

Modelling of a Serial Hybrid Vehicle with HCCI Range Extender Engine

 Hamit SOLMAZ¹  Tolga KOCAKULAK^{2,*} 
¹ Gazi University Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, Yenimahalle/ANKARA

² Mehmet Akif Ersoy University, Vocational High School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, Merkez/BURDUR

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 05/01/2020

Revision: 13/03/2020

Accepted: 26/04/2020

Highlights

- Serial Hybrid Vehicle
- Modelling
- Matlab-Simulink

Keywords

Serial Hybrid
 Electric Vehicle
 HCCI
 Simulation
 Range Extender

The serial hybrid vehicle using HCCI range extender engine consists of electric drive system and generator system. Figure A shows the vehicle power system, internal combustion engine and electrical engine maps operating on the principle of HCCI combustion.

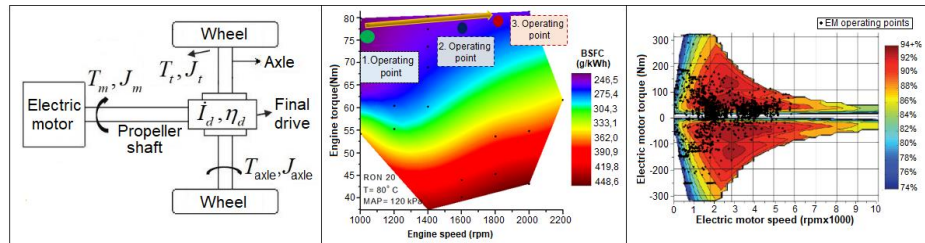


Figure A. Serial hybrid vehicle power system shema, HCCI engine and electric motor maps used in the system

Purpose: In this study, it is aimed to create a model of a hybrid vehicle with HCCI range increasing engine, to examine the fuel consumption under different driving cycle conditions and to compare it with a conventional gasoline type vehicle. The saving values provided by the regenerative braking used on the serial hybrid vehicle were examined.

Theory and Methods: Serial hybrid vehicle model using HCCI range extender was created with the mathematical equations of vehicle system and subsystems in MATLAB / Simulink simulation program environment. As the internal combustion engine model used on the vehicle, the torque / speed / specific fuel consumption map of the engine operating with the HCCI combustion principle has been used. As the electric motor model, the torque / speed / efficiency map of the DC motor, which can produce maximum 320 Nm torque, is used. The generator system of the serial hybrid vehicle is provided by the thermostat control strategy. Vehicle throttle and brake pedal control was done with PID controls (Proportional, integral, derivative controller).

Results: Serial hybrid vehicle using HCCI range increasing engine has been provided to be used in different driving cycle conditions. In different driving cycle conditions, the fuel saving rates provided by the serial hybrid vehicle compared to a conventional vehicle. The electric motor efficiency of the serial hybrid vehicle was observed to vary between 76% and 95% at different speeds and power ratings. The effect of serial hybrid vehicle mass on fuel consumption was investigated. It is determined that if the vehicle is used with NEDC and US06 driving cycles with the increase of 500 kg of serial hybrid electric vehicle mass, there is a 1 liter increase in the amount of fuel consumed by the vehicle at 100 km. . Regenerative braking was more effective in urban use of the vehicle, and it was found to be compatible with the evaluations encountered in the literature. It has been observed that the state of battery charge performs charge and discharge processes among the targeted values.

Conclusion: The serial hybrid vehicle with HCCI engine has been found to fuel save 45.7% in ECE-15 fuel consumption, 2.7% in EUDC fuel consumption and 24.9% in NEDC fuel consumption compared to conventional gasoline vehicle. Using regenerative braking on the serial hybrid electric vehicle, it was determined that the vehicle saved 20.63% in ECE-15 condition, 12% in EUDC condition, 24.9% in NEDC condition and 16.34% in use in US06 condition.



HCCI Menzil Arttırıcı Motor Kullanılan Seri Hibrit Bir Aracın Modellenmesi

Hamit SOLMAZ¹ Tolga KOCAKULAK^{2,*}

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Yenimahalle/ANKARA

²Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Merkez/BURDUR

Öz

Bu çalışmada, menzil arttırıcı olarak, homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motoru kullanılan seri hibrit bir elektrikli aracın modellenmesi yapılmıştır. Araca etki eden direnç kuvvetleri ile güç aktarma organları modeli, batarya ve enerji tüketim modeli, jeneratör modeli (GENSET) oluşturularak enerji tüketiminin ve üretiminin anlık olarak izlenebilmesine imkân sağlanmıştır. Elektrik motoru (EM) ve jeneratör modeli için iki farklı alternatif akım ile çalışan EM karakteristik eğrileri kullanılmıştır. Çalışmada maksimum 320 Nm tork üretebilen Remy markasına ait HVH250 model elektrik motorunun karakteristik özelliklerinden faydalanılmıştır. HCCI motorlar daha yüksek termik verim ve daha düşük NO_x ve PM emisyonları ile çalışabilmektedirler. Bu nedenle içten yanmalı motorun modellenmesinde GM 2.0L Ecotec motorundan deneysel olarak elde edilen bir HCCI motor haritası kullanılmıştır. Modelin test edilmesi ve enerji tüketimlerinin belirlenmesinde Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) ve ABD Yüksek Hız Çevrimi (US06) kullanılmıştır. Günümüzde Türkiye’de kullanılmakta olan bir otomobil modelinin boyut, aerodinamik katsayı, ağırlık vb. teknik özellikleri simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır. Bu konvansiyonel aracın yakıt tüketim değerleri ile seri hibrit elektrikli araç modellenmesinden elde edilen şehir içi, şehir dışı, ortalama ve yüksek hızlarda kullanımına ait yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. HCCI motor kullanılan seri hibrit elektrikli aracın, konvansiyonel araca göre, Avrupa Şehir İçi Sürüş çevrimi (ECE-15) koşulunda %45,7, Avrupa Şehir Dışı Sürüş Çevrimi (EUDC) koşulunda %2,7, karma hız eğrilerine sahip NEDC sürüş koşulunda ise %24,9 oranında yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 05/01/2020
Düzeltilme: 13/03/2020
Kabul: 26/04/2020

