

HHO HÜCRE PERFORMANSININ BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

¹Sadık ATA, ²Gürol ÖNAL, ²Kevser DİNCER

¹KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya

¹ sadik.ata@karatay.edu.tr, ² gonal@selcuk.edu.tr, ² kdincer@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 29.09.2016 ; Kabul/Accepted in Revised Form: 01.02.2017)

ÖZ: Bu çalışmada, Hidroksi (HHO) hücre performansları, kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından modellenmiştir. Giriş parametreleri plaka sayısı ve zaman (t), çıkış parametreleri gerilim (V), akım (A) ve sıcaklık (°C); Kural Tabanlı Mamdani Tip Bulanık Mantık (KTMTBM) tarafından tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış parametrelerinin sayısal verileri bulanıklaştırmıştır. Bunlar; çok çok düşük (L₁), çok düşük (L₂), düşük (L₃), negatif orta (L₄), orta (L₅), pozitif orta (L₆), yüksek (L₇), çok yüksek (L₈) ve çok çok yüksek (L₉)'dır. Bu sistem için 2 giriş değeri bulunmakta ve her bir çıkış değeri için 9x9 matrisinden 81 kural olmak üzere toplam 243 kural elde edilmiştir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kurallarının bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda bulanık mantık ile belirlenmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmada tespit edilen sonuçlar determinasyon katsayısı yöntemi (R²) kullanılarak karşılaştırılmıştır. R² yönteminde, voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla %98,29; %99,5; %96,47 değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmada yapılmamış değerler BM modeli sayesinde tahmin edilmiştir. Bu çalışma, HHO hücresinin performansının belirlenmesinde, bulanık mantık yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık (BM), Hidroksi (HHO) hücresi, Performans

Fuzzy Logic Modeling of Performance HHO Dry Cell

ABSTRACT: In this study, hydroxy (HHO) dry cell performances in terms of voltage, current and temperature were modeled with Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy (RBMTF) modeling technique. Input parameters combination and time; output parameters voltage, current, temperature were described by RBMTF. Numerical parameters of input and output variables were fuzzificated as linguistic variables: very very low (L₁), very low (L₂), low (L₃), negative medium (L₄), medium (L₅), positive medium (L₆), high (L₇), very high (L₈) and very very high (L₉) linguistic classes. In this system, there are 2 inputs and 81 rules for the every output of 9x9 matrix and totally 81x3=243 rules are generated. Hereafter the rules, which are used to detect the behavior of the fuzzy logic controller and the relationship between system's input and output, are determined. As a result of these rules, every value obtained from the experimental study is also determined by fuzzy logic too. The comparison between experimental data and RBMTF is done by using coefficient of multiple determination (R²). Also, unperformed experiments are predicted with RBMTF. This study indicated that RBMTF can be successfully used for the specification HHO dry cell performances.

Key Words: Fuzzy logic, HHO dry cell, Performance

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hidrokarbon yakıtlar dünyada kullanılan enerjinin birincil kaynağını oluşturmaktadır. Hidrokarbon yakıt kullanımının başlıca olumsuz yan etkileri arasında zararlı kirletici emisyonları, artan sera gazı düzeyleri, yüksek maliyetler ve politik istikrarsızlık gelmektedir. Bu yakıtın tüketimini ve ortaya çıkan emisyonunu azaltmanın bir yolu, bir yakıt takviyesi olarak hidrojen kullanmaktır (Bhardwaj ve diğ., 2014). Yanma sürecindeki hava girişinde hidrojen gazı ilavesi alev hızını, yalın yanma yeteneğini ve alev söndürme mesafesini arttırmaktadır. Fakat ulaşım kısıtlılığı ve üretim maliyeti bu tür uygulama yapmayı zorlaştırmaktadır. Brown Gaz veya hidroksi hücresi (HHO) olarak adlandırılan; suyun elektrolizi ile üretilen hidrojen zengin bir gaz, bu zorlukları çözmek için bir alternatif olabilir (Leelakrishnan ve diğ., 2013). 1918 yılında Charles Frazer, Kuzey Amerikalı mucit, içten yanmalı motorlar için hidrojen güçlendirici olarak kullanılan ilk su elektroliz makinesinin patentini aldı. 1970 ve 80'li yıllarda, Yull Brown, bir Bulgaristan doğumlu Avustralyalı mucit, Brown Gazının patentini alarak bir kesme gazı ve yakıt katkı maddesi olarak sevdirmeye ve popüler hale getirmeye çalıştı (Cameron, 2012). HHO hidrojen ve oksijenin moleküler ve manyetik olarak birbirine bağlanmasıyla oluşan zenginleştirilmiş bir karışımdır. HHO gazı ortak-kanallı elektrolizerde üretilmekte ve motorun yanma odası içine emme manifoldundan gönderilmektedir (Yadav ve Sawant, 2011).

