 | 2048,5 | 7,2 | 86% | 2,22 |
| 17 | 12,3 | 1714,7 | 7,5 | 90% | 1,95 |
| 18 | 93,4 | 1758,6 | 5,1 | 57% | 5,62 |
| 19 | 104,2 | 1972,6 | 5,9 | 46% | 5,37 |
| 20 | 23 | 1965,1 | 6,2 | 87% | 2,61 |
| 21 | 91,7 | 2040,5 | 7,6 | 72% | 5,8 |
| 22 | 47,4 | 1771,7 | 5,6 | 88% | 4,22 |
| 23 | 17,5 | 1897,4 | 7,9 | 88% | 1,91 |
| 24 | 28,2 | 1805,4 | 7,2 | 88% | 2,26 |
| 25 | 72 | 2067,2 | 6,4 | 88% | 6,53 |
| 26 | 61,9 | 1918,9 | 4,9 | 88% | 6,73 |
| 27 | 65 | 1946,9 | 6,5 | 93% | 6,13 |
| 28 | 89,7 | 1879,9 | 6,6 | 70% | 5,78 |
| 29 | 58,2 | 1869,3 | 5 | 90% | 6,76 |
| 30 | 66,9 | 1843,5 | 6,8 | 90% | 5,7 |

Farmann ve Saurer (2016), elektrikli araçlardaki lityum-iyon bataryalar için yerleşik mevcut güç tahmin tekniklerinin kapsamlı bir incelemesini sundu. Bazı yazarlar tarafından, batarya voltajı tahmini için şarj durumunu tahmin eden bir YSA kullanılmış, batarya bozulması için sinir ağları ile SOC tahmini dikkate alınmıştır (Kang ve ark. 2014, Tong ve ark. 2016).

Chemali ve ark. (2018), derin sinir ağları kullanılarak batarya şarj durumu tahminini makine öğrenimi yaklaşımıyla sundu.

Bu çalışmada, enerji yönetimi stratejisinin tahmini, çeşitli koşullar altında yakıt ekonomisine dayalı sinir ağı tabanlı bir model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı tabanlı model, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi girdi, gizli ve çıktı katmanları ile yapılandırılmıştır (Mathworks 2022). İleri beslemeli sinir ağı (İBSA), yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır. Herhangi bir doğrusal olmayan sürekli fonksiyon, üç katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağı kullanılarak tam olarak tahmin edilir (Zhang ve ark. 2007, Shahriari ve ark. 2020).



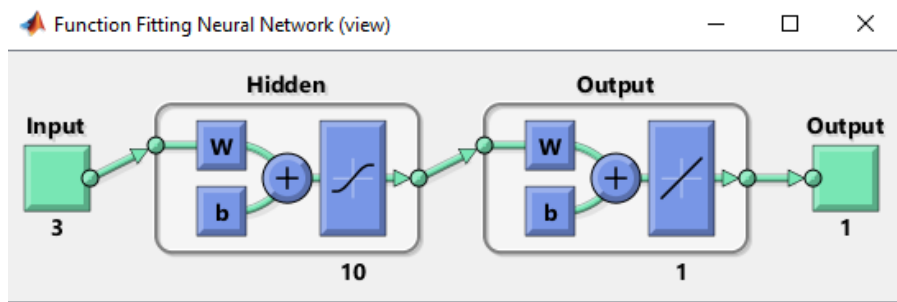
Şekil 4.1. Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi

Sinir ağı tabanlı yöntem genellikle model maliyetlerinin ve fiziksel testlerin maliyetli olduğu süreçleri değerlendirmek için kullanılır (Jin ve ark. 2001, Wang ve ark. 2007). Bu çalışmada, YSA'nın süreç parametrelerinde daha iyi tahminler sağlama avantajına sahip olması nedeniyle, menzil artırıcı bir aracın veri üretimini arttırmak için sinir ağı tabanlı model oluşturulmuştur (Pfrommer ve ark. 2018, Bulut ve ark. 2022, Wang ve ark. 2009). Matlab programı, aşağıdaki üç ana adımla sinir ağı modelini oluşturmak ve eğitmek için kullanıldı (Wang ve ark. 2021):

