

Hibrit bir YH/UK Taşıt Güç Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile Kontrolü

Artificial Neural Network Control of an FC/UC Hybrid Vehicular Power System

Yavuz Ateş, Ozan Erdinç, Mehmet Uzunoglu, Bülent Vural

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi

yates@yildiz.edu.tr, oerdinc@yildiz.edu.tr, uzunoglu@yildiz.edu.tr, bvural@yildiz.edu.tr

Özet

Tüketicilerin büyük ilgisini çeken yakıt hücreli (YH) taşıtların en önemli özellikleri, çevre dostu olması ve sağladığı yakıt ekonomisidir. Ancak bir aracın tahrik edilmesinde tek başına bir yakıt hücresi kullanmak yerine, yakıt hücresini bir enerji depolama sistemiyle hibridize ederek kullanmak birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Yakıt hücresi ve ultra-kapasitör (UK) hibrit güç sistemleri, taşıt uygulamalarındaki yüksek enerji ve yüksek güç taleplerini karşılamak açısından oldukça uygun bir yapıya sahiptirler. Bu çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) metodlarından biri olan adaptif lineer sinir ağı (ADALINE) kullanılarak hibrit bir YH/UK taşıt sisteminin kontrolünün gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Sistemin elektriksel ve matematiksel modelinin tasarımı ve benzetimi, MATLAB®, Simulink® ve SimPowerSystems® kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Abstract

The most attractive features of fuel cell technologies are the environment friendly operation and fuel economy. Instead of using only a FC system for vehicle propulsion, hybridizing FC system with an energy storage system provides many advantages. Fuel cell (FC) and ultra-capacitor (UC) based hybrid power systems appear to be very promising for satisfying high energy and high power requirements for vehicular applications. In this study, an adaptive linear neuron (ADALINE) network modeling based control strategy developed for a hybrid vehicle system composed of fuel cell (FC) and ultra-capacitor (UC) is proposed. The mathematical and electrical models of the system are developed in detail and simulated using MATLAB®, Simulink® and SimPowerSystems® environments.

1. Giriş

Günümüzde gittikçe artan enerji gereksinimleri ve fosil yakıtların hızla tükenmesi, bütün dünya çapında alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların hızlanmasına neden olmuştur. Ayrıca, geleneksel sistemlerin olumsuz çevresel etkilerinden dolayı temiz enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Hava kirliliği üzerinde etkisi büyük olan ulaşım sistemlerinde, bu kirliliğe yol açan geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtların

yerine gelecek için düşünülen en önemli adaylardan biri YH sistemine sahip olan elektrikli taşıtlardır [1]. YH çeşitlerinden proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEM YH), yüksek ömrü, hızlı cevap verebilme yeteneği, yüksek güç yoğunluğu ve düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi gibi özelliklerinden dolayı taşıt uygulamaları için en elverişli yakıt hücresi sistemi olarak görülmektedir [2-6].

