Techno-Science 2018
International Conference on Technology and Science
December 13-15, 2018 ● Antalya
Proceedings

Proceeding ID: 1925

Buji ile Ateşlemeli Motor Kullanılan Seri Hibrit Elektrikli Bir Aracın Modellenmesi

Hamit SOLMAZ[1], Tolga KOCAKULAK[2]

[1]Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Teknikokullar Ankara, Türkiye
[2]Hidroan Ankara Hidrolik Mak. San. Tic. Ltd. Şti., 06930 Sincan Organize Sanayi Bölgesi, Ankara, Türkiye
[1]hsolmaz@gazi.edu.tr
[2]tkocakulak@hidroan.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada seri hibrit elektrikli bir aracın MATLAB/Simulink simülasyon programı ortamında modellemesi yapılmıştır. Hibrit elektrikli aracın güç aktarma sistemi, batarya, enerji tüketim ve jeneratör sistem (GENSET) modeli oluşturulmuştur. Jeneratör olarak kullanılan ve araç tahrikini sağlayan alternatif akım elektrik motorlarının temsili elektrik motoru karakteristik eğrileri ile sağlanmıştır. İçten yanmalı motor modeli için ise SI (buji ile ateşlemeli) benzinli bir motora ait deneysel veriler ile elde edilmiş tork ve ÖYT (Özgül Yakıt Tüketimi) haritaları kullanılmıştır. Oluşturulan araç modelinin yakıt ve enerji tüketiminin standartlara uygun şekilde hesaplanabilmesi ve ölçülendirilebilmesi amacı ile Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC), Yüksek Hız Çevrimi (US06) ve Federal Test Yöntemi (UDDS) sürüş çevrimleri kullanılmıştır. Günümüzde Türkiye' de kullanılan ortalama bir otomobile ait ağırlık, aerodinamik katsayı, lastik yarıçapı vb. teknik özellikleri simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan seri hibrit elektrikli araç modeli üzerinde farklı aracın farklı sürüş şartlarında enerji tüketimi hesaplanmıştır. Simülasyon sonucunda seri hibrit elektrikli aracın 100 km' de tükettiği yakıt miktarı; ECE-15 çevrimi ile 4,62 litre, EUDC çevrimi ile 4,29 litre, NEDC çevrimi ile 4,4 litre, US06 çevrimi ile 6,1 litre, UDDS çevrimi ile kullanıldığında ise 4,35 litre olduğu sonucu elde edilmiştir. Seri hibrit elektrikli aracın farklı sürüş çevrimlerinde kullanılması durumlarında ise rejeneratif fren sistemi kullanımının %11 ile %21 arasında tasarruf sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Seri Hibrit, Elektrikli Taşıt, Buji ile Ateşlemeli, Simülasyon, Rejeneratif Frenleme

Modelling of a Serial Hybrid Electric Vehicle with Spark Ignition Engine

ABSTRACT

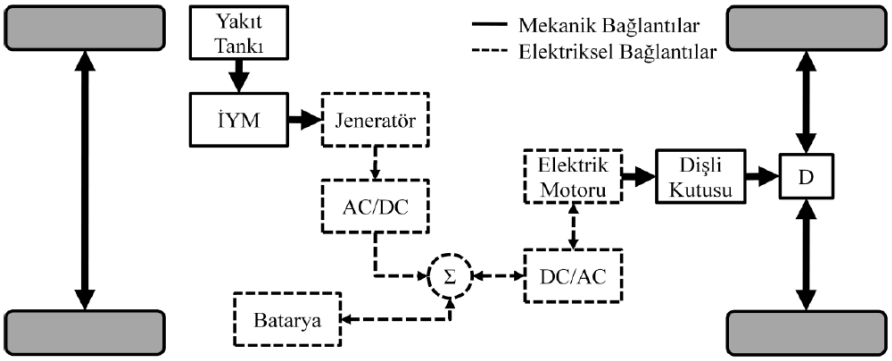
In this paper, modelling of a serial hybrid electric vehicle is conducted by MATLAB/Simulink simulation software. Transmission system, battery, energy consumption model and generator system model (GENSET) of the hybrid electric vehicle is created. The representation of alternating current electric motors which are used as generator and supplies vehicle drive is supplied by electric motor characteristic curves. For internal combustion engine modelling, torque and SFC (Specific Fuel Consumption) maps which are obtained with experimental data of a spark ignition (SI) gasoline engine are used. In order to calculate and to dimension of fuel and energy consumption of the created vehicle model in accordance with standards, New European Driving Cycle (NEDC), High Speed Cycle (US06) and Federal Test Method (UDDS) driving cycles are used. Technical specifications such as weight, aerodynamic coefficient, tire radius of an average automobile used in Turkey nowadays are used