Anahtar Kelimeler

Seri Hibrit
Elektrikli Taşıt
HCCI
Simülasyon
Menzil Arttırıcı

Keywords

Serial Hybrid
Electric Vehicle
HCCI
Simulation
Range Extender

Modelling of a Serial Hybrid Vehicle with HCCI Range Extender Engine

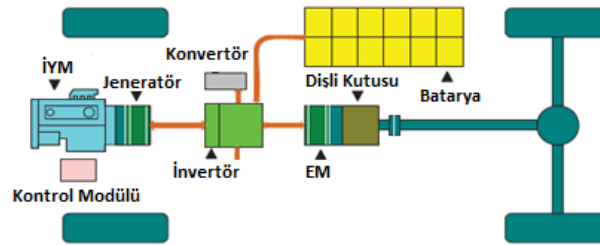
Abstract

In this study, modelling of a serial hybrid electric car having homogenous charge compression ignition (HCCI) engine was conducted as a range extender. With the resistance forces acting on the vehicle, the powertrain model, battery and energy consumption model, generator model (GENSET) were created to allow instant monitoring of energy consumption and production. For electric motor (EM) and generator model, EM characteristic curves, which can operate with two different alternative currents, were used. In the study, the HVH250 electric motor of Remy brand, which can produce a maximum torque of 320 Nm, has been used. HCCI engines are capable to work with higher thermal efficiency and lower NO_x and PM emissions. Therefore, an HCCI engine map, which was obtained experimentally by using GM 2.0 L Ecotec engine, was used for modelling of internal combustion engine (ICE). New European Driving Cycle (NEDC) and US High Speed Cycle (US06) were used to test the model and determine the energy consumption. Technical properties such as dimensions, aerodynamic properties, weight, and so on of a conventional car that currently on the road in Turkey were used as simulation inputs. Fuel consumption values of this conventional vehicle and the values obtained from the serial hybrid electric vehicle were compared in terms of fuel consumption at urban, suburban, average, and high-speed usage. It was determined that the serial hybrid electric vehicle with HCCI engine provided fuel saving of 45,7% at European urban driving cycle (ECE-15), 2,7% at european suburban driving cycle (EUDC), and 24,9% at NEDC driving condition with mixed speed curves by comparing to a conventional vehicle.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde çevre kirliliğinin artması, petrol rezervlerinin azalması ve enerji problemlerinin ortaya çıkması sebebi ile enerjide verimlilik ve enerji tasarrufu alanları önem kazanmıştır. Bununla birlikte geleceğin motorlu araçları için farklı çözüm arayışları başlamıştır. İçten yanmalı motorlar (İYM) ile çalışan geleneksel araçlar, petrol kaynaklı yakıtların yüksek enerji yoğunluğundan faydalanarak, iyi performans ve uzun çalışma menzili sağlamaktadırlar. Fakat bu araçlar, yüksek yakıt tüketimi ve çevre kirliliği gibi dezavantajlar barındırmaktadır [1]. Elektrikli araçlar ise, İYM ile tahrik edilen araçlara göre; düşük emisyon, daha sessiz çalışma, yüksek verim ve bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir. Buna karşın ilk alım maliyetinin yüksek, şarj istasyonlarının yetersiz, batarya değişim maliyetlerinin yüksek, şarj çevrim ömürlerinin düşük, enerji yoğunluklarının az ve buna bağlı olarak araç menzilin düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [2]. Elektrikli araçların menzil sorunu, hibrit elektrikli araçların geliştirilmesi ile büyük oranda giderilmiştir. Hibrit elektrikli araçlar, İYM ve elektrik motoru ile çalışan araçların avantajlarına sahiptir ve bu araçların dezavantajlarını da en aza indirmektedir. Hibrit elektrikli araçlar hibritleşme derecesine ve yapılarına göre sınıflara ayrılmaktadır [3]. Hibrit elektrikli araçlar, hibritleşme derecesine göre tam, hafif ve mikro hibrit olmak üzere 3 'e ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, araç üzerinde kullanılan elektrik motor gücünün, elektrik ve içten yanmalı motorların toplam gücüne oranlanması ile yapılmaktadır. Hibrit aracın hibritleşme oranı arttıkça araca ait konvansiyonel araç karakteristik özellikleri azalmakta ve elektrikli araç karakteristik özellikleri artmaktadır. Yapılarına göre sınıflandırmada İYM ile elektrik motorunun aktarma organları ile bağlantıları ve yerleşimi temel alınmaktadır. Hibrit araçlar, yapılarına göre seri, paralel ve seri-paralel şeklinde üç grupta incelenmektedir. Bu sistemlerde kullanılan kontrol stratejilerinde de farklılıklar bulunmaktadır [4]. Paralel hibrit yapılar, araç tahriki elektrik motoru (EM) ve İYM ile yapılmaktadır. Paralel yapılar, araç tahrikinin İYM ile de gerçekleşmesi araçta transmisyon kullanma zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Paralel hibrit yapılar, tahrik İYM ve elektrik motoru arasında tork paylaşımı gerektirdiğinden kontrol işlemi seri hibrit yapılar göre kontrolü karmaşıktır. Ancak bu tork paylaşımının bir avantajı olarak seri hibrit yapılar göre daha küçük elektrik motoru kullanılabilir [5]. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, hem seri hem de paralel hibrit elektrikli araçların avantajlı yönlerinin verimli bir şekilde kullanıldığı yapılarıdır [4].

Seri hibrit elektrikli araçların yapıları basittir ve tahrik gücü kolay kontrol edilebilmektedir. Düşük hacimli İYM kullanımı uygulanabilmektedir. Daha sessiz ve titreşimsiz olduklarından sürüş konforu daha yüksektir. İYM ile araç tahrik sistemi arasından bir bağlantı olmadığından rejeneratif frenleme en etkin şekilde kullanılabilir. Elektrik motorunun tork karakteristiğinin uygun olması nedeni ile vites kutusu kullanımına gerek kalmamaktadır. Kısmen düşük torca sahip elektrik motoru kullanılması durumunda daimi bir dişli oranı kullanılabilir [6]. Aracın duraklama ve bekleme süresince elektrik motoru enerji tüketmediğinden şehir içi kullanımda daha fazla yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Tekerlek içi (hub) motor kullanımı kolay bir şekilde uygulanabilmektedir [7].



Şekil 1. Seri hibrit elektrikli araç yapısı [4]

Seri hibrit elektrikli araçlar, elektrikli sürüş için tasarlanmıştır. Şekil 1'de seri hibrit bir aracın genel yapısı görülmektedir. Seri hibrit yapısının, İYM ile tekerlekler arasında hiçbir mekanik bağlantı bulunmaması, tüm yol yükü elektrik motoru tarafından karşılanmaktadır. Seri hibrit araçları elektrikli araçlardan ayıran tek fark, aracın elektrik enerjisinin karşılanması ve bataryaların şarj edilmesi için İYM ve jeneratör sisteminin bulunmasıdır. Batarya şarj oranı belirli bir seviyenin altına düştüğü zaman İYM çalışmakta ve jeneratöre hareket aktararak batarya şarj edilmektedir. Batarya istenilen şarj durumuna getirildikten sonra

İYM durmaktadır. Seri hibrit araçtaki içten yanmalı motorun yol yükünden bağımsız hale getirilmesi ile İYM'nin istenen noktalarda çalıştırılması sağlanabilmektedir [6].