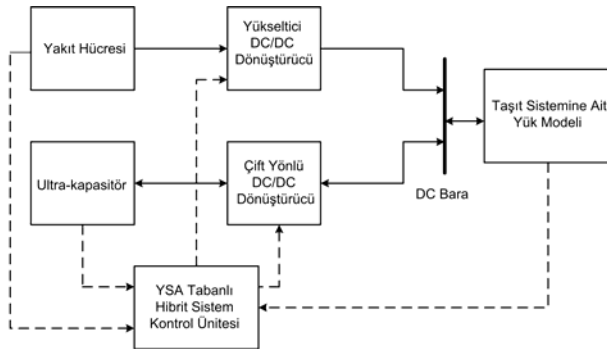
Taşıt uygulamalarında tek başına bir YH sistemi yerine, YH'yi bir enerji depolama ünitesi ile hibridize ederek kullanmak çeşitli açılardan daha avantajlı bir işletim performansı sağlamaktadır. Böylece yakıt tüketimi azaltılabilmekte, pahalı olan YH'nin maliyeti daha düşük düzeylere indirilebilmekte ve taşıt performansı önemli bir ölçüde artırılabilir [7]. Bunun yanı sıra enerji depolama sisteminin anlık yük taleplerini karşılayacak şekilde kullanılmasıyla YH'nin ömrü ciddi bir oranda artırılabilir. Birçok hibrit uygulamada batarya, enerji depolama sistemi olarak kullanılmaktadır. Fakat, günümüzde ticari olarak mevcut olan bataryaların düşük çevrim ömrü, uzun şarj etme süresi, sıcaklıktan etkilenmesi ve düşük güç yoğunluğu gibi dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde ticari olarak üretilen UK'lar, aynı boyut veya ağırlıktaki bir batarya ile kıyaslandığında oldukça fazla bir güç yoğunluğuna ve uzun çevrim süresine sahiptir. UK'lar taşıt uygulamalarında bataryaların yerini alabilecek sistemler olarak araştırılmaktadırlar [8]. UK'ların avantajları, özellikle elektrikli taşıt sistemleri gibi yapılar ele alındığında daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. UK'ların iç yapılarında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmediğinden, taşıtlarda oldukça hızlı gerçekleşen frenleme durumunda ortaya çıkan enerjiyi verimli bir şekilde geri kazanmada, kimyasal yapıya sahip bataryalardan çok daha etkilidirler. Bu özelliklerinden dolayı UK'lar özellikle elektrikli taşıt uygulamaları açısından gelecek vaat etmektedirler.

Hibrit taşıt sistemlerindeki en temel hedef, aracın performansını mümkün olan en yüksek seviyeye getirirken yakıt tüketimini de en asgari düzeyde tutabilmektir [9]. Bu da ancak başarılı bir şekilde oluşturulan kontrol stratejisiyle gerçekleştirilebilir [10]. Hibrit bir sistem için geliştirilen kontrol stratejisinin dinamik cevabını değerlendirmek ve buna göre genel sistem yapısında iyileştirmeler yapabilmek için genellikle standart sürüş çevrimlerinden yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada, hibrit bir elektrikli taşıtın güç talebinin modellenmesi, standart şehir içi sürüş çevrimlerinden biri olan UDDS baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Anlık yüklenmeleri içeren bu yük profili, hibrit bir sistemin performansını değerlendirmek açısından oldukça uygundur. Hibrit elektrikli taşıtın güç talebinin YH ve UK arasında paylaşılmasında, düşük ve yüksek geçişli filtreden faydalanılmıştır. Oluşturulan sistemin kontrolünde, literatürde de birçok uygulaması olan [11-14] yapay sinir ağlarından (YSA) faydalanılmıştır. Son yıllarda YSA, sinyal işleme, veri ayrıştırması, görüntü tanıma gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılan ve iyi tanımlanamayan problemlere yeni çözümler üretebilmesiyle ön plana çıkan bir metodtur [15]. Güvenilirliği ve verimli bir yapıya sahip olması YSA'ların kontrol stratejisi olarak tercih edilmesindeki en önemli etkenlerin başında gelmektedir [12]. Ayrıca, kısa bir sürede sistem için doğru sonuçlar üretebilmesi YSA'nın, hesaplama süreçleri uzun zaman gerektiren birçok kontrol tekniğine göre avantajlı bir konuma gelmesini sağlamaktadır [11,12]. Belirtilen bu özelliklerin yanı sıra lineer olmayan yapıdaki sistemlerde kullanılabilirliği ve sisteme ait genel bir matematiksel modelin oluşturulmasına gerek duymaması gibi sağladığı birçok avantaj sayesinde YSA taşıt sistemlerinin kontrolünde kullanılmaya oldukça elverişli bir yapıya sahiptir [14]. YSA metodlarından adaptif lineer sinir ağı (ADALINE) günümüzde basit ve hızlı sonuç verebilen yapısının getirdiği avantajlar sayesinde pratikte birçok uygulamada kullanılmaya oldukça uygundur [16]. Yaptığımız bu çalışmada ADALINE tipi YSA, sistem dinamiklerinin kontrolünü gerçekleştirerek sistemi oluşturan bileşenler için en uygun güç sinyallerini üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmanın düzeni şu şekildedir: 2. kısımda sistem tanıtımı ve geliştirilen kontrol algoritması anlatılmaktadır. 3. kısımda, hibrit taşıt sisteminin benzetim sonuçları ve bu sonuçların yorumlanması yer alırken, 4. kısımda çalışmaya ait genel sonuçlar verilmektedir.