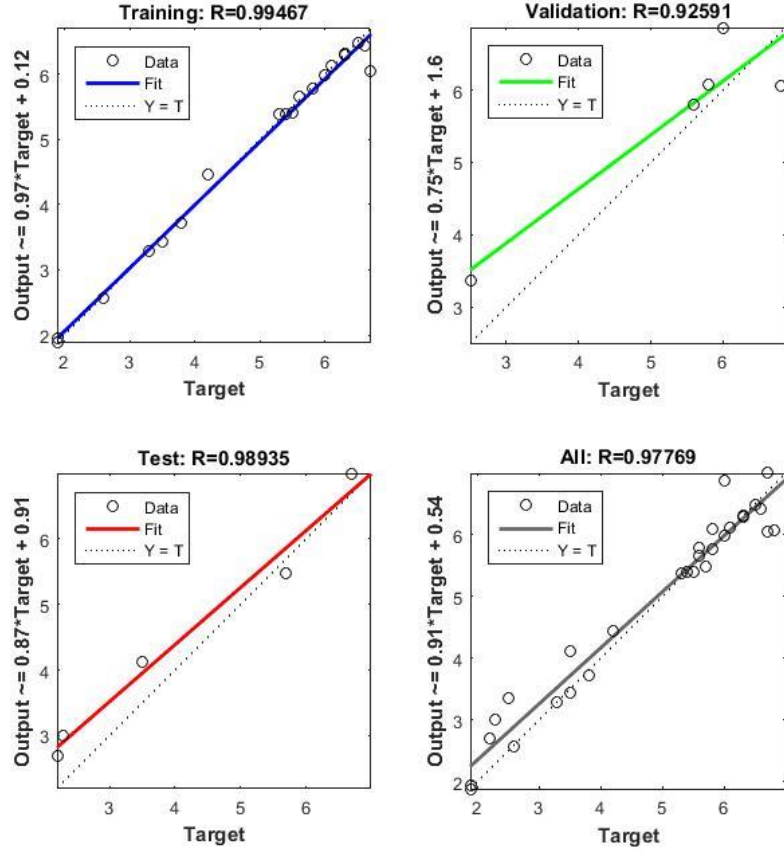
1. Girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanır ve veriler NN modelini eğitmek için içe aktarılır;
2. Veriler, eğitim, doğrulama ve test setleri ile parçalara ayrılır;
3. NN modeli, Pearson korelasyon katsayısı ve ortalama kare hatasına dayalı LM ve BR algoritmaları ile eğitilir.

YSA modelini veri setinin %75'i ile eğitmek için Levenberg–Marquardt (LM) algoritması kullanıldı. Veri setinin geri kalanı doğrulama ve test sürecinde dikkate alınmıştır. Bu araştırmada, veriler test etme, doğrulama ve öğrenme için bekletme yöntemi kullanılarak alt kümeler ayrılmıştır (Mathworks 2022). Bu teknik genellikle veri seti 30 veri gibi küçükse kullanılır. Bu çalışmada verilerin %75'i, %15'i ve %10'u öğrenme, doğrulama ve test için kullanıldı.

R-değerleri, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, 30 kez simülasyon sonuçları için öğrenme: $R = 0,994$, doğrulama: $R = 0,925$ ve test: $R = 0,989$ olarak hesaplandı. R-değerinin 1'e yakın olması için, sayı Simülasyon sayısı 90 katına çıkarılabilir. Mevcut sinir ağı mimarisinin minimum R değeri 0,99'dur. Araç simülasyon testi sonuçları ve NN tahmin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Sinir ağı modeli yüksek tahmin yeteneğine sahiptir.



