

Genetik-Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol Algoritması Kullanılarak Taşıt Uygulamaları için Hibrit YH/UK Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi

Modeling And Analysis of an FC/UC Hybrid Power System for Vehicular Applications Using a Genetic-Fuzzy Logic Based Control Algorithm

Ozan Erdiñç, Mehmet Uzunoglu, Bülent Vural

Elektrik Mühendisliđi Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi

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

Özet

Hibrit elektrikli taşıtlar, taşıt sisteminin güç talebini karşılayan iki veya daha fazla güç kaynağının farklı topolojiler kullanılarak birleştirilmesi ile oluşan sistemlerdir. Hibrit bir taşıt sisteminin en verimli şekilde işletilebilmesi için, sistemi oluşturan güç kaynaklarının karakteristiklerini göz önüne alan uygun bir kontrol sisteminin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, yakıt hücresi (YH) ve ultra-kapasitör (UK) kullanılarak oluşturulan hibrit bir taşıt sistemi için geliştirilen genetik algoritma ve bulanık mantık tabanlı bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Sistemin elektriksel ve matematiksel modelinin tasarımı ve benzetimi, MATLAB®, Simulink® ve SimPowerSystems® programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Abstract

Hybrid Electric Vehicles (HEVs) are composed of two or more power sources coupled under several topologies for generating the required power of a vehicle system. To make HEVs as efficient as possible, developing a proper control system considering the characteristics of existing power sources is quite essential. In this study, a genetic algorithm and fuzzy logic 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

Her geçen gün artan çevresel kaygılar ve azalan petrol rezervleri, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalara büyük bir ivme kazandırmıştır. Özellikle çevresel kirlilik üzerinde büyük etkisi bulunan ulaşım sistemlerinin enerji ihtiyacının, alternatif enerji sistemleri ile karşılanabilmesi amacı ile yapılan araştırma çalışmaları günümüzde oldukça yoğunlaşmıştır. Çevre dostu ve alternatif bir enerji dönüştürücüsü olan yakıt hücresi (YH) teknolojisi, taşıt uygulamalarında konvansiyonel içten yanmalı motor içeren sistemlerin yerine kullanılabilir, gelecek vaat eden sistemlerden birisidir [1]. YH sistemleri arasında, yüksek

verimliliğinin yanı sıra, hacim ve ağırlık açısından sahip olduğu avantajları nedeniyle, proton değişim membranlı (PEM) yakıt hücresi sistemleri günümüzde taşıt uygulamaları için en uygun yakıt hücresi sistemi olarak kabul edilmektedirler [2].

Taşıttın tahrik edilmesinde tek başına bir YH kullanmak yerine, YH sistemini bir enerji depolama ünitesiyle birlikte kullanmak birçok avantajı da beraberinde getirmektedir [3]. Bu sayede, YH sisteminin boyutları azaltılabilir, frenleme enerjisinin geri kazanılması sağlanarak enerji tasarrufu önemli bir ölçüde artırılabilir [4]. Ayrıca en önemlisi de, enerji depolama sistemini anlık yük taleplerini karşılayacak şekilde kullanarak YH'nın anlık yüklenmelere maruz kalması önlenir. Güç taleplerindeki bu tür ani ve geçici değişimler (ani hızlanma veya frenleme), YH sisteminin en önemli alt elemanı olan membranda yeterince nemlenememe veya aşırı nemlenme ve gaz açlığı gibi problemlere yol açabilmektedir. Bu nedenle YH sistemi mümkün olduğu kadar sürekli hal yüklenmelerinde çalıştırılarak, hem YH için daha güvenilir bir çalışma ortamı sağlanabilecek, hem de hidrojen tüketimi azaltılabilecektir [5].

