Elektrikli Bir Aracın Modellenmesi ve Rejeneratif Fren Sisteminin Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrol Edilmesi

Tolga Kocakulak[1,2*] ve Hamit SOLMAZ[1]

[1] *Automotive Engineering Department, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey*
[2] *Hidroan Ankara Hidrolik Mak. San. Tic. Ltd. Şti., 06930 Sincan Organize Sanayi Bölgesi, Ankara, Türkiye*

Özet

Bu çalışma kapsamında bulanık mantık kontrol stratejisi ile rejeneratif fren sistemi modellenmiştir. Rejeneratif fren bulanık mantık kontrol stratejisi üyelik fonksiyonu olarak araç hızı, batarya şarj doluluk oranı (SOC), fren pedal konumu ve batarya paketi akım değerlerinin girdisi sağlanmıştır. Modeli oluşturulan kontrol sistemi çıkışı olarak ise aracın kullanımı boyunca yaptığı frenlemenin, araç güvenliği ön planda tutularak, maksimum seviyede rejeneratif frenleme ile yapması sağlanmıştır. Önden çekişli olan elektrikli aracın dinamik modeli çıkarılarak, toplam fren kuvvetinin ön ve arka akslara dağılımının da etkisi dahil edilmiştir. Rejeneratif frenlemenin incelenebilmesi için elektrikli bir aracın modeli oluşturulmuştur. Elektrikli araç modeli kapsamında araç güç aktarma sistemi, direnç kuvvetleri, gaz/fren pedal kontrolcüsü ve sürüş çevrim alt modelleri oluşturulmuştur. Araç tahriğini sağlayan ve rejeneratif frenleme esnasında jeneratör olarak çalışan elektrik motoru olarak UQM marka ve "PowerPhase 75" model maksimum 240 Nm tork üretebilen ve 8000 dev/dk hıza ulaşabilen yüksek verimli, doğru akım motoru tork ve verim haritaları kullanılmıştır. Batarya paketinin tasarımında ve modellenmesinde ise lityum iyon pil hücreleri kullanılmıştır. Modeli oluşturulan aracın NEDC, ECE-15, EUDC, FTP ve US06 sürüş çevrimleri üzerinde kullanımı sağlanmıştır. Simülasyon sonucunda enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Bulanık mantık kontrol stratejisi yöntemi ile modellenen rejeneratif fren sisteminin, elektrikli araç üzerinde NEDC %15,4, ECE 15 %19,7, EUDC sürüş çevriminde ise %11,9 oranlarında enerji tasarrufu sağladığı sonucu elde edilmiştir. Elektrikli araç üzerinde, konvansiyonel rejeneratif fren kullanımı yerine, bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen rejeneratif fren kullanımı NEDC %4,8, ECE-15 %3,78 ve EUDC sürüş çevrimlerinde kullanımda %5,44 enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, Elektrikli araç, Modelleme, Rejeneratif fren.

Modeling of an Electric Vehicle and Controlling the Regenerative Brake System with Fuzzy Logic Method

Abstract

In this study, regenerative braking system is modeled with fuzzy logic control strategy. Regenerative brake fuzzy logic control strategy membership function is provided to input vehicle speed, battery charge level (SOC), brake pedal position and current values of battery pack.As the control system output, the braking made during the use of the vehicle is provided with maximum regenerative braking by keeping the safety of the vehicle in the foreground. The dynamic model of the front-wheel drive electric vehicle has been calculated and the effect of the distribution of total braking force on the front and rear axles has been included. In order to examine regenerative braking, an electric vehicle model was created. Within the scope of electric vehicle model, vehicle power train system system, resistance forces, accelerator / brake pedal controller and driving cycle sub-models have been created. UQM brand and "PowerPhase 75" model, which can generates maximum 240 Nm torque and can reach 8000rpm direct current motor, has been used to operates as a generator during regeneratif breaking. Also, torques and efficiency maps has been used. Lithium ion battery cells were used in the design and modeling of the battery pack. The modeled vehicle is used on NEDC, ECE-15, EUDC, FTP and US06 driving cycles. As a result of the simulation, the effect on energy consumption was investigated. The regenerative braking system modeled by the fuzzy logic control strategy method results in an energy saving of NEC %15,4, ECE 15 %19,7 on electric vehicle and %11,9 on EUDC driving cycle. It is concluded that regenerative brakes are controlled by fuzzy logic method leads to energy saving on NEDC %4,8, ECE-15 %3,78 and %5.44 on EUDC driving cycles instead of conventional regenerative brakes.

Keywords: Fuzzy logic, Electric vehicle, Modelling, Regenerative brake.

*Sorumlu yazar, E-mail: tkocakulak@hidroan.com.tr

1. Giriş

İlk elektrikli araç, kurşun asit pillerin icadından 25 yıl sonra, 1884 yılında Thomas Parker tarafından üretilmiştir. Bu tarihten sonra birçok elektrikli araç modeli ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, içten yanmalı motor teknolojisinin gelişimi ve seri üretim maliyetlerindeki düşüş elektrikli araçları geride bırakmıştır.1970 ve 1980 yılları arasında yaşanan enerji krizi, elektrikli araçları ön plana çıkarmıştır. Ancak, geleneksel araçların yüksek hızlarına ve uzun menzillerine ulaşamadılar. Bu nedenle, yeterli teknolojik gelişme sağlanamamıştır. Bugüne kadar birçok şirket elektrikli araçlar üretmiştir. Ancak, bu araçların menzili kısa ve yüksek hızlara ulaşamamaktadır. Elektrik motoru ve akü teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daha uzun mesafeli araçlar üretilmeye başlanmıştır. Pili şarj etmek için geçen süre, geniş aralıkta olmasına rağmen hala çok yüksektir. Bu nedenle elektrikli araçlar hala yeterli düzeyde olmayıp, her geçen gün hızlı bir şekilde gelişimi sağlanarak yaygınlaşmaktadır [1].