as simulation input. The energy consumption of the different vehicle in different driving conditions has been calculated on the created hybrid electric vehicle model. It is obtained as the result of the simulation that the amount of consumed fuel by the hybrid vehicle in a distance of 100 kilometers is 4,62 liters with ECE-15 cycle, 4,29 liters with EUDC cycle, 4,4 liters with NEDC cycle, 6,1 liters with US06 cycle, 4,35 liters wtih UDDS cycle. In case of using the serial hybrid electric vehicle in different driving cycles, it is observed that the usage of regenerative brake system saves between 11% and 21%.

Keywords: Serial Hybrid, Electric vehicle, Spark Ignition, Simulation, Regenerative Braking

1.GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıt kaynaklarının azalması ve çevre kirliliğinin yüksek derecelere ulaşması nedeni ile enerjide verimlilik ve kirliliğin azaltılması üzerine yapılan faaliyetler önem kazanmıştır. Konvansiyonel araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin fazla olması nedeni ile farklı araç yapılarının oluşumu için çalışmalar kaçınılmaz olmuştur. Bu çalışmaların başında konvansiyonel araçların ve tamamı elektrikli araçların sahip olduğu avantajları üzerinde taşıyan hibrit elektrikli araçlar gelmektedir. Hibrit elektrikli araçlar seri, paralel ve seri-paralel hibrit araç olmak üzere üç temel grup altında incelenmektedir. Seri hibrit elektrikli araçta tahrik sadece elektrik motoru tarafından, paralel hibrit ve seri-paralel hibrit araçlarda ise tahrik hem elektrik hem de içten yanmalı motor ile sağlanmaktadır. Paralel hibrit araç yüksek hız ve şehirlerarası kullanımda yüksek verimlilik sağlarken, seri hibrit elektrikli araç şehir içi kullanımda yüksek verimlilik sağlamaktadır. Seri hibrit elektrikli aracın şehir içi kullanım da yüksek verimlilik sağlamasının en temel iki nedeni aracın bekleme esnasında enerji tüketiminin (rölanti kayıplarının) olmaması ve sürekli yapılan frenleme ile oluşan enerji kayıplarının rejeneratif fren ile geri kazanımıdır [10].



Şekil 1. *Seri hibrit elektrikli araç yapısı [2]*

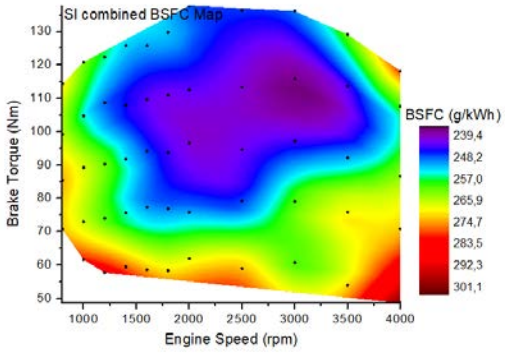
Hofman ve Dai [3] elektrikli araçlar üzerinde farklı tip vites kutularının kullanımının enerji tüketimine etkisini oluşturdukları elektrikli araç modeli üzerinde incelemişlerdir. Elektrikli araç NEDC ve FTP-75 sürüş çevrimleri şartları ile kullanılmıştır. Karşılaştırılması yapılan elektrikli araç üzerinde sabit dişli, manuel vites kutusu ve CVT vites kutusu kullanımı durumları incelenmiş ve en az yakıt tüketimi sabit dişli kullanımında sağlandığı görülmüştür. Li, Wang ve Song [4] seri hibrit elektrikli taşıt modeli oluşturmuşlar ve rejeneratif frenlemenin yakıt tasarrufuna etkisini incelemişlerdir. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif frenleme kullanmanın yakıt tüketimini %10,5 ile %32,4 değerleri arasında düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Lv vd.[5] taşıt üzerinde rejeneratif frenlemenin NEDC sürüş çevrimi şartlarında, farklı hibrit yapıları üzerinde sağladıkları yakıt tasarruflarını incelemişlerdir. Simülasyon sonucunda seri hibrit elektrikli araç üzerinde kullanılan rejeneratif fren sisteminin, paralel hibrit elektrikli araca göre %27,28 oranında daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Uyulan [6] seri hibrit elektrikli aracı Matlab/Simulink simülasyon programı ortamında modellemiş ve güç yönetim algoritması geliştirmiştir. Farklı sürüş çevrimleri şartlarında seri hibrit elektrikli araç ile konvansiyonel aracın yakıt tüketim değerlerini karşılaştırmıştır. Seri hibrit elektrikli araç konvansiyonel araca göre ECE-15 sürüş çevrimi için %9,5,