Hibrit YH sistemlerinde kullanılacak enerji depolama sisteminin belirlenmesi, sistem performansı açısından oldukça önemlidir. Enerji depolama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, günümüzde özellikle bataryalara karşı birçok avantajı olan ultra-kapasitörler (UK) üzerine odaklanmış durumdadır [6]. UK'ların iç yapılarında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmediğinden, taşıtlarda oldukça hızlı gerçekleşen frenleme enerjisini verimli bir şekilde geri kazanmada, bataryalardan çok daha etkilidirler [6,7]. Bunun yanı sıra bataryalar ile kıyaslandığında UK'ların yüksek işletim ömrüne sahip olması, sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi gibi oldukça önemli avantajları da vardır [7]. Enerji yoğunluğunu arttırmaya yönelik yapılan geliştirme çalışmalarıyla, UK'ların yakın bir gelecekte enerji depolama sistemi olarak birçok alanda olduğu gibi YH sistemine sahip taşıtlarda da çok yaygın bir biçimde kullanılabileceği öngörülmektedir [6]. UK'ların YH sistemleriyle birlikte hibrit bir şekilde kullanılmasıyla oluşturulan taşıt sistemleri, YH'nin

kısmi yükte çalışma durumundaki yüksek verimini ve UK'nın ani yük talebini karşılamadaki etkinliğini birleştirmektedir [8].

Gerçekleştirilen hibrit bir taşıt sisteminde en iyi performansı ve yakıt ekonomisini sağlayabilmek açısından, sistem dinamiklerine uygun bir yük paylaşım algoritması ve kontrol sisteminin kullanılması gereklidir. Oluşturulan taşıt sisteminde yük paylaşım algoritması olarak dalgacık dönüşümünden faydalanılmıştır. Sistem kontrolünde ise bulanık mantık kontrolörden yararlanılmaktadır. Ancak geliştirilen bütün bulanık mantık kontrol sistemleri, tasarımcının sistem üzerindeki bilgisine göre oluşturulmaktadır [9]. Özellikle hibrit taşıt sistemlerinin karmaşık yapısı göz önüne alındığında, bu sezgisel ve deneysel tasarım sistem için en optimum çözüme ulaşmakta yetersiz kalabilmektedir [10]. Sistemde en iyi performansı elde edebilmek açısından bulanık mantık kontrolör tasarımının en uygun şekilde gerçekleştirilmesi için birçok araştırmacı son zamanlarda çeşitli optimizasyon algoritmalarından yararlanmaktadırlar [11]. Bu algoritmalar arasında genetik algoritma, sağladığı çeşitli avantajlar açısından son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [10,11].

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, genetik algoritma kullanılarak optimize edilen bir bulanık mantık kontrolör içeren hibrit bir PEM YH/UK taşıt güç sistemi önerilmektedir. Yapılan çalışmanın düzeni şu şekildedir: 2. kısımda hibrit sistem ve geliştirilen kontrol algoritması anlatılmaktadır. 3. kısımda, hibrit taşıt sisteminin benzetim sonuçları ve bu sonuçların yorumlanması yer alırken, 4. kısımda ise yapılan çalışmaya ait sonuçlar verilmektedir.

2. Sistem Tanıtımı ve Metodoloji

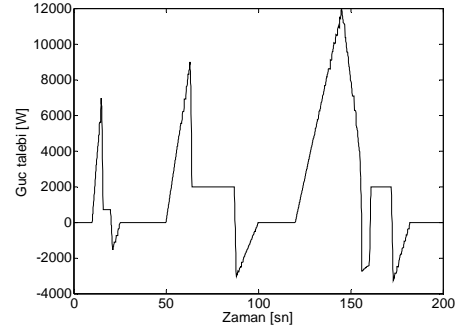
2.1. PEM YH ve UK Sistemi

Hibrit bir YH/UK taşıt sisteminde PEM YH ana güç kaynağıdır ve sistemdeki temel yük talebini karşılamakta kullanılmaktadır. UK'ların doğal yapısı ise kısa süreli ani güç taleplerini karşılamak için oldukça uygundur. UK modülü, yük talebi ile YH sistemi çıkış gücü arasındaki farkı karşılamak için tasarlanmıştır. PEM YH ve UK sisteminin modellenmesi hakkındaki bilgi, yazarların önceki çalışmaları olan Ref. [12] ve Ref. [13]'te detaylı bir biçimde verilmiştir.