Şekil 4.2. Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi görünüşü



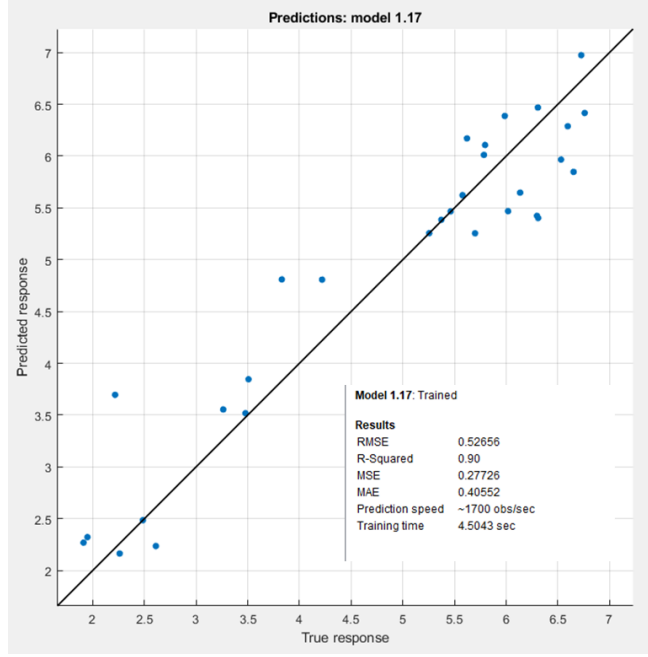
Şekil 4.3. Yakıt tüketimi için kurulan en iyi R değeri eğrileri

Yapay sinir ağı metoduna göre, ağın nöron sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bu nöron sayısı, ağın öğrenme, test ve doğrulama kabiliyetlerine göre seçilmiştir. YSA fonksiyonunu oluşturmak için 3 tane giriş değişkeni ve 1 tane çıkış değişkeni tanımlanmıştır.

Çizelge 4.2. Simülasyon test sonuçları ve YSA sonuçları karşılaştırması

| Simülasyon Sonucu Yakıt Tük. (L) | YSA Sonucu Yakıt Tük. (L) | Hata% |
|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| 6,02 | 5,99 | 0 |
| 6,65 | 6,04 | 0,09 |
| 3,83 | 3,72 | 0,03 |
| 6,31 | 6,3 | 0 |
| 6,3 | 6,28 | 0 |
| 6,6 | 6,42 | 0,03 |
| 3,26 | 3,29 | -0,01 |
| 2,49 | 3,36 | -0,35 |
| 3,51 | 4,12 | -0,17 |
| 5,58 | 5,79 | -0,04 |
| 6,31 | 6,28 | 0 |
| 3,48 | 3,44 | 0,01 |
| 5,99 | 6,86 | -0,15 |
| 5,46 | 5,4 | 0,01 |
| 5,26 | 5,38 | -0,02 |
| 2,22 | 2,7 | -0,22 |
| 1,95 | 1,95 | 0 |
| 5,62 | 5,65 | -0,01 |
| 5,37 | 5,39 | 0 |
| 2,61 | 2,58 | 0,01 |
| 5,8 | 6,08 | -0,05 |
| 4,22 | 4,45 | -0,05 |
| 1,91 | 1,89 | 0,01 |
| 2,26 | 3 | -0,33 |
| 6,53 | 6,48 | 0,01 |
| 6,73 | 6,99 | -0,04 |
| 6,13 | 6,12 | 0 |
| 5,78 | 5,77 | 0 |
| 6,76 | 6,07 | 0,1 |
| 5,7 | 5,47 | 0,04 |

Yapay sinir ağırları ile yapılan çalışmada sonuçların hata yüzdelерinin çok düşük olduğu görölmekte. Fakat bu metodu farklı metotlarla karşılaştırarak hassasiyetinden emin olmak gerekmektedir. Bu nedenle diğer bir metot olarak tanımlanan lineer regresyon metodu kullanılarak karşılaştırma yapılmaktadır.



Şekil 4.4. Lineer regresyon metodu en iyi R değeri eğrisi

Regresyon fonksiyonunu kullanan çeşitli girdi veri setlerinde değışkenlerin tepkilerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılırlar (Abrougui ve ark. 2019).

Bu çalışmada, gerekli spesifikasyonlar için yakıt tüketimi değışimini tahmin etmek için NN ve MLR kullanılmıştır. MLR tahmin performansı Şekil 4.4'te gösterilmektedir. RMSE ve R-kare için R değeri 0,52 ve 0,90 dır ve tahmin modelinin doğruluğu YSA modelinden daha düşüktür.