EUDC sürüş çevrimi için %37,59 ve NEDC sürüş çevrimi için ise%28,38 oranında yakıt tasarrufu sağlandığını belirlemiştir. Wipke ve Cuddy [10] ADVISOR simülasyon programı üzerinde konvansiyonel, seri hibrit ve paralel hibrit araçların yakıt tüketimlerini incelemiştir. Yapılan çalışmada hibrit elektrikli araçların, konvansiyonel araçlara göre %17 ile %24 değerleri arasında yakıt tüketiminin düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

2. MATERYAL METOT

2.1. İçten Yanmalı Motor ve Jeneratör Modeli

Bu çalışmada seri hibrit elektrikli araç modelinin jeneratör sistemi (GENSET) üzerinde jeneratör olarak kullanılan elektrik motorunun tahriki için SI (buji ile ateşlemeli) benzinli içten yanmalı motor kullanılmıştır. SI motor modeli olarak deneysel yöntemler ile elde edilmiş motora ait devir, tork ve ÖYT (özgül yakıt tüketimi) bulunduğu karakteristik eğri kullanılmıştır. SI motora ait karakteristik eğri şekil 2' de görülmektedir.

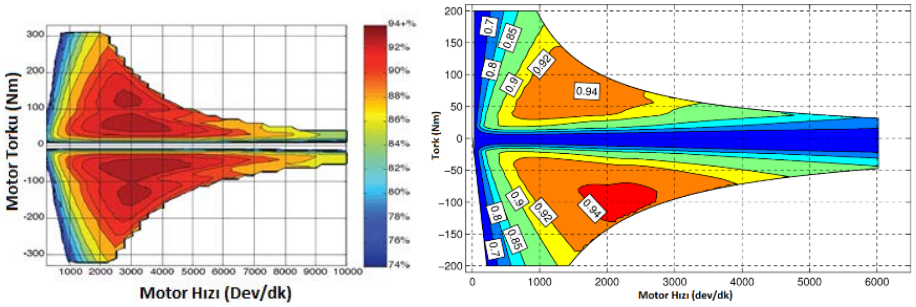


Şekil 2. *SI (Buji ile ateşlemeli) içten yanmalı motor karakteristik eğrisi*

SI motora ait karakteristik eğrinin MATLAB/ Simulink simülasyon programına girdisi sağlanmıştır. SI motorun çalışma noktasının belirlenmesin de özgül yakıt tüketiminin düşük olması ve araç enerji ihtiyacının da karşılanabileceği durum göz önünde bulundurulmuştur. SI motor çalışma noktası motor hızının 3000 dev/dk, torkunun 115 Nm ve özgül yakıt tüketiminin ise 239,4 g/kWh olduğu nokta seçilmiştir.