2.2. Sürüş Çevrimi ve Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Yük Paylaşımı Algoritması

Yapılan çalışmada, taşıt sisteminin yük talebini modelleyebilmek amacıyla Avrupa şehir içi sürüş çevriminden (ECE-15) yararlanılmıştır. ECE-15 sürüş çevrimindeki güç talebinin, zamana bağlı değişimi Şekil 1'de gösterilmektedir.

Hibrit güç sistemlerinde sistem bileşenlerinin doğal karakteristiklerine uygun bir yük paylaşım algoritması kullanılması, sistem ömrünü ve verimliliğini önemli oranda artırmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, yük paylaşım algoritması olarak çok seviyeli bir Haar dalgacık dönüşümünden yararlanılmaktadır. Ana sinyal olan ECE-15 sürüş çevrimindeki güç talebi, üç seviyede yüksek ve düşük frekanslı bileşenlerine ayrılmaktadır. Önerilen yük paylaşım algoritmasının detaylı bilgisi Ref. [13]'te bulunmaktadır.



Şekil 1: ECE-15 sürüş çevrimine göre güç talebinin zamana göre değişimi.

2.3. Genetik Algoritma-Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol Sistemi

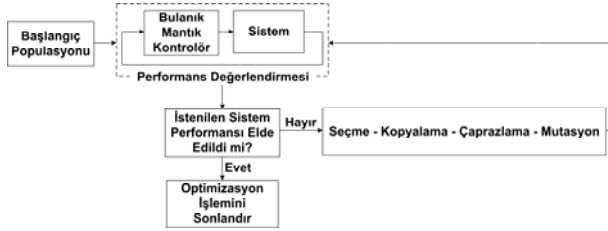
Yapılan çalışmada oluşturulan sistemin kontrolünde, hibrit enerji sistemleri için oldukça uygun bir yapıya sahip olan bulanık mantık kontrolörden yararlanılmıştır [9].

Günümüzde endüstriyel uygulamalarda oldukça geniş bir kullanım alanı bulunan bulanık mantık sistemleri, klasik kontrol yöntemlerine kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bu avantajları sayesinde birçok farklı alanda kullanım açısından oldukça ilgi çekici bir konuma gelmiştir [14]. Ancak bulanık mantık ile ilgili en önemli uygulamalar kontrol alanında yoğunlaşmaktadır [9]. Uygulanacağı sisteme ait komple bir matematiksel modelin geliştirilmesini gerektirmeyen bulanık mantık kontrolörler, "EĞER-O ZAMAN" ifadelerini içeren bir kurallar bütününden oluşmaktadır. Oluşturulan kurallar, çıkışlar ve girişler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modellemekte ve kontrol işlemi kuralların içeriğine göre gerçekleştirilmektedir [9,11].

Bulanık mantık kontrolörler, genellikle tecrübelerden kazanılan bilgilerle oluşturulmaktadır [15]. Kontrolör yapısını oluşturan kişinin sistem hakkındaki bilgisi ne kadar fazla olursa olsun, tecrübelerden gelen bilgilerle oluşturulan bu yapılar en optimum performansı sağlama konusunda bazen yetersiz kalmaktadırlar [10,15]. Özellikle sistem için belirlenen işletme koşulları değiştiğinde, çok daha farklı bir bulanık mantık kontrolör yapısı oluşturmak ve kontrolör parametrelerini bu yeni koşula adapte etmek gerekmektedir. Bu durum genel sistem verimliliğini oldukça büyük oranda etkilemektedir [16]. Bu nedenle, bulanık mantık kontrolörün tasarımı birçok araştırmacı tarafından bir optimizasyon problemi olarak ortaya konulmuş ve en uygun bulanık mantık kontrolör yapısını elde etmek açısından optimizasyon algoritmaları kullanılması öngörülmüştür [15]. Kullanılan bu optimizasyon algoritmaları arasında genetik algoritma, optimum sonucu bulma konusundaki üstün başarısı ve nispeten hızlı bir şekilde sonuca ulaşabilmesi gibi birçok avantaj açısından son dönemlerde gittikçe artan bir kullanım alanına sahiptir [11,15].