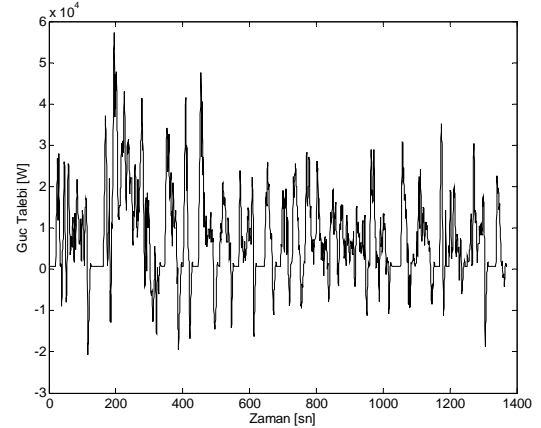
2. Sistem Tanıtımı ve Metodoloji



Şekil 1 : Genel sistem konfigürasyonu

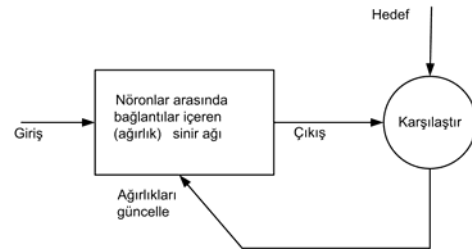
Oluşturulan hibrit YH/UK taşıt sisteminin genel şeması Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Sistemde PEM YH ana güç kaynağıdır. UK modülü, yük talebi ile YH sistemi çıkış gücü arasındaki farkı karşılamak için tasarlanmıştır. YH sisteminin dinamik modeli ve UK'nın matematiksel modellenmesindeki ayrıntılar Ref. [17]'de detaylı bir şekilde yer almaktadır.

Taşıt sistemine ait yük modelinin oluşturulmasında kullanılan UDDS şehir içi sürüş çevrimine ait güç talebinin zamana bağlı olarak değişimi ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2 : UDDS sürüş çevrimine göre güç talebinin zamana bağlı değişimi

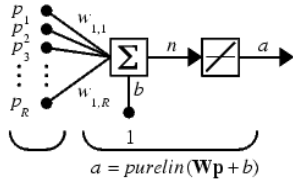
Sistemi oluşturan güç kaynaklarından en verimli şekilde yararlanılması, sistem performansını en iyi hale getirmek açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, YH ile UK'nın doğal karakteristiklerine uygun bir şekilde en verimli halde çalışması için hibrit sistem kontrol ünitesi geliştirilmiştir. Lineer çalışmadaki üstün başarısı ve kolay eğitilebilmesi gibi avantajlarından dolayı yapılan çalışmada hibrit sistemin kontrolünde ADALINE tipi YSA kullanılmıştır.



Şekil 3 : YSA genel çalışma yapısı

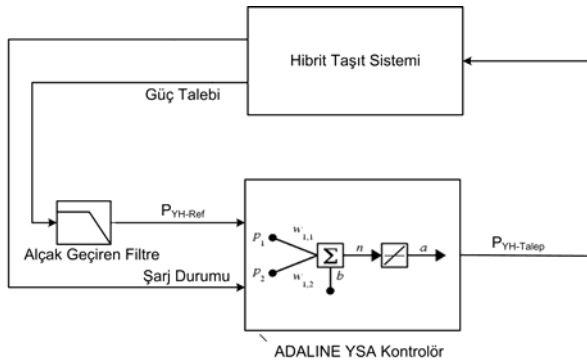
Yapay sinir ağları (YSA), nöron ismi verilen hesaplama elemanlarının paralel bir şekilde çalışmasından meydana gelmektedir. Bu elemanlar biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek tasarlanmıştır [18]. Belirli bir fonksiyonu gerçekleştirmek için bir sinir ağını, elemanlar arasındaki bağlantıların (ağırlıkların) değerleri ayarlanarak eğitilebilir. Genelde, sinir ağları eğitilerek belirli bir girişe karşılık arzu edilen çıkış elde edilir. Ağın çıkışı, arzu edilen hedefe ulaşmaya kadar çıkış ile hedef karşılaştırılarak ağın eğitimi (ağırlık değerlerinin ayarlanması) ile gerçekleştirilir. Sinir ağları, örüntü tanıma, kimliklendirme, sınıflandırma, ses ve görüntü işleme ve kontrol sistemleri gibi karmaşık problemler için pek çok sahada kullanılmaktadır [19]. En basit tanımıyla yapay sinir ağları, bilinen en iyi eğri uydurma tekniklerinden birisidir [18]. Gerçekleştirilen bu çalışmada, taşıt sistemlerinin lineer olmayan güç akışının hızlı ve başarılı bir şekilde kontrol edilmesi açısından oldukça uygun bir yöntem olan YSA'dan yararlanılmıştır. Daha önceden de bahsedildiği gibi, YSA'nın kullanılması ile birlikte taşıtın

