



Control of pre and post transmission parallel hybrid vehicles with fuzzy logic method and comparison with other power systems

Tolga Kocakulak¹ , Hamit Solmaz²

¹Department of Electricity and Energy, Vocational high school of technical sciences, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, 15100, Turkey

²Department of Automotive Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey

Highlights:

- Hybrid vehicle was controlled by fuzzy logic method
- Creation of pre and post transmission parallel hybrid, serial hybrid, conventional vehicle models
- Determination of the least fuel-consuming vehicle structure under NEDC, US06 and FTP 75 driving cycle conditions

Graphical/Tabular Abstract

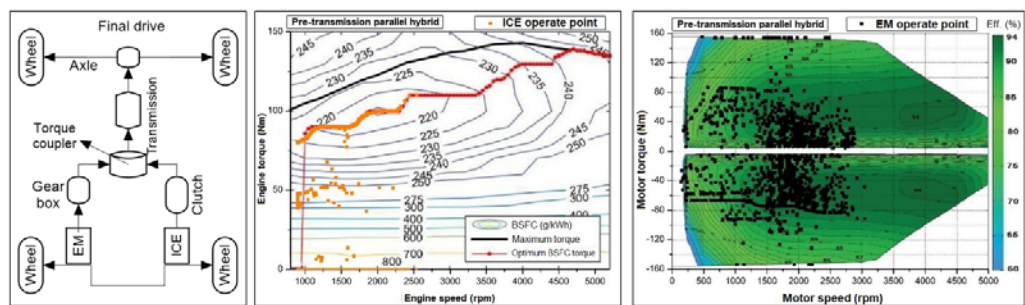


Figure A. Pre-transmission parallel hybrid vehicle diagram, operating point of ICE and electric motor under FTP 75 driving cycle

Keywords:

- Parallel hybrid vehicle
- Pre and post transmission
- Model of power system
- Serial hybrid vehicle
- Fuzzy logic control strategy

Article Info:

Research Article
Received: 25.03.2020
Accepted: 24.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.709101

Correspondence:

Author: Hamit Solmaz
e-mail: hsolmaz@gazi.edu.tr
phone: +90 312 202 8653

Purpose: In this study, it is aimed to determine the vehicle structure with minimum average fuel consumption under different driving cycle conditions by controlling the pre-transmission, post-transmission parallel hybrid power systems with fuzzy logic method and comparing them with serial hybrid and conventional vehicle structures.

Theory and Methods:

Pre-transmission, post-transmission parallel hybrid, serial hybrid and conventional vehicle structures are modeled in MATLAB / Simulink environment using mathematical equations of systems and subsystems. Transfer functions representing the power systems of the pre-transmission, the post-transmission parallel hybrid, serial hybrid and conventional vehicles are derived. In order to evaluate all vehicle structures under the same conditions, the same system and subsystems were used on all vehicle structures. While the gas and brake pedal control is provided with PID in all vehicle structures, the torque distribution of the parallel hybrid vehicle is provided by the fuzzy logic control system. All vehicle models have dual clutch gearbox and lithium-ion battery pack. The battery model was created with the equivalent circuit R_{int} method.

Results:

The lowest average fuel consumption with the values of 5.73 L in the US 06 driving cycle, 4.00 in the FTP 75 driving cycle, 3,96 in the NEDC driving cycle and 4.18 L / 100 km in the EUDC driving cycle of the pre-transmission parallel hybrid vehicle structure controlled by the fuzzy logic method. It is concluded that it has. In the ECE 15 driving cycle conditions, it was obtained that the series hybrid vehicle structure has the lowest average fuel consumption with a value of 3.62 L / 100 km. In the EUDC driving cycle conditions, which represent the intercity road speed conditions, the serial hybrid vehicle was found to cause 1.47% fuel consumption compared to the conventional vehicle.

Conclusion:

It is concluded that in all driving cycles conditions, the pre-transmission parallel hybrid vehicle structure consumes less fuel than the post-transmission parallel hybrid vehicle structure. The pre-transmission parallel hybrid vehicle structure controlled by fuzzy logic under NEDC, FTP75 and EUDC driving cycle conditions has been determined to have the lowest average fuel consumption. Under the conditions of the ECE15 driving cycle, which represents urban use, the series hybrid vehicle structure was found to consume the least amount of fuel. The conventional vehicle consumed more fuel under all driving conditions than the parallel hybrid vehicle. Conventional vehicle has become advantageous only in EUDC driving cycle conditions compared to serial hybrid vehicle.



Ön ve son iletimli paralel hibrit araçların bulanık mantık yöntemi ile kontrolü ve diğer güç sistemleri ile karşılaştırılması

Tolga Kocakulak¹ , Hamit Solmaz^{*2} 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 15100 Merkez, Burdur

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500 Yenimahalle, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Bulanık mantık yöntemi ile hibrit araç kontrolü sağlanmıştır
- Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç modelleri oluşturulmuştur
- NEDC, US06 ve FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında en az yakıt tüketen araç yapısı belirlenmiştir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 25.03.2020
Kabul: 24.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.709101

Anahtar Kelimeler:

Paralel hibrit araç,
ön ve son iletim,
seri hibrit,
bulanık mantık kontrol
stratejisi,
güç sistemi modeli

ÖZET

Bu çalışmada, ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/SIMULINK ortamında modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan araç modelleri üzerinde farklı sürüş çevrimleri için ortalama yakıt tüketim değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Paralel hibrit aracın güç, vites kademe ve rejeneratif fren kontrolü bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen kontrol algoritması ile sağlanmıştır. Tüm araç yapıları için, aracın güç sistemini temsil eden transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. Araca etki eden yuvarlanma, ivme ve aerodinamik direnç kuvvetleri modele dahil edilmiştir. İçten yanmalı motor modelinde 1,8 litre “ZR-FXE” benzinli motora ait tork/devir ve özgül yakıt tüketimi haritası kullanılmıştır. Elektrik motor modelinde “Ashwoods/Elmo-D576” marka elektrik motorunun tork/devir ve verim haritasından faydalanılmıştır. Bütün araç yapılarında 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Araçta 5 kWh enerji kapasiteli, lityum iyon batarya paketi kullanılmıştır. Eşdeğer devre yöntemi Rint metodu ile batarya modeli oluşturulmuştur. US06, FTP75, NEDC, EUDC sürüş çevrimleri için en düşük ortalama yakıt tüketimi değerlerinin bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen ön iletimli paralel hibrit araç yapısı ile sırasıyla, 5,73, 4, 3,96 ve 4,18 L/100 km olarak elde edildiği belirlenmiştir. ECE15 sürüş çevriminde 3,62 L/100 km değeri ile seri hibrit araç yapısının en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Rejeneratif fren kullanımının en etkili olduğu ECE15 sürüş çevriminde, seri, ön iletimli paralel ve son iletimli paralel hibrit araç yapılarında sırasıyla %14,22, %11,5 ve %9,95 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür.

Control of pre and post transmission parallel hybrid vehicles with fuzzy logic method and comparison with other power systems

H I G H L I G H T S

- Hybrid vehicle was controlled by fuzzy logic method
- Creation of pre- and post transmission parallel hybrid, serial hybrid and conventional vehicle models
- Determination of the least fuel-consuming vehicle structure under NEDC, US06 and FTP 75 driving cycle conditions

Article Info

Research Article
Received: 25.03.2020
Accepted: 24.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.709101

Keywords:

Parallel hybrid vehicle,
pre and post transmission,
power system,
serial hybrid vehicle,
fuzzy logic control strategy

ABSTRACT

In this study, modeling of pre-transmission parallel hybrid, post- transmission parallel hybrid, serial hybrid and conventional vehicle structures in Matlab / SIMULINK environment. Average fuel consumption values for different driving cycles were obtained on the vehicle models created and compared. The power, gear range and regenerative brake control of the parallel hybrid vehicle were provided by the control algorithm developed by the fuzzy logic method. Transfer functions representing the vehicle's power system have been created for all vehicle structures. Rolling, acceleration and aerodynamic forces acting on the vehicle are included in the model. The torque / speed and specific fuel consumption map of the 1.8 liter “ZR-FXE” gasoline engine was used in the internal combustion engine model. In the electric motor model, the torque / speed and efficiency map of the “Ashwoods / Elmo-D576” brand electric motor was used. A 7-speed DCT transmission is used in all vehicle structures. The vehicle uses a 5 kWh energy capacity, lithium ion battery pack. The battery model was created with the equivalent circuit method Rint method. It was determined that the lowest average fuel consumption values for US06, FTP75, NEDC, EUDC driving cycles were obtained as 5.73, 4, 3.96 and 4.18 L / 100 km with the pre-transmission parallel hybrid vehicle structure controlled by fuzzy logic method. In the ECE15 driving cycle, it was determined that the serial hybrid vehicle structure has the lowest average fuel consumption with a value of 3.62 L / 100 km. In the ECE15 driving cycle, where regenerative braking use is most effective, it has been observed that the series, pre-transmission parallel and post transmission parallel hybrid vehicle structures save 14.22%, 11.5% and 9.95% respectively.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: tkocakulak@mehmetakif.edu.tr, *hsolmaz@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 202 8653

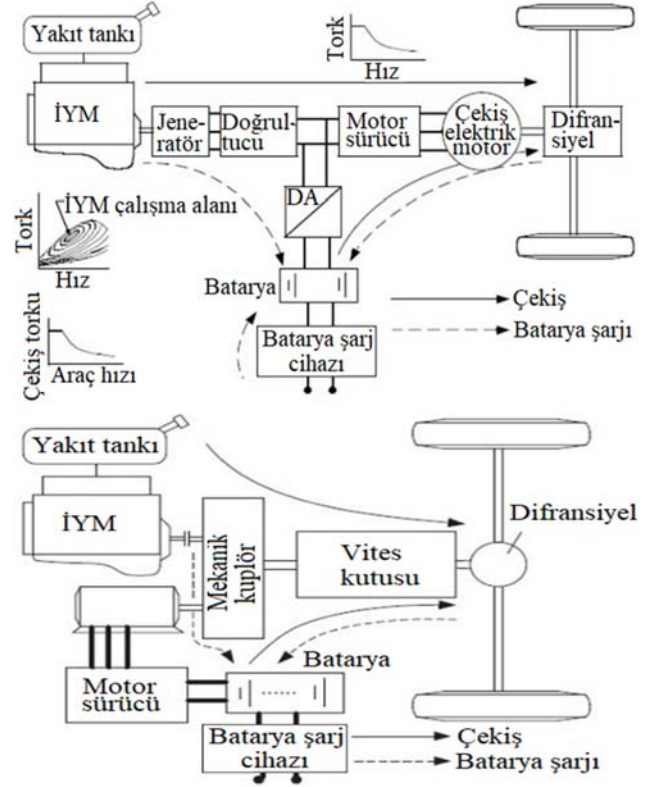
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada tüketilen toplam enerjinin %27'sini ve atmosfere salınımı yapılan sera gazı emisyonunun %33'ünü karayollarında kullanılan araçlar oluşturmaktadır. Yüksek enerji tüketimi ve yüksek kirletici gaz emisyonlarının salınımına neden olan araçların çoğu sadece İYM (içten yanmalı motor) ile çalışan düşük verimlilik değerlerine sahip geleneksel araçlardır [1-7]. Fosil yakıtlı geleneksel araçların çevreye yaydığı zararlı gaz değerlerinin azaltılması amacı ile emisyon standartları her geçen gün arttırılmaktadır. Yakın gelecekte fosil yakıtların tükenme eşiğine gelmesi beklenmektedir [8,9]. Bu sebeplerden dolayı araçların enerji verimliliği konusu önemli bir seviyeye ulaşmıştır [10-13]. Otomotiv sektöründe geleneksel araçlar üzerindeki enerji verimliliğinin arttırılması ve emisyon değerlerinin azaltılmasına yönelik ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Konvansiyonel araçlar üzerinde yardımcı sistemler ve alternatif yakıtlar kullanılarak daha düşük yakıt tüketimi ve emisyon değerleri yakalanmaya çalışılmaktadır [14-17]. Kullanılan sistemlerin ve alternatif yakıtların yanında, geleceğin otomobilleri için farklı çözüm yöntemleri arayışına gidilerek, temeli geçmişe dayanan hibrit ve elektrikli araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması zorunlu hale gelmiştir [18-20].