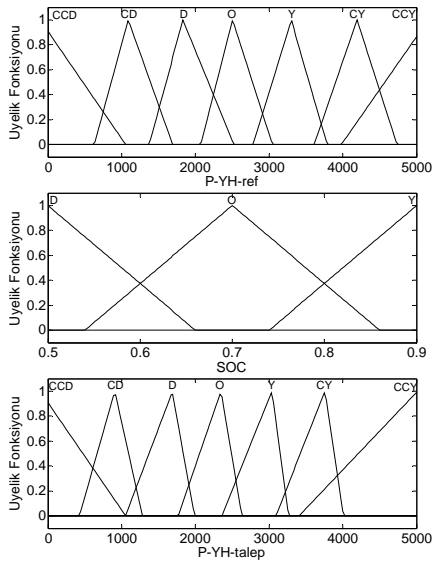
İlk defa Holland tarafından ortaya konulan genetik algoritmada optimizasyon problemi amaç fonksiyonu olarak tanımlanır [16]. Sistemde optimize edilecek değişkenler genetik algoritmaya kromozomlar olarak işlenir [10]. Algoritmanın başlangıcı olarak kromozomlardan oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu popülasyonu oluşturan

her bir kromozomun bir uyumluluk değeri vardır. Bu kromozomlar arasından en yüksek uyumluluk değerine sahip olanlar seçilir [16]. Bu seçilen kromozomlar kullanılarak kopyalama, çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik işlemler sonucunda daha yüksek uyumluluk değerine sahip yeni bir popülasyon oluşturulur [11]. Bu genetik işlemler, daha önceden belirlenmiş istenilen bir sistem performansı elde edilene kadar iteratif olarak tekrar edilirler [15,16].



Şekil 2: Gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin şematik gösterimi.

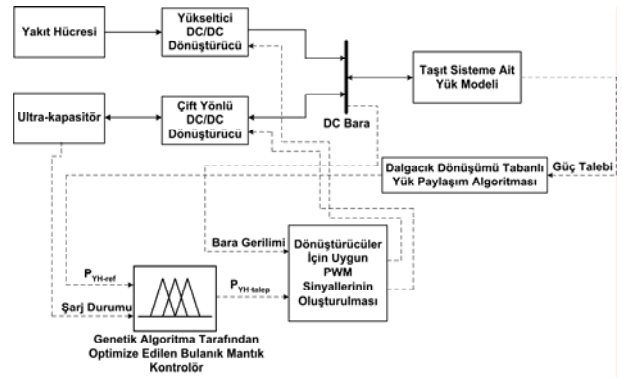
Bu çalışmada, hibrit bir YH/UK taşıt sistemi için genetik algoritma ve bulanık mantık tabanlı bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Öncelikle, kural tabanı ve yapısı daha önceki tecrübeler göz önüne alınarak oluşturulmuş bir bulanık mantık kontrolör yapısı meydana getirilmiştir. Oluşturulan kural yapısına ait detaylı açıklama Ref. [13]'te bulunmaktadır. Daha sonra ise bulanık mantık kontrolöre ait bütün üyelik fonksiyonlarının yapısı genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiştir. Bu optimizasyon işlemindeki amaç, istenilen yük talebini karşılarken hem YH sistemini en verimli olduğu bölgede çalıştırmak, hem de UK sisteminin şarj durumunu uygun bir aralıkta tutabilmektir. YH sistemi için en verimli çalışma bölgesi, hücre başına yaklaşık 0.55–0.8 V'luk gerilim aralığına karşılık gelen lineer çalışma bölgesidir [2]. Gerçekleştirilen optimizasyon işlemi sayesinde YH sisteminin lineer bölgede çalışması sağlanacağından, genel sistem verimi de dikkat çekici bir oranda artırılabilir. Ayrıca UK sisteminin şarj durumu uygun bir aralıkta tutulduğundan, enerji tasarrufunda da önemli oranda bir artış elde edilebilecektir. Gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin şematik gösterimi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 3: Bulanık mantık kontrolörün girişleri ve çıkışı için oluşturulan başlangıç üyelik fonksiyonları.