Bulgu [1] tekerlek içi motorların kullanıldığı bir seri hibrit elektrikli aracı, MATLAB/Simulink ortamında modellemiş ve bu model üzerinde bulunan jeneratör sistemine (GENSET) aç-kapa kontrol stratejisi uygulamıştır. Aracın yakıt tüketimini, konvansiyonel araç, tek çekiş motorlu ve tekerlek içi motorlu seri hibrit araç için hesaplamıştır. ECE-15 sürüş çevrimi üzerinde, yakıt tüketim değeri konvansiyonel araç için 1088 mL, tek çekiş motorlu seri hibrit araç için 930,5 mL ve tekerlek içi motorlu araç için 896,6 mL olarak bulunmuştur. Alkan [8] Mercedes-Benz tarafından üretilen ve şehir içi alçak tabanlı otobüs olan Conecto'nun, ADVISOR simülasyon programı üzerinde konvansiyonel ve seri hibrit olarak modellenmesini yapmıştır. Simülasyonda şehir içi otobüsler için tasarlanmış olan "CBD14" sürüş çevrimini kullanmıştır. Seri hibrit sisteme dönüşüm sayesinde yakıt sarfiyatında konvansiyonel araca göre %27, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık %50 oranında azalma görülmüştür. Otlu [10] AVL CRUISE simülasyon programında konvansiyonel ve seri hibrit aracın modellemesini yapmıştır. Simülasyon programında ECE-15, FTP-75 ve İstanbul seyir çevrimlerini kullanmıştır. Farklı araç tipi ve sürüş çevrimleri ile yakıt ve emisyon değerleri hesaplayıp karşılaştırılmasını yapmıştır. Konvansiyonel aracın seri hibrit elektrikli araca dönüşmesi sonucunda ortalama yakıt tüketim değerinde yaklaşık %50 azalma görülmüştür. Uyulan [11] seri hibrit elektrikli aracı MATLAB/Simulink simülasyon programı ortamında modellemiş ve bulanık mantık kural tabanlı güç yönetim algoritmasını geliştirmiştir. Farklı sürüş çevrimleri kullanılarak konvansiyonel araç ile seri hibrit aracın yakıt tüketimleri karşılaştırılmıştır. Seri hibrit araç yakıt tüketiminin, konvansiyonel araca göre; ECE-15 çevrimi için %9,5, EUDC çevrimi için %37,59 ve NEDC çevrimi için %27,38 oranında daha düşük olduğu saptanmıştır. Hofman ve Dai [12] elektrikli araçlar verim analizi ve farklı tipteki vites kutularının enerji tüketimini incelemek amacı ile elektrikli araç modeli oluşturmuştur. Model üzerinde Volkswagen firmasına ait "Lupo 3L" aracına ait parametreler, NEDC ve FTP-75 sürüş çevrimleri kullanılmıştır. Elektrik aracı güç aktarma organları üzerinde sabit dişli sistemi, manuel vites kutusu ve CVT vites kutusu kullanıldığı durumları incelemiştir. NEDC ve FTP75 sürüş çevrimi ile sabit dişli, manuel ve CVT güç aktarma organları karşılaştırılmış ve en az enerji tüketimi sabit dişli kullanımında sağlandığı görülmüştür. Pacheco vd. [13] HCCI motorların kullanılma sebeplerini anlatmıştır. Bir araç simülasyon programı ile üzerinde HCCI ve benzin motor kullanılan otomobil sınıfı bir araç için NEDC sürüş çevrimi referansı ile yakıt tüketim ve emisyon sonuçları elde edilmiştir. Simülasyon sonucuna göre araç üzerinde benzin motor kullanımı yerine HCCI motor kullanılması ile yakıt tüketiminde %21 azalma sağlanmaktadır. Yakıt tüketimi yanı sıra No_x gazı salınımında %53, CO salınımında %30, CO_2 salınımında %21 azalma görülmektedir. HCCI motor kullanımının tüm bu avantajlarının yanında, HC salınımında %5 oranında bir artış görülmektedir. Sonuç olarak araç üzerinde HCCI motor kullanımının yakıt tüketimi ve egzoz gaz emisyonları bakımından avantajlı olduğu görülmüştür. Lv vd.[14] taşıt üzerinde rejeneratif frenlemenin taşıt menziline etkisini incelemiştir. Enerji verimliliğini arttırmak için yaptıkları çalışmalar tanıtılmıştır. Seri hibrit araç ve paralel hibrit araç için şasi dinamometresi üzerinde NEDC sürüş çevrimi referansı ile deney yapılmıştır. Deney sonucunda rejeneratif frenleme seri hibrit araç üzerinde, paralel hibrit araca göre daha etkili kullanıldığı saptanmıştır. NEDC sürüş çevrimi şartlarında rejeneratif frenlemenin, seri hibrit elektrikli araç üzerinde oluşturduğu yakıt tasarrufu, paralel hibrit elektrikli araç üzerinde oluşturduğu yakıt tasarrufundan %27,28 daha fazla olduğu saptanmıştır. Solouk, Solmaz vd. [15] optimum yakıt ekonomisini gözlemleyebilmek için LTC (Düşük Sıcaklık ile Yanmalı), çoklu mod (Konvansiyonel SI ve HCCI) kullanıma uygun 2 litrelik bir motora sahip seri hibrit aracı temsil eden bir test düzeneği üzerinde deney yapmışlardır. Deney sonucunda SI ve HCCI modda tüketilen yakıt saptanmış ve sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. 2 litrelik LTC motorun SI modda kullanım yerine HCCI modda kullanım %12 yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada seri hibrit bir elektrikli taşıt modellemesi yapılmıştır. Seri hibrit araçta kullanılan içten yanmalı motor olarak, düşük emisyon ve yüksek termik verim gibi özelliklere sahip olan homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli modda çalışan bir motor seçilmiştir. Araç parametreleri piyasada kullanılmakta olan sedan bir araçtan referans alınmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler, standart aracın katalog yakıt tüketim değerleri ile karşılaştırılarak yakıt tasarruf oranları belirlenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

2.1. Menzil Arttırıcı İçten Yanmalı Motor ve Kontrolü (Range Extender Internal Combustion Engine and Control)

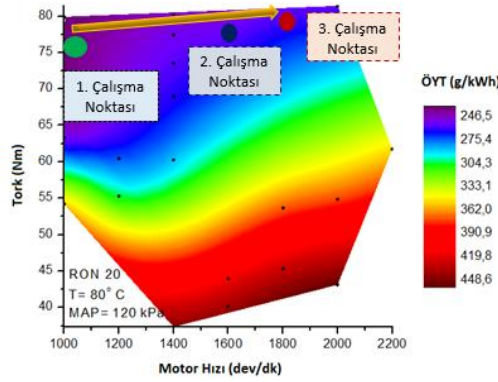
Hibrit araca ait menzil arttırıcı jeneratör sistemi üzerinde, fosil yakıt ile mekanik enerji üretilmesi İYM tarafından sağlanmakta ve jeneratör sisteminde elektrikli üretimi gerçekleşmektedir. Bu amaçla kullanılan İYM, “menzil arttırıcı İYM” olarak adlandırılmaktadır. Hibrit araçlar üzerinde kullanılan İYM’a ait en önemli kriterler, enerji verimliliği ve emisyon değerleridir. Hibrit araç üzerinde bu kriterler, yüksek hacimli ve farklı yanma prensipleri ile çalışan içten yanmalı motorların kullanılması ile sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, seri hibrit elektrikli araç üzerinde jeneratörün tahrik sağlaması amacı ile HCCI yanma prensibi ile çalışan İYM kullanılmıştır. HCCI motor kullanılmasının amacı, dizel ve benzinli motorlara göre termik veriminin yüksek ve zararlı gaz salınımının düşük olmasıdır [16]. HCCI yanma modunda dolgu silindir içerisinde veya emme portunda hazırlanarak, herhangi bir kısılmaya uğratılmadan direk olarak silindir içerisine gönderilmektedir. Silindir içerisinde bulunan homejen dolgunun sıkıştırılması ile birçok bölgede eş zamanlı yanma gerçekleşmektedir. Bu yanma sonucunda yanma odasında oluşan yüksek sıcaklık bölgeleri kaldırılmakta ve is partiküllerinin oluşumu engellenmektedir [17].