Elektrikli araçlar, tahrikininin tümünü elektrik enerjisinden almaktadır. Elektrikli araçlar, enerji tüketiminin düşüklüğü ve doğa dostu olmalarından dolayı günümüzde büyük ilgi görmektedir [17]. Elektrikli araçlar ile geleneksel araçlara göre, daha düşük enerji tüketim maliyeti ve emisyon değerleri elde edilmektedir. Elektrikli araçlar geleneksel araçlara göre daha sessiz çalışarak, konforlu bir sürüş sağlamaktadır [10,21]. Elektrikli araçların yaygınlaşması için şarj istasyon ağının gelişmiş olması gerekmektedir [22]. Elektrikli araçların konvansiyonel araca göre en büyük dezavantajı menzilin az oluşudur. Elektrikli araçlar ile geleneksel araçların avantajları birleştirilip, dezavantajları en aza indirgenerek menzil problemi olmayan hibrit elektrikli araç yapısı ortaya konmuştur.

Hibrit araç yapıları seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere 3 temel gruba ayrılmakta olup paralel ve seri hibrit araç yapıları yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Seri ve paralel hibrit araç yapılarına ait şematik gösterim Şekil 1'de görülmektedir. SHEA (seri hibrit elektrikli araç), tam elektrikli araç yapısına en yakın hibrit araç çeşididir. Elektrikli araca ek olarak İYM ve jeneratör olarak kullanılan EM bulunmaktadır [24]. SHEA üzerinde bulunan İYM, aracın güç aktarma sistemiyle mekanik bağlantısı bulunmamaktadır. İYM sadece elektrik üretmek amacı ile kullanılan elektrik motoruna hareket vermektedir. Jeneratör sisteminde üretilen elektrik enerjisi batarya paketlerinde depolanmaktadır. Aracın güç aktarma sistemine bağlı olan EM enerjisini, batarya paketinden sağlamaktadır [25]. SHEA tahriğinin tek tip motor ile sağlandığı için kontrolü diğer hibrit araç yapılarına göre daha basittir. İYM'nin güç aktarma sisteminden bağımsız olarak çalışması, İYM'nin

yakıt tüketiminin az olduğu güç bölgelerinde çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır [25,26]. SHEA üzerinde Jeneratör olarak kullanılan EM ve daha büyük kapasiteli batarya paketi, ek ağırlık ve maliyete neden olmaktadır [27]. SHEA yapılarının literatürde yapılan çalışmalarda, SHEA yapıları düşük hızlarda, kentsel alanlarda kullanımı ve ticari taşıtlarda, askeri taşıtlarda, özellikle şehir içi otobüslerde kullanımı daha uygun olduğu belirtilmektedir [25,28].



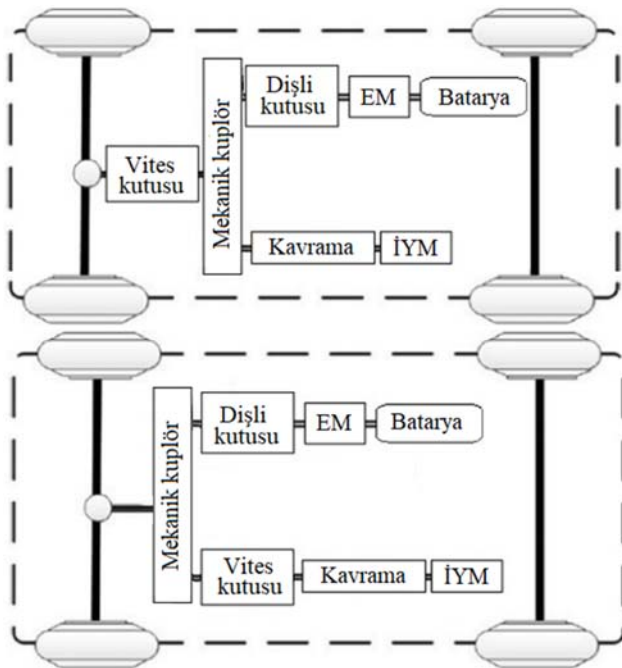
Şekil 1. Seri ve paralel hibrit araç yapı şematik gösterimi [26]

(Series and parallel hybrid vehicle structure diagram)

PHEA (paralel hibrit elektrikli araç), hibrit elektrikli araçlar içinde en yaygın kullanıma sahiptir. Paralel hibrit aracın tahriki yalnız İYM veya yalnız EM ile yapılabildiği gibi, İYM ve EM'nin eş zamanlı çalışmasıyla da sağlanabilmektedir. İYM'nin ürettiği tork, aracın ihtiyaç duyduğu torktan fazla ise, fazla olan tork ile EM jeneratör olarak çalıştırılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi de bataryada depolanmaktadır. Aracın ihtiyaç duyduğu tork düşük seviyelerde ise elektrik motoru araç güç sistemine tahrik sağlamaktadır. Aynı zamanda aracın şehir içi fazla dur kalk yaptığı sürüş şartlarında araç sadece elektrik motoru ile tahrik edilebilmektedir [29]. Tahrik sağlayan elektrik motorunun jeneratör olarak kullanılması nedeni ile elektrik enerji üretimi için ekstra elektrik motoru ihtiyacı yoktur. PHEA daha düşük güçte EM ve daha düşük kapasiteli batarya paketi kullanımına uygundur. PHEA yapısının karmaşık olması ve kontrolünün

zor olması en büyük dezavantajdır. İYM'nin güç sistemi ile bağlantılı olması nedeni ile istenilen hız ve tork bölgesine sabitlenememektedir. İYM ve EM'nin güç sistemine bağlantısı için karmaşık mekanik dişli kutularının kullanımı, maliyet ve ağırlığın artmasına neden olmaktadır [25,26,30].

Paralel hibrit elektrikli araç yapısının, ön iletimli ve son iletimli olmak üzere iki çeşiti bulunmaktadır. Şekil 2'de ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit elektrikli araç güç sistemi yapısının şematik gösterimi verilmiştir. Vites kutusu, ön iletimli hibrit araç yapılarında EM hareketine redüksiyon sağlamakta olup daha düşük güce sahip EM kullanımına imkan tanımaktadır. Bu durum maliyet ve araç ağırlığının düşürülmesi konusunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Son iletimli PHEA yapısında ise EM ve İYM bağımsız olarak kontrol edilerek en verimli noktalarda çalıştırılmasına imkan sağlayabilmektedir [31].



Şekil 2. Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit güç sistemi yapısı [30] (Pre-transmission and post-transmission parallel hybrid power system structure)

Finesso vd. [32], Simulink modeli üzerinde, konvansiyonel araçlar ile sadece ön aksta ve sadece arka aksta EM kullanılan PHEA ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. Araçlar NEDC ve FTP sürüş çevrimlerini koşullarında değerlendirilmiştir. Sadece ön, sadece arka ve ön-arka aksta EM olduğu yapılar sırasıyla 154000, 188000 ve 155000 km yol alındığında PHEA'nın, konvansiyonel araca göre avantajlı duruma geçtiğini saptamışlardır. Ön ile arka akslara EM olduğu aracın farklı sürüş çevrimleri ile elde edilen sonuçlara göre geleneksel araçlardan %42 daha az yakıt tükettiği ve %40 daha az NO_x emisyon salınımı yaptığı sonucunu elde etmişlerdir. Amini vd. [33], bir toplu taşıma aracı rotasının sürüş çevrimini oluşturarak, bu hat üzerinde dizel, hibrit ve elektrikli otobüs tiplerinin kullanım

durumlarını incelemişlerdir. Araç yapılarının modeli oluşturarak, yol çevrimi koşullarında enerji tüketimi, işletme, altyapı ve üretim maliyetlerini dahil ederek kısa ve orta vadede araç tiplerinin avantajlarını araştırmışlardır. Hibrit elektrikli aracın kalkış esnasında EM'nin desteği sonucu konvansiyonel tipe göre daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Simülasyon sonucunda dizel, hibrit ve elektrikli otobüsler için 15 yıllık işletme maliyeti (TL/Km) sırasıyla 4,56, 3,11, 2,66, araç maliyeti (TL/Km) sırasıyla 0,63, 0,95, 1,27, toplam maliyet ise sırasıyla 5,2, 4,07, 3,94 olarak elde edilmiştir. Malode vd. [34], Matlab/Simulink simülasyon programının simscape modülünde elektrikli bir araç ve rejeneratif frenleme üzerine model oluşturmuştur. Yapılan model üzerinde rejeneratif fren sisteminin %8 ile %25 değerleri arasında enerji geri kazanımını sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır. Tribioli vd. [35], dizel aracın hibrit araca dönüşümünü sağlayıp, aracın partikül emisyonlarını en aza indirmeye dayanan dinamik kontrollü yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen kontrol stratejisi ile yakıt tüketimindeki küçük artışlara karşın, farklı sürüş çevrimleri şartlarında partikül emisyonlarında ortalama %50 iyileşme olduğunu görmüşlerdir. Aracın optimum yakıt tüketiminde kullanımında ise partikül emisyonlarında %35 oranında azalma gözlemlemişlerdir. Ma vd. [36], paralel hibrit elektrikli aracın yakıt tüketim değerlerini düşürmek amacı ile bulanık mantık yöntemi kullanarak, aracın tahriki için gerekli tork ve batarya şarj oranı parametrelerine bağlı kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Aracın NEDC sürüş çevriminde kullanımında %13,3 ve WLTC sürüş çevriminde kullanımında ise %4,5 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı sonucunu elde etmişlerdir. Ming vd. [37], bir plug in PHEA modeli oluşturup, bulanık mantık yöntemi ve geleneksel kural tabanlı kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Bulanık mantık kontrol yönteminin, geleneksel kural tabanlı kontrol yöntemine göre US06, HL07, EUDC sürüş çevrimi şartlarında sırasıyla %5,99, %5,56 ve %5,63 oranlarında iyileşme sağladığı sonucu elde etmişlerdir. PHEA üzerinde bulanık mantık yöntemi ile kontrol algoritması geliştirilmesinin olumlu sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Yapılan literatür taramasında, Matlab/Simulink ortamında araç modeli oluşturularak, enerji tüketim değerleri, araç yapılarına ve enerji yönetim stratejilerinin incelendiği çalışmalar ile karşılaşılmıştır. Paralel hibrit araç kontrolünün bulanık mantık yöntemi ile sağlanmasının enerji tüketimini olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır. Fakat yapılan literatür taramasında, ön iletimli PHEA, son iletimli PHEA, SHEA ve konvansiyonel araçların ortalama yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Piyasada bulunan hibrit araçların, ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit güç sistemlerine sahip oldukları bilinmektedir. Günümüzde otomotiv firmaları, konvansiyonel araç yapılarından, elektrikli araç yapılarına geçiş sürecinin kurtarıcısı olarak gördükleri hibrit araç yapıları üzerinde bir çok geliştirme çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışma kapsamında ön iletimli PHEA, son iletimli PHEA, SHEA ve konvansiyonel araçların MATLAB/Simulink ortamında modelleri oluşturularak, ortalama yakıt tüketim değerleri elde edilmiş ve değerlendirilmesi

yapılmıştır. Böylece ön iletimli PHEA, son iletimli PHEA, SHEA ve konvansiyonel araçların enerji tüketim değerleri ve yakıt tasarrufları arasındaki ilişkiye açıklık getirilmiştir.