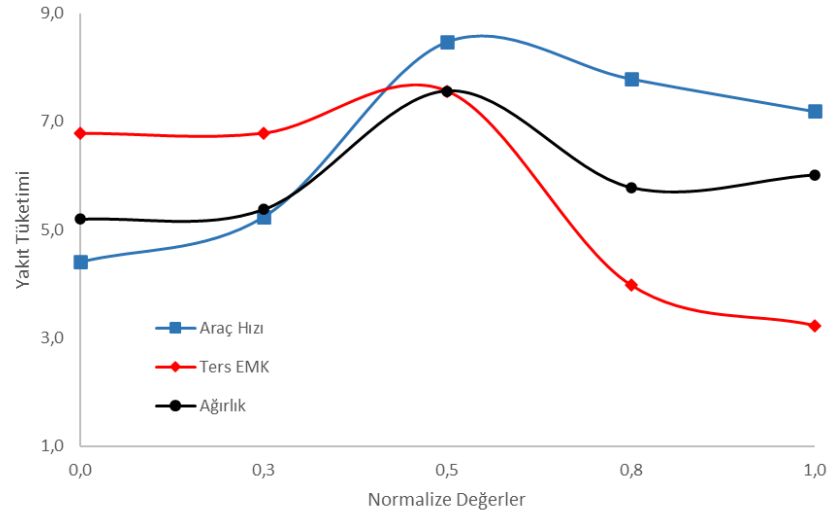
YSA önceki durumlardan öğrenebilme özelliğinden dolayı regresyona dayalı yöntemlere göre daha iyi ve daha doğru sonuçlar vermiştir. Her yöntem için yanıt değışkeni sonuçlarının karşılaştırması Çizelge 4.3'te verilmiştir. YSA tahmin tabanlı modelin, özellikle MLR regresyon tabanlı modele kıyasla yanıt değışkenlerini tahmin etmede daha iyi bir yaklaşım olduğu görölmektedir.

Çizelge 4.3. YSA ve MLR ile elde edilen sınır şartların dışındaki değerler

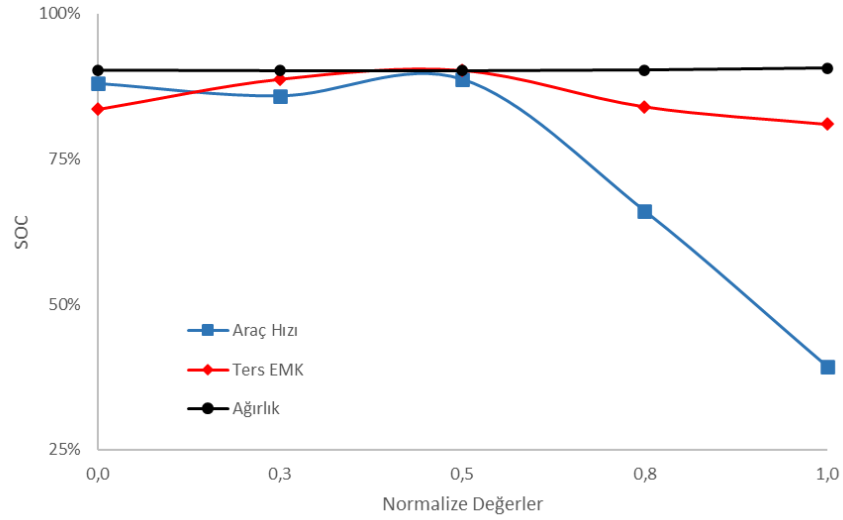
| Araç Hızı (km/h) | Toplam Ağırlık (Kg) | Jeneratör Ters EMK (kW) | Simülasyon Sonucu Yakıt Tüketimi (L) | YSA Sonucu Yakıt Tüketimi (L) | MLR Sonucu Yakıt Tüketimi (L) | YSA Hata% | MLR Hata% |
|------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|
| 120 | 2200 | 10 | 4,94 | 4,78 | 4,71 | 0,032 | 0,046 |
| 130 | 2400 | 13 | 4,72 | 4,81 | 4,09 | -0,019 | 0,133 |
| 140 | 2500 | 15 | 4,50 | 4,67 | 4,04 | -0,037 | 0,102 |