HCCI motora ait çalışma haritası, benzinli GM Ecotec 2.0 L Turbo motoru kullanılarak elde edilmiştir. Motora ait teknik özellikler tablo 1’de verilmiştir. Motorun HCCI modunda çalıştırılabilmesi için motor kontrol ünitesi devre dışı bırakılmış ve tüm motor kontrolü dSPACE MicroAutoBox ve RapidPro kontrol ekipmanları ile Matlab/Simulink üzerinden gerçekleştirilmiştir. Motorun direkt enjeksiyon sistemi yerine homojen karışım oluşumunu garanti edebilmek amacıyla emme manifoldu üzerinde sekiz adet yakıt enjektörü yerleştirilmiştir. Simulink arayüzü ile kontrolü gerçekleştirilen PFI enjektörlerden dördü izooktan diğer dördü ise n-heptan püskürtecek şekilde tasarlanmış ve böylece enjektörlerin pulse genişliğini değiştirerek istenilen oktan sayısındaki yakıt silindire püskürtülebilmesi mümkün hale getirilmiştir. Bu çalışmada yakıtın araştırma oktan sayısı 20 olacak şekilde, hacimsel olarak %20 2,2,4 Trimetilpentan ve % 80 n-heptan enjektörler tarafından motorun farklı hız ve yük durumuna göre istenilen miktarda püskürtülmüştür. Emme havası giriş sıcaklığı 80 C° ve emme manifoldu basıncı 120 kPa olarak tüm hız ve yük koşullarında sabit tutulmuştur. Deneyler Michigan Teknoloji Üniversitesi Enerji Mekatroniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. GM Ecotec 2.0L Turbo motorun teknik özellikleri

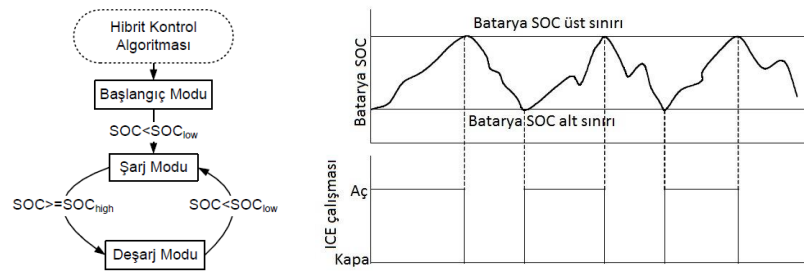
Silindir çapı x strok [mm]	86 x 86	Maksimum güç[kW @5300 d/d]	164
Silindir sayısı	4	Maksimum tork [Nm @2400 d/d]	353
Silindir hacmi [cc]	1998	Yakıt enjeksiyon sistemi	Benzinli direkt
Sıkıştırma oranı [mm]	9.2:1	Supap sistemi	4 supaplı, üstten çift eksantrik
Biyel kolu uzunluğu [mm]	145.5	Supap lifti [mm]	10.3

Şekil 2’de HCCI modunda çalıştırılan motorun ÖYT (özgül yakıt tüketimi) haritası görülmektedir. HCCI motorlarda motor çalışma aralığı vuru ve tekleme sınırları nedeniyle daralmaktadır. Haritada motor yükü bakımından üst sınır vuru sınırını ifade ederken alt sınır tekleme sınırınıdır. Motorun maksimum devri de yine tekleme nedeniyle sınırlanmaktadır. Şekil 2 incelendiğinde motorun 1000-2200 rpm aralığında 40-80 Nm’lik bir tork aralığına sahip bir çalışma alanının olduğu görülmektedir. Seri hibrit elektrikli araca uygulanabilmesi için harita üzerinde özgül yakıt tüketimi en düşük olan üç nokta motorun çalışma noktaları olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. HCCI motorun özgül yakıt tüketimi haritası

İYM'nin çalışma koşulları, jeneratör sistemi kontrol stratejisi ile doğrudan bağlantılıdır. Jeneratör sisteminin kontrolü için maksimum şarj durum kontrol stratejisi ve aç kapa kontrol stratejisi olmak üzere iki farklı yöntem uygulanabilmektedir. Maksimum batarya şarj durumu (SOC) kontrol stratejisinde ana hedef, bataryaların doluluk oranını mümkün olan en yüksek seviyede tutmaktır. İçten yanmalı motorun sürekli çalıştırılması motorun verimsiz olduğu bölgelerde de kullanılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle İYM'nin sürekli çalıştırılması yerine aç-kapa kontrolü gerçekleştirmek daha uygun olmaktadır [6]. Şekil 3'te aç-kapa strateji algoritması ve batarya SOC değişimi görülmektedir.



Şekil 3. Kontrol algoritması genel akış şeması [9], Kontrol stratejisinin gösterilmesi [6]

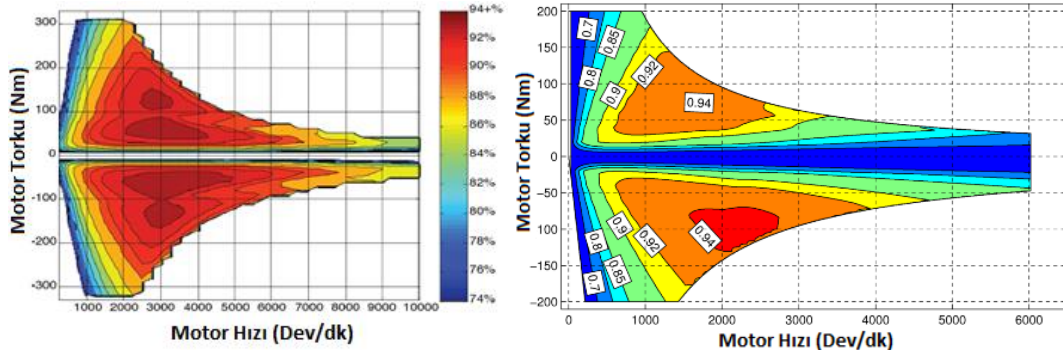
Bu çalışmada kullanılan HCCI motor aç-kapa stratejisi ile kontrol edilmiştir. HCCI motor sabit üç farklı tork ve devir noktasında çalıştırılmaktadır. Güç ihtiyacı arttıkça HCCI motorun çalışma noktası 1 noktasından 2 ve 3 noktalarına doğru kaydırılmaktadır. Bu çalışma noktaları belirlenirken aracın ihtiyaç duyduğu enerji miktarı dikkate alınmıştır. Araç bataryasının şarj durumu %60 seviyesine geldiğinde HCCI motor devreye girmekte ve birinci kademedeki çalıştırılmaktadır. Enerji tüketiminin daha fazla olduğu durumlarda ise HCCI motorunun birinci kademedeki ürettiği güç bataryanın yeteri kadar şarj olmasını sağlamadığı için batarya şarj seviyesi %60 oranının altına düşmektedir. Bu durumda HCCI motor ikinci kademedeki çalıştırılarak daha fazla güç üretmektedir. Batarya şarj durumunun %40 oranının altına düştüğü durumda İYM üçüncü kademedeki çalıştırılarak batarya şarjının istenen seviyede tutulması sağlanmaktadır. HCCI motorun birinci, ikinci ve üçüncü çalışma noktalarında ÖYT sırasıyla 237, 256 ve 265 g/kWh, Tork değeri sırasıyla 76, 77 ve 79 Nm, hız değeri ise sırasıyla 1000, 1400 ve 1800 dev/dk olarak belirlenmiştir.

2.2. Elektrik Motoru ve Jeneratör Modeli (Electric Motor and Generator Model)

Bu modelde, maksimum 320 Nm tork üretebilen REMY markasına ait "HVH250" model elektrik motoruna ait haritalar kullanılmıştır. Elektrik motoru seçiminde motor veriminin yüksekliğine ve motor torkunun araç için uygunluğuna dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan elektrik motorunun tork ve verim haritası Şekil 4'de görülmektedir. Elektrik motorunun karakteristik özelliğinin uygunluğundan dolayı, araçta vites kutusu kullanımına gerek kalmamaktadır [18].

EM Simulink modelinde, EM modeline girdisi sağlanan motor hızı bilgisi doğrultusunda, EM'nin o anki hızı için üretebileceği maksimum tork belirlenmektedir. Belirlenen maksimum tork, gaz ve fren pedalı ile kontrol edilerek araç güç aktarma organlarına iletilmektedir. EM modeline motor tork ve hız girdisi sağlanarak, motorun o anki tork ve devri için verimi belirlenmektedir.