Her bir araç yapısının güç aktarma sistemini temsil eden transfer fonksiyon denklemleri türetilmiştir. Araç modellerine aerodinamik, ivmelenme ve yuvarlanma direnç kuvvetleri dahil edilmiştir. PHEA, bulanık mantık kontrol yöntemi ile geliştirilen, güç yönetim algoritması ile kontrol edilmiştir. Tüm hibrit araç yapılarında rejeneratif fren sistemi, bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen algoritma ile kontrol edilmiştir. Tüm araç yapılarında 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Lityum iyon batarya paketi modelinde, eşdeğer devre metodu Rint yöntemi kullanılmıştır. Tüm araç yapıları üzerinde kullanılan İYM, EM, vites kutusu, batarya paketi gibi bileşenler ve simülasyon parametrelerde değişiklik yapılmayarak, araç yapılarının ortalama yakıt tüketim değerleri aynı şartlarda elde edilmiş. Oluşturulan model üzerinden, araçlarda kullanılan İYM ve EM çalışma noktaları belirlenerek değerlendirilmesi yapılmıştır. Model üzerinde her bir araç yapısının farklı sürüş koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir. Hibrit araç yapıları üzerinde kullanılan rejeneratif fren sisteminin, farklı sürüş çevrimi koşullarında yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

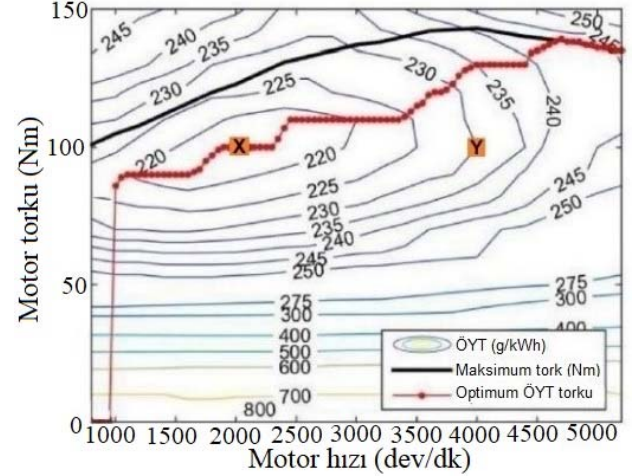
Paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç modelleri birçok sistem ve alt sistemlerden oluşmaktadır. Tüm araç yapılarının aynı şartlarda değerlendirilebilmesi için aynı alt sistemler kullanılmıştır. Araç modelleri üzerinde kullanılan sistem ve alt sistemler bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

2.1. İçten yanmalı motor modeli (Internal combustion engine model)

Bu çalışmada İYM olarak, “Toyota Prius” marka model hibrit araçta kullanılan, “2ZR-FXE” model, dört silindirli ve 1798 cc hacme sahip bir benzinli motor kullanılmıştır. İYM silindir çapı 86 mm, strok 86 mm, silindir sayısı 4, sıkıştırma oranı 13, maksimum (5200d/d) 73 kW güce ve (4000d/d) 142 Nm motor torkuna sahiptir. Model üzerinde kullanılan benzin motoru tork, devir ve ÖYT (özellik yakıt tüketimi) haritası Şekil 3’de görülmektedir. Seri hibrit araç üzerinde İYM sadece jeneratör olarak çalışan elektrik motoruna hareket sağlamaktadır. İYM modeli üzerinde belirlenen maksimum tork ve ÖYT bilgisi diğer sistem ve alt sistem modellerine gönderilmektedir.

Harita üzerinde belirtilen kırmızı eğri, motor hızına bağlı optimum ÖYT değerini vermektedir. Enerji tüketiminin en aza indirgenbilmesi amacı ile İYM’nin kırmızı eğri üzerinde çalıştırılması hedeflenmektedir. Bu nedenle, seri hibrit aracın düşük jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumlarda İYM, özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu X noktasında (2000 dev/dk, 100 Nm, 205 g/kWh) çalıştırılmaktadır. Seri hibrit aracın enerji ihtiyacının yüksek

olduğu durumlarda ise İYM, Y noktasında (4000 dev/dk, 100 Nm, 230 g/kWh) çalıştırılmaktadır. Bu çalışma noktasının belirlenmesi, elektrik motor torkunun ve devrinin müsaade edebildiği, İYM’nin en düşük ÖYT değerini vermesi durumuna dayanmaktadır.



Şekil 3. İYM tork, devir ve ÖYT haritası [38]
(ICE torque, speed and BSFC map)

2.2. Elektrik motor modeli (Electric motor model)

Paralel hibrit elektrikli araç üzerinde, hem araç tahriki hemde jeneratör olarak kullanılan elektrik motorunun modeli oluşturulmuştur. Ashwoods firmasına ait, “Elmo-D576” model doğru akım elektrik motoru, maksimum 155 Nm tork, 5000 dev/dk hız, 50 kW güç üretebilmektedir.

EM modelinde, motorun tüm devir noktalarında maksimum tork değerinin hesaplanması için firma ürün kataloğunda bulunan maksimum tork/devir/verim haritası kullanılmıştır. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan EM’ye ait tork/devir ve verim haritası Şekil 4’te görülmektedir.

Seri hibrit araç üzerinde İYM sadece jeneratör olarak çalışan EM’ye hareket sağlamaktadır. Jeneratör sistemi üzerinde bulunan İYM’nin çalışma noktalarını tanımlayan tork ve devir değerleri doğrultusunda elektrik motoruna tahrik verilmektedir. Seri hibrit aracın düşük jeneratör gücü ihtiyacı olduğu durumda EM X noktasında (2000 dev/dk, 100 Nm, %91 verim), yüksek jeneratör gücü ihtiyacı olduğunda ise Y noktasında (4000 dev/dk, 100 Nm, %92 verim) çalıştırılmaktadır.

2.3. Aracın boylamsal dinamiği ve direnç kuvvetleri (Vehicle longitudinal dynamics and resistance forces)

Araç hareketi süresince, aracın hareketine karşı direnç kuvvetine maruz kalmaktadır. Araç güç sistemi, araca etki eden direnç kuvvetlerinin üzerinde bir tork üreterek aracın ivmelenmesini sağlamaktadır. Araç modeline, aerodinamik (F_a), yuvarlanma (F_r) ve ivmelenme (F_i) direnç kuvvetleri dahil edilmiştir [40]. Eş. 1 - Eş. 5’te bulunan ρ hava yoğunluğunu, C_d aerodinamik katsayısı, A_f taşıt ön kesit

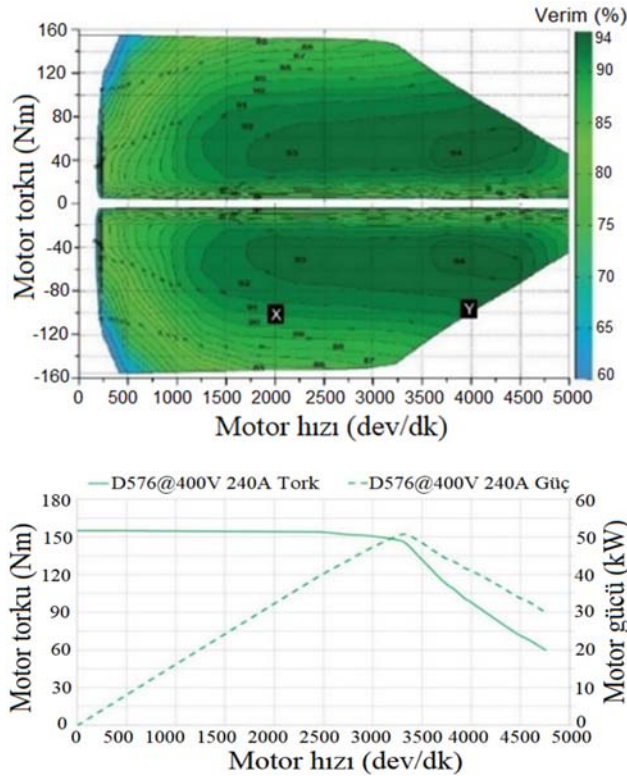
alanını, V araç hızını, m araç kütleini, g yerçekimi ivmesini, C_r yuvarlanma direnç katsayısını ve a ise araç hızını temsil etmektedir.

$$F_a = 0.5\rho C_d A_f V^2 \quad (1)$$

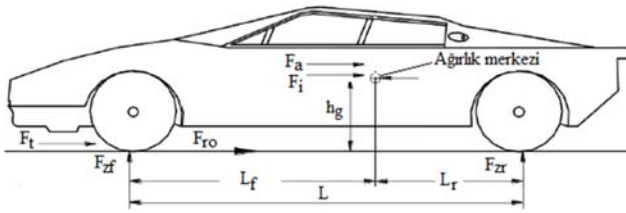
$$F_r = mgC_r \quad (2)$$

$$F_i = ma \quad (3)$$

Araç üzerinde kullanılan rejeneratif frenlemenin hesaplanmasında, tahrik sağlanan aksa düşen frenleme gücü önemli bir kriterdir. Ön aksta oluşan fren kuvvet dağılımı, rejeneratif fren katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Araca etki eden direnç kuvvetleri ve araç dinamiği parametreleri Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 4. “Elmo-D576” elektrik motoru tork/devir grafiği ve verim haritası [39]
 (“Elmo-D576” electric motor torque, speed graph and efficiency map)



Şekil 5. Araç boyutları ve düz zeminde araca etki eden kuvvetler [41]
 (Vehicle dimensions and forces acting on vehicle on flat ground)

Araç frenleme sırasında aracın ağırlık merkezi öne doğru hareket etmektedir. Bu durum frenleme anında ön aksa düşen yük dağılımının daha fazla olmasına neden olmaktadır. Rejeneratif frenlemenin daha etkili kullanılabilmesi için modeli oluşturulan araç yapıları ön akstan tahriklidir. Aracın ivmelenme anında ön aks yük dağılımı (F_{zF}) Eş. 4 ve Eş. 5’de görülmektedir.

$$F_{zF} = \frac{mg}{L} \left(L_r + h_{cog} \frac{a}{g} \right) \quad (4)$$

$$\text{Ön Fren Etkinlik Katsayısı} = \frac{F_{zF}}{F_{toplama}} \quad (5)$$

2.4. Güç aktarma sistemi ve transfer fonksiyon modeli (Powertrain system and transfer function model)

Güç aktarma sistemi, araç motoru tarafından üretilen tork üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılması ve tekerlere iletilmesini sağlamaktadır. Piyasada çok farklı araç yapıları bulunmaktadır. Bu yapıların güç aktarma sistemlerinde de birçok farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları için, güç aktarma sistemini temsil eden transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. Oluşturulan transfer fonksiyonları araç güç aktarma sistemi modellerinde kullanılmıştır.

Transfer fonksiyonu, bir mile veya silindire etki eden toplam torkun (T_{net}), toplam atalet momentine ($J_{toplama}$) bölümünün, milin açısal ivmesini ($\dot{\omega}$) vermesi prensibine dayanmaktadır. Döner bir cismin açısal ivmesinin hesaplandığı formül, Eş. 6’da verilmiştir.

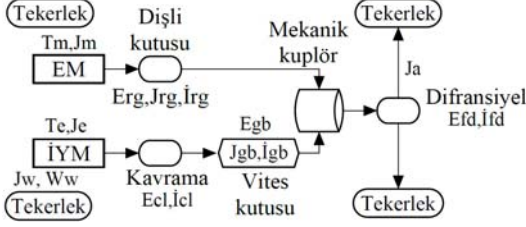
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_{net}}{J_{toplama}} \quad (6)$$

Araç yapılarının güç sistemini temsil eden eşitliklerde, T tork, i redüksiyon oranı, η verim, ω açısal hız ve $\dot{\omega}$ ise açısal ivme değerlerini vermektedir. Bu parametrelerin alt indislerinden, m elektrik motoru, e içten yanmalı motor, fd difransiyel, rg redüksiyon kutusu, w tekerlek, a aks ve gb ise vites kutusunu açıklamalarını ifade etmektedir.

Son iletimli güç aktarma sistemi (Post-transmission power system)

Son iletimli hibrit araç güç sistemine EM ve İYM tarafından üretilen torkun girdisi yapılmaktadır. EM tarafından üretilen tork, redüksiyon dişli kutusu tarafından gerekli düzenlemeler yapılarak mekanik kuplöre iletilmektedir. İYM tarafından üretilen tork ise vites kutusu üzerinde düzenlenmektedir. İYM ile vites kutusu arasında ki hareketin kesilmesi ve birleştirilebilmesi amacı ile kavrama sistemi bulunmaktadır. Mekanik kuplör, EM ve İYM tarafından üretilen torkun birleşimini sağlayıp diferansiyele iletmektedir.

Diferansiyelde redüksiyona uğrayan tork aksa ve tekerlere iletilmektedir. Son iletimli PHEA güç sistem şeması şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Son iletimli paralel hibrit araç güç aktarma sistemi şematik gösterimi
(Scheme of the post-transmission parallel hybrid vehicle powertrain)

Son iletimli paralel hibrit güç aktarma sistemi transfer fonksiyonunda EM, redüksiyon kutusu, İYM, vites kutusu ve tekerlere ait atalet moment değerleri hesaba dahil edilmiştir. Sisteme tork girdisi, EM ve İYM tarafından sağlanmaktadır. Sistemde tork düzenlemeleri redüksiyon kutusu, şanzıman ve diferansiyelde yapılmaktadır. Otomatik şanzıman için tork konvertörü kullanılması durumunda oluşacak tork artırımını göz önünde bulundurularak kavrama için redüksiyon oranı eklenmiştir. Son iletimli paralel hibrit araç güç aktarma sistemini temsil etmesi amacı ile türetilen transfer fonksiyonu Eş. 7'de görülmektedir.

$$\omega_w = \int_t \frac{\begin{bmatrix} T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{fd} \eta_{fd} \\ + T_e i_{cl} \eta_{cl} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} J_m i_{rg}^2 \eta_{rg} + J_{rg} i_{rg} \eta_{rg} \\ \eta_{fd} i_{fd}^2 \\ + J_e i_{gb}^2 i_{cl} \eta_{cl} \eta_{gb} \\ + J_{gb} i_{gb} \eta_{gb} \\ + (4J_w + 2J_a) \end{bmatrix}} dt \quad (7)$$

Elde edilen eşitlik, son iletimli paralel hibrit araç tekerlerinin açılma hızını vermekte olup MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

Ön iletimli güç aktarma sistemi (Pre-transmission power system)

Ön iletimli PHEA güç aktarma sisteminin, son iletimli PHEA güç aktarma sistemine göre tek fark, EM ve İYM tarafından üretilen tork, tork kuplöründe birleştikten sonra vites kutusu redüksiyonuna uğramasıdır. Ön iletimli paralel hibrit araca ait güç sistemi şeması Şekil 7'de görülmektedir.