talep gücü sistem bileşenlerinin doğal karakteristiklerine uygun bir şekilde paylaşılmaktadır. YSA genel çalışma yapısı Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 4 : ADALINE lineer nöron modeli

Yapılan çalışmada kullanılan ADALINE YSA, ilk olarak Stanford Üniversitesi’nden Windrow ve Hoff tarafından tasarlanmıştır [20,21]. Bu yapının en önemli özelliklerinden birisi uygulanan her bir giriş için hedeflenen çıkış değerini en optimum seviyeye getirmek amacıyla hata oranını hızlı bir şekilde minimize etmesidir. Ayrıca çok girişli ve tek çıkışlı bir karakteristiğe sahiptir [19]. Daha önce de belirtildiği gibi ADALINE yöntemi, sistemdeki değişimleri tahmin etme yeteneği ve sağladığı hızlı ve doğru sonuçlar nedeniyle birçok uygulamada kullanılmaktadır[16,22]. Bu sayede ADALINE yöntemi, özellikle değişken yol şartları için elektrikli taşıt sistemlerinde istenilen kontrolü minimum hata ile gerçekleştirmek açısından oldukça uygundur. Bu çalışmada kullanılan ADALINE YSA’daki lineer nöron modeli Şekil 4’te görülmektedir.



Şekil 5 : Sistemde kullanılan ADALINE kontrol yapısı

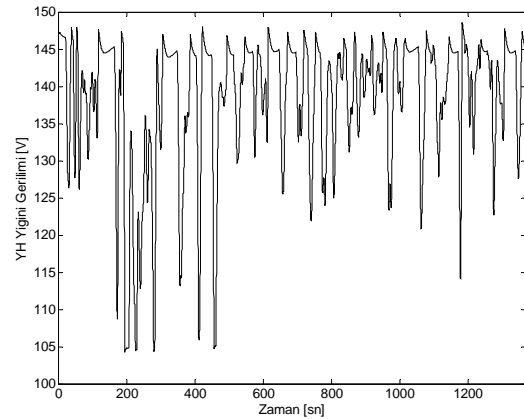
Yapılan çalışmada kullanılan ADALINE yapısı iki girişli olarak tasarlanmıştır. Bunlar düşük geçişli filtre tarafından üretilen YH referans güç sinyali (P_{YH-ref}) ve UK sisteminin şarj durumudur. Sistemin girişine uygulanan bu iki parametre ile UDDS toplam çalışma zamanı olan 1369 sn’lik sürenin ilk yarısı eğitime verisi, diğer yarısı da test verisi olarak kullanılmıştır. Bu kontrol algoritmasındaki amaç, istenilen yük talebini karşılarken hem YH sistemini en verimli olduğu bölgede çalıştırmak, hem de UK sisteminin şarj durumunu uygun bir aralıkta tutabilmektir. Bu nedenle önerilen hibrit sistemde ADALINE kontrolör yardımıyla UK’nın şarj durumunun 0.7 civarlarında tutulması hedeflenmektedir. Bu değer, UK sisteminin talep edilen gücü sağlayabilmesi ve mevcut olan frenleme enerjisinin tamamını geri kazanabilmesi açısından oldukça uygundur. Eğer şarj durumu hedeflenen değer altında ise, YH sistemi UK’nın şarj durumunu arttırmak amacıyla referans güç değerinden daha fazla bir gücü sisteme iletir. Benzer şekilde, eğer şarj durumu