Seri hibrit araç üzerinde kullanılan jeneratör, İYM'nin çalışması ile tahrik edilerek mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedir. Yapılan modellemede jeneratör olarak alternatif akım motoru kullanılmıştır. Simülasyonda jeneratör olarak kullanılan elektrik motorunu temsil eden daha önceki çalışmalarda elde edilerek literatüre geçen elektrik motorlarına ait tork ve verim haritası Şekil 4'de görülmektedir.

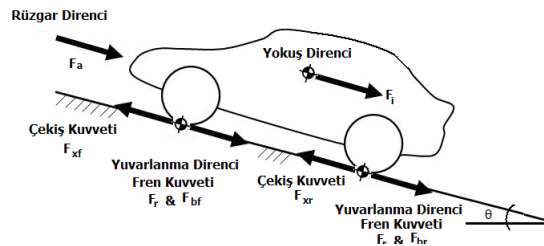


Şekil 4. Elektrik motoru verim haritası [19], Jeneratör verim ve karakteristik eğrisi [20]

Konvansiyonel araçlarda, frenleme esnasında, aracın hareketinden kaynaklı üzerinde taşıdığı kinetik enerji ısı enerjisine çevrilerek atmosfere atılmakta olup büyük enerji kayıpları oluşmaktadır [21]. Hibrit ve elektrikli araçlarda enerji kayıplarının en aza indirilmesi için, rejeneratif frenleme geliştirilmiştir. Rejeneratif frenleme hibrit ve elektrikli araçlarda ciddi verim artışları sağlamaktadır. Rejeneratif frenleme, seri hibrit elektrikli araçlarda paralel hibrit elektrikli araçlara göre daha etkili kullanılmaktadır [22]. Bu çalışmada aracın frenlemesi rejeneratif ve mekanik frenler ile gerçekleşmektedir. Frenleme süresince aracın yavaşlaması için gerekli olan fren gücü maksimum seviyede rejeneratif frenleme ile bataryaya elektrik enerjisi olarak kazanımı sağlanmaktadır. Fren gücünün, rejeneratif frenleme gücünü aştığı durumlarda ise mekanik fren devreye girerek araç hızının istenilen seviyeye düşürülmesi sağlanmaktadır.

2.3. Doğrusal Araç Dinamiği (Longitudinal Vehicle Dynamics)

Seri hibrit aracın modellenebilmesi için güç aktarma organları ve direnç kuvvetlerini içeren doğrusal araç dinamiği modeli oluşturulmuştur. Araç hareketi esnasında, aracın hareketine ters yönde, çeşitli faktörlerden dolayı direnç kuvvetleri oluşmaktadır. Aracın etkisi altında olduğu direnç kuvvetleri yuvarlanma, aerodinamik, yokuş ve ivmelenme dirençleri olmak üzere dört çeşittir [23]. Şekil 5'de bir araca etki eden direnç kuvvetleri görülmektedir.



Şekil 5. Taşıta etkiyen direnç kuvvetleri [23]

Araca etki eden direnç kuvvetlerinden olan yuvarlanma direnci,

$$F_r = mgC_r \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Burada C_r , yuvarlanma direnç katsayısını ifade etmektedir. Araca etki eden aerodinamik direnç,

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

eşitliği ile ifade edilmektedir. İvmelenme direnci ise,

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

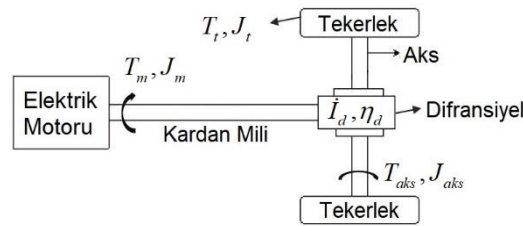
ifadesi ile belirlenebilir. Bu çalışmada araca etki eden toplam direnç kuvveti,

$$F_{Load} = F_i + F_a + F_r \quad (4)$$

eşitliği ile tanımlanan yuvarlanma, aerodinamik ve ivme dirençlerinin toplamından oluşmaktadır.

Araç güç aktarma sistemi motorda üretilen gücün tekerlere iletilmesini sağlayan sistemdir. Araç güç aktarma sisteminin blok şeması şekil 6'da görülmektedir. Modelde değişken parametre olarak EM torku tanımlanmaktadır. Elektrik motorundan alınan tork gaz pedalı ile kontrol edilerek araç güç aktarma sistemine uygulanmaktadır. Araç doğrusal hızının hesaplanabilmesi için teker hızının, teker hızının hesaplanabilmesi için ise güç aktarma organları hızının bilinmesi gerekmektedir. Motor çıkış mil hızının hesaplanması için güç aktarma sisteminin transfer fonksiyonunun çıkarılması gerekmektedir.

Dönme hareketi yapan parçaların kütlelerinden dolayı atalet kuvveti oluşmaktadır. Bir mile etkiyen net torkun, mil atalet momentine oranlanması ile milin açısal ivmesi bulunmaktadır. Açısal ivmenin zamana göre integrali alınarak milin açısal hız bulunmaktadır. Transfer fonksiyonu bir mil için bu kadar kolay hesaplanmaktadır fakat bir sistem için hesaplanmak istendiğinde karmaşık durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşık durumların ortaya çıkmasının en büyük sebebi güç aktarma sisteminde bulunan döner elemanların birçoğunun farklı atalet momentlerine sahip olması ve redüksiyona uğratıldıkları için farklı hızlarda dönmeleridir.



Şekil 6. Güç aktarma sisteminin şematik gösterimi

Modeli yapılan seri hibrit elektrikli araç için güç aktarma sistemi kardan mili, diferansiyel ve akslardan oluşmaktadır. Transfer fonksiyon hesabında kardan mili motora direk bağlı olduğu için atalet momentleri, motor atalet momentini olarak alınmaktadır. Güç aktarma sisteminde diferansiyelin sağ ve solunda olmak üzere iki tane aks ve dört teker bulunmaktadır. Bir mile ait açısal ivme, tork ve atalet momentleri ilişkisi;

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_{net}}{J_{toplam}} \quad (5)$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Burada T_{net} mile etkiyen net torku, J_{toplam} milin toplam atalet momentini, $d\omega/dt$ ise açısal ivmeyi belirtmektedir. Motorda üretilen torkun, diferansiyel giriş ve çıkış, aks ve teker üzerinde oluşturduğu tork hesaplanır. Eşitlik 6'da verilen denklemlerde bulunan kısaltmalardan T_{dg} diferansiyel giriş torku, $T_{dç}$ diferansiyel çıkış torku, T_a akslara etkiyen torku, T_t ise tekerlerin yola uyguladığı torku tanımlanmaktadır.

$$T_{dg} = T_m - J_m \dot{\omega}_m \quad (6)$$

$$T_{dç} = T_{dg} i_d \eta_d \quad (7)$$

$$T_a = T_{dç} - 2J_a \dot{\omega}_a \quad (8)$$

$$T_{dç} = T_a + 2J_a \dot{\omega}_a \quad (9)$$

$$T_t = T_a - 4J_t \dot{\omega}_t \quad (10)$$

$$T_a = T_t + 4J_t \dot{\omega}_t \quad (11)$$

Motor torku ve tekerlerde oluşan direnç torku yalnız bırakılıp net tork hesaplanacaktır. Motor tarafından üretilen tork 5 numaralı eşitlikte bulunan denklemden çekilerek 12 numaralı eşitlik elde edilmiştir.