Guoqing Xu ve arkadaşları, elektrikli bir araca seri hibrit rejeneratif fren sistemi üzerinde kullanılmak üzere bulanık mantık yöntemi ile kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Geliştirilen fren kontrol yönteminde araç dengesinin optimum seviyede tutulup, mekanik ve rejeneratif fren kuvvetinin en uygun şekilde dağıtılmasını hedeflemişlerdir. Geliştirilen bulanık mantık fren kontrol stratejisinin araç menziline etkisini incelemiş ve araç üzerinde rejeneratif fren kullanılmaması durumuna göre %25,7 oranında menzil artışı gözlemlemişlerdir [2]. Liang Li ve arkadaşları, 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 [3]. Chen Lv ve arkadaşları, 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 [4]. Turgut Öztürk, tarafından yapılan çalışmada, taşıta etkiyen kuvvetler ve araç kütlesi göz önünde bulundurularak, motorun eylemsizlik momenti ve moment bileşenleri arasındaki ilişkileri modellemiş, batarya üzerindeki enerji değişim grafiğinden rejeneratif frenleme ile belirli bir oranda daha fazla enerji kazanıldığını tespit etmiştir. Elektrikli taşıtın rejeneratif frenlemedeki bu kazanım ile birlikte, aracın daha fazla menzile sahip olacağını göstermiştir [5]. Can Gökçe ve arkadaşları, bir elektrikli taşıtın sürüşü boyunca yaptığı tüm frenleme kuvvetinin rejeneratif olarak yapılabilirliği incelemişlerdir. Enerji kazanımı olan, dinamik ve elektrikli frenleme yöntemlerinin kullanım sınırları araştırılıp, "tam elektrikli frenleme" (TEF) olarak adlandırılan, model tabanlı kontrol yöntemi kullanılarak bulanık mantık ile elektriksel frenleme algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen tam elektrikli fren sistemi bir elektrikli motosiklet üzerinde denenmiş ve testlerini yapılmışlardır. Ters akımla frenleme yöntemi, atalet momentinin yüksek olan ve çabuk durdurulması gereken makinalarda faz frekansını zıt yöne çevirerek, motor üzerinde zıt yönde akım geçmesi sağlanarak, enerji tüketilen frenleme sistemi olarak tanımlamışlardır. Dinamik frenleme ise batarya şarj oranının yüksek olduğu durumlarda kullanılarak, geri kazanılan enerji bataryaya göndermek yerine direnç üzerinden ısıya çevrilmektedir. Çalışma sonucunda bulanık mantık kontrolcü, tam elektrikli frenleme yöntemini kontrol edebilmiştir. Batarya şarj oranının yüksek olduğu durumlarda bataryaya takviye edilemeyen enerji dirençler vasıtası ile ısıya dönüştürülebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ters akımla frenleme işlemi beklenildiği gibi, çok kısa sürede test aracını durdurduğunu gözlemlemişlerdir [6].

2. Elektrikli Aracın Modellenmesi

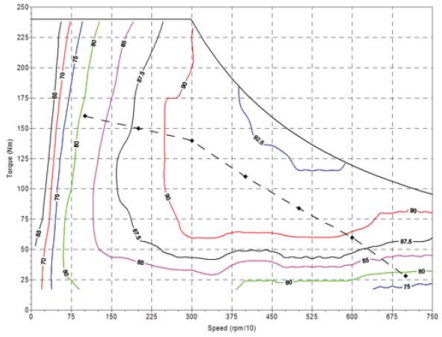
2.1. Elektrik Motor Modeli

Elektrikli araç üzerinde aracın tahrikini ve rejeneratif frenleme süresince jeneratör görevini üstenen elektrik motorunun modeli oluşturulmuştur. Elektrikli araç üzerinde maksimum 75 kW güç üretebilen ve 8000 dev/dk hıza çıkabilen bir doğru akım motoruna ait tork, güç ve verim haritaları kullanılmıştır. "PowerPhase 75" elektrik motoru fabrika verilerinden elde edilen motora ait teknik bilgiler tablo 1 'de görülmektedir.

Tablo 1. PowerPhase Elektrik motoru teknik özellikler [7]

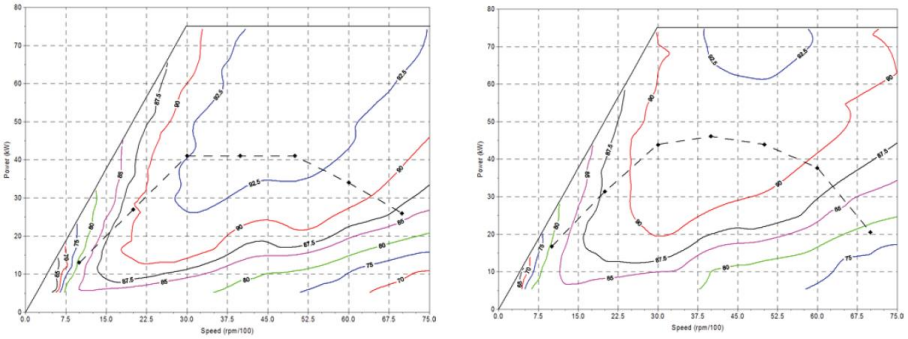
Maksimum Güç	75 kW
Maksimum Hız	8000 dev/dk
Maksimum Verim	%94
Ağırlık	41 kg
Güç Yoğunluğu	1,83 kW/kg

Elektrikli araç üzerinde kullanılan elektrik motorunun devire bağlı tork grafiği şekil 1 ’de görülmektedir.