Gerçekleştirilen optimizasyon işleminde, bulanık mantık kontrolörü oluşturan bütün üyelik fonksiyonları genetik algoritma içerisine birer kromozom olarak kodlanmıştır. Oluşturulan bulanık mantık kontrolör, YH sistemi referans gücü ve UK sisteminin şarj durumu olmak üzere iki giriş ve YH sisteminden talep edilen güç olmak üzere bir adet çıkışa sahiptir. Bulanık mantık kontrolörün girişleri ve çıkışı için oluşturulan başlangıç üyelik fonksiyonları Şekil 3'te görülmektedir. Bu başlangıç değerlerini dikkate alarak gerçekleştirilen optimizasyon işleminde genetik algoritma, arzu edilen sistem performansını elde edebilmek açısından bulanık mantık kontrolör için en uygun yapıyı oluşturmaktadır.

2.4. Güç Biçimlendirme Ünitesi



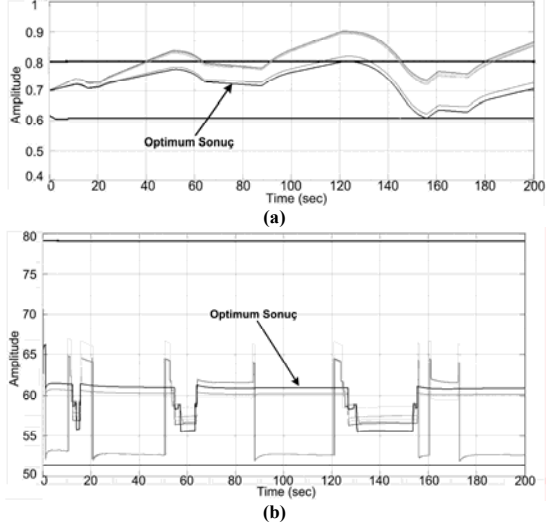
Şekil 4: Hibrit sistem konfigürasyonu.

Bu çalışmada, hibrit YH/UK sisteminin oluşturulmasında Şekil 4'te görüldüğü gibi iki adet dc/dc dönüştürücüdür yararlanılmaktadır. YH sistemi çıkışındaki yükseltici tip dc/dc dönüştürücü, bulanık mantık kontrolör tarafından belirlenen güç değerinin YH sisteminden transfer edilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. UK sistemi çıkışındaki çift yönlü dc/dc dönüştürücü ise bara geriliminin düzenlenmesini sağlamaktadır. Önerilen bu sistem topolojisi, bara gerilimini istenilen değerde tutarken YH sisteminden istenilen gücün transfer edilebilmesine olanak vermektedir.