Batarya şarj durumu (SOC) %80'in altına düştüğünde gücü sürdürmek için içten yanmalı motorun çalıştığı bir strateji belirlendi. Araç hızı, jeneratör ters EMK ve ağırlığın yakıt tüketimi ve kalan batarya SOC düzeyi üzerindeki etkileri Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Araç hızı, jeneratör ters EMK ve ağırlık değerleri apsis üzerinde 0'dan 1'e kadar "normalize değerler" olarak tanımlanmıştır. Araç ağırlığı arttıkça yuvarlanma direncinin artması nedeniyle güç gereksinimi artmaktadır. Batarya şarj durumu daha hızlı düştüğü için, menzil artırıcı sistem, gidilecek mesafenin erken kilometrelerinde başlatılmalıdır. 150 km mesafe sonunda, aracın sabit hızla gittiği ve ağırlığının arttığı durumda yakıt tüketimi artar. Araç hızı arttıkça hava direnci artar, dolayısıyla güç gereksinimi de artar. Bu gerekli gücü sağlamak için jeneratör ters EMK'sı arttırılır. Bu durumda motora binen yük nedeniyle yakıt tüketimi artar.

Bazı durumlarda, sınır dışı koşullar olabilen değişkenlerle çeşitli koşullarda yakıt tüketimi sonuçlarının belirlenmesi gerekir. Sınır dışı ve çeşitli durumlarda sonuçların tahmin edilmesine ihtiyaç vardır. Bu durumlarda, NN önceki durumlardan öğrenebileceğinden, NN modeli sonuçları tahmin etmek için verimli bir şekilde hareket eder.



(a)



(b)

Şekil 4.5. Parametrelerin yakıt tüketimi (a) ve şarj durumuna (b) etkisi

Çizelge 4.3'te verildiği gibi, sınır dışı koşullardan kaynaklanan değişkenler için üç simülasyon ve NN tahmin testinin sonuçları elde edilmiştir. Önerilen sinir ağı modelinin, sınır dışı durumda da regresyon analizi ile karşılaştırıldığında yüksek tahmin yeteneğine sahip olduğu görülmektedir.

Bu sayede ilerideki projelerde sınır dışı durumlarda YSA yöntemi ile tahmin edilen değerler elde edilmiştir. Sinir ağı tabanlı bir model kullanılarak bir enerji yönetimi stratejisinin tahmininin, menzil artırıcı araçta yakıt tüketimini azaltmak için farklı

yükleme koşullarına göre işletme stratejisinin uyarlanmasıyla elde edilebileceği ifade edilmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırmada, prototip hafif ticari elektrikli araç menzil artırıcı araca dönüştürülerek yeni araç projeleri için YSA tabanlı modele dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, maliyetli hesaplamalar ve zaman alıcı analizler olmaksızın tüm değişkenleri müdahale ederek en verimli menzili genişletilmiş aracı tasarlamak için geliştirilmiştir.

Bu çalışmada menzil artırıcı kullanım stratejisinin belirlenmesi için data elde edilmesine yönelik elektrikli araca menzil artırıcı entegrasyonu yapılmış ve menzil artırıcı kullanım stratejisinin belirlenmesi için veri elde edilmesine yönelik simülasyon modeli tasarlanmıştır.

Bu çalışmada, fiziksel olarak entegrasyonunun tamamlandığı aracın menzil artırıcı kontrol şeması tasarlanmıştır. Kontrol şemasına uygun şekilde modelleme yapılarak, mevcut yakıt tüketimi şarj durumları model içine gömülerek referans değerler elde edilmiştir. Aracın değişken yüklerle ilerlemesi sonucunda, bataryanın şarj durumu değişkenlik gösterir. Bu değişkenliği gözlemlemek için, aracı NEDC çevrimini referans olarak farklı yüklerde simüle edilir. Tüm değişken parametrelere göre sonuçlar hesaplanarak, elde edilen veriler ile parametrelerin ve aracın kontrol stratejisinin belirlenmesine, menzil ve yakıt tüketiminin değerlendirilmesine yönelik veriler elde edilir.

Menzil artırıcı kullanım ile menzil ve yakıt tüketiminin değerlendirilmesi için data elde edilmesine yönelik elektrikli araca menzil artırıcı entegrasyonu yapılmış ve simülasyon modeli tasarlanmıştır. Böylece, aracın yüklü veya yüksüz durumuna göre menzil değerleri ve yakıt tüketim değerleri, farklı yol şartları ve araç parametrelerine göre değerlendirilmesi için gerekli veriler simülasyon modeli ile elde edilmiştir.