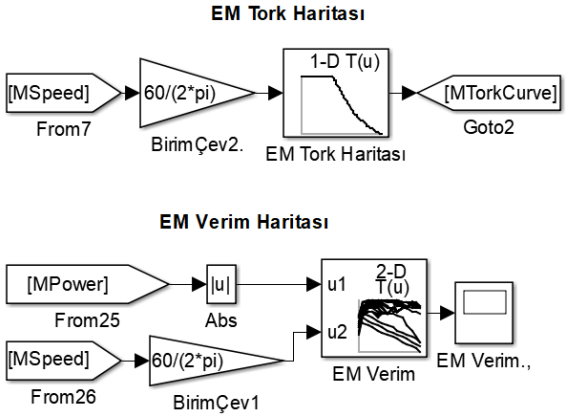
Şekil 1. “PowerPhase 75” elektrik motoru tork/devir grafiği [7]

Elektrikli araç üzerinde kullanılan elektrik motorunun tahrik ve jeneratör modunda, motor hızı ve gücüne bağlı veri haritası şekil 2 ’de görülmektedir.



Şekil 2. “PowerPhase 75” elektrik motoru jeneratör ve tahrik güç/devir/verim haritası [7]

Elektrik motorunun, elektrikli araçta kullanılabilmesi için, Matlab/Simulink üzerinde modeli oluşturulmuştur. Elektrik motorunun verim ve maksimum tork değerinin belirlenmesi için oluşturulan model şekil 3 ’de görülmektedir.



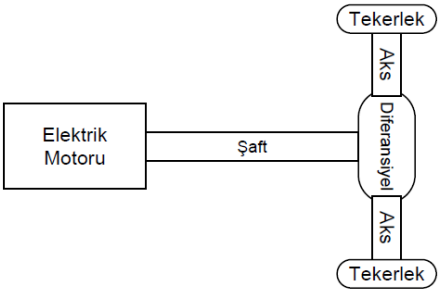
Şekil 3. Elektrik motoru Simulink modeli

Elektrik motoru maksimum devir/güç/verim haritası simulink kütüphanesinde bulunan “look up table 2-D” bloğuna girdisi sağlanmıştır. Anlık motor hızı ve gücünün girdisi ile elektrik motorunun o anki güç ve devir noktsınına ait verimi belirlenmektedir.

2.2. Araç güç aktarma sistemi modeli

Araç güç aktarma sistemi motorda üretilen gücün tekerlere iletilmesini sağlayan sistemdir. Modelde değişken parametre olarak tork değeri tanımlanmaktadır. Elektrik motorundan alınan tork, gaz pedalı ile kontrol edilerek araç güç aktarma sistemine uygulanmaktadır.

Araç doğrusal hızının hesaplanabilmesi için teker hızının bilinmesi gerekmektedir. Teker hızının hesaplanabilmesi için güç aktarma organları hızının bilinmesi gerekmektedir. Motor çıkış mil hızının hesaplanması için güç aktarma sisteminin transfer fonksiyonunun çıkarılması gerekmektedir. Modeli yapılan elektrikli araca ait güç sistemi şeması oluşturulmuş olup, şekil 4 'de görülmektedir.



Şekil 4. Elektrikli araç güç aktarma sisteminin şematik gösterimi

Modeli yapılan 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 momenti olarak alın-maktadır. Güç aktarma sisteminde diferansiyelin sağ ve sol tarafında olmak üzere iki tane aks ve toplamda dört tekerlek bulunmaktadır.

Elektrikli araç transfer fonksiyonunun çıkarılması, bir mile veya silindire etkiyen toplam tork değerinin, toplam atalet momentine bölünmesi ile milin açısal ivmesinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Döner bir cismin açısal ivme-sinin hesaplandığı formül, eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\mathrm{T_{net}}}{\mathrm{J_{toplam}}} \tag{1}$$

Motor çıkış mili ivmesinin hesaplanması için kullanılan transfer fonksiyonu eşitlik 2 'de görülmektedir.

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

Motor çıkış mili hızının hesaplanması için kullanılan transfer fonksiyonu eşitlik 2 'de görülmektedir.

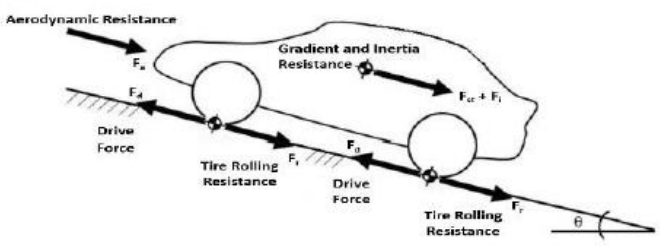
$$\omega_m = \int_t \frac{T_m - T_{yük}/(i_d \varepsilon_d)}{(4J_t + 2J_a)/(i_d^2 \varepsilon_d) + J_m} dt$$

(3)

Motor çıkış hızını veren transfer fonksiyonu Matlab/Simulink üzerine aktarılıp, araç güç aktarma sistemi oluşturularak tekerlek açısal hızı elde edilmektedir. Tekerlek açısal hızının elde edilmesi ile birlikte, aracın doğrusal ivmesi, hızı ve aldığı yol model üzerinden anlık olarak hesaplanabilmektedir.

2.3. Direnç kuvvetleri modeli

Aracın hareketi esnasında araca, yuvarlanma, ivme ve aerodinamik direnç olmaz üzere üç farklı direnç kuvveti etki etmektedir. Bu direnç kuvvetleri aracın enerji tüketimini, yol tutuşunu ve performansının önemli derecede etkilemektedir. Araca etki eden direnç kuvvetlerinin araç üzerinde gösterimi şekil 5 'te görülmektedir. Dirençlerin araç üzerinde oluşturduğu kuvvetin modelli, direnç kuvvetlerinin hesaplanması için teorik ve deneysel yollar ile elde edilmiş ve literatüre geçmiş matematiksel denklemler ile sağlanmıştır.