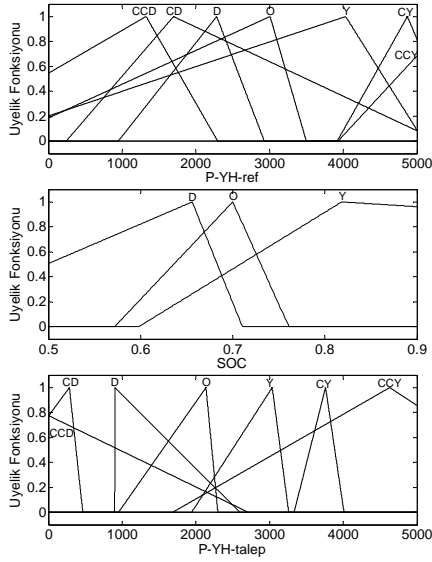
3. Test ve Sonuçlar

Bu bölümde öncelikle, genetik algoritma ile gerçekleştirilen bulanık mantık kontrolör parametre optimizasyonuna ait sonuçlara ve daha sonrasında da genel sistem ile elde edilen benzetim sonuçlarına yer verilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada 5 kW'lık, 88 hücreden oluşan PEM YH yığınından ve 165 F-48 V'luk UK modülünden [17] yararlanılmıştır.

Gerçekleştirilen optimizasyon işlemine ait iteratif süreç Şekil 5'te görülmektedir. Genetik algoritma, hem YH sisteminin gerilimi, hem de UK sisteminin şarj durumu için belirlenen kısıtlara uygun sonuçlar elde etmek amacıyla bulanık mantık kontrolör tasarımını optimum hale getirmeye çalışmaktadır. 815. iterasyon sonucunda genetik algoritma, her iki kısıtı da sağlayacak bulanık mantık kontrolör tasarımını gerçekleştirmiştir. Bulanık mantık kontrolörün giriş ve çıkışları için optimize edilmiş yeni üyelik fonksiyonları ise Şekil 6'da gösterilmektedir.

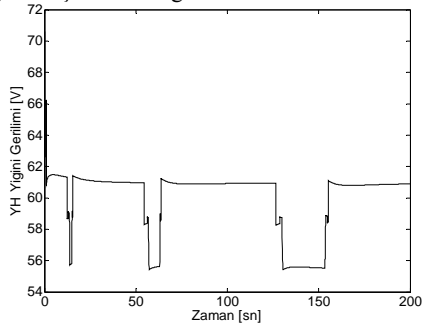


Şekil 5: Gerçekleştirilen optimizasyon işlemine ait iteratif süreç: (a) YH sisteminin gerilimi, (b) UK sisteminin şarj durumu.

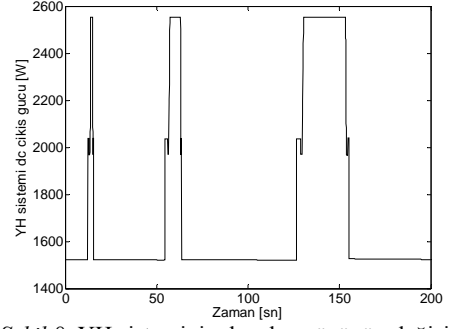


Şekil 6: Bulanık mantık kontrolörün girişleri ve çıkışı için optimize edilmiş üyelik fonksiyonları.

Şekil 7-12'de verilen benzetim sonuçları zamana bağlı olarak sırasıyla; YH yığımı gerilimi, YH sisteminin çıkış gücü, UK sisteminin gücü, UK sisteminin şarj durumu, dc bara gerilimi ve hidrojen akış miktarını göstermektedir.

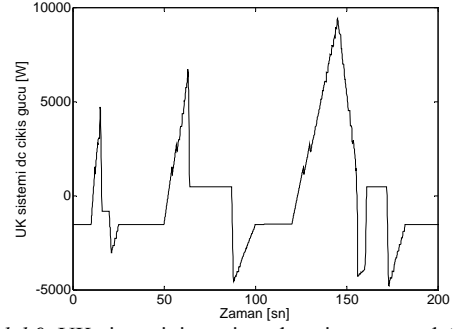


Şekil 7: YH yığımı geriliminin değişimi.