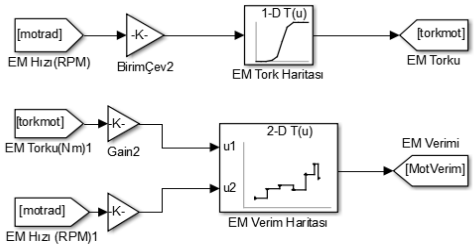
2.2. Elektrik Motoru ve Jeneratör Modeli

Seri hibrit elektrikli araca tahrik sağlayacak elektrik modeli için "REMY" markasına ait maksimum 320 Nm tork üretebilen, 10000 dev/dk hıza ulaşabilen, "HVH250" model elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motoru 49 kg ağırlığa ve 0,067 kgm^2 atalet momentine sahiptir. Araca tahrik hareketini sağlayacak elektrik motoru seçiminde aracın ivmelenmesi için gerekli tork ihtiyacını ve gücünü üretebilmesi, yüksek verimlilik, ağırlığının düşük olması gibi birçok parametre dikkate alınmıştır. Şekil 3 'te REMY HVH250 ve jeneratör olarak kullanılan elektrik motorlarına ait devir, tork, verim haritaları bulunmaktadır.



Şekil 3. *REMY HVH 250 elektrik motoru [7], jeneratör elektrik motoru [8]*

Elektrik motor devir, tork, özgül yakıt tüketim haritasının MATLAB/Simulink üzerinde modelli şekil 4' te görülmektedir. Elektrik motor maksimum torku elektrik motor hızına göre değişkenlik gösterirken elektrik motor verimi, motor hızı ile motor torkuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

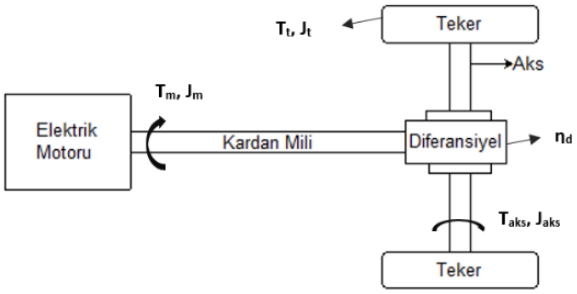


Şekil 4. *Elektrik motoru Matlab/Simulink modeli*

Jenerator olarak kullanılan elektrik motoru çalışma noktası, hareketini alacağı SI motorun çalışma noktası ile ilişkilidir. Jeneratör olarak kullanılan elektrik motorunun verimli olduğu noktada çalıştırılabilmesi için 2 redüksiyon oranına sahip dişli kutusu kullanılmakta ve elektrik motoru 1500 dev/dk hız, 57,5 Nm tork ve %92 verim değerlerini sağlayan noktada çalıştırılmaktadır.

2.3. Doğrusal Araç Dinamiği ve Güç Aktarma Sistem Modeli

Seri hibrit elektrikli aracın güç aktarma sistem modeli ve direnç kuvvetlerini içeren doğrusal araç dinamiği modeli oluşturulmuştur. Araç hareketi esnasında, araç hareket yönünün tersine çeşitli faktörlerden dolayı ivme, aerodinamik, yuvarlanma ve yokuş direnç kuvvetleri oluşmaktadır. Araç güç aktarma sistemine, elektrik motoru tarafından uygulanan torka karşılık bu kuvvetler direnç torku oluşturmaktadır.



Şekil 5. *Seri hibrit elektrikli araç güç aktarma sisteminin şematik gösterimi*

Araç güç aktarma sistemi motor tarafından üretilen torkun üzerinde gerekli düzenlemeleri yaparak yola aktarımını sağlamaktadır. Modeli oluşturulan aracın güç aktarma sistemi kardan mili, diferansiyel, aks ve tekerlerden oluşmaktadır. Araç güç aktarma sisteminin modellenmesi transfer fonksiyonunun çıkarımı ile sağlanmıştır. Şekil 5' te görülen seri hibrit elektrikli araca ait güç aktarma sistemi için oluşturulan transfer fonksiyonu eşitlik 1' de gösterilmiştir.