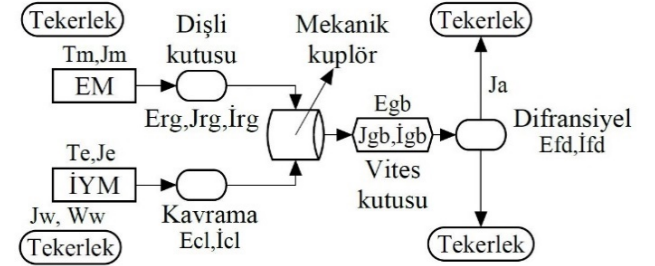
Ön iletimli paralel hibrit araç güç aktarma sistemini temsil etmesi amacı ile türetilen transfer fonksiyonu Eş. 8'de görülmektedir.

$$\omega_w = \int_t \frac{T_e i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{cl} + T_m i_{rg} \eta_{rg} i_{gb} \eta_{gb} i_{fd} \eta_{fd} - T_w}{\begin{bmatrix} \eta_{fd} i_{fd}^2 \eta_{gb} i_{gb}^2 \\ \left(J_e \eta_{cl} + J_{rg} i_{rg} \eta_{rg} + J_m i_{rg}^2 \eta_{rg} + \frac{J_{gb}}{i_{gb}} \right) \\ + (4J_w + 2J_a) \end{bmatrix}} dt \quad (8)$$

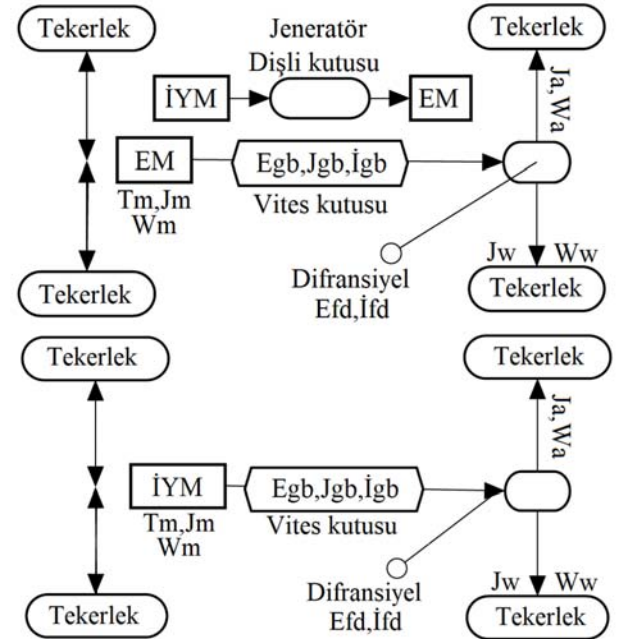
Elde edilen eşitlik, ön iletimli paralel hibrit araç tekerlerinin açılma hızını vermekte olup MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

Seri hibrit ve Konvansiyonel araç güç aktarma sistemi (Series hybrid and conventional vehicle powertrain system)

Seri hibrit elektrikli ve konvansiyonel aracın güç aktarma sistemi vites kutusu, diferansiyel, akslar ve tekerleklerden oluşmaktadır. MATLAB/Simulink ortamında modeli oluşturulan seri hibrit elektrikli aracın güç aktarma sistemi şematik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Ön iletimli paralel hibrit araç güç aktarma sistemi şematik gösterimi
(Scheme of the pre-transmission parallel hybrid vehicle powertrain)



Şekil 8. Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç aktarma sistemleri şematik gösterimi
(Scheme of the series parallel hybrid and conventional vehicle powertrain)

Seri hibrit ve konvansiyonel araç güç aktarma sistemini temsil etmesi amacı ile türetilen transfer fonksiyonu Eş. 9'da görülmektedir.

$$\omega_w = \int_t \frac{T_m i_{gb} i_{fd} \eta_{fd} \eta_{gb} - T_w}{J_m i_{fd}^2 i_{gb}^2 \eta_{gb} \eta_{fd} + 2J_a + 4J_w} dt \quad (9)$$

Elde edilen eşitlik, seri hibrit ve konvansiyonel araç tekerlerinin açılma hızını vermekte olup MATLAB/Simulink simülasyon programı üzerine girdisi sağlanmıştır.

2.5. Vites kutusu ve tork birleştirici modeli (Gearbox and torque coupler model)

Araç modellerinde “Hyundai Transys” marka, “D022S7” model 7 ileri DCT şanzıman kullanılmıştır. Şanzıman redüksiyon oranları sırasıyla 3,813, 2,261, 1,957, 1,073, 0,902 , 0,837 ve 0,756 olarak katalogtan alınmıştır. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan 7 ileri bir DCT şanzıman modeli Matlab/Simulink üzerinde oluşturulmuş olup bulanık mantık üyelik fonksiyonları ile birlikte Şekil 9’da görülmektedir. Oluşturulan şanzıman modelinde araç hızı ve gaz pedal konumu doğrultusunda vites konumları belirlenmektedir. Belirlenen vites konumuna ait redüksiyon oranı güç aktarma sistemi modeline gönderilmektedir.

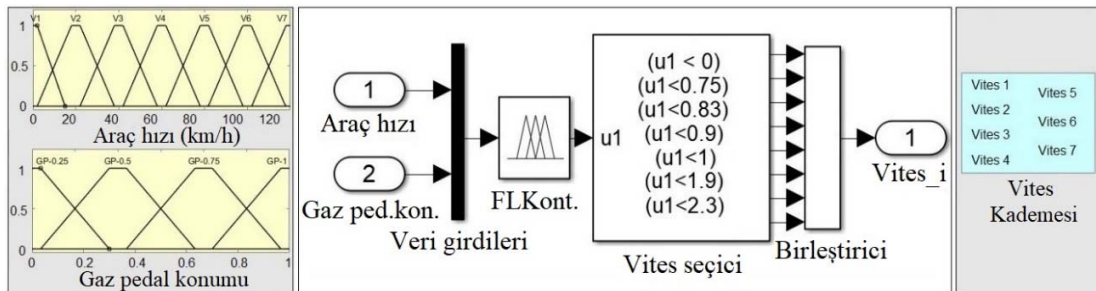
PHEA üzerinde EM ile İYM güçlerinin tek bir çıkış üzerinde toplanabilmesi amacı ile mekanik tork birleştirici kullanılmaktadır. Tork birleştiriciler enerji tasarrufu ve konfor açısından, dişlilerinin yüksek verimde ve sessiz çalışması istenilmektedir. Tork kuplörü, İYM’den aldığı hareket ile tekerleklerle tahrik sağladığı gibi EM’nin jeneratör olarak çalışmasına da imkân sağlamaktadır. Ayrıca aracın rejeneratif fren modunda olması durumunda, İYM bağlantısı kavrama ile kesilerek tekerlekten alınan hareketin sadece EM’ye iletimi de sağlanmaktadır [26, 42, 43, 44]. Paralel hibrit araç üzerinde kullanılan mekanik tork birleştirici Şekil 10’da görülmektedir.

PHEA mekanik tork kuplörünün çıkış torkunun hesaplandığı matematiksel denklem Eş. 10’da görülmektedir [42].

$$T_{\zeta} = \frac{i_{g2}}{i_{g1}} T_{g1} + \frac{i_{g4}}{i_{g3}} T_{g2} \quad (10)$$

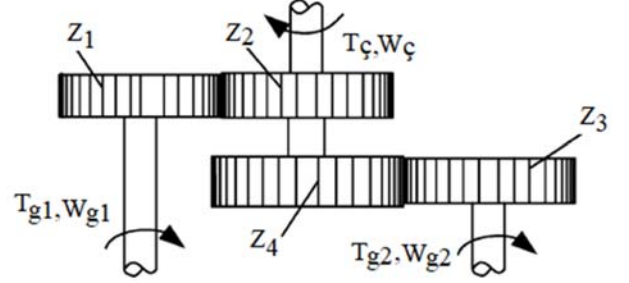
Tork kuplörü giriş ve çıkış milleri arasında oluşan hız ilişkileri Eş. 11’de bulunan denklem ile ifade edilmiştir [42].

$$\omega_{\zeta} = \frac{i_{g1}}{i_{g2}} \omega_{g1} = \frac{i_{g3}}{i_{g4}} \omega_{g2} \quad (11)$$



Şekil 9. DCT şanzımanın Matlab/Simulink modeli ve üyelik fonksiyonları
(Matlab/Simulink model and membership functions of DCT transmission)

Model üzerinde kullanılan mekanik tork birleştiricisi üzerinde herhangi bir redüksiyona ihtiyaç duyulmadığı için 1 olarak belirlenmiştir.



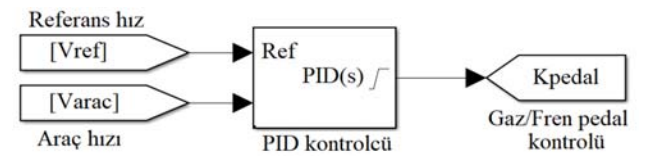
Şekil 10. Mekanik dişli tip tork kuplörü [42]
(Mechanical gear type torque coupler)

2.6. Güç yönetim sistemleri (Power management systems)

Bu çalışma üzerinde modeli oluşturulan tüm araç yapılarının, referans hız şartlarında seyirini sürdürebilmesi amacı ile gaz ve fren pedal kontrolü sağlanmıştır. Paralel hibrit araç yapısında ise enerji verimliliği ve araç performansı parametrelerinin optimum seviyede tutulabilmesi amacı ile İYM ve EM torklarının kontrolü bulanık mantık yöntemi ile oluşturulan kontrol algoritması ile sağlanmıştır.

Gaz ve fren pedal kontrolü (Throttle and brake pedal control)

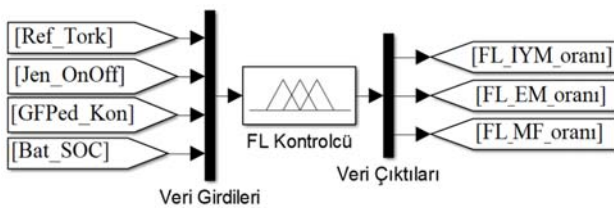
Tüm araç yapılarında gaz ve fren pedal konumlarının kontrolü PID (proportional, integral, derivative) kontrolcü tarafından yapılmaktadır. PID kontrolcü, araç hızını referans hızla eşitlemek amacı ile gaz pedal konumunu (0 ile 1 arasında değerler) ve fren pedal konumunu (-1 ile 0 arasında değerler) belirlemektedir. Araç modeli üzerinde bulunan gaz ve fren pedalı kontrolü, Simulink modeli Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Araç gaz ve fren pedal kontrol modeli
(Model of vehicle’s throttle and brake pedal control)

Bulanık mantık kontrol stratejisi modeli
(Fuzzy logic control strategy model)

Bu çalışmada paralel hibrit aracın güç ve enerji kontrolü, bulanık mantık yöntemi ile sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrolcüsüne aracın tork ihtiyacı, gaz/fren pedal konumu, jeneratör mod durumu (açık/kapalı) ve SOC (batarya şarj durumu) değerlerinin girdisi sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrolcüsü, girdisi yapılan bu parametreleri, tanımlanan kurallar doğrultusunda çözümlenip, EM, İYM ve mekanik fren kontrolünü optimum şekilde sağlamaktadır. Paralel hibrit aracın güç yönetiminde EM ve İYM torklarının optimum şekilde kontrolü Şekil 12’de görülen bulanık mantık yöntemi modeli ile sağlanmaktadır.