Şekil 5. Araca etki eden direnç kuvvetlerinin araç üzerinde gösterimi [1]

Araca etki eden direnç kuvvetlerinden olan yuvarlanma direnci,

$$\boldsymbol{F_r = mgC_r}$$
(4)

$$\boldsymbol{F_a} = 0{,}5\rho C_d A_f v^2 \quad (5)$$

$$F_i = ma \quad (6)$$

,ifadesi ile belirlenebilir.

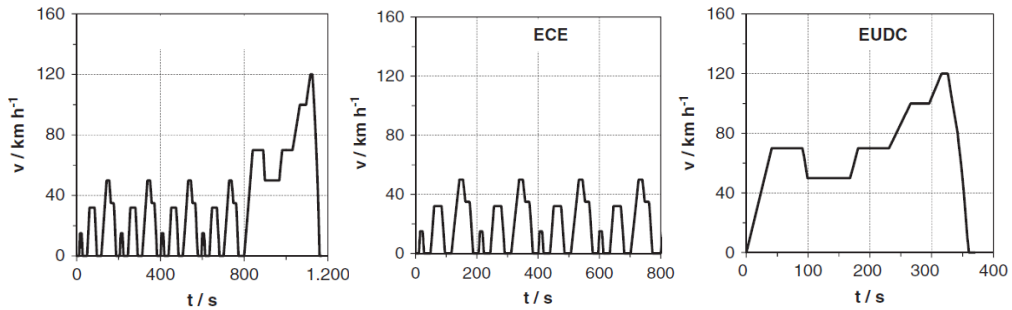
Bu çalışmada araca etki eden toplam direnç kuvveti,

$$F_{Load} = F_i + F_a + F_r \quad (7)$$

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

2.4. Sürüş çevrimi modeli

Araçların enerji tüketimi, egsoz emisyonları gibi parametrelerinin belirlenebilmesi için teorik veya deneysel veriler ile elde edilmiş, farklı sürüş durumlarını içeren hız zaman grafikleridir. Bu simülasyonda araç sürüş hızı temsili olarak Avrupa standartlarında bulunan NEDC, ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimleri kullanılmıştır. NEDC aracın uzun yol ve karma kullanımını, ECE-15 aracın şehir içi kullanımını ve EUDC ise aracın yüksek hızlarda kullanımını temsil etmektedir. NEDC, ECE-15 ve EUDC sürüş çevrimlerinin hız-zaman grafikleri şekil 3.22 ‘de görülmektedir.



Şekil 6. NEDC, ECE ve EUDC sürüş çevrimi hız-zaman grafikleri [8]

Elektrikli aracın hız kontrolü PID kontroller tarafından yapılmaktadır. Referans hız olarak kullanılan sürüş çevrim hızı ve aracın gerçek hızı PID kontrollere girdisi sağlanmakta olup, 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.

2.5. Batarya Modeli

Elektrikli araç üzerinde kullanılacak 30 kWh enerjiye sahip batarya paketinin nominal çalışma gerilimi 400 V olması sistemin sağlıklı çalışması açısından uygun görülmüştür. Lityum demir fosfat batarya hücresinin minimum gerilimi 3,6 V olup, 110 batarya hücresi seri olarak bağlanarak 400 V minimum gerilim elde edilmektedir. 30 kWh enerji kapasiteli batarya kullanımı için 27 adet batarya hücresinin paralel bağlanması gerekmektedir. Bu batarya hücresinin maksimum deşarj akımı

30 amper olup, teorik sınırlar içerisinde bataryadan 830 amper akım çekilebilecek kapasitedir. Elektrik motoru ise maksimum 400 amper akım ile çalışmaya müsaade etmekte olup bataryanın sisteme verebileceği akım kapasitesi uygundur. Bataryanın maksimum şarj akımı ise 324 amperi aşmaması gerekmektedir.

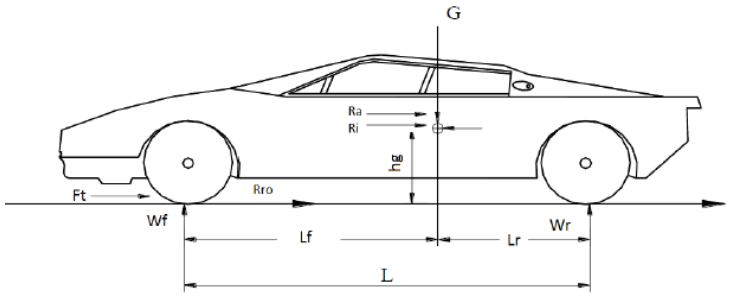
Tablo 2. Sony US18650VTC5 Li-ion pil hücresi karakteristik özellikleri [9]

Nominal Kapasite	Minimum Gerilim	Nominal Gerilim	Maksimum Gerilim	Maksimum Deşarj Akımı	Maksimum Hızlı Şarj Akımı
2,5 Ah	2,5 V	3,6 V	4,2 V	30 A	12 A

Batarya paketinin üretimi için toplamda 3300 adet batarya hücresi kullanılmış olup, toplam batarya ağırlığı 145,2 kg olarak hesaplanmıştır. Modelde kullanılan batarya paketi verimi ise %90 olarak ürün kataloğundan alınmıştır.

3.6. Araç fren kuvveti dağılım modeli

Rejeneratif fren modelinin en kritik noktalarından biriside, araç üzerinde yapılan toplam frenlemenin akslara dağılımıdır. Modellenen elektrikli araç önden çekişli olup ön aksta yapılan frenlemenin, güç aktarma sistemine tork aktarımı yapılabilmesi mümkün olup, arka akslarda yapılan frenleme mekanik olarak yapılarak tamamen ısıya dönüştürülmektedir. Araca etki eden direnç kuvvetleri ve araç dinamiği parametreleri şekil 7 ‘de görülmektedir.