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{T_m - T_{yük} / (i_d \eta_d)}{(4J_t + 2J_a) / (i^2{}_d \eta_d) + J_m} \tag{1}$$

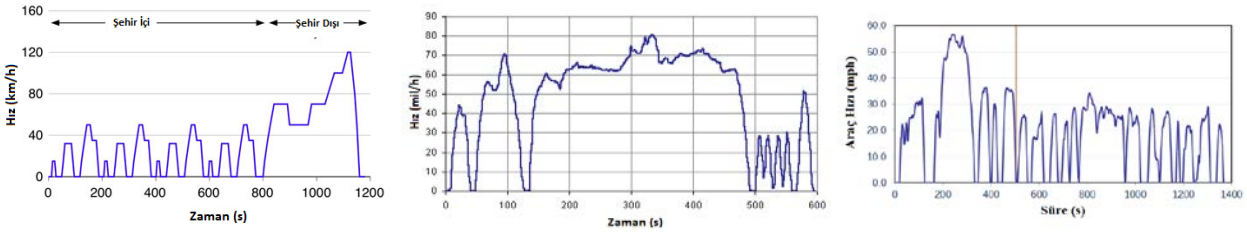
Bu eşitlikte bulunan T_m motor torkunu, T_a araca etkiyen dirençlerin oluşturduğu torku, i_d diferansiyel redüksiyon oranını, j_m motor kütle atalet momentini, J_a aks kütle atalet momentini, j_t teker kütle atalet momentini temsil etmektedir. Bu eşitlik motor çıkış milinin açısal ivmesini vermektedir ve eşitliğin zamana bağlı integrali alınarak eşitlik 2'deki motor çıkış milinin açısal hızı bulunmaktadır.

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

Eşitlik 2'de bulunan transfer fonksiyonu Matlab/Simulink ortamına girilerek araç güç aktarma sisteminin modeli oluştulmuştur.

2.4. Sürüş Çevrimleri ve Hız Kontrolü

Sürüş çevrimleri, araçların yakıt tüketimini ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenebilmesi amacı ile kullanılan deneysel veya teorik veriler ile oluşturulan, farklı ülke ve sürüş şartlarını içerin hız zaman grafikleridir.



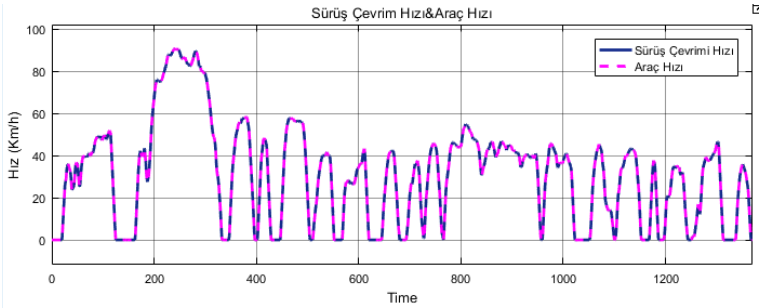
Şekil 6. *NEDC sürüş çevrimi, US06 (Yüksek Hız) sürüş çevrimi, FTP-72 (UDDS) sürüş çevrimi [9]*

Bu simülasyonda sürüş hız temsili olarak Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC), Yüksek Hız Çevrimi (US 06) ve Federal Test Çevrimi (UDDS, FTP-72) kullanılmıştır. NEDC, US06 ve UDDS sürüş çevrimleri hız-zaman grafikleri şekil 6'da görülmektedir.

Seri hibrit elektrikli aracın hız kontrolü gaz ve fren pedalı ile yapılmaktadır. Referans hız olarak kullanılan sürüş çevrim hızı ve aracın gerçek hızı PID kontrollere girmektedir. PID kontroller araç hızını referans hıza eşitlemeye çalışarak -1 ile 1 arasında bir değer oluşturmaktadır. Bu değerler model üzerinde gaz ve fren pedal oranı olarak kullanılmaktadır.