YSA metodunun verdiği sonuçlarla aracın tüm şartlardaki değerlendirmeleri yapılmaktadır. Bu sayede tekrardan bir araç üretip deneysel testler yapılmasına gerek olmadığı ve YSA metodunun sınır şartları dışında verdiği sonuçlar, bu çalışmanın tekil

bir çalışmadan ziyade tüm menzil artırıcı araçlarda kullanılabilir bir metot olduğunu da gösterir.

Bu çalışmada karşılaşılan NVH, menzil artırıcı motor entegrasyonu ile ilgili problemler ve çözümleri için yapılan çalışmalar uygun motorun belirlenmesi ve araca entegrasyonu için yapılmıştır. İçten yanmalı motorun NVH testinde elde edilen sonuçlarda 3000 d/d maksimum motor devrinde çalışması zorunluluğu, motorun optimum noktada çalışmasına engel olmuştur. 90 dB'in üzerinde çıkan gürültü seviyeleri oldukça olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorun 3000 d/d maksimum devirde çalışması kısıtı haricinde, vuruşu sebebiyle maksimum 8 kW ters EMK ile çalışabilmesi, motor seçiminin doğru olmadığını gösterir. Bu nedenle, enerji yönetim stratejisi mevcut kısıtlar nedeniyle sınırlanmıştır. Menzil artırıcı sistemlerde, mümkün olduğunca elektrikli moda giderek, şarj durumu düştüğünde içten yanmalı motorun çalıştırılması hedeflenir. Fakat bu çalışmada, içten yanmalı motorun optimum noktalarından faydalanılamadığından, batarya şarj durumunun düşmesi durumunda, maksimum 8 kW ile üretilen enerji, anlık tüketimi karşılamamaktadır. Bu nedenle, şarj durumu 80%'in altına indiği anda menzil artırıcı sistemin devreye girerek bataryaya destek vermesi gerekmektedir. Batarya kapasitesinin 21 kWh olması mevcut içten yanmalı motor ile aracın belli şartlarda hedeflenen menzili tamamlayamamasına neden olur. Batarya kapasitesinin artırılması teknik olarak olumlu karşılanacaktır. Fakat menzil artırıcılı sistemde hedef, yüksek maliyetli bataryanın kapasitesini düşük tutmak olduğundan, uygun içten yanmalı motor belirlenerek motorun entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ile oluşturulan sistem üzerindeki iyileştirmelerin belirleneceği gibi, gelecek araç projeleri için optimum özellikleri belirlemek mümkündür. Yapay sinir ağları metoduyla veri üretiminin önemi, menzil artırıcı sistemde motor seçim kriterinin de önemini belirtmektedir. NVH performansı daha iyi bir motor ile optimum noktalarda çalışan bir motor seçilirse, üretilen elektrik enerjisi de paralelinde artacaktır. Yakıt tüketiminin düşeceği gibi, aynı zamanda, kısa mesafelerde tamamen elektrikli moda gidilerek içten yanmalı motorun çalışmasına gerek olmadan yolculuk yapılabilir. Batarya şarj durumunu 40% 'a geldiğinde çalışan ve hızlıca şarj durumunu yükseltebilen bir sistem, ideale yakın bir menzil artırıcı sistemdir. Böylece, minimum motor çıkış gücünün

20 kW olduğu bir içten yanmalı motor ile bir tasarım gerçekleştirdiğinde, içten yanmalı motor, batarya, jeneratör, aracın aerodinamik katsayısı ve lastikleri gibi değişkenler, hiçbir maliyet oluşturmadan değiştirilip test edilerek tüm çıktılar elde edilip optimum araç özellikleri belirlenebilmesi için bu çalışmada önerilen tekniklerin kullanımını hesapsal işlemler, proje termin süreleri ve zaman açışından maliyetlerin en aza indirilmesi yönünde katkı sağlar.

Çalışmanın bir sonraki aşaması, daha düşük gürültü seviyesine sahip bir motor ile entegrasyon çalışması yaparak batarya yönetim sistemini, elde edilen verilerle araç üzerinde test etmektir.