Şekil 7. Düz zeminde araç dinamik modeli [10]

Araç frenleme sırasında negatif ivmelenmeye sahip olmakta ve aracın ağırlık merkezi öne doğru hareket etmektedir. Bu durum frenleme anında ön ve arka akslara düşen frenleme kuvveti dağılımında farklılıklar gözlemlenmektedir. Aracın dinamik aks yükü dağılımı, ön aks için eşitlik 8 ve arka aks için ise eşitlik 9 ‘da görülmektedir. Eşitlik 10 ’de toplam aks yükü denklemi bulunmaktadır. Eşitlik 11 ise toplam frenlemenin, ön akslara dağılımını göstermektedir.

$$\frac{F_{zF}}{mg} = \frac{1}{L}\left(l_R + h_{cog}\frac{a_x}{g}\right) \tag{8}$$

$$\frac{F_{zR}}{mg} = \frac{1}{L}\left(l_R - h_{cog}\frac{a_x}{g}\right) \tag{9}$$

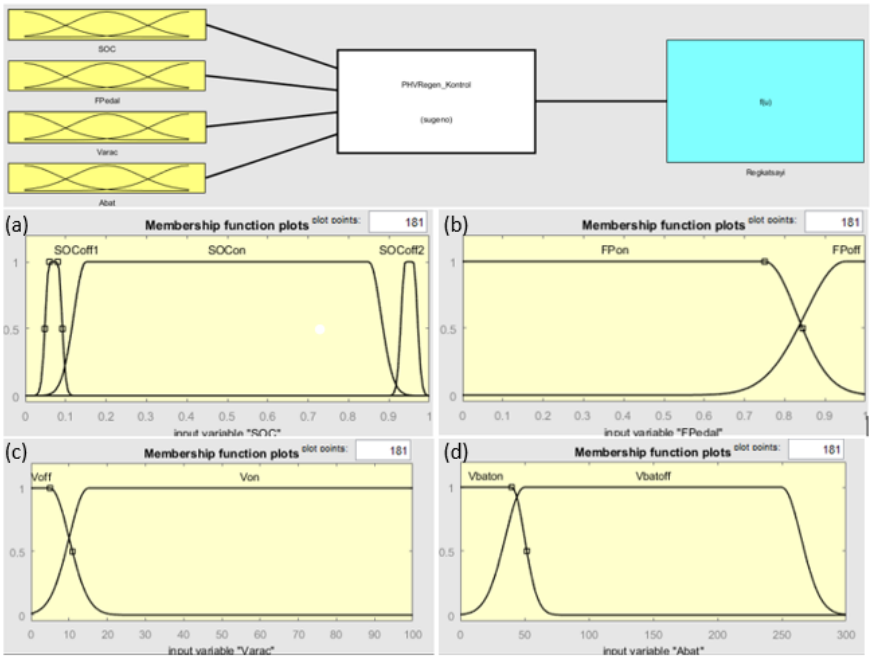
$$F_{toplam} = F_f + F_r \tag{10}$$

$$\text{Ön } fren\ \ etkinlik\ \ katsayısı = \frac{F_f}{F_{toplam}}$$

(11)

2.7. Rejeneratif Fren Modeli

Rejeneratif frenleme sistemi bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilecek olup, bu yönteme aks yük dağılımları, batarya şarj durumu, araç hızı, fren konumu ve maksimum şarj akımı faktörleri dahil edilmiştir. Rejeneratif fren sistemi bulanık mantık kontrol parametrelerinden batarya şarj durumu (a), fren konumu (b), araç hızı (c), maksimum şarj akımı (d) girdisi yapılan üyelik fonksiyonu şekil 8 ’de verilmiştir.



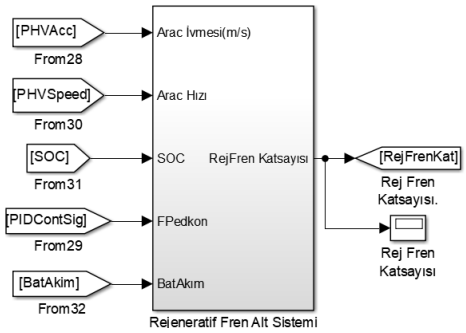
Şekil 8. Batarya şarj oranı (a), araç hızı (b), fren pedal konumu (c), maksimum şarj akımı (d) bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Fren pedal konumu aracın toplam frenleme kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Fren pedalı seviyesi düşük ve orta konumda iken rejeneratif fren etkili kullanılırken, tam basılı konumda iken güvenlik sebebiyle mekanik fren devreye girmekte olup rejeneratif fren kullanım verimliliği azalmaktadır. Batarya şarj durumunun %10 oranından az ve %90 oranından fazla olduğu durumlarda batarya iç direncinde yüksek seviyelerde değişimler gözlemlenmektedir. Elektrik motorunun jeneratör olarak kullanımında ani frenleme esnasında yüksek elektrik enerjisi üretiminde yüksek akım batarya ömrüne zarar verebilmektedir. Bu nedenle batarya şarj oranı %10 'un altında ve %90 değerinin üzerinde ise rejeneratif fren kullanımının etkinliği azaltılmaktadır. Araç hızının düşük olduğu durumlarda rejeneratif frenleme fren güvenliği açısından düşük, orta ve yüksek hız durumlarında ise rejeneratif fren maksimum verimlilikte kullanılmaktadır.