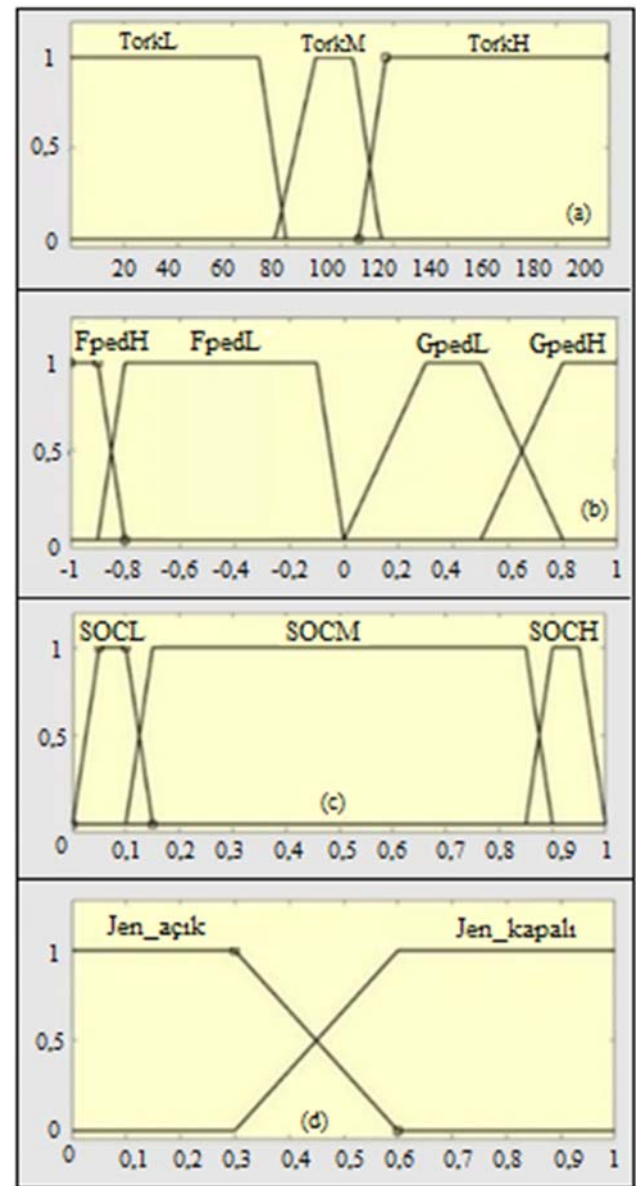
Şekil 12. Paralel hibrit aracın bulanık mantık kontrolcüsü
(Fuzzy logic controller of parallel hybrid vehicle)

Bulanık mantık kontrol yönteminin araç tork ihtiyacı, gaz/fren pedal konumu, batarya şarj oranı ve jeneratör açık/kapalı konum bilgisi olmak üzere 4 üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bulanık mantık kontrol stratejisi algoritma kuralları bu dört üyelik fonksiyonu kapsamında yapılan açıklamalar çerçevesinde oluşturulmaktadır. Bulanık mantık kontrol stratejisi araç tork ihtiyacı (a), gaz ve fren pedal konum üyelik fonksiyonu (b), batarya doluluk oranı (c), jeneratörün açık/kapalı bilgisi (d) üyelik fonksiyonları Şekil 13’te görülmektedir.

Paralel hibrit araç düşük tork ihtiyaçlarında sadece EM, orta seviyeli tork ihtiyaçlarında sadece İYM ve yüksek tork ihtiyaçlarında ise hem EM hem de İYM ile tahrik edilmektedir. Böylece İYM çalışma çevriminin, ÖYT değerlerinin en düşük olduğu seviyelerde tutulması hedeflenmiştir.

Fren pedali konumu yüksek seviyelere ulaştığında bulanık mantık kontrolcü diğer parametrelere bakmaksızın mekanik freni devreye almaktadır. Araç fren pedal konumu düşük seviyede ise araç rejeneratif fren ile yavaşlatılmaktadır. Fren pedal konumu yüksek seviyelere ulaştığında, rejeneratif frenleme, mekanik frenleme ile desteklenmektedir. Gaz pedal konumu düşük seviyede ise kontrolcü, araç o an hangi motor ile tahrik ediliyorsa o motorla devam etmektedir. Gaz pedali konumu yüksek seviyede ise EM ve İYM araç tahrikini birlikte sağlamaktadır. Batarya SOC seviyesinin nominal olduğu durumlarda şarj süresince içten yanmalı motor en verimli noktalarda çalıştırılmaktadır. SOC seviyesi düşük seviyeye geldiğinde ise İYM maksimum tork seviyesinde çalıştırılmaktadır.

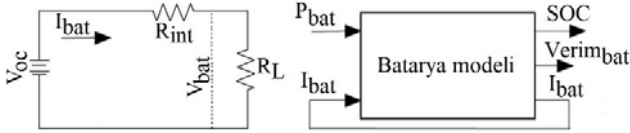
Batarya doluluk oranı, termostat adı da verilen aç-kapa yönetim stratejisi ile kontrol edilmektedir. Batarya şarj seviyesi %30’un altına düştüğü zaman, diğer kontrol üyelik fonksiyonları değerlerinin de sağlanması ile birlikte, içten yanmalı motor elektrik motoruna tahrik vererek, elektrik motorunun jeneratör olarak çalıştırılıp, elektrik enerjisini üretmesi sağlanmaktadır. Batarya şarj seviyesi %90 seviyesine geldiği durumda ise elektrik üretimi sonlandırılmaktadır. Batarya doluluk oranı alt eşik değerinin %30 olarak kabul edilmesi, batarya şarj durumunun düşük olduğu durumlar ile araç güç ihtiyacının fazla olduğu durumların çakışması halinde, batarya paketinin şarjı için %20’lik bir gecikmeyi sönümleyebilmesi hedeflenmiştir. %30-90 eşikleri arasında kalan bölgede ise batarya paketinin şarj edilmesi bulanık mantık kontrolü ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Bulanık mantık kontrol stratejisi üyelik fonksiyonları
(Fuzzy logic control strategy membership functions)

2.7. Batarya modeli (Battery model)

Hibrit araçlar üzerinde kullanılan batarya modeli eşdeğer devre yöntemi, R_{int} devre modeli ile oluşturulmuştur. Hibrit elektrikli aracın tahriğini sağlayan EM ve yüksek gerilim ile çalışan alıcılar bataryadan enerji teminini sağlamaktadır. P_{bat} bataryadan çekilen gücü, I_{bat} ise bataryadan çekilen akımı tanımlamaktadır. Batarya modelinden çıktı olarak batarya şarj durumu ve batarya verimi alınmaktadır. Batarya girdi/çıkış parametreleri ve R_{int} şeması Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. Batarya R_{int} şeması ve simülasyon modeli girdi/çıkış parametreleri
(Battery R_{int} scheme and simulink model input/ output parameters)

Batarya SOC ve verim değerlerinin hesaplanabilmesi için batarya R_{int} devre modelinin matematiksel denklemleri kullanılmıştır [43]. Eş. 12'de bulunan R_{ic} batarya iç direncini, R_{charge} şarj esnasında iç direncini, $R_{discharge}$ ise deşarj boyunca batarya iç direncini vermektedir.

$$R_{ic} = \begin{cases} I_{bat} < 0 \text{ ise } R_{charge}(SOC) \\ I_{bat} > 0 \text{ ise } R_{discharge}(SOC) \end{cases} \quad (12)$$

V_{bat} (V) batarya gerilimini, V_{oc} (V) ise açık devre gerilimini temsil etmektedir. Bataryanın toplam enerjisini ise Bat_{topen} terimi ifade etmektedir. Eş. 13'de verilen denklem ile bataryadan çekilen akım hesaplanmaktadır.

$$V_{bat} = V_{oc}(SOC) + I_{bat} R_{ic} \quad (13)$$

Eş. 14'te ise batarya şarj durumunun değişimi hesaplanmaktadır. Eş. 15'de SOC değeri anlık olarak hesaplanmaktadır [43].

$$\Delta SOC = \int_{t_0}^t V_{bat} I_{bat} dt \cdot \frac{1}{Bat_{TopEn}} \quad (14)$$

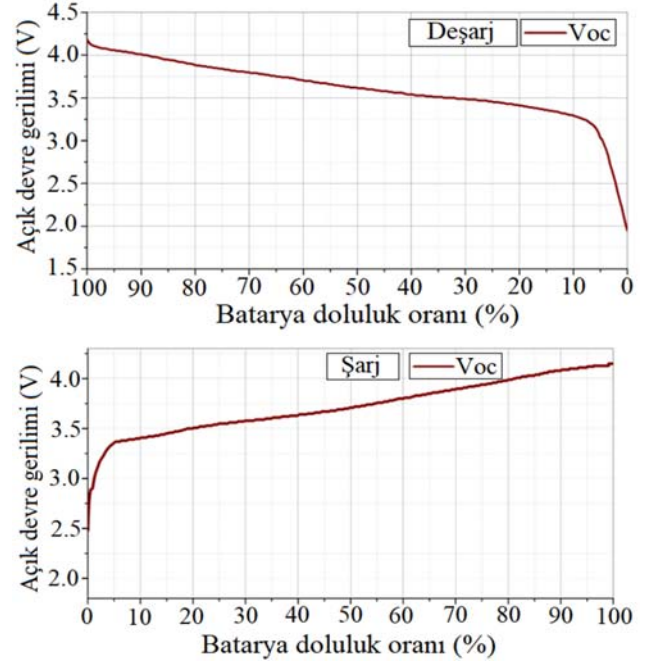
$$\Delta SOC = SOC_i + \Delta SOC \quad (15)$$

Hibrit ve elektrikli araçların enerji verimliliği etkisi incelendiğinde batarya verimi önemli bir yer almaktadır. Batarya veriminin hesaplandığı matematiksel denklem Eş. 16'da verilmiştir [45].

$$\eta_{bat} = \begin{cases} I_{bat} < 0 \text{ ise } \frac{V_{oc} I_{bat}}{V_{oc} I_{bat} - I_{bat}^2 R_{ic}} \\ I_{bat} > 0 \text{ ise } \frac{V_{oc} I_{bat}}{V_{oc} I_{bat} + I_{bat}^2 R_{ic}} \end{cases} \quad (16)$$

Batarya paketinde lityum iyon batarya hücresi kullanılmış olup, karakteristik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Batarya paketi tasarımında kullanılan lityum batarya hücresinin şarj ve deşarj süresince, batarya şarj durumuna bağlı, iç direnç ve açık devre gerilim grafikleri Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Batarya iç direncinin, şarj ve deşarj sürecinde, batarya doluluk oranının %10 ile %90 olması durumunda stabil olarak düşük seviyede seyrettiği görülmektedir.



Şekil 15. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı açık devre gerilim grafiği
(Open circuit voltage graph based on battery charge rate during discharge and charging)

Batarya paketi enerji kapasitesi Eş. 17'de bulunan matematiksel denklem ile sağlanmaktadır.

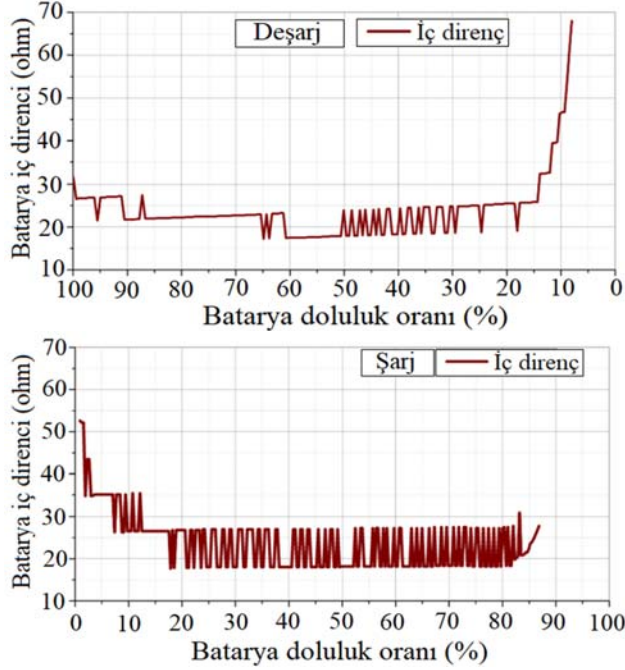
$$Bat_{Enerji}(kWh) = \frac{(Bat_{kap}(Ah) Ba\u011flantı_{seri})(V_{nom} Ba\u011flantı_{paralel})}{1000} \quad (17)$$

Batarya paketinin oluşturulması, lityum iyon batarya hücresinin seri ve paralel bağlanması ile elde edilmektedir

Tablo 1. Lityum iyon batarya karakteristik özellikleri [46] (Characteristics of the lithium-ion battery)

Nominal Kapasite	Minimum Gerilim	Nominal Gerilim	Maksimum Gerilim	Maksimum Deşarj Akımı	Minimum Deşarj Akımı
2600 mAh	2,5 V	3,6 V	4,2 V	30 A	12 A

[47]. Hibrit araç üzerinde kullanılacak motor 400 V ile çalışmaktadır. Batarya paketinin nominal çalışma gerilimi, 110 batarya hücresinin seri bağlanması ile 396 V olarak belirlenmiştir. EM maksimum 50 kW güç üretebilmekte olup bu batarya paketi üzerinden maksimum 126 A akım çekebilmektedir. Batarya paketi üzerinde toplam 34,1 kg ağırlığa sahip 550 adet batarya hücresi kullanılmaktadır. Bu gerilim ve akım değerlerini sağlayan batarya paketinin enerji kapasitesi 5 kWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 16. Deşarj ve şarj süresince batarya doluluk oranına bağlı iç direnci grafiği

(Internal resistance graph based on battery charge rate during discharge and charging)

2.8. Rejeneratif fren modeli (Regenerative brake model)

Hibrit ve elektrikli araçların tek akstan tahrik edilmesi durumu, rejeneratif fren sistemi veriminin düşmesine neden olmaktadır. Elektrik motor tarafından tahrikin sağlandığı aks üzerinde, rejeneratif frenleme gücünden en iyi şekilde faydalanılmak istenmektedir. Araç güvenlik faktörünün önde tutulması amacı ile rejeneratif frenlemenin yanında hidrolik fren ile frenleme süreci desteklenmektedir [48].