KAYNAKLAR

Gage, T. and Bogdanoff, M. (1997). Low-Emission Range Extender for Electric Vehicles. *SAE Technical Paper*, 972634.

Guo, R., Cao, C., Mi, Y. (2015). Experimental Research on Powertrain NVH of Range-extended Electric Vehicle. *SAE Technical Paper*, 1, 0043. <http://dx.doi.org/10.4271/2015-01-0040>

Pischinger, M., Tomazic, D., Wittek, K., Esch, H. (2012). A Low NVH Range-Extender Application with a Small V-2 Engine - Based on a New Vibration Compensation System. *SAE Technical Paper*, 32, 0081. <https://doi.org/10.4271/2012-32-0081>

Govindswamy, K., Tomazic, D., Genender, P., Schuermann, G. (2013). The NVH Behavior of Internal Combustion Engines used in Range Extended Electric Vehicles. *SAE Technical Paper*, 01, 2002. <https://doi.org/10.4271/2013-01-2002>

Tan, F., Chiong, M., Rajoo, S., Romagnoli, A., Palenschat, T., Martinez-Botas, R. (2017). Analytical and experimental study of micro gas turbine as range extender for electric vehicles in Asian cities. *Energy Procedia*, 143, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.647>

Wu, D., Ren, J., Davies, H., Shang, J., Haas, O. (2019). Intelligent Hydrogen Fuel Cell Range Extender for Battery Electric Vehicles. *World Electr. Veh. J.*, 10, 29. <https://doi.org/10.3390/wevj10020029>

Zander, L., Svens, P., Svärd, H., Dahlander, P. (2022). Evaluation of a Back-up Range Extender and Other Heavy-Duty BEV-Supporting Systems. *World Electr. Veh. J.*, 13, 102. <https://doi.org/10.3390/wevj13060102>

Borghetti, M., Mattarelli, E., Muscoloni, J., Rinaldini, C.A., Savioli, T., Zardin, B. (2017). Design and experimental development of a compact and efficient range extender engine. *Appl. Energy.*, 202, 507–526. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.126>

Ji, F., Zhang, X., Du, F., Ding, S., Zhao, Y., Xu, Z., Wang, Y., Zhou, Y. (2020). Experimental and numerical investigation on micro gas turbine as a range extender for electric vehicle. *Appl. Therm. Eng.*, 173, 115236. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115236>

- Li, J., Jin, X., Xiong, R. (2017). Multi-objective optimization study of energy management strategy and economic analysis for a range-extended electric bus. *Applied Energy*, 194, 798–807. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.065>
- Tran, M.-K., Bhatti, A., Vrolyk, R., Wong, D., Panchal, S., Fowler, M., Fraser, R. (2021). A Review of Range Extenders in Battery Electric Vehicles: Current Progress and Future Perspectives. *World Electr. Veh. J.*, 12, 54. <https://doi.org/10.3390/wevj12020054>
- Wang, Y., Lou, D., Xu, N., Fang, L., Tan, P. (2021). Energy management and emission control for range extended electric vehicles. *Energy*, 236, 121370. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121370>
- Chen, J., Wu, J., Du, J. (2015). Real-time optimal energy management strategy for range extended electric bus in Harbin urban bus driving cycle. *EVS28-The28th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition*.
- You, Y. K., PI, J.M., Park, D.H., Kim, H.S. (2016). Development Of Driving Control Strategy For A Range-Extended Electric Vehicle Considering Route Information And Driver Aggression. *FISITA 2016 World Automotive Congress*.
- Chen, B. C., Guan, J.C., Li, J. H. (2014). Adaptive power management control of range extended electric vehicle. *Energy Procedia*, 61, 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.908>
- Barillas, J. K., Li, J., Günther, C., Danzer, M. A. (2015). A comparative study and validation of state estimation algorithms for Li-ion batteries in battery management systems. *Applied Energy*, 155, 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.102>
- Bowkett, M., Thanapalan, K., Stockley, T., Hathway, M., Williams, J. (2013). Design and Implementation of an Optimal Battery Management System for Hybrid Electric Vehicles. *19th International Conference on Automation and Computing*.
- Pfrommer, J., Zimmerling, C., Liu, J., Karger, L., Henning, F., Beyerer, J. (2018). Optimization of manufacturing processes parameters using deep neural networks as surrogate models. *Procedia CIRP.*, 72, 426-431. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.046>
- Kang, L., Zhao, X., Ma, J. (2014). A new neural network model for the state-of-charge estimation in the battery degradation process. *Applied Energy.*, 121, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.066>
- Tong, S., Lacap, J. H., Park, J. W. (2016). Battery state of charge estimation using a load-classifying neural network. *Journal of Energy Storage*, 7, 236-243. <https://dx.doi.org/10.1016/j.est.2016.07.002>
- Chemali, E., Kollmeyer, P. J., Preindl, M., Emadi, A. (2018). State-of-charge estimation of Li-ion batteries using deep neural networks: A machine learning approach. *Journal of Power Sources*, 400, 242-255. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.06.104>