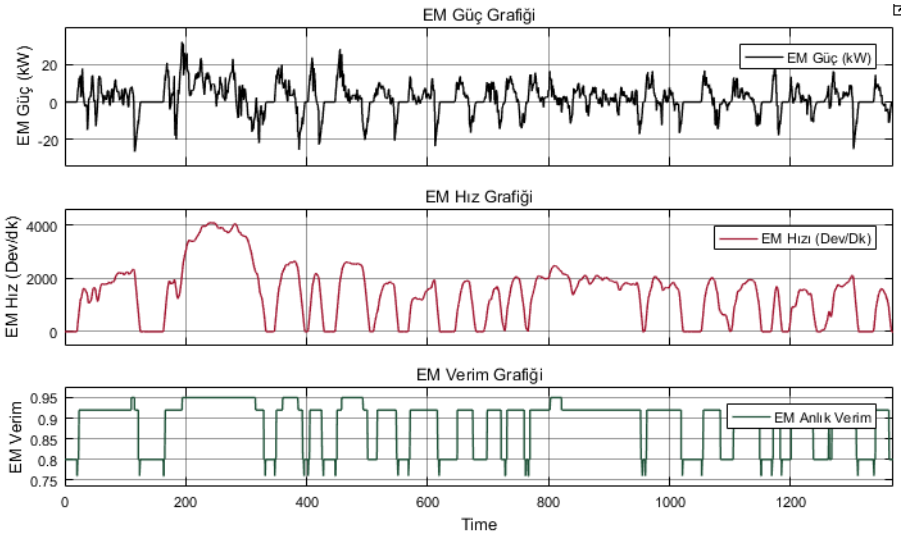
3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Seri hibrit elektrikli araç modeline ait simülasyon sonuçları farklı sürüş şartlarında hesaplanmış, grafikleri çizdirilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.



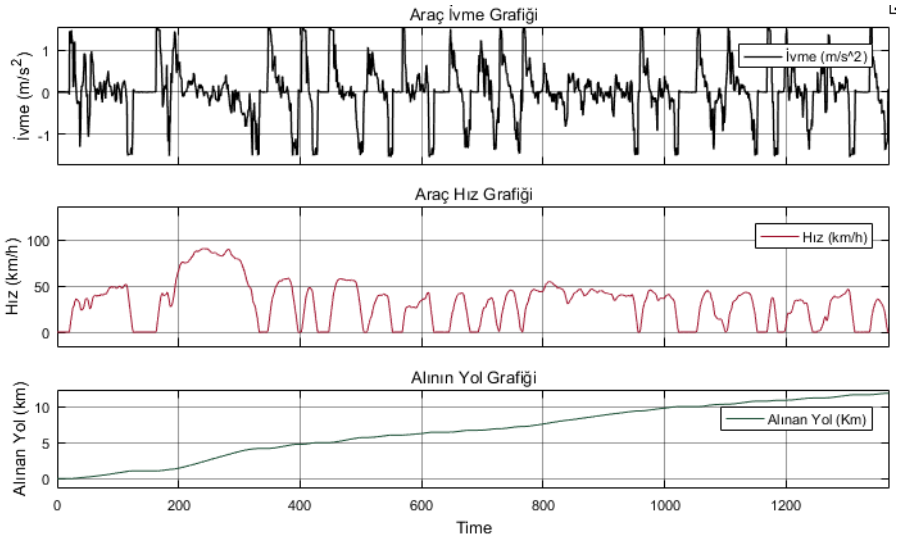
Şekil 7. *UDDS sürüş çevrim hızının araç hızı ile karşılaştırılması*

Seri hibrit elektrikli aracın UDDS sürüş çevrimi ile sürülmesi durumunda, referans hız ile araç hızının karşılaştırılması yapılmıştır. Araç hızı ile referans hız olarak kullanılan UDDS sürüş çevrim hızının karşılaştırılması şekil 7' de görülmektedir. Seri hibrit elektrikli araç hızı ile referans hız değerlerinin çok yakın ve sapmaların çok az olduğu izlenmiştir.



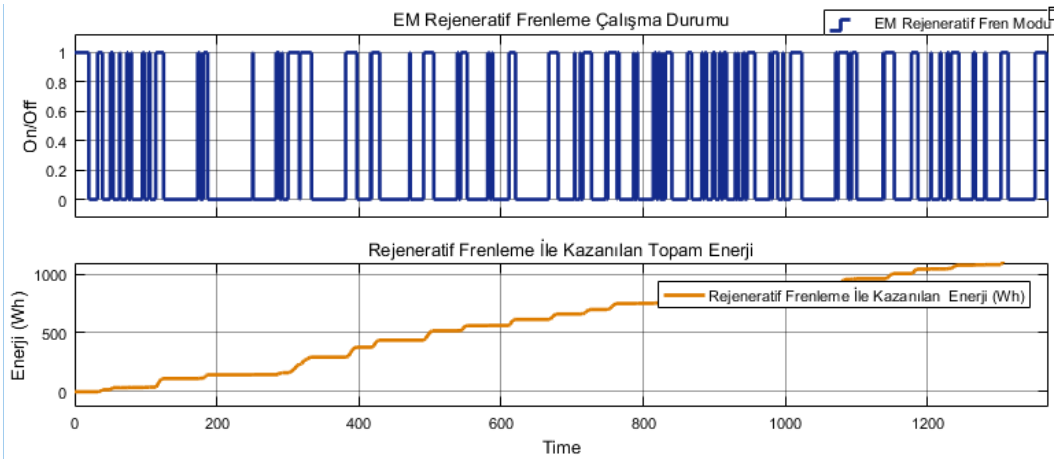
Şekil 8. *Aracın UDDS sürüş çevrimi ile sürülmesi durumunda em güç, hız ve verim grafikleri*