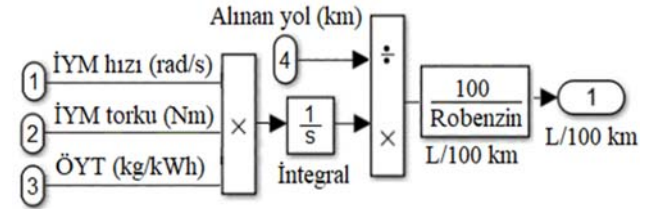
Optimum frenlemenin sağlanabilmesi için rejeneratif ve mekanik frenlemenin kontrolü bulanık mantık yöntemi ile oluşturulan kontrol algoritması ile sağlanmaktadır. Bu kontrol algoritmasına aks yük dağılımları, batarya şarj durumu, araç hızı, fren konumu ve maksimum şarj akımı faktörleri dahil edilmiştir. Hibrit araçlar üzerinde geri kazanılan toplam rejeneratif fren enerjisinin hesabı, toplam fren enerjisinin Eş. 18'de verilen rejeneratif fren etkinlik katsayısı (RFEK) ile çarpılması ile elde edilmektedir.

$$RFEK = \frac{F_f}{F_{toplam}} \cdot (\varphi_{Maxşarjakımı} \cdot \varphi_{FPkonumu} \cdot \varphi_{SOC} \cdot \varphi_{Araçhızı}) \quad (18)$$

2.9. Elektrik enerjisi ve yakıt tüketim modeli (Electric energy and fuel consumption model)

Hibrit araç enerji tüketim modeli, elektrik enerji ve yakıt tüketiminin hesaplandığı iki alt modelden oluşmaktadır. Konvansiyonel araçta ise sadece İYM tarafından tüketilen yakıt hesaplanmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim modelinde, aracın tahriki ve yardımcı aksesuarlarının tükettiği elektrik gücü hesaplanarak, batarya modeline gönderilmektedir.

Araçlarda İYM'nin gücü ve ÖYT değeri anlık olarak belirlenmektedir. İYM gücünün ÖYT ile çarpılıp, zamana bağlı integralinin alınması ile tüketilen yakıt miktarı bulunmaktadır. Tüketilen yakıt miktarının, aracın aldığı yola bölümü ile ortalama yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Aracın ortalama yakıt tüketim değerinin hesaplandığı Simulink modeli Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Araç ortalama yakıt tüketimi hesabı modeli (Average fuel consumption calculation model of the vehicle)

2.10. Sürüş çevrimleri (Driving cycles)

Bir araca ait yakıt tüketim ve emisyon değerlerinin belirlenebilmesi, değerlendirilebilmesi için oluşturulmuş ve standartlaştırılmış, zamana bağlı hız profillerine sürüş çevrimi denmektedir. Sürüş çevrimleri aracın kullanımının gerçekleşeceği trafik koşullarını temsil etmektedir. Dünya çapında standartlaştırılmış bir çok sürüş çevrim modeli bulunmaktadır [49]. Bu çalışmada Avrupa'da ECE-15 (şehir içi) ve EUDC (şehir dışı) sürüş profillerini kapsayan NEDC (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi), US06 ve FTP 75 sürüş çevrimleri kullanılmaktadır. Farklı sürüş koşullarını temsil eden NEDC, ECE-15, EUDC, US06 ve FTP75 sürüş çevrimlerinin karakteristik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir.

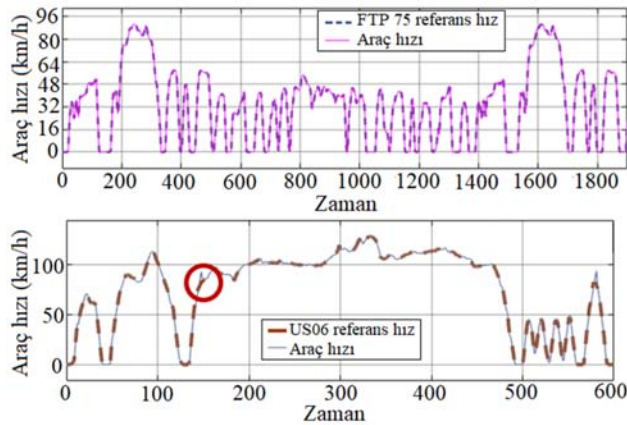
Tablo 2. Farklı sürüş çevrimlerinin karakteristik özellikleri [49,50] (Characteristic features of different driving cycles)

Sürüş çevrimi	Toplam mesafe (km)	Zaman (s)	Ortalama hız (km/h)	Maksimum hız (km/h)
US06	12,82	596	77,39	127
FTP	17,66	1874	33,76	90
NEDC	11,02	1180	33,6	120
EUDC	7,02	400	63,18	120
ECE-15	4	780	18,7	50

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışma kapsamında ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/SİMULİNK simülasyon programı üzerinde modellenmesi yapılmıştır. Farklı yapılarda oluşturulan modeller üzerinde yakıt tüketimi karşılaştırmasının doğru bir şekilde yapılabilmesi için araç modelleri üzerinde kullanılan batarya, EM, İYM, vites kutusu, rejeneratif fren kontrol stratejisi gibi alt sistemler ve araç parametreleri, tüm modellerde aynı alınmıştır. Tüm araç yapılarının FTP 75 ve US06 sürüş çevrimi koşullarında kullanımında EM ve İYM'nin, çevrim boyunca çalışma noktaları belirlenmiştir. Modeli oluşturulan farklı yapılara sahip araçların NEDC, ECE 15, EUDC, US06 ve FTP 75 sürüş çevrimi şartlarında kullanılması durumunda ortalama yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir. Seri hibrit ve konvansiyonel araç yapıları FTP 75, NEDC ve EUDC referans sürüş çevrimleri ile seyir edebilirken, US 06 sürüş çevriminin yüksek hız ihtiyacını karşılayamayarak, referans hızı takip edemediği saptanmış ve ortalama yakıt tüketim değerlerinin hesabına dahil edilememiştir. Farklı sürüş çevrimi koşullarında hibrit araç yapılarının, konvansiyonel araç yapısına göre yakıt tüketim tasarrufları belirlenmiştir. Rejenratif frenlemenin farklı araç yapıları üzerinde ve farklı sürüş çevrim koşullarında yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir.

Araçların farklı sürüş koşullarında kullanılması durumunda, oluşturulan model üzerinde araç hızının referans hız değerlerinde seyir ettiği Şekil 18'de görülmektedir. Bazı yüksek ivme noktalarında kabul edilebilir sapmalar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 18. Paralel hibrit araç hızının FTP 75 ve US06 referans hız girdilerini takibi

(Tracking parallel hybrid vehicle speed FTP 75 and US06 reference speed inputs)

Ön iletimli paralel hibrit, son iletimli paralel hibrit ve seri hibrit araç yapılarının EM ve İYM çalışma noktaları, konvansiyonel araçta ise sadece İYM çalışma noktaları, FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında belirlenmiştir. Şekil 19'da farklı yapılara sahip araçların, İYM çalışma noktaları görülmektedir.

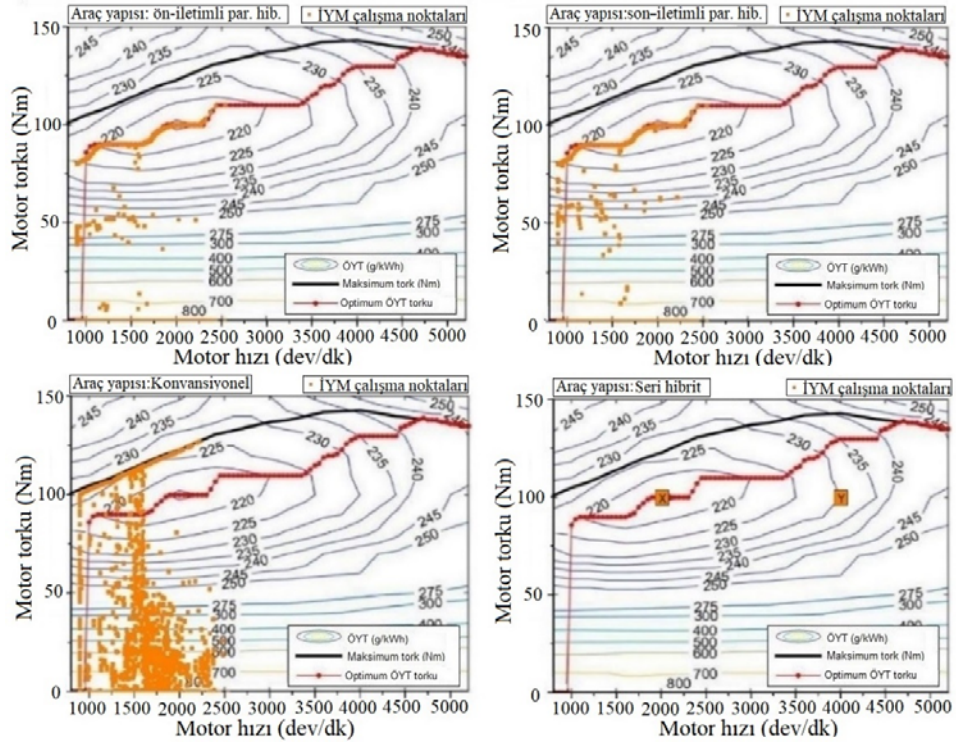
Ön iletimli paralel hibrit aracın FTP sürüş çevrimi koşullarında kullanımında, çoğunlukla İYM optimum ÖYT hattında çalıştığı görülmektedir. Aracın EM ve İYM ile tahrik edildiği durumda ise ÖYT değerleri 300 g/kWh noktalarına yükselmektedir. Aracın sürüşü boyunca İYM optimum tork değerleri ile çalıştırılıp düşük tork ihtiyaçları EM ile sağlanmıştır. Böylece İYM çalışma noktalarının neredeyse 300 g/kWh değerinin üstüne çıkmadığı gözlemlenmiştir. Konvansiyonel araca tahrik sadece İYM ile yapıldığı için İYM minimum ile maksimum tork değerleri arasında, aracın ihtiyacı olan tork değerinde ve araç vites kademesine bağlı olarak çalışmaktadır. Şekil 19'da görüldüğü gibi konvansiyonel araç üzerindeki İYM, çok yüksek ÖYT değeri seviyelerinde kontrolsüz ve verimsiz bir şekilde çalıştığı saptanmıştır.

Şekil 20'de farklı yapılara sahip araçların, EM çalışma noktaları görülmektedir. EM haritası üzerinde görülen siyah noktalar EM tork ve devrine bağlı o anki çalışma noktalarıdır. Ön iletimli PHEA FTP sürüş çevrimi koşullarındaki kullanımında, göre elektrik motoru vites kutusu redüksiyon kontrolüne dahil olduğu için son iletimli PHEA'a göre daha verimli noktalarda çalıştığı görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 20 üzerinde, EM'nin yüksek tork seviyelerinde, düşük verimlerde (kırmızı işaretli) çalıştığı görülmektedir. Seri hibrit aracın sadece EM ile tahrik edilmesinden dolayı, aracın yüksek tork ihtiyaçlarında düşük verimli noktalarda (sarı işaretli) çalıştığı saptanmıştır. Hibrit araç yapılarında EM en verimli nokta (%94) civarında çalıştırılmamış olmasının nedeni, FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında o güce ulaşabilecek şartların oluşmaması olarak belirlenmiştir.