hedeflenen seviyenin üzerinde ise YH’nin sisteme aktardığı güç, referans güç değerinin altında olmaktadır. Eğer şarj durumu hedeflenen değerde ise, YH hücresi sistemi referans güç miktarını yüke aktarmaktadır. Sistemde hedeflenen diğer parametre olan YH sistemi için en verimli çalışma bölgesi, hücre başına yaklaşık 0.55–0.8 V’luk gerilim aralığına karşılık gelen lineer çalışma bölgesidir [23]. Gerçekleştirilen kontrol stratejisi sayesinde YH sistemi en verimli bölgesi olan lineer bölgede çalıştırıldığında, genel sistem verimi de dikkat çekici bir oranda arttırılabilmektedir. Böylece UK sisteminin şarj durumu istenen aralıkta kontrol edilirken, YH sistemi düşük geçişli filtre tarafından sağlanan uygun bir transfer hızında sisteme güç aktarmaktadır. Sistemde kullanılan ADALINE YSA kontrol yapısı Şekil 5’te görülmektedir.

3. Test ve Sonuçlar

Gerçekleştirilen hibrit sistem topolojisi ile elde edilen benzetim sonuçları sistemi oluşturan bileşenlerin matematiksel ve elektriksel modellerinin MATLAB, Simulink ve SimPowerSystems yazılımlarında oluşturulması ile elde edilmektedir. Oluşturulan hibrit sistemde kullanılan YH yığını modeli 188 hücreden oluşmaktadır. Ayrıca sistemde 143.3 F, 96 V’luk UK modülü kullanılmıştır.

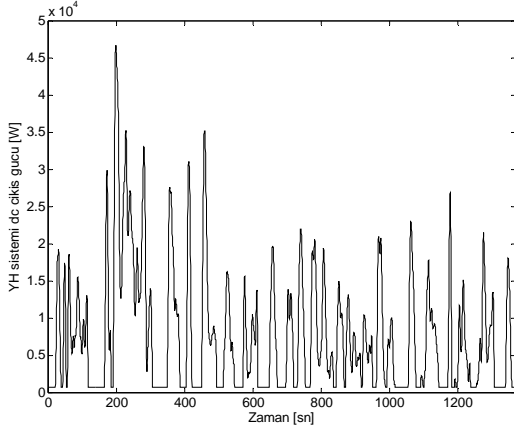
Benzetim sonuçlarının zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekillerde sırasıyla; YH yığını gerilimi, YH sistemi çıkış gücü, UK sistemi gücü, UK sisteminin şarj durumu, dc bara gerilimi ve hidrojen akış miktarı görülmektedir.



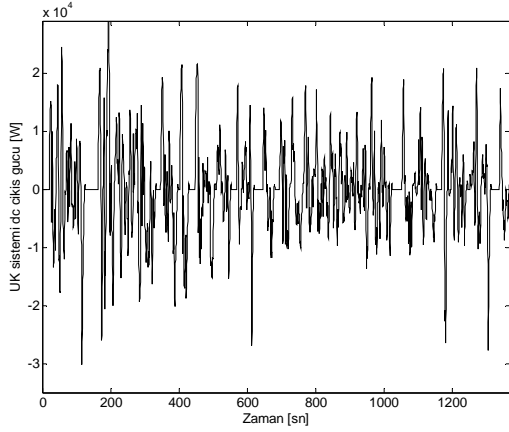
Şekil 6 : YH yığınının geriliminin zamana göre değişimi