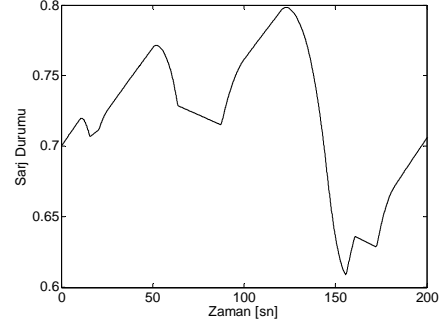


Şekil 8: YH sisteminin dc çıkış gücünün değişimi.

YH yığımının geriliminin zamana göre değişimi Şekil 7'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, ECE-15 sürüş çevrimi sırasında YH gerilimi 55.7 V'tan 66.2 V'a kadar olan bir aralıkta değişmektedir, dolayısıyla da 88 hücrenin bulunduğu YH yığına hücre başına 0.63-0.75 V'luk bir gerilim aralığında en verimli olduğu lineer çalışma bölgesinde işletilmektedir. Şekil 8'de ise YH yığımının sisteme aktardığı gücün değişimi görülmektedir. YH sisteminin çıkış gücüne ait bu değişim hızı YH sisteminin yapısı için oldukça uygundur. Bu sayede önerilen metodolojinin kullanılması ile birlikte YH'nın verimliliğinin azami hale getirilmesi ile birlikte YH sisteminin ömrünün de arttırılabilmesi beklenmektedir.

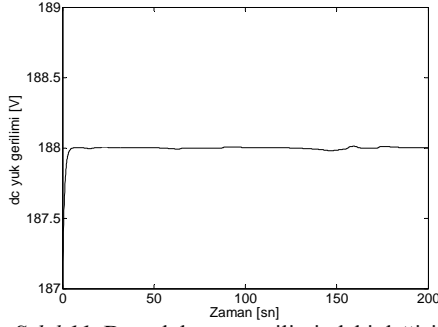


Şekil 9: UK sisteminin şarj ve deşarj gücünün değişimi.

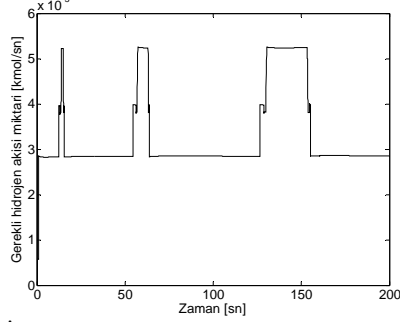


Şekil 10: UK sistemi şarj durumunun değişimi.

Yük değişimlerine bağlı olarak UK sisteminin çıkış gücünün değişimi Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi UK sistemi, yük talebinin ve YH sisteminin gücünün değişimine göre şarj ya da deşarj olmaktadır. Yük talebindeki ani artışların UK sistemi tarafından başarıyla karşılanabildiği de Şekil 9'da görülebilmektedir. Şekil 10'da ise UK'nın şarjlılık durumunun değişimi görülebilmektedir. Görüldüğü üzere UK sisteminin şarjlılık durumu uygun bir aralıkta tutulabilmiştir. Bu sayede, UK sistemi mevcut frenleme anlarında ortaya çıkan enerjiyi verimli bir şekilde kazanabilmekte ve ihtiyaç duyulan yük talebini de karşılayabilmektedir.



Şekil 11: Dc yük barası gerilimindeki değişim.



Şekil 12: İhtiyaç duyulan hidrojen akışı miktarının değişimi.