Seri hibrit elektrikli aracın UDDS sürüş çevrimi ile kullanımında elektrik motor gücü, hızı ve verim grafikleri şekil 8' de görülmektedir. Simülasyon sonucunda aracın UDDS sürüş çevrimi ile kullanımında elektrik motor veriminin %75 ile %95 değerleri arasında seyrettiği, motor maksimum devrinin 4000 dev/dk hıza ulaştığı izlenmiştir.



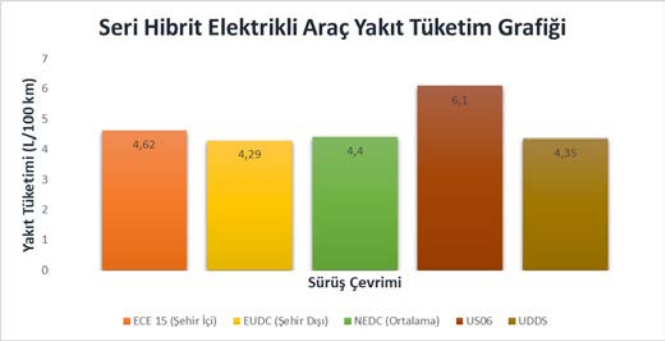
Şekil 9. *Aracın UDDS sürüş çevrimi ile sürüldüğü durumda aracın ivme, hız ve alınan yol grafiği*

Seri hibrit elektrikli aracın UDDS sürüş çevrimi ile kullanımı sonrasında aracın ivme, hız ve alınan yol grafiği şekil 9'da görülmektedir.



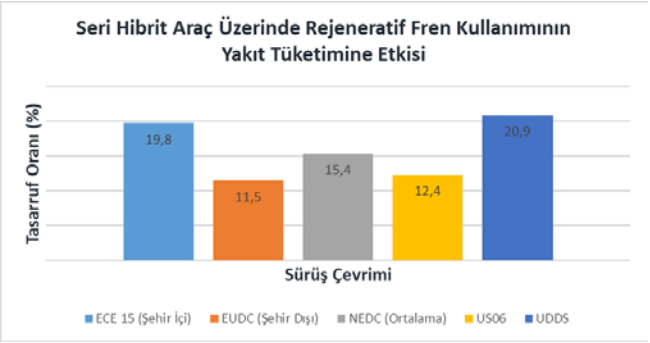
Şekil 10. *Aracın UDDS sürüş çevrimi ile sürüldüğü, rejeneratif frenin etkin olduğu durumlar ve em tarafından üretilen enerji grafiği*

Aracın negatif ivmelenmesi sırasında elektrik motoru rejeneratif fren moduna geçmektedir. Elektrik motorunun karşılayabileceği frenleme torku rejeneratif olarak yapılmaktadır, yüksek frenleme torku gerektiren durumlarda ise mekanik fren aracın yavaşlaması veya durması için devreye girmektedir. Şekil 10' da seri hibrit elektrikli aracın UDDS sürüş çevrimi ile kullanımında rejeneratif frenlemenin etkinliği ve sürüş çevrimi boyunca kazanılan enerji miktarının grafiği bulunmaktadır. Seri hibrit elektrikli araç UDDS sürüş çevrimi boyunca yaklaşık 1 kWh enerji geri dönüşümü sağladığı görülmüştür.