Elektrikli araç üzerinde geri kazanılan toplam rejeneratif fren enerjisinin hesaplanması, toplam fren enerjisinin rejeneratif fren katsayısı ile çarpılması ile elde edilmektedir. Rejeneratif fren katsayısı ise ön fren etkinlik katsayısı ve açık-laması yapılan diğer dört maddenin etkisi ile hesaplanmaktadır.

$$Rejeneratif\ \ fren\ \ etkinlik\ \ katsayısı == \frac{F_f}{F_{toplam}} . \left(\varphi_{Maxşarjakımı} \cdot \varphi_{FPKonumu} \cdot \varphi_{SOC} \cdot \varphi_{Araçhızı}\right) \quad (12)$$

Elektrikli araç rejeneratif fren sisteminin kontrol edilebilmesi için şekil 9 'da görüldüğü gibi ayrı bir alt Simulink modeli oluşturulmuştur. Sisteme batarya şarj akımı, araç hızı, araç ivmesi, batarya doluluk oranı, fren pedalı parametrelerinin girdisi sağlanmış olup, sonuç olarak ise rejeneratif fren katsayısı elde edilmektedir.

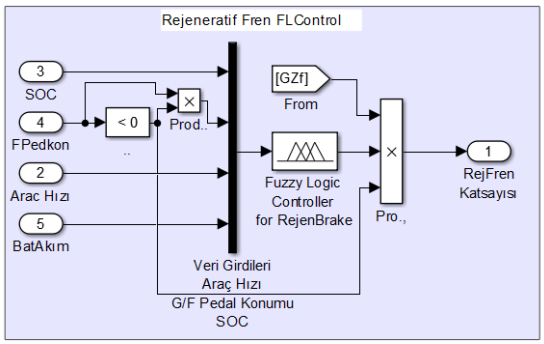


Şekil 9. Rejeneratif fren sistemi Simulink modeli

Rejeneratif fren sistemi modelinde araç fren kuvvetlerinin dağılımı ve rejeneratif fren sisteminin etkinlik katsayısının hesaplanabilmesi için ayrı iki Simulink alanı oluşturulmuştur. Araç fren kuvvet dağılımı modelinde aracın ön ve arka

tekerlerde oluşan fren kuvvet dağılımları elde edilmektedir. Elde edilen değer, rejeneratif fren katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Araç fren dağılımının hesaplanmasını sağlayan Simulink alt modeli şekil 10 'da görülmektedir

Rejeneratif fren sisteminin batarya doluluk oranı, araç hızı, fren pedal konumu ve batarya şarj akımına bağlı kont-rolü bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Rejeneratif fren sistemi bulanık mantık ile kontrolünü sağlayan Simulink alt modeli şekil 10 'da görülmektedir.



Şekil 10. Rejeneratif fren sisteminin bulanık mantık yöntemi ile kontrolü Simulink modeli

2.8. Simülasyon parametreleri

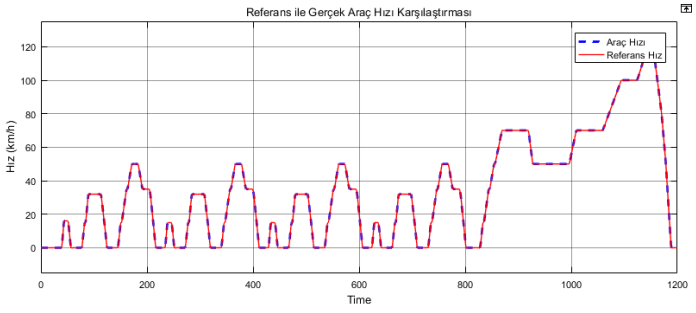
Simülasyona girdisi sağlanan araç ve araç alt sistemleri parametreleri literatür kaynaklarından, fabrika verilerinden ve ürün kataloglarından alınmış olup tablo 3 'te görülmektedir.

Tablo 3. Simülasyon girdi parametreleri ve araç özellikleri

Diferansiyel Redüksiyon Oranı	5	Teker Yarıçapı (m)	0,315	Aks Mesafesi (m)	2,5
Diferansiyel Verimi (%)	95	Batarya Kapasitesi (kWh)	30	Ön Aks Mesafesi (m)	1
Aks Atalet Momenti (kgm^2)	0,6	Taşıt Kesit Alanı (m^2)	2,1	Arka Aks Mesafesi (m)	1,5
Motor Atalet Momenti (kgm^2)	0,01	İnvertör Verimi (%)	0,98	Aerodinamik Katsayı	0,3
Teker Atalet Momenti (kgm^2)	1	Konvertör Verimi (%)	0,98	Yuvarlanma Direnci	0,012
Hava Yoğunluğu (kg/m^3)	1	Batarya Verimi (%)	0,95	Araç Kütlesi (kg)	840

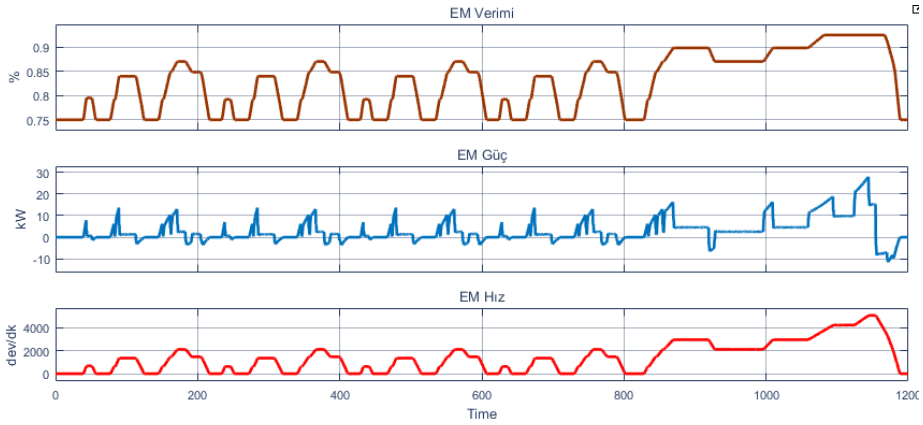
3. Sonuçlar

Elektrikli aracın NEDC sürüş çevrimi referans hızları ile kullanımında, araç hızı ile referans hızın birlikte verildiği gra-fik şekil 11 'de görülmektedir. Elektrikli araç referans hız olan NEDC sürüş çevrimini çok küçük sapmalar ile takip etmeyi başardığı görülmektedir.