Şekil 6’da YH yığınının geriliminin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, standart şehir içi sürüş çevrimi UDDS koşulları altında YH gerilimi 104.3 V’tan 148.1 V’a kadar olan uygun bir aralıkta değişmektedir, dolayısıyla da 188 hücrenin bulunduğu YH yığını hücre başına 0.56-0.78 V’luk lineer çalışma bölgesine karşılık gelen bir gerilim aralığında en verimli şekilde işletilmektedir. YH tarafından sisteme aktarılan gücün değişimi ise Şekil 7’de görülmektedir. Yükün güç talebinin en yüksek olduğu esnada YH sisteminden yüke aktarılan azami güç değeri 46656 W’tır. YH sisteminden transfer edilen güç değeri ve gücün değişim hızı YH sisteminin yapısı için oldukça uygundur. Şekil 7’den görülebileceği gibi YH ve UK’nın hibrit bir şekilde kullanılması ve YSA tabanlı enerji yönetimi stratejisinin sisteme adapte edilmesi ile birlikte, YH sistemi Şekil 2’de

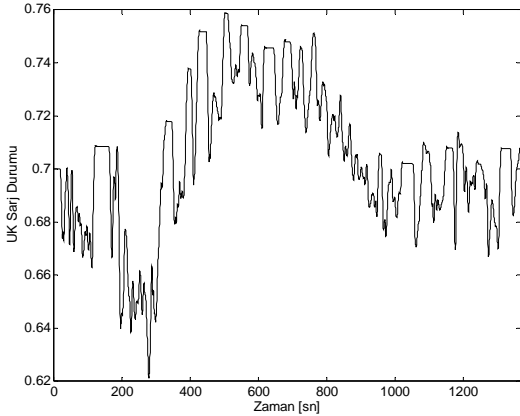
görülen UDDS güç talebi ile kıyaslandığında daha az bir yükü karşılamakta ve anlık yüklenmelere maruz kalmamaktadır.



Şekil 7 : Yük talebine göre YH sisteminin dc çıkış gücünün değişimi



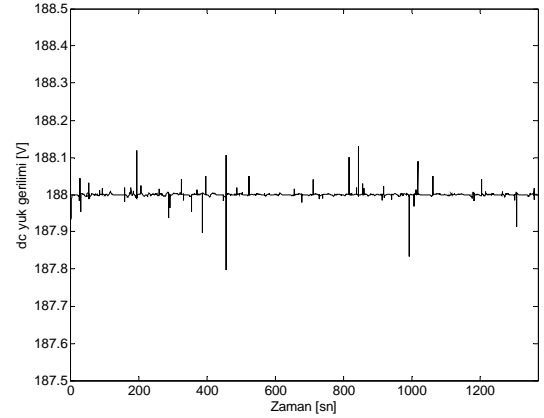
Şekil 8 : Yük değişimine göre UK sisteminin şarj ve deşarj gücünün değişimi.



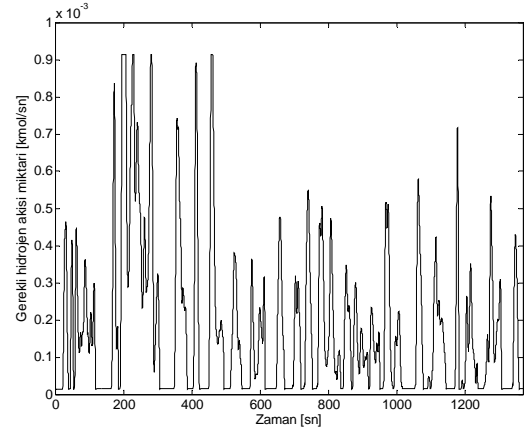
Şekil 9 : Güç talebine göre UK sistemi şarj durumunun değişimi.

UK'nın çıkış gücündeki değişim ise Şekil 8'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, UK sistemi yük talebindeki ani değişimleri hızlı bir şekilde karşılayabilmektedir. UK'nın sistem dinamiklerine hızlı cevap verebilme yeteneği, sistemin toplam güç yoğunluğunu arttırmakta, dolayısıyla da hibrit

sistemin performansını iyileştirmektedir. UDDS çevrimi boyunca UK'lar tarafından kazanılan toplam frenleme enerjisi 3338 kWsn olarak hesaplanmıştır. Bu değer yazarların daha önceki çalışmaları olan Ref. [17] ve Ref. [24]'teki UDDS sürüş çevrimine göre kazanılan frenleme enerjilerinden daha yüksek bir değerdir. Ortaya çıkan bu sonuç uygulanan kontrol yönteminin başarısını göstermektedir. Ayrıca Şekil 9'da görüldüğü gibi, sistemde kullanılan YSA yük paylaşım algoritması ile UK'nın şarj durumu uygun sınırlar arasında tutabilmektedir. Bu sayede, UK sistemi mevcut frenleme enerjisini verimli bir şekilde kazanabilmekte ve ihtiyaç duyulan yük talebini karşılayabilmektedir. Enerji tasarrufunda elde edilen önemli orandaki artış, UK'nın şarj durumunun uygun aralıkta tutulabilmesinin bir sonucudur.