Şekil 11. Seri hibrit elektrikli aracın UDDS farklı sürüş çevrimleri ile sürülmesi durumunda enerji tüketim değerleri

Seri hibrit elektrikli araç ECE-15, EUDC, NEDC, Us06 ve UDDS sürüş çevrimleri ile kullanılması durumunda yakıt tüketim değerleri simülasyon üzerinden elde edilmiştir ve şekil 11' de görülmektedir.



Şekil 12. *Seri hibrit elektrikli aracın farklı sürüş çevrimlerinde rejeneratif fren kullanımının yakıt tasarrufuna etkisi*

Seri hibrit elektrikli aracın simülasyon üzerinde, rejeneratif frenli ve rejeneratif frensiz olarak farklı sürüş çevrimlerinde kullanımı incelenmiştir. Rejeneratif frenlemenin araç yakıt tüketiminde sağladığı tasarruf değerleri

şekil 12' de görülmektedir. Rejeneratif frenlemenin en etkili kullanıldığı sürüş çevrimi UDDS sürüş çevrimi olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

SI motor kullanılan seri hibrit elektrikli aracın Matlab/Simulink ortamında modellemesi yapılmıştır. Seri hibrit elektrikli aracın farklı sürüş şartlarında kullanımı sonucu yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Ayrıca araç üzerinde rejeneratif fren kullanımının yakıt tüketimine etkisi, aracın farklı sürüş çevrimlerinde kullanımı için belirlenmiştir. Aracın UDDS sürüş çevrimi boyunca kullanımı sırasında araca tahrik sağlayan elektrik motorunun çalışma aralıklarını belirten güç, devir ve verim grafikleri çizdirilmiştir. Aracın UDDS sürüş çevrimi boyunca ivmelenmesi, araç hızı ve aldığı yolu izleyen grafik çizdirilmiştir. Seri hibrit elektrikli aracın 100 km' de tükettiği yakıt miktarı ECE-15 sürüş çevriminde 4,62 litre, EUDC sürüş çevriminde 4,29 litre, NEDC sürüş çevriminde 4,4 litre, US06 sürüş çevriminde 6,1 litre, UDDS sürüş çevriminde 4,35 litre olarak saptanmıştır. Konvansiyonel araçların şehir içi kullanımlarında yakıt tüketimi şehir dışı kullanımına oranla çok daha yüksek çıktığı bilinmektedir. Seri hibrit elektrikli aracın şehir içi ile şehir dışı kullanımında sadece %7 lik bir fark gözlemlenmiştir. Bu düşük farkın sonucunda seri hibrit elektrikli aracın şehir içi kullanımında yüksek yakıt tasarrufu sağladığı çıkarımı yapılmıştır. Seri hibrit elektrikli araç üzerinde rejeneratif frenlemenin kullanılması durumunda ise %11 ile %21 oranları arasında yakıt tasarrufu sağladığı saptanmıştır.

KAYNAKÇA

1. Liu W., "Introduction to hybrid vehicle system modeling and control", John Wiley & Sons, 2013.
2. Timuçin B., "Hibrit Elektrikli Otobüste (Phıleas) Sürücü Sistemlerinin Modellenmesi ve Güç Aktarma Organlarının Tasarımı", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 2016.
3. Hofman T, Dai CH., "Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle", InVehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE 1 (pp. 1-6), 2010.
4. Li L, Wang X, Xiong R, He K, Li X., "AMT downshifting strategy design of HEV during regenerative braking process for energy conservation", Applied energy, 1;183:914-25, 2016.
5. Lv C, Zhang J, Li Y, Yuan Y., "Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles", Energy Conversion and Management,1;92:469-82, 2015.
6. Uyulan Ç., "Seri Hibrit Elektrikli Aracın Modellenmesi ve Bulanık Mantık Kural Tabanlı Enerji Yönetim Stratejisinin Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
7. https://www.borgwarner.com/technologies/electric-drive-motors/hvh-series-electric-motor
8. Ott T., Onder C. ve Guzzella L., «Hybrid-Electric Vehicle with Natural Gas-Diesel Engine,» July 2013.
9. Öztürk H.A., "İstanbul Sehir Çevriminin Abd Ve Avrupa Test Çevrimleri İle Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneysel Olarak Karsılastırılması", İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
10. Wipke KB, Cuddy MR., "Using an advanced vehicle simulator (ADVISOR) to guide hybrid vehicle propulsion system development", 1996.