Chen, Z., Mi, C. C., Xu, J., Gong, X., You, C. (2014). Energy Management for a Power-Split Plug-in Hybrid Electric Vehicle Based on Dynamic Programming and Neural Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63, 1567-1580. <https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2287102>

Moreno, J., Ortúzar, M. E., Dixon, J. W. (2006). Energy-Management System for a Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53, 614 – 623. <https://doi.org/10.1109/TIE.2006.870880>

Farmann, A., Sauer, D. U. (2016). A comprehensive review of on-board State-of-Available-Power prediction techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles. *J. Power Sources*, 329, 123–137. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.08.031>

MathWorks. (2022). Erişim adresi: <https://www.mathworks.com/discovery/neural-network.html>

Zhang, J.R., Zhang, J., Lok, T.M., Lyu, M.R. (2007). A hybrid particle swarm optimization–back-propagation algorithm for feedforward neural network training. *Appl. Math. Comput.*, 185, 1026–1037. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.07.025>

Shahriari, M., Pardo, D., Moser, B., Sobieczky, F. (2020). A Deep Neural Network as Surrogate Model for Forward Simulation of Borehole Resistivity Measurements. *Procedia Manuf.*, 42, 235–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.075>

Jin, R., Chen, W., Simpson, T. W. (2001). Comparative studies of metamodelling techniques under multiple modelling criteria. *Struct. Multidiscip. Optim.*, 23, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00158-001-0160-4>

Wang, G. G., Shan, S. (2007). Review of Metamodeling Techniques in Support of Engineering Design Optimization. *J. Mech. Des. Trans. ASME*, 129, 370–380. <https://doi.org/10.1115/1.2429697>

Bulut, E., Albak, E. İ., Sevilgen, G., Öztürk, F. (2022). Prediction and optimization of the design decisions of liquid cooling systems of battery modules using artificial neural networks. *Int. J. Energy Res.*, 46, 7293–7308. <https://doi.org/10.1002/er.7637>

Wang, J., Wan, W. (2009). Optimization of Fermentative Hydrogen Production Process Using Genetic Algorithm Based on Neural Network and Response Surface Methodology. *Int. J. Hydrog. Energy*, 34, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.10.010>

Abrougui, K., Gabsi, K., Mercatoris, B., Khemis, C., Amami, R., Chehaibi, S. (2019). Prediction of Organic Potato Yield Using Tillage Systems and Soil Properties by Artificial Neural Network (ANN) and Multiple Linear Regressions (MLR). *Soil Tillage Res.*, 190, 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.011>

Öztemel, E. (2006). Yapay Sinir Ağları. 2. Baskı. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan TÜRKER
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 1983
Yabancı Dil : İngilizce, İtalyanca

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi, 2000
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Makine Mühendisliği, 2005
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi,
Otomotiv Mühendisliği, 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., 2008-Halen

İletişim (e-posta) : erkantrker@gmail.com

Yayımları :

Türker, E., Bulut, E., Kahraman, A., Çakıcı, M., Öztürk, F. (2022) Estimation of Energy Management Strategy Using Neural-Network-Based Surrogate Model for Range Extended Vehicle. Appl. Sci., 12, 12935. [https:// doi.org/10.3390/app122412935](https://doi.org/10.3390/app122412935).