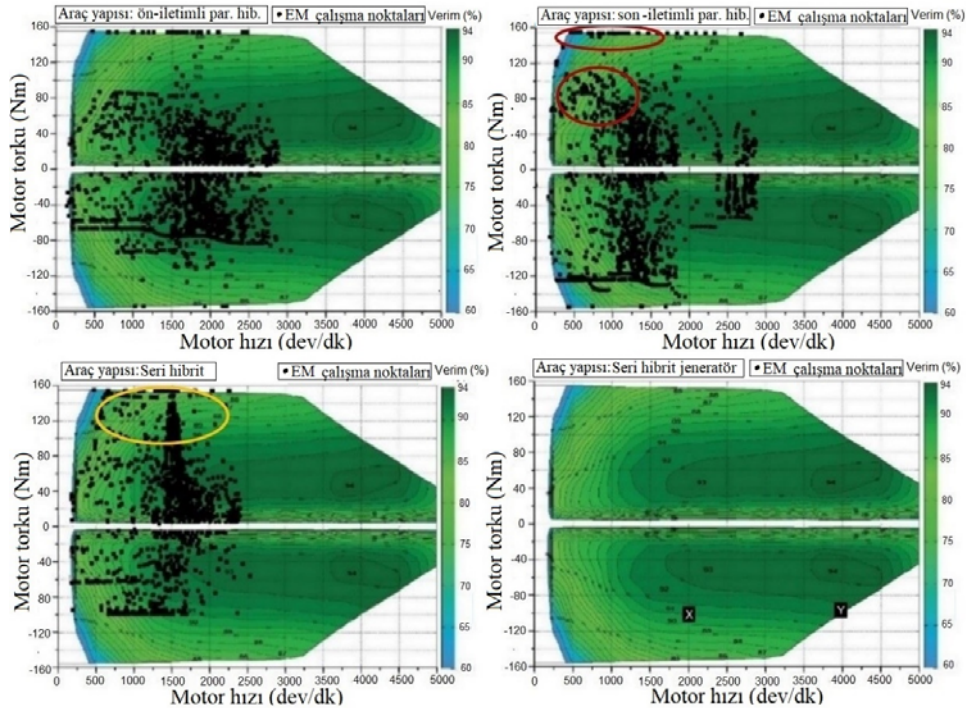
Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın yüksek hızları temsil eden US06 sürüş çevrimi boyunca İYM çalışma noktaları Şekil 21'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Son iletimli hibrit araç İYM'nin daha yüksek torklarda çalışması gerektiği sonucu elde edilmiştir.

Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın yüksek hızları temsil eden US06 sürüş çevrimi boyunca EM çalışma noktaları Şekil 22'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Ön iletimli paralel hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında kullanımında, maksimum tork hattı üzerindeki verimsiz bölgelere son iletimli paralel hibrit yapıya göre daha az yaklaştığı görülmektedir.

Ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında kullanılması ile elde edilen yakıt tüketim değerleri Şekil 23'de görülmektedir. Ön iletimli PHEA, son iletimli hibrit yapıya göre US 06 sürüş çevrimi koşullarında %11,02 değerinde yakıt tasarrufu sağladığı sonucu elde edilmiştir. Tüm araç yapılarının US06, FTP 75, NEDC, ECE15 ve EUDC sürüş çevrimleri koşullarında, ortalama yakıt tüketim değerleri belirlenmiş olup Tablo 3'te görülmektedir. FTP 75 sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en en yüksek (5,08 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (4 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. NEDC



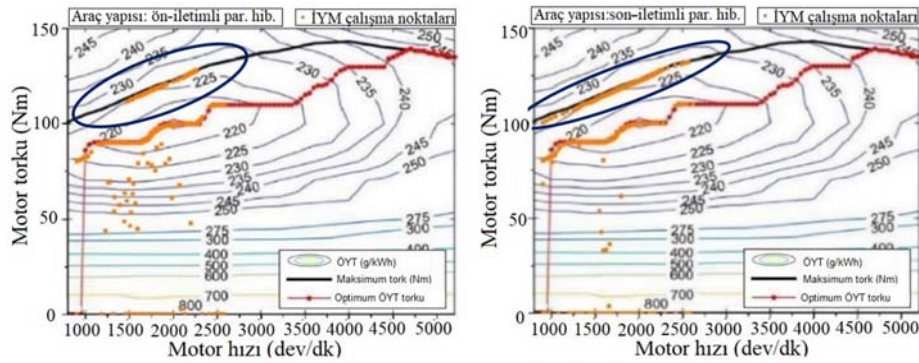
Şekil 19. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları (ICE operating points of different vehicle structures under FTP 75 driving cycle conditions)



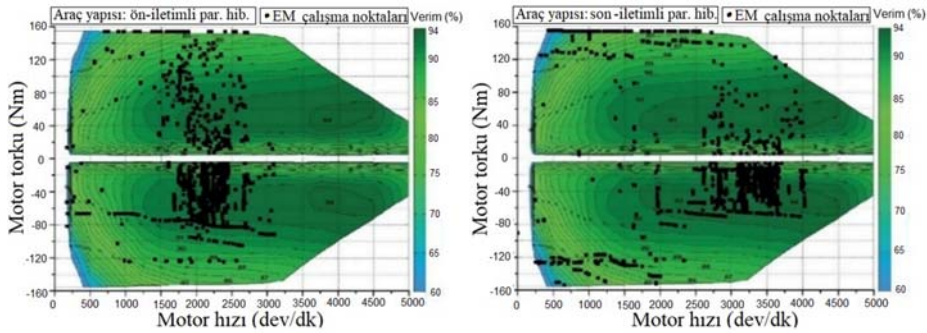
Şekil 20. Farklı araç yapılarının FTP 75 sürüş çevrimi koşullarında EM çalışma noktaları (EM operating points of different vehicle structures under FTP 75 driving cycle conditions)

sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en yüksek (4,64 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (3,96 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. EUDC sürüş çevrimi şartlarında seri hibrit araç

en yüksek (4,75 L/100 km), ön iletimli paralel hibrit araç ise en düşük (4,18 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. EUDC sürüş çevrimi kullanım şartlarında ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit araç



Şekil 21. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları (ICE operating points under the US06 driving cycle conditions of the hybrid vehicle with pre-transmission and final transmission)

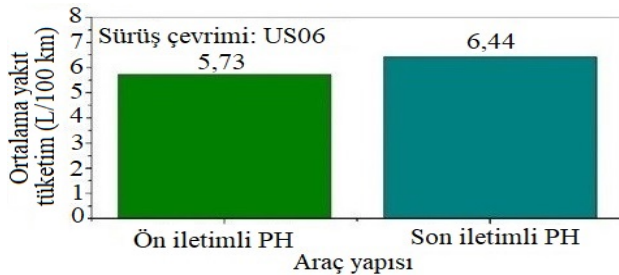


Şekil 22. Ön iletimli ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında İYM çalışma noktaları (EM operating points under the US06 driving cycle conditions of the hybrid vehicle with pre-transmission and final transmission)

Tablo 3. Farklı araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri (Average fuel consumption values of different vehicle structures under different driving cycle conditions)

Sürüş çevrimi	Ön iletimli paralel hibrit (L/100Km)	Son iletimli paralel hibrit (L/100Km)	Seri hibrit (L/100Km)	Konvansiyonel (L/100Km)
US06	5,73	6,44	-	-
FTP75	4	4,19	4,45	5,08
NEDC	3,96	4,15	4,27	4,64
ECE15	3,69	3,98	3,62	4,61
EUDC	4,18	4,24	4,75	4,68

yapıları ortalama yakıt tüketim değerlerinde %1,41 oranında (diğer çevrimlere göre daha az) fark olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucu vermesinin nedeni, EUDC sürüş çevrimi boyunca araç tahriğinin büyük bir kısmı İYM ile sağlandığı ve EM az çalıştığı için olduğu saptanmıştır.



Şekil 23. Ön ve son iletimli hibrit aracın US06 sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketim değerleri (Average fuel consumption values of the pre and post transmission hybrid vehicle under US06 driving cycle conditions)

ECE 15 sürüş çevrimi şartlarında konvansiyonel araç en yüksek (4,61 L/100 km), seri hibrit araç ise en düşük (3,62 L/100 km) ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi kullanım şartlarında ön iletimli ve son iletimli paralel hibrit araç yapıları ortalama yakıt tüketim değerlerinde %7,2 oranında (diğer çevrimlere göre daha fazla) fark olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucu vermesinin nedeni, ECE 15 sürüş çevrimi boyunca çok düşük tork ihtiyaçlarının bulunmaması nedeni ile araç tahriğinin büyük bir kısmı EM ile sağlandığı ve vites kutusunun olmayışının oluşturduğu verim kaybından fazla etkilenebilir. Hibrit araç yapılarının konvansiyonel araca göre ortalama yakıt tüketimlerinde sağladığı tasarruf oranları Tablo 4'te verilmiştir. Seri hibrit aracın konvansiyonel araca göre %1,47 oranında yakıt sarfiyatı oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni konvansiyonel araçta İYM'nin, EUDC sürüş çevrimi koşullarında ÖYT değerinin düşük olduğu noktalarda çalışması ve seri hibrit araçta karşılaşılan EM, invertör, jeneratör gibi sistemlerde verim kaybına uğramamasıdır.

Tablo 4. Hibrit araç yapılarının, konvansiyonel araç yapısına göre enerji tasarrufu
(Energy saving of hybrid vehicle structures compared to conventional vehicle structure)

Sürüş Çevrimi	Konvansiyonel araca göre yakıt tasarrufu (%)		
	Ön iletimli PH	Son iletimli PH	Seri hibrit
FTP75	21,26	17,52	12,40
NEDC	22,05	18,31	15,94
ECE15	27,36	21,65	28,74
EUDC	17,72	15,55	-1,47

Tablo 5. Farklı araç yapılarına ait rejeneratif frenlemenin yakıt tüketimine etkisi
(The effect of regenerative braking of different vehicle structures on fuel consumption)

Ortalama yakıt tüketimi (L/100 km)					Tasarruf oranı (%)		
Sürüş Çevrimi	Rej. Fren (Açık/Kapalı)	Ön iletimli paralel	Son iletimli paralel	Seri hibrit	Ön iletimli paralel	Son iletimli paralel	Seri hibrit
US06	Rej. Fren açık	5,73	6,44	-	3,21	2,72	-
	Rej. Fren kapalı	5,92	6,62	-			
FTP 75	Rej. Fren açık	4	4,19	4,45	9,91	6,05	12,75
	Rej. Fren kapalı	4,44	4,46	5,1			
NEDC	Rej. Fren açık	3,96	4,15	4,27	5,49	5,47	9,34
	Rej. Fren kapalı	4,19	4,39	4,71			
ECE 15	Rej. Fren açık	3,69	3,98	3,62	11,51	9,95	14,22
	Rej. Fren kapalı	4,17	4,42	4,22			
EUDC	Rej. Fren açık	4,18	4,24	4,75	3,24	2,35	6,50
	Rej. Fren kapalı	4,32	4,38	5,08			

Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit elektrikli araçlar üzerinde rejeneratif fren kullanılmaktadır. Rejeneratif frenlemenin hibrit araç yapıları üzerinde etkisi, oluşturulan Simulink modelleri üzerinde hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5 üzerinde görülen yakıt tasarruf oranlarına göre, FTP 75, NEDC, ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimi koşullarında seri hibrit araç üzerinde rejeneratif frenlemenin daha etkili kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif frenlemenin en etkili kullanılmasının nedeni, araç tahrikinin sadece elektrik motoru ile yapıyor olması ile birlikte elektrik motorunun sürekli güç sistemi ile hareket aktarımı olmasıdır. Paralel hibrit araç yapılarında, elektrik motorunun jeneratör modunda çalıştığı durumda, İYM elektrik motoruna tork sağlamakta olup bu süreçte, bulanık mantık kontrolcüsü rejeneratif frenlemeye müsaade etmeyerek, frenlemeyi mekanik olarak sağlanmaktadır. Bu durumun PHEA yapısının rejeneratif frenlemeyi etkili kullanamamasına neden olduğu saptanmıştır. Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit araç yapılarının rejeneratif frenlemeyi en etkili düşük hız çevrimi (şehir içi) olan ECE 15 koşulunda kullandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hibrit araçlar üzerinde rejeneratif fren sistemi kullanılması ile birlikte, ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında ön-iletimli paralel hibrit araç %11,51, son-iletimli paralel hibrit araç %9,95 ve seri hibrit araç %14,22 oranında enerji geri kazanımı sağladığı sonucu elde edilmiştir. Seri hibrit araçlarda, paralel hibrit araca göre daha fazla enerji geri kazanımının sağlanmasının nedeni, araç güç aktarma

sisteminde sadece elektrik motoru bağlantısının bulunması olarak değerlendirilmiştir. Literatürde rastlanan bazı çalışmalarda daha yüksek enerji geri kazanımlarının sağlandığı görülmüştür. Bu sonucun en büyük sebebi, hibrit araçlar üzerinde, özellikle paralel hibrit araca daha uygun 5 kWh enerji kapasiteli batarya paketinin kullanılmasıdır. Batarya paketinin maksimum şarj akımı eşliğinin, rejeneratif frenlemenin yüksek etkinlikte çalışmasını kısıtlamaktadır. Aynı zamanda kullanılan elektrik motoru tork değerinin artırılması durumunda rejeneratif fren ile enerji geri kazanımının artırılması göz önünde bulundurulabilmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ön iletimli paralel, son iletimli paralel, seri hibrit ve konvansiyonel araç yapılarının Matlab/Simulink simülasyon programı üzerinde modellenmesi yapılmıştır. Yapılan modeller üzerinde araç yapılarının US 06, FTP 75, NEDC, ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimi koşullarında kullanımı incelenmiştir. Tüm araç yapılarının farklı sürüş çevrimi koşullarında ortalama yakıt tüketimi, konvansiyonel araca göre yakıt tasarrufu ve rejeneratif frenlemenin ortalama yakıt tüketimine etkisi belirlenerek değerlendirilmesi yapılmıştır. Bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen ön iletimli paralel hibrit araç yapısının US 06 sürüş çevriminde 5,73, FTP 75 sürüş çevriminde 4, NEDC sürüş çevriminde 3,96 ve EUDC sürüş çevriminde 4,18 L/100 km değerleri ile en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. ECE 15 sürüş çevrimi koşullarında ise 3,62 L/100 km değeri ile seri hibrit araç

yapısı en düşük ortalama yakıt tüketimine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Tüm sürüş çevrimleri şartlarında ön iletimli paralel hibrit araç yapısı, son iletimli paralel hibrit araç yapısına göre daha az yakıt tükettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ön iletimli paralel hibrit aracın, konvansiyonel araç yapısına göre %17,72 ile %27,36 arasında yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür. Son iletimli paralel hibrit aracın, konvansiyonel araç yapısına göre %11,55 ile %21,65 arasında yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür. Seri hibrit aracın, konvansiyonel araç yapısına göre EUDC sürüş çevrimi şartları haricinde %12,4 ile %28,74 arasında yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür. Şehirler arası yol hızı şartlarını temsil eden EUDC sürüş çevrimi koşullarında ise %1,47 oranında yakıt sarfiyatına neden olduğu sonucu elde edilmiştir. Ön iletimli paralel, son iletimli paralel ve seri hibrit araç yapısının rejeneratif fren kullanımı incelenmiştir. Seri hibrit araç yapısının FTP 75 sürüş çevriminde %12,75, NEDC sürüş çevriminde %9,34, ECE sürüş çevriminde %14,22 ve EUDC sürüş çevriminde %6,5 oranında yakıt tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çiçek, A. ve Erdiç, O., Charge Management of Electric Vehicle Parking Lot With PV-Battery Hybrid System, *European Journal of Science and Technology*, 15, 466-474, 2019.
2. Ardebili, S. M. S., Taghipoor, A., Solmaz, H., ve Mostafaei, M., The effect of nano-biochar on the performance and emissions of a diesel engine fueled with fusel oil-diesel fuel. *Fuel*, 268, 117356, 2020.
3. Solmaz, H., Ardebili, S. M. S., Aksoy, F., Calam, A., Yılmaz, E., & Arslan, M., Optimization of the operating conditions of a beta-type rhombic drive stirling engine by using response surface method. *Energy*, 117377, 2020.
4. Başaran, H. Ü., Utilizing exhaust valve opening modulation for fast warm-up of exhaust after-treatment systems on highway diesel vehicles. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4 (1), 10-22, 2020
5. Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., & Mostafaei, M., Optimization of fusel oil-Gasoline blend ratio to enhance the performance and reduce emissions. *Applied Thermal Engineering*, 148, 1334-1345, 2019.
6. Rather M.A. and Wani M.M., A numerical study on the effects of exhaust gas recirculation temperature on controlling combustion and emissions of a diesel engine running on HCCI combustion mode, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 2 (3), 17-27, 2018.
7. Ardebili, S. M. S., Green electricity generation potential from biogas produced by anaerobic digestion of farm animal waste and agriculture residues in Iran. *Renewable Energy*, 2020.
8. Yeşilyurt, M , Doğan, B ve Erol, D., Experimental assessment of a CI engine operating with 1-pentanol/diesel fuel blends. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 4 (2), 70-89, 2020.
9. Khedri, B., Mostafaei, M., & Safieddin Ardebili, S. M., A review on microwave-assisted biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41 (19), 2377-2395, 2019.
10. Erdem, Y. ve Taci, S., Effect of regenerative braking and power analysis in electric vehicles. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4 (2), 75-88, 2018.
11. Yari, N., Mostafaei, M., Naderloo, L., & Safieddin Ardebili, S. M. Energy indicators for microwave-assisted biodiesel production from waste fish oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-12, 2019.
12. Örs, İ , Sayın, B ve Ciniviz, M., An Experimental Study on the Comparison of the Methanol Addition into Gasoline with the Addition of Ethanol. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 4 (2), 59-69, 2020.
13. Pour, A. H., Ardebili, S. M. S., & Sheikhdavoodi, M. J., Multi-objective optimization of diesel engine performance and emissions fueled with diesel-biodiesel-fusel oil blends using response surface method. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (35), 35429-35439, 2018.
14. Mirbagheri, S. A., Ardebili, S. M. S., & Kiani, M. K. D., Modeling of the engine performance and exhaust emissions characteristics of a single-cylinder diesel using nano-biochar added into ethanol-biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 278, 118238, 2020.
15. Yılmaz E., Solmaz H., Polat S., Altın M., Effect of the three-phase diesel emulsion fuels on engine performance and exhaust emissions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1), 127-134, 2013.
16. Halis, S., Nacak, C., Solmaz, H., Yılmaz, E., & Yucesu, H. S., Investigation of the effects of octane number on combustion characteristics and engine performance in a HCCI engine. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi-Journal Of Thermal Science And Technology*, 38 (2), 99-110, 2018.
17. Rende, H., Karaman, E. ve Altındal, E., Converting Clunker Vehicle to an Electric Vehicle, *Engineer and Machinery*, 58 (688), 79-94, 2017.
18. Arabacı, E., Investigation of the power split mechanism in serialparallel hybrid electric vehicle depending on the engine speed variation, *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8 (1), 394-404, 2019.
19. Kıyaklı, A. O. and Solmaz, H., Modeling of an electric vehicle with MATLAB/Simulink. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 2(4), 9-15, 2018.
20. Ekici, Y. E. and Tan, N., Charge and discharge characteristics of different types of batteries on a hybrid electric vehicle model and selection of suitable battery type for electric vehicles, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 3 (4), 62-70, 2018.

21. Araz H.K., Yilmaz M., Design procedure and implementation of a high-efficiency PMSM with reduced magnetmass and torque-ripple for electric vehicles, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 1089-1110, 2020.
22. Güneş D., Tekdemir İ.G., Karaarslan M.Ş., Alboyacı B., Assessment of the impact of electric vehicle charge station loads on reliability indices, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (3), 1073-1084, 2018.
23. Demir U., Aküner M.C., Design and optimization of in-wheel asynchronous motor for electric vehicle, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (4) 1975-1985, 2019.
24. Keskin, A., Hybrid vehicle technologies and their applications, *Engineer and Machinery*, 50 (597), 12-20, 2009.
25. Shafiei, G., Carli, G. and Williamson, S. S., Electric and plug-in hybrid electric vehicles. In: *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications*, 387-421, 2014.
26. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S. and Ebrahimi, K., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. (3rd Ed.). Florida: CRC Press, 2018.
27. Kerem, A., Development of electric vehicle technology and future expectations, *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 5 (1), 1-13, 2014.
28. Bayındırlı, C., Akansu, Y. E., Salman, M. S. ve Çolak, D., The numerical investigation of aerodynamic structures of truck and trailer combinations. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4 (3), 139-145, 2015
29. Çağatay-Bayındır, K., Gözükcükük, M. A. ve Teke, A., A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management*, 52 (2), 1305-1313, 2011.
30. Khajepour, A., Fallah, M. S. and Goodarzi, A., *Electric and hybrid vehicles: Technologies, modeling and control-A mechatronic approach*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.
31. Miller, J. M., *Propulsion systems for hybrid vehicles (energy engineering)*. (2nd Ed.). Stevenage: The Institution of Engineering and Technology, 2004.
32. Finesso, R., Spessa, E. and Venditti, M., Layout design and energetic analysis of a complex diesel parallel hybrid electric vehicle. *Applied Energy*, 134, 573-588, 2014.
33. Amini, A., Başlamışlı, Ç., & İnce, B. C., *Design of Energy Management Systems for Electric/Hybrid Buses with Optimal Control Methods: Case Study for the City of Ankara and Cost Analysis*, 2017.
34. Malode, S. K. and Adware, R. H., Regenerative braking system in electric vehicles. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (3), 294-400, 2016.
35. Tribioli, L. and Bella, G., Reduction of particulate emissions in diesel hybrid electric vehicles with a PMP-based control strategy. *Energy Procedia*, 148, 994-1001, 2018.
36. Ma, K., Wang, Z., Liu, H., Yu, H. and Wei, C., Numerical investigation on fuzzy logic control energy management strategy of parallel hybrid electric vehicle. *Energy Procedia*, 158, 2643-2648, 2019.
37. Ming, L., Energy management strategy of a plug-in parallel hybrid electric vehicle using fuzzy control. *Energy Procedia*, 105, 2660-2665, 2017.
38. Leikarnes, I. R., *Modelling and simulating a hybrid electric vehicle*. Master's Thesis, University of Norway, Faculty of Engineering Science and Technology, Norway, 2017.
39. İnternet: Ashwoods Electric Motors, ELMO - D576 Electric Motor Datasheet. Web: <https://ashwoodselectricmotors.com/wp-content/uploads/2017/04/Axial-Flux-Permanent-Magnet-Motor-specification-sheet-ELMO-D576.pdf>, Son Erişim Tarihi: 11.2019., 2017.
40. Jimenez, D., Hernandez, S., Fraile-Ardanuy, J., Serrano, J., Fernandez, R. and Alvarez, F., Modelling the effect of driving events on electrical vehicle energy consumption using inertial sensors in smartphones. *Energies*, 11 (2), 412, 2018.
41. Çetinkaya, S., *Taşıt mekaniği*. (8. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2017.
42. Yimin, G. and Ehsani, M., A torque and speed coupling hybrid drivetrain-architecture, control, and simulation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21 (3), 741-748, 2006.
43. Sezer, V., Modeling and optimal power management of a parallel hybrid electric vehicle. Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, 2008.
44. Chen, P. T., Pai, P. H., Yang, C. J. ve Huang, K. D. Development of transmission systems for parallel hybrid electric vehicles. *Applied Sciences*, 9 (8), 1538, 2019.
45. Stroe, D.I., Zaharof, A.C. and Iov, F., Power and energy management with battery storage for a hybrid residential PV-wind system—a case study for Denmark. 12th International Renewable Energy Storage Conference, March 13-15, Germany, 2018.
46. İnternet: Sony Energy Devices Corporation Device Solutions Business Group, US18650VTC5 lithium ion rechargeable battery technical information. Web: <https://landman.tech/wp-content/uploads/lijsten//battery-lifepo4/70032-sony-us18650vtc5.pdf>, Son Erişim Tarihi: 29.11.2019, 2013.
47. Chen, W., Liang, J., Yang, Z. ve Li, G. A review of lithium-ion battery for electric vehicle applications and beyond. *Energy Procedia*, 158, 4363-4368, 2019.
48. Boerboom, M., *Electric vehicle blended braking maximizing energy recovery while maintaining vehicle stability and maneuverability*. Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2012.

49. Hayes, J. G. and Goodarzi, G. A., Electric powertrain: Energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017.
50. Başlamışlı, S. Ç., Koçak, M., Bayramcan, İ. ve Testik, M. C., Driving cycles for Turkey: konya case study, 8. International Automotive Technologies Congress, Bursa, 2016.