Güç akışına bağlı olarak dc yük barası gerilimindeki değişim Şekil 11'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bara gerilimi, kabul edilebilir bir aralıkta tutulabilmektedir. Bunun yanı sıra, YH için ihtiyaç duyulan hidrojen akışı miktarı Şekil 12'de görüldüğü gibi değişmektedir. Bulanık mantık kontrolör parametrelerinin optimize edilmesi ile birlikte YH sistemi lineer bölgede çalıştırıldığından, hidrojen tüketiminde de buna bağlı olarak tasarruf sağlanmaktadır.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, YH ve UK'dan oluşan hibrit bir taşıt sistemi için genetik algoritma ve bulanık mantık kullanılarak oluşturulan bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Çeşitli kısıtlar göz önünde bulundurularak, bulanık mantık kontrolörün tasarımı genetik algoritma ile optimum hale getirilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda PEM YH sisteminin en verimli olduğu ve aşırı yüklenmelere maruz kalmadığı lineer bölgede işletilmesi, ayrıca da UK'nın şarjlılık durumunun uygun değerler arasında tutulması sağlanmıştır. Bu sayede genel taşıt sisteminin veriminde, YH sisteminin ömründe ve yakıt tasarrufunda önemli oranda bir artış elde edilebilecektir.

Teşekkür:

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

5. Kaynaklar

- [1] Granovskii M., Dincer I., Marc A. R., "Life cycle assessment of hydrogen fuel cell and gasoline vehicles", *Int. J. Hydrogen Energy*, 31(3):337-352, 2006.
- [2] Barbir F., *PEM fuel cells: theory and practice*, UK: Elsevier Academic Pres, London, 2005.
- [3] Emadi A., Rajashekar K., Williamson S. S., Lukic S. M., "Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and

configurations", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, 54(3):763-770, 2005.

- [4] Rodatz P., Paganelli G., Sciarretta A., Guzzella L., "Optimal power management of an experimental fuel cell/supercapacitor-powered hybrid vehicle", *Cont. Eng. Practice*, 13(1):41-53, 2005.
- [5] Arcak M., Gorgun H., Pedersen L. M., Varigonda S. A., "Nonlinear Observer Design for Fuel Cell Hydrogen Estimation", *IEEE Trans. on Control Systems Tech.*, 12(1):101-110, 2004.
- [6] Schindall J., "The charge of the ultracapacitors-Nanotechnology takes energy storage beyond batteries", *IEEE Spectrum*, (11):38-42, 2007.
- [7] Pasquier A. D., Plitz I., Menocal S., Amatucci G., "A comparative study of Li-ion battery, supercapacitor and nonaqueous asymmetric hybrid devices for automotive applications", *J. Power Sources*, 115(1):171-178, 2003.
- [8] Thounthong P., Rael S., Davat B., "Control strategy of fuel cell/supercapacitor hybrid power sources for electric vehicle", *J. Power Sources*, 158(1):806-814, 2006.
- [9] Leondes CT., *Fuzzy logic and expert systems application*, USA: Academic Pres, California, 1998.
- [10] Poursamad A., Montazeri M., "Design of genetic-fuzzy control strategy for parallel hybrid electric vehicles", *Cont. Eng. Practice*, 16:861-873, 2008.
- [11] Chu B., Kim D., Hong D., Park J., Chung J. T., Chung J. H., Kim T. H., "GA-based fuzzy controller design for tunnel ventilation systems", *Auto. in Construction*, 17:130-136, 2008.
- [12] 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 Conv.*, 23(1):263-272, 2008.
- [13] 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.
- [14] Chen S. M., Huang C. M., "A new approach to generate weighted fuzzy rules using genetic algorithms for estimating null values", *Expert Systems with App.*, 35:905-917, 2008.
- [15] Alam M. S., Tokhi M. O., "Hybrid fuzzy logic control with genetic optimisation for a single-link flexible manipulator", *Eng. Appl. of Artificial Intelligence*, 21:858-873, 2008.
- [16] Ustun S. V., Demirtas M., "Optimal tuning of PI coefficients by using fuzzy-genetic for V/f controlled induction motor", *Expert Systems with Appl.*, 34:2714-2720, 2008.
- [17] Electric Double Layer Capacitor: BOOSTCAP® Ultracapacitor. (http://www.maxwell.com/pdf/uc/datasheets/mc_power_series_48_1009365_rev5.pdf)[Online]