$$T_m = T_{dg} + J_m \dot{\omega}_m \quad (12)$$

$$T_m = T_{dç} / (i_d \eta_d) + J_m \dot{\omega}_m \quad (13)$$

$$T_m = (T_a + 2J_a \dot{\omega}_a) / (i_d \eta_d) + J_m \dot{\omega}_m \quad (14)$$

$$T_m = (T_t + 4J_t \dot{\omega}_t + 2J_a \dot{\omega}_a) / (i_d \eta_d) + J_m \dot{\omega}_m \quad (15)$$

$\dot{\omega}_{dç} = \dot{\omega}_a = \dot{\omega}_t = \dot{\omega}_m / i_d$ ve $T_t = T_{yük}$ eşitlikleri bilinmektedir. Bu eşitlikler 15 numaralı denklemde yerine konularak, 16 numaralı denklem elde edilmiştir.

$$T_m = T_{yük} / (i_d \eta_d) + (4J_t + 2J_a) \dot{\omega}_m / (i_d^2 \eta_d) + J_m \dot{\omega}_m \quad (16)$$

Şekil 6'da görülen sistem için motordan başlanılarak her bir hareketli eleman için eşitlik 5'e verilen ilişki uygulanarak hareket iletim fonksiyonu,

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{T_m - T_{yük} / (i_d \eta_d)}{(4J_t + 2J_a) / (i_d^2 \eta_d) + J_m} \quad (17)$$

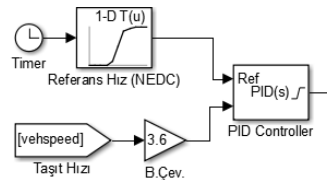
Şeklinde tanımlanabilir. Bu eşitlik motor çıkış milinin açılma ivmesini vermektedir. Burada T_m ve $T_{yük}$ motor momenti ile tekerlekler üzerine etki eden toplam yükü ifade etmektedir. J_m motor ve kardan mili kütle atalet momentini, J_t ve J_a ise tekerleklerin ve aksların kütle atalet momentlerini ifade etmektedir. i_d diferansiyel dişli oranını tanımlarken, η_d diferansiyel mekanik verimini tanımlamaktadır. Motor çıkış mili açılma ivmesinin integrali alınarak motor çıkış milinin açılma hızı eşitlik 18'deki gibi bulunmaktadır.

$$\omega_m = \int_t \frac{T_m - T_{yük} / (i_d \eta_d)}{(4J_t + 2J_a) / (i_d^2 \eta_d) + J_m} dt \quad (18)$$

Son eşitlikte yer alan tekerlek yükü, direnç kuvvetleri modeli ile belirlenmektedir. Güç aktarma sisteminin hareket iletim fonksiyonu kullanılarak MATLAB/Simulink ortamında seri hibrit elektrikli aracın dinamik modeli oluşturulmuştur. Bu modelde elektrik motoru ve direnç kuvvetleri tarafından güç aktarma sistemine uygulanan tork, elektrik motor verimi, güç aktarma organlarının atalet momentleri girdi olarak alınmaktadır. Araç dinamiği Simulink modelinde elektrik motoru gücü, aracın ivmesi, hızı ve aldığı yol anlık olarak hesaplanabilmektedir.

2.4. Sürüş Çevrimleri ve Hız Kontrol Modeli (Driving Cycles and Speed Control Model)

Sürüş çevrimleri, taşıtların egzoz emisyonları ve yakıt tüketimlerinin hesaplanması için kullanılan hız zaman grafikleridir. Sürüş çevrimleri kısıtlı bir zaman aralığında söz konusu taşıt tipi ve bölge için geçerli olan gerçek sürüş veri sonuçlarını en iyi şekilde temsil etmelidir [24]. Simülasyonda NEDC ve US06 sürüş çevrimi kullanılmıştır. NEDC ve US06 sürüş çevrimlerinin hız zaman grafikleri sonuçlar kısmında bulunmaktadır. Seri hibrit araç hızını, modele referans olarak girdisi sağlanan sürüş çevrim hızı belirlemektedir. Seri hibrit elektrikli aracın hız kontrol sistemi Simulink modeli Şekil 7'de görülmektedir.



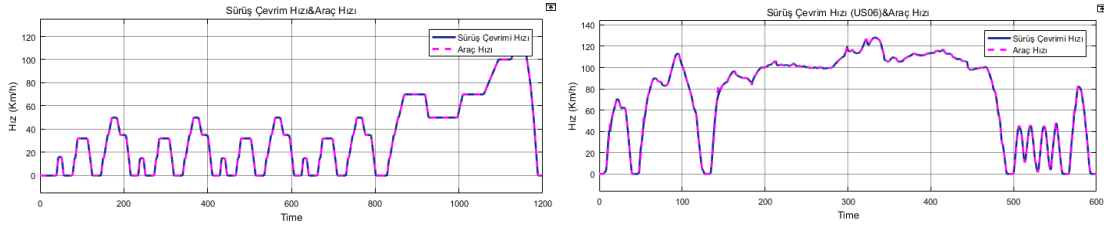
Şekil 7. Hız kontrol sistemi Simulink modeli

Seri hibrit elektrikli aracın hız kontrolü gaz ve fren pedal konumlarının kontrolü ile yapılmaktadır. Gaz ve fren pedalının konumu ise PID (oransal, integral, türevsel kontrolcü) kontrol yöntemi ile belirlenmektedir. PID kontrol yöntemi, sistem üzerinde uygulaması kolay ve maliyetinin düşük olması sebebiyle endüstriyel alanlarda ve birçok sektörde yaygın olarak kullanımı görülmektedir. PID kontrol yönteminin uygulamaya konulması için, Matlab/Simulink ortamında kullanıma hazır bloğu bulunmaktadır [25]. PID kontroller, araç

hızının, referans hızı takip etmesi için gerekli olan gaz ve fren pedal konumunu ayarlamaktadır. PID kontroller araç hızını referans hıza ulaştırabilmek amacı ile 0 ile 1 arasında gaz pedal konumu sinyali üretmektedir. Araç hızının referans hıza göre yüksek olduğu durumlarda ise 0 ile -1 arasında fren pedal değerleri üreterek araç hızının gerekli değere düşmesini sağlamaktadır. Gaz ve fren pedal konumlarının kontrolü lineer olarak yapılmaktadır.

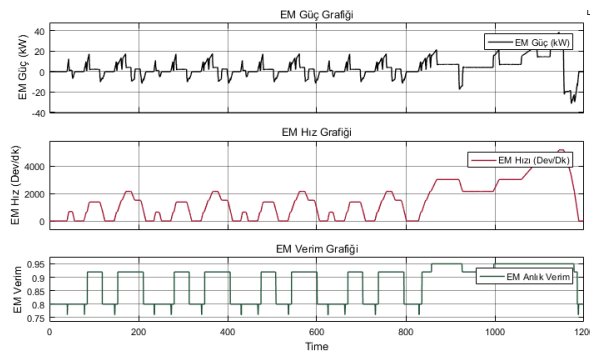
3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Bu çalışmada, HCCI menzil arttırıcı motor kullanılan seri hibrit elektrikli araç modeline ait simülasyon sonuçları ve grafikleri elde edilmiştir. Grafikler seri hibrit elektrikli aracın kullanım hızlarını temsil ettiği, farklı sürüş çevrimlerinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Aynı zamanda simülasyon sonuçlarının daha açık şekilde görülmesi amaçlanarak, araç bir sürüş çevrimi ile birden fazla tekrarda sürüldüğü durumlarda bulunmaktadır. Grafikler ile simülasyon sonuçları anlık olarak izlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Araç hızını temsilen, simülasyon girdisi olarak şehir içi ve şehir dışı sürüş çevrimini kapsayan NEDC ve aracın yüksek hızlarda kullanımını temsil eden US06 kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının doğru değerlendirilebilmesi için modeli oluşturulan aracın sürüş çevrimlerini takip etmesi gerekmektedir. Şekil 8’de NEDC ve US06 Sürüş çevrim hızları ile araç hızının karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda modellenen aracın her iki sürüş çevrimini de takip ettiği görülmektedir.