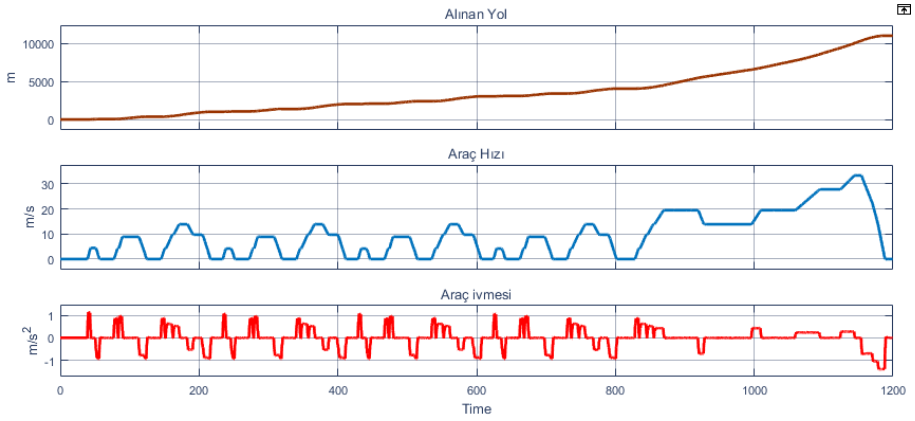
Şekil 11. Araç hızı ile referans hızın karşılaştırması (NEDC sürüş koşulları)

Elektrikli aracın NEDC sürüş çevrimi koşullarında kullanımında elektrik motorunun hızı, gücü ve verimini içeren grafik şekil 12 ‘de görülmektedir. Elektrik motorunun verimi minimum %75 seviyelerine düşerken, %95 seviyelerine de çıkmaktadır.



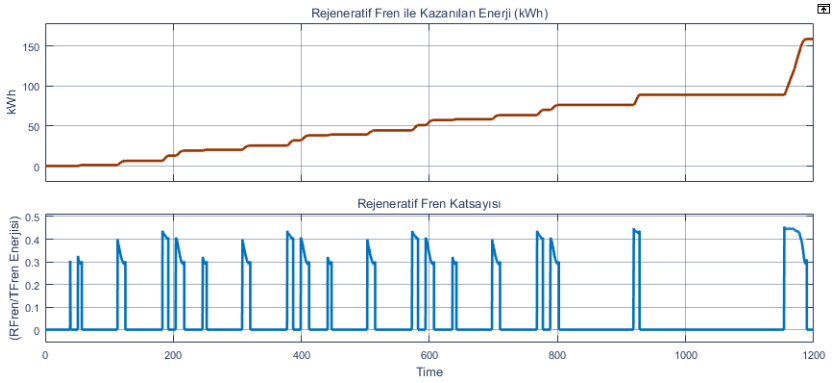
Şekil 12. EM tork, devir ve verim grafiği (NEDC sürüş koşulları)

Elektrikli aracın NEDC sürüş koşullarında kullanımı süresince aracın ivmesi, hızı ve aldığı yol şekil 12 ‘de görülmektedir. Bu grafik araçtan bağımsız olarak sürüş çevriminin ivmesi ve hıza bağlı anlık alınan yol özelliklerini vermektedir.



Şekil 13. Araç ivme, hız ve alınan yol grafiği (NEDC sürüş koşulları)

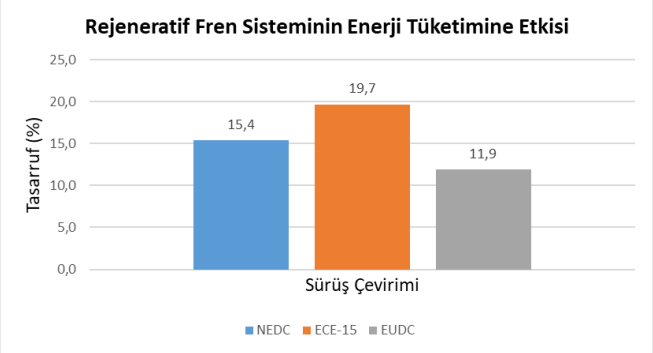
Elektrikli araç NEDC sürüş çevrimi koşullarında kullanımı sağlanarak, bulanık mantık kontrollü rejeneratif fren sistemi katsayısı ile rejeneratif frenleme ile kazanılan enerjinin eş zamanlı grafiği çıkarıldı. Elde edilen grafik şekil 14 ‘te görülmektedir.