Şekil 10 : Dc yük barası gerilimindeki değişim.



Şekil 11 : Yük talebine göre ihtiyaç duyulan hidrojen akışı miktarının değişimi.

Güç akışına bağlı olarak dc yük barası gerilimindeki değişim Şekil 10'da görülmektedir. Bara geriliminin, UK'nın çıkışındaki dönüştürücü için uygun iletim sinyallerinin üretilmesi ile kabul edilebilir bir aralıkta tutulabildiği açıkça görülmektedir. Bunun yanı sıra, YH için ihtiyaç duyulan hidrojen akışı miktarı Şekil 11'de görüldüğü gibi değişmektedir. Burada en fazla dikkat edilecek noktalardan biri 220. ve 270. saniyeler arasındaki güç talebi değerleridir. Bu aralıkta çok fazla güç talebi olmamasına rağmen UK sisteminin şarj

durumu en düşük seviyelerde olduğundan YH sistemi, UK modülünü şarj etmek amacıyla ihtiyaç duyulan güç seviyesinin üzerinde bir hidrojen tüketimi gerçekleştirmektedir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada taşıt uygulamaları için tasarlanan hibrit bir PEM YH/UK sisteminde, uygulanan kontrol yöntemi ile YH sistemi temel yük talebini karşılamak amacıyla kullanılırken UK sistemi anlık yük değişimlerine cevap vermek ve frenleme enerjisini kazanmak amacıyla kullanılmıştır. Sistemde tek başına bir YH yığını kullanılması durumunda YH bütün güç değişimlerine maruz kalacağından, YH gerilimindeki değişim daha büyük bir aralıkta gerçekleşecektir. Dolayısıyla da YH verimliliği azalacaktır. Bu durum YH sisteminin UK ile birlikte hibrit bir şekilde kullanılmasının sağladığı avantajı ortaya koymaktadır.

Tavsiye edilen PEM YH/UK hibrit güç sisteminin benzetim ve analizinde, geliştirilen kontrol stratejisi sürüş çevrimi esnasında oldukça başarılı bir performans göstermektedir. Uygulanan kontrol yöntemi sayesinde UK'nın şarj durumu uygun değerler arasında tutulabilmektedir. Bu sayede UK kapasitesinde frenleme enerjisini tamamen kazanmak amacıyla bırakılan boş kısım önemli bir oranda yakıt tasarrufu artışı elde edilmesini sağlamıştır. Önerilen kontrol stratejisi YH sisteminin en verimli çalıştığı durum olan lineer çalışma bölgesinde çalışmasını ve YH sisteminin anlık yük değişimlerine maruz kalmamasını sağlamaktadır. Bu sayede YH ömrü ve verimliliği önemli bir oranda arttırılabilecektir.

Teşekkür:

Bu çalışmanın belli kısımları, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 107M355 no'lu proje kapsamında desteklenmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Hussain M. M., Dincer I., Li X., "A preliminary life cycle assessment of PEM fuel cell powered automobiles", *Applied Thermal Engineering*, 27: 2294-2299, 2007.
- [2] Corbo P., Migliardini F., Veneri O., "Performance investigation of 2.4 kW PEM fuel cell stack in vehicles", *Int J Hydrogen Energy*, 32(18):4340-4349, 2007.
- [3] Barbir F., Gomez T., "Efficiency and economics of proton exchange membrane (PEM) fuel cells", *Int J Hydrogen Energy*, 22(10-11):1027-1037, 1997.
- [4] Hou Y., Zhuang M., Wan G., "A transient semi-empirical voltage model of a fuel cell stack", *Int J Hydrogen Energy*, 32(7):857-862, 2007.
- [5] Bowers B. J., Zhao J. L., Ruffo M., Khan R., Dattatraya D., Dushman N., Beziat J. C., Boudjemaa F., "Onboard fuel processor for PEM fuel cell vehicles", *Int J Hydrogen Energy*, 32(10-11):1437-1442, 2007.
- [6] Barbir F. *PEM fuel cells: theory and practice*, UK: Elsevier Academic Press, London, 2005.
- [7] Ahluwalia R. K., Wang X., Rousseau A., "Fuel economy of hybrid fuel-cell vehicles", *Journal of Power Sources*, 152: 233-244, 2005.
- [8] Gualous H., Bouquain D., Berthon A., Kauffmann J. M., "Experimental study of supercapacitor serial resistance and capacitance variations with temperature", *J Power Sources*, 123(1):86-93, 2003.
- [9] Kim M. J., Peng H., "Power management and design optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles", *Journal of Power Sources*, 165: 819-832, 2007.
- [10] Corbo P., Migliardini F., Veneri O., "Performance investigation of 2.4kW PEM fuel cell stack in vehicles", *International Journal of Hydrogen Energy*, 32: 4340-4349, 2007.
- [11] Sisworahardjo N.S., El-Sharkh M.Y., Alam M.S., "Neural network controller for microturbine power plants", *Electric Power Systems*, 78:1378-1384, 2008.
- [12] Taheri M., Mohebbi A., "Design of artificial neural networks using a genetic algorithm to predict collection efficiency in venturi scrubbers", *Journal of Hazardous Materials*, 157:122-129, 2008.
- [13] Prokhorov V. D., "Toyota Prius HEV neurocontrol and diagnostics", *Neural Networks*, 21:458-465, 2008.
- [14] Harmon F. G., Frank A. A., Joshi S. S., "The control of a parallel hybrid-electric propulsion system for a small unmanned aerial vehicle using a CMAC neural network", *Neural Networks*, 18:772-780, 2008.
- [15] Negarestani A., Setayeshi S., Ghannadi-Maragheh M., Akashe B., "Estimation of the radon concentration in soil related to the environmental parameters by a modified Adaline neural network", *Appl. Radiation and Isotopes*, 58(2):269-273, 2003.
- [16] Kavak A., Yigit, H., Ertunc, H.M., "Using adaline neural network for performance improvement of smart antennas in TDD wireless communications", *IEEE Trans. On Neural Networks*, 16:1616 - 1625, 2005.
- [17] Erdinc O., Ates Y., Uzunoglu M., Vural B., "Dalgacık Dönüşümü-Bulanık Mantık Tabanlı Yük Paylaşımı ve Kontrol Algoritması Kullanılarak Taşıt Uygulamaları için Hibrit YH/UK Sisteminin Modellenmesi ve Analizi", *II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK)*, Eskişehir, 2008, 148-166.
- [18] Peter A. L., Richard P. D., "An artificial neural network approach to multiphase continua constitutive modeling", *Composites part B:Engineering*, 38:817-823, 2007.
- [19] Demuth H., Beale M., Hagan M., *Neural Network Toolbox for use with MATLAB*, *The Mathworks Inc.*, 1993.
- [20] Widrow B., Hoff M.E., "Adaptive switching circuits", *WESTCON Convention, Record Part IV*, 96-104, 1960.
- [21] Windrow B., Lehr M.A., "30 years of adaptive neural Networks: perceptrons, adaline and backpropagation", *IEEE Proc.*, 78 (9) 1415-1442, 1990.
- [22] Elshatshat, R., Kazerani, M., Salama, M.M.A., "ADALINE-based controller for active power-line conditioners", *IEEE Transmission and Distribution Conference*, 1999, 566-571.
- [23] Barbir F., *PEM fuel cells: theory and practice.*, UK: Elsevier Academic Press, London, 2005.
- [24] Uzunoglu M., Alam M. S., "Modeling and analysis of an FC/UC hybrid vehicular power system using a novel wavelet based load sharing algorithm", *IEEE Trans Energy Conversion*, 23(1):263-272, 2008.