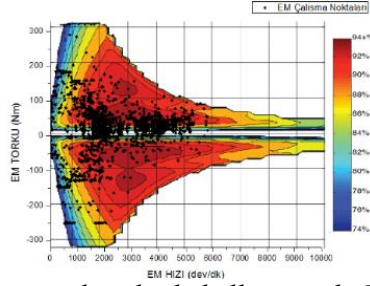
Şekil 8. NEDC ve US06 sürüş çevrim hızları ile araç hızının karşılaştırılması

Aracın NEDC sürüş çevrimi ile sürüldüğü durumda, araca tahrik sağlayan elektrik motorunun güç, hız ve verim grafikleri Şekil 9’da görülmektedir. Elektrik motoru gücü yaklaşık olarak 39 kW değerlerine ulaşmaktadır. Yakıt tüketiminin en aza indirgenebilmesi amacı ile elektrik motoru en verimli noktalarda çalıştırılmak istenmektedir. Elektrik motoru farklı devir ve güç değerlerinde verimi %76 ile %95 arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir.



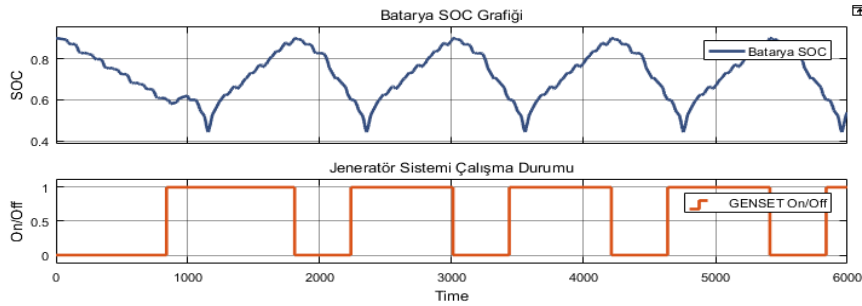
Şekil 9. Aracın NEDC sürüş çevrimi ile sürüldüğü durumda EM güç, hız ve verim grafikleri

Araç tahrikini sağlayan elektrik motoru, aracın tork ihtiyacına göre maksimum üretebileceği ve frenleyebileceği tork sınırları içinde çalışabilmektedir. Şekil 10’da aracın US06 sürüş çevrimi ile sürüldüğü durumda, elektrik motorunun çalışma noktaları görülmektedir. Araçta vites kutusu kullanılmamasına rağmen elektrik motorunun verimli bölgelerde çalıştırılabildiği görülmektedir.



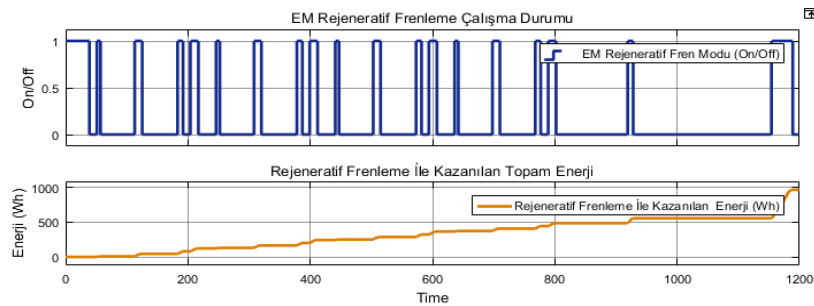
Şekil 10. Aracın US06 sürüş çevrimi koşulu ile kullanımında EM'nin çalışma verim noktaları

Seri hibrit elektrikli araç modelinde jeneratör sistemi kontrolü aç-kapa stratejisi ile kontrol edilmiştir. Aracın NEDC sürüş çevrimi ile beş defa sürülmesi sonucu, batarya şarj durumu ve içten yanmalı motorun çalışma durumu Şekil 11'de görülmektedir. Aracın NEDC sürüş çevrimi ile sürüldüğü şartlarda, batarya şarj durumu % 40 değerinin altına düşmediği görülmektedir. HCCI motorun birinci ve ikinci kademelerde çalıştığı, üçüncü kademede çalışmasına gereksinim duyulmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 11'de sürüş çevrimi 1000 s civarına yaklaşırken batarya şarj durumunun % 60'ın altına indiği görülmektedir. Bu durumda HCCI motor ikinci kademede çalıştırılarak batarya kapasitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Ancak NEDC sürüş çevriminin son kısmı yüksek hızlar içerdiğinden enerji tüketimi sürüş çevriminin bu bölgelerinde daha yüksektir. Bu nedenle bir süre sonra SOC hızla azalmaya başlamıştır ancak % 40'ın altına inmemesi nedeniyle HCCI motor üçüncü kademe çalışma noktasına geçmemiştir.



Şekil 11. SOC değişimi ve jeneratör sisteminin çalışma durumu

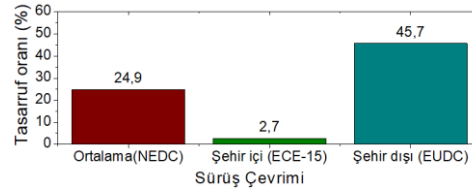
Araç elektrik motorunun rejeneratif mod ile çalıştığı durum ve rejeneratif frenleme ile geri kazanılan enerji miktarı Şekil 12'de görülmektedir. Aracın NEDC sürüş çevrimi ile bir defa sürülmesi ile rejeneratif frenleme sayesinde yaklaşık olarak 1 kWh enerji kazanımı olduğu saptanmıştır. Sürüş çevriminin ilk bölgelerinde daha fazla olan hızlanma ve yavaşlamalar bu bölgelerde rejeneratif geri kazanımın daha fazla olmasına sebep olmuştur. Bu nedenle şehir içi kullanımda rejeneratif frenleme önemli bir enerji geri kazanımı sağlamaktadır.