Şekil 14. Rejeneratif fren katsayısı ile kazanılan enerjinin karşılaştırılması (NEDC sürüş koşulları)

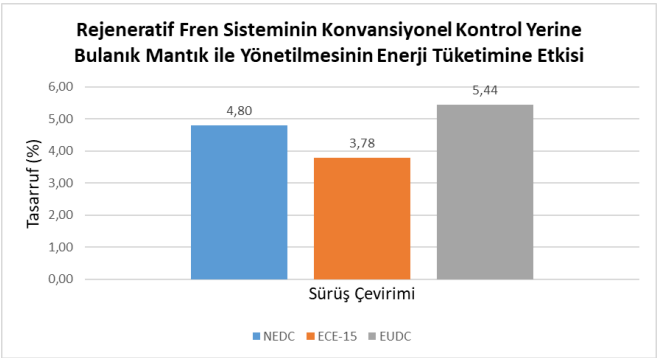
Bulanık mantık kontrol stratejisi yöntemi ile modeli oluşturulan rejeneratif fren sistemi elektrikli araç modeli üzerinde MATLAB/Simulink simülasyon programında simüle edilmiştir. Elektrikli araç üzerinde bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen rejeneratif frenlemenin, aracın rejeneratif frensiz kullanımına göre %15,4 NEDC, %19,7 ECE-15 ve %11,9 oranında EUDC sürüş çevriminde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Simülasyon ile elde edilen sonuçlar tablo 4 'de bulunaktadır. Elektrikli aracın şehir içi kullanımında frenlemenin diğer sürüş çevrimlerine göre daha fazla kullanılmasından dolayı, rejeneratif frenlemenin daha etkili, bunula beraber de daha fazla enerji geri dönüşümü sağlandığı görülmektedir.

Tablo 4. Farklı sürüş çevrimlerinde rejeneratif frenlemenin sağladığı enerji tasarrufu



Rejeneratif fren sisteminin konvansiyonel kontrol sistemi yerine bulanık mantık kontrol ile yönetilmesi ile NEDC %4,8, ECE-15 %3,78 ve EUDC sürüş çevrimi şartlarında ise %5,44 değerlerinde tasarruf sağlandığı görülmüştür. Simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5 'de görülmektedir.

Tablo 5. Rejeneratif frenleme kontrolünün konvansiyonel yerine bulanık mantık ile yapılmasının sağladığı enerji tasarrufu



Bu çalışmada başarı rejeneratif frenlemede bulanık mantık ile kontrolün başarılı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bulanık mantık yöntemi ile rejeneratif fren kontrolünün paralel hibrit elektrikli aracın modellenmesi ile ilgili yüksek lisans çalışmam üzerinde kullanılacağı kararı alınmıştır. Bir sonraki çalışmada rejeneratif freninin bulanık mantık ile kontrolü, paralel hibrit araç modeli üzerinde gerçekleştirilecektir.

Semboller

m	Araç kütlesi *(kg)*
g	Yer çekimi ivmesi *(m/s^2)*
ρ	Hava yoğunluğu *(kg/m^3)*
C_d	Aerodinamik direnç katsayısı
C_r	Yuvarlanma direnç katsayısı
A_f	Araç ön kesit alanı *(m^2)*
V	Araç hızı *(m/s)*
a	Araç İvmesi *(m/s^2)*
F_i	İvme direnç kuvveti *(N)*
F_r	Yuvarlanma direnç kuvveti *(N)*
F_a	Aerodinamik direnç kuvveti *(N)*
F_{Load}	Toplam direnç kuvveti *(N)*
T_t	Tekerlek momenti *(Nm)*
T_m	Motor momenti *(Nm)*
$T_{yük}$	Direnç kuvvetleri toplam momenti *(Nm)*

T_{dg}	Diferansiyel giriş momenti *(Nm)*
$T_{dç}$	Diferansiyel çıkış momenti *(Nm)*
T_a	Aks momenti *(Nm)*
ω_m	Motor çıkış mili açısal hızı *(rad/s)*
$\dot{\omega}_m$	Motor çıkış mili açısal ivmesi *(rad/s^2)*
$\dot{\omega}_w$	Tekerlek açısal ivmesi *(rad/s^2)*
$\dot{\omega}_{dç}$	Diferansiyel çıkışı açısal ivmesi *(rad/s^2)*
$\dot{\omega}_{dg}$	Diferansiyel girişi açısal ivmesi *(rad/s^2)*
$\dot{\omega}_a$	Aks açısal ivmesi *(rad/s^2)*
i_d	Diferansiyel redüksiyon oranı
J_t	Tekerlek kütle atalet momenti *(kg/m^2)*
J_a	Aks kütle atalet momenti *(kg/m^2)*
J_m	Motor atalet momenti *(kg/m^2)*
ε_d	Diferansiyel verimi

Kaynaklar

[1] Kıyaklı A. O. ve Solmaz H. (2018). Modeling of an Electric Vehicle with MATLAB/Simulink. *Scıence And Technology,* no. 2.4, pp. 9-15.

[2] Xu G. (2011). An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies.* no. 4, pp. 1461-1477.

[3] Wang L. L, Xiong X, He R. (2016). AMT downshifting strategy design of HEV during regenerative braking process for energy conservation. *Applied energy.*

[4] Lv C., Zhang J., Li Y. (2015). Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles. *Energy Conversion and Management.*

[5] Öztürk. T. (2013). Asenkron Motor ile Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

[6] Gökçe C. ve Üstün Ö. (2015). Elektrikli araçlarda tam elektrikli frenleme için bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve uygulaması,» *Sakarya University Journal of Science*, cilt 19.3, pp. 339-352.

[7] UQM (2017). *PowerPhase 75, for electric, hybrid electric, and fuel cell powered vehicles.*

[8] Stolten D. ve Garland N. (2016). Fuel cells: data, facts, and figures. *John Wiley & Sons.*

[9] Sony Energy Devices Corporation Device Solutions Business Group (2013). *US18650VTC5 Lithium Ion Rechargeable Battery Technical Information.*

[10] Çetınkaya S. (2005), Taşıt mekaniği. *Nobel Yayın Dağıtım*.

[11] Hayes J. G. ve Goodarzı G. A. (2017). Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles. *John Wiley & Sons*.

[12] Boerboom M. (2012). *Electric Vehicle Blended Braking maximizing energy recovery while maintaining vehicle stability and maneuverability.*

[13] Malode S. ve Adware R. (2016), Regenerative Braking System in Electric Vehicles. *International Research Journal of Engineering and Technology.* no. 3.03, pp. 294-400.