Şekil 12. Rejeneratif frenlemenin etkin olduğu durum ve EM tarafından üretilen enerji grafiği

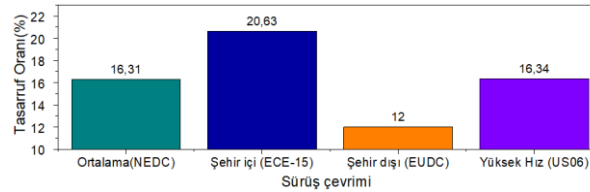
Konvansiyonel aracın seri hibrit elektrikli araca dönüşümü sonrasındaki yakıt tüketim değerleri simülasyon yardımı ile hesaplanmıştır. Bu konvansiyonel aracın yakıt tüketim değerleri ile seri hibrit elektrikli araca dönüşümü sonrasındaki şehir içi, şehir dışı, ortalama ve yüksek hızlarda kullanımına ait yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 13'te bu karşılaştırma görülmektedir. HCCI motor

kullanılan seri hibrit elektrikli aracın, konvansiyonel araca göre ECE-15 koşulunda %45,7, EUDC koşulunda %2,7 ve NEDC koşulunda ise %24,9 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. Yakıt tüketim oranlarında sağlanan bu iyileşme HCCI motorun yüksek verimliliği ve rejeneratif frenleme sonucu elde edilen enerji geri kazanımından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. Benzinli tip aracın seri hibrit elektrikli araç dönüşümü sonucu yakıt tasarruf oranı

Seri hibrit elektrikli araç rejeneratif frenlemenin araç yakıt tüketimine etkisi Şekil 14’de görülmektedir. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif frenlemenin kullanılması ile aracın ECE-15 koşulunda %20,63, EUDC koşulunda %12, NEDC koşulunda %24,9 ve US06 koşulunda kullanımında ise %16,34 oranında yakıt tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 14. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif fren kullanımının yakıt tasarrufuna etkisi

Bununla birlikte seri hibrit elektrikli araç kütlelerinin 500 kg artması ile aracın NEDC ve US06 sürüş çevrimleri ile kullanılması durumunda, aracın 100 km’de tükettiği yakıt miktarında 1 litrelik artış olduğu belirlenmiştir. Aerodinamik direnç katsayısının 0,5 artması ile aracın 100 km’de tükettiği yakıt miktarında, aracın NEDC sürüş çevrimi ile kullanılması durumunda 0,1 litrelik, aracın US06 sürüş çevrimi ile kullanılması durumunda ise 0,25 litrelik artış olduğu tespit edilmiştir. Yuvarlanma direnç katsayısının 0,05 artması ile aracın 100 km’de tükettiği yakıt miktarında, aracın NEDC sürüş çevrimi ile kullanılması durumunda 0,8 litrelik, aracın US06 sürüş çevrimi ile kullanılması durumunda ise 0,33 litrelik artış olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada menzil arttırıcı olan HCCI bir motor kullanan seri hibrit bir elektrikli taşıtın modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Araç modeli olarak piyasada kullanılmakta olan bir taşıtın özellikleri kullanılmış ve bu aracın seri hibrit elektrikli bir taşıt olması durumundaki yakıt tüketim değerleri belirlenerek konvansiyonel aracın katalog değerleri ile kıyaslanmıştır. Seri hibrit aracın modellenmesi için araca etki eden direnç kuvvetleri ve hareketli elemanların kütle atalet momentleri dikkate alınarak dinamik bir model kurulmuştur.

HCCI motor kontrolü olarak aç-kapa stratejisi kullanılan çalışmada konvansiyonel araca göre, ECE-15 yakıt tüketiminde %45,7, EUDC yakıt tüketiminde %2,7, NEDC yakıt tüketiminde ise %24,9 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. NEDC sürüş çevrimi için rejeneratif enerji geri kazanımının 1 kWh olduğu belirlenmiştir. Aracın şehir içi kullanımında rejeneratif frenlemenin daha etkili olduğu literatürde karşılaşılan değerlendirmeler ile uyumlu görülmüştür.

Bu çalışmada bataryanın şarj ve deşarjı sırasında veriminin sabit olduğu kabul edilerek model oluşturulmuştur. Bir sonraki çalışmada, bataryanın ısıya, şarj ve deşarj sürecine bağlı olarak batarya veriminin dahil edildiği modelin oluşturulması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bulgu AE. (2010). Tekerlek motorlu seri hibrit elektrikli araçlar için kontrol algoritmalarının geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Timuçin B. (2016). Hibrit Elektrikli Otobüste (Phileas) Sürücü Sistemlerinin Modellenmesi ve Güç Aktarma Organlarının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Demiroğlu O. (2012). Elektrikli ve hibrid araçların araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [4] Liu W. (2013). Introduction to hybrid vehicle system modeling and control (First Edition), John Wiley & Sons, Canada.
- [5] Boyalı A. (2005). Hibrid elektrikli yol taşıtlarının modellenmesi ve kontrolü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Ehsani M, Gao Y, Gay SE ve Emadi A. (2005). Modern Electric-Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Fundamentals-Theory-Design, , 117-136.
- [7] Bononno R. (2013). Hybrid Vehicle From Components to System, Thesis, France, 2013.
- [8] Alkan G. (2008). Şehir İçi Tipte Bir Otobüsün Hibrit Dönüşümünün Tasarım Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Biliroğlu AÖ. (2009). Seri hibrit elektrikli araçların modellenmesi ve kontrolü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Otlı S. (2010). İçten Yanmalı Motorlu Bir Taşıtın Basit Bir Hibrit Elektrikli Taşıta Dönüşümü İçin Bir Model, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Uyulan Ç. (2010). Seri Hibrit Elektrikli Aracın Modellenmesi ve Bulanık Mantık Kural Tabanlı Enerji Yönetim Stratejisinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Hofman T, Dai CH. (2010). Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle, InVehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-6. doi:10.1109/VPPC.2010.5729082
- [13] Pacheco AF, Martins ME, Zhao H. (2013). New European Drive Cycle (NEDC) simulation of a passenger car with a HCCI engine: Emissions and fuel consumption results, 111, 733-739. doi:10.1016/j.fuel.2013.03.060
- [14] Lv C, Zhang J, Li Y, Yuan Y. (2015). Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles, Energy Conversion and Management, 92, 469-482. doi:10.1016/j.enconman.2014.12.092
- [15] Solouk A, Shakiba M, Kannan K, Solmaz H, Dice P, Bidarvatan M, Shahbakhti, M. (2016). Fuel economy benefits of integrating a multi-mode low temperature combustion (LTC) engine in a series extended range electric powertrain, SAE Technical Paper. doi.org/10.4271/2016-01-2361
- [16] Calam A, Aydoğan B. (2019). Experimental Investigation of Performance Combustion and Emission Characteristics in an HCCI Engine Fuelled Isopropanol and Heptane Fuel Mixtures, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 7(4), 818-833. doi:10.29109/gujsc.605057

- [17] Demirci OK, Çınar C. (2019). The Investigation of the Effects of Using Natural Gas on the Performance and Exhaust Emissions in an HCCI-DI Engine HCCI- DI Bir Motorda Doğal Gaz Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, 7, 317–330. doi:10.29109/gujsc.521668.
- [18] Vatan O. (2011). Modelling And Simulation Of Longitudinal Dynamics Of Electric Vehicles, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Science And Technology, İstanbul.
- [19] Remy HVH250 elektrik motoru tork-devir-verim haritası, URL:<http://www.aimenerji.com /arge/projeleri.aspx?code=9ff5b74c-3c34-40b4-af9e-5098285b49aa>
- [20] Tobias O, Christopher O ve Lino G. (2013). Hybrid-Electric Vehicle with Natural Gas-Diesel Engine, *Energies* 6(7), 3571-3592. doi: 10.3390/en6073571
- [21] Gupta P, Kumar A ve Dep S.(2014). Regenerative Braking Systems (RBS) (Future Of Braking Systems). *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 2(5), 75-78
- [22] Khajepour A, Fallah MS, Goodarzi A. (2014). Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling and control-A mechatronic approach, John Wiley & Sons.
- [23] Zeraoulia M, Benbouzid ME, Diallo D. (2006). Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study, *IEEE Transactions on Vehicular technology*, 55(6), 1756-1764. doi:10.1109/TVT.2006.878719
- [24] Öztürk HA. (2010). İstanbul Şehir Çevriminin ABD ve Avrupa Test Çevrimleri İle Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneysel Olarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Kayışlı K, Uğur M. (2017). Fuzzy Logic and PID control of a 3 DOF Robotic Arm, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C*, 5(4), 223-233. doi: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.339907