Otomotiv uygulamalarında hidrojen gazı kullanmanın zorluklarından biri depolamadır. HHO araç üzerinde oluşturulmuyor olsaydı eğer büyük tanklar gerekli olacaktı. Bu nedenle, araç üzerinde hidrojen gazı üretimi ile bu son derece patlayıcı gazı depolamak zorunda kalınmayacaktır. Ancak, hidrojen üretimi de ekstra bir maliyetle gelmektedir. Aracın aküsü ve alternatörü üzerinde bir yük oluşturacak ve bu da motor gücünü etkileyecektir. HHO gazının yanma sürecine katılımıyla daha iyi yanma, artan motor gücü ve düşük emisyonları sağlayacağı tahmin edilmektedir (Madyira ve Harding, 2014). HHO jeneratör tasarımlarında dikkat edilmesi gereken noktalar; elektrotların seçimi, iki elektrot arasındaki mesafe, elektrotlar arasındaki bağlantı, katalizörün seçimi, seviyesi, hazne seçimi, elektriksel bağlantı ve yangın koruması olarak sıralanabilir (Chakrapani ve Neelamegam, 2011).

HHO gazının tutuşma sıcaklığı yaklaşık 570°C'dir ve normal atmosfer basıncında stokiometrik karışım için 241,8 kJ ısıtma değeri meydana gelir. Normal şartlar altında, HHO gazı hacimsel olarak yaklaşık %4 ile %94 hidrojen arasında olduğunda yanabilir. Ateşlendiğinde, gaz karışımı, su buharı ve enerji açığa çıkarır. Açığa çıkan ısı miktarı, yanma tarzından bağımsızdır, ama alev sıcaklığı değişir. 2800°C'lik yüksek sıcaklıkta saf stokiometrik karışımı ile elde edilir ve havada yanmakta olan bir hidrojen alevinden yaklaşık 700°C daha sıcaktır (Dincer ve diğ., 2013; Sakthivel, 2014). HHO gazı çok yüksek yayılmaya sahiptir. Havada dağılıma özelliği benzinden çok daha fazladır ve iki nedenden dolayı avantajlıdır. İlk olarak, homojen hava yakıt karışımı ve oluşumunu kolaylaştırır ve ikinci olarak herhangi bir sızıntı olursa hızla dağılır. HHO gaz yoğunluğu çok düşüktür. İçten yanmalı bir motorda kullanıldığında bu depolama sorununa yol açar. Birkaç araştırma ile suyun bir litresi ile yaklaşık 1866 litre HHO gazı üretildiği tespit edilmiştir. Bu gaz ateşlendiğinde, hacim orijinal hali olan bir litre su hacmine düşmektedir (Dincer ve diğ., 2013; Sakthivel, 2014).

Bu çalışmada, HHO hücresinin performansı deneysel verilerin yardımı ile bulanık mantık (BM) modeli oluşturularak incelenmiştir. Deneysel çalışmaların modellenmesinde BM yöntemi çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda sonuçların elde edilmesinde zaman ve maliyet unsuru, daha önce yapılmış deneylerden elde edilen verilerle genellemeler yaparak, bu genelleme ile daha önce gerçekleştirilmemiş deneylere ilişkin çözümler üretilmesini gerektirmiştir. Bu kapsamda kullanılan bulanık mantık modeli ayrıca deneyler için örnekler alınırken ara değerlerin sonucunun bilinmemesi, bağımsız değişkenlerin sayısının çok fazla olması nedeniyle hesaplamaların zor oluşu gibi olumsuz durumları gidermek için de kullanılır (Hasgöl ve Anagün, 2005).

Literatür incelendiğinde, araştırmacıların bulanık mantık yöntemini kullanarak oluşturdukları farklı sistemlere ait modelleme çalışmalarının olduğu görülür. Ata ve Dincer (2015a; 2015b) anot tarafı KNT ile

kaplanmış PEM yakıt hücresi membran performansının tespiti için BM modelini oluşturmuşlardır. Deneysel veriler ile model sonuçlarının istatistik metotlar kullanılarak karşılaştırıldığı çalışma sonunda KNT ile kaplanan PEM yakıt hücresinin membran performansının belirlenmesinde BM yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermişlerdir. Gao ve diğ., (2008) yakıt hücresi sistemi ile donatılmış bir hibrit otobüsü üzerine çalışmalar yapmış ve bulanık mantığa dayalı bir enerji yönetim stratejisi geliştirmişlerdir. Karmaşık güç sistemlerinde enerji akışını yönetmek için bir bulanık mantık sistemi geliştirmiş ve uygulamışlardır. Tong ve diğ., (2003) yaklaşık 1 kW PEM yakıt hücresi ünitesi üzerine çalışmışlar, yığın gerilimi, katot akımı ve anot akımının modellemesini geliştirmişlerdir. Dış yükün güç talebinin, basitleştirilmiş değişkenli bulanık denetleyicisinin gerçek zamanlı kontrolü altında yakıt hücresi tarafından temin edilebileceğini önermişlerdir. Keshwani ve diğ., (2008), cilt geçirgenliğinin kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Toksikite riskleri, transdermal ilaç sağlanması için aday belirlemek ve tahmin etmek için sunulan modelleri bileşiklerin deri geçirgenliğini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanmışlardır. Shakhawat ve diğ., (2006), üretilen su içinde doğal olarak meydana gelen insan sağlığı için riskli radyoaktif maddelerin bulanık kural tabanlı modellemesi üzerine çalışmışlardır. Üretilen suyun içinde doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerin insan sağlığı risk değerlendirmesi için bir çift bariyer yaklaşımı önermişlerdir. Tosun ve diğ., (2011) Türkiye'de konutlarda kullanılan çok katmanlı prekast beton panellerin termal performanslarını kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme kullanarak incelemişlerdir. BM'nin konut çalışmalarında kullanılan çok tabakalı prefabrik beton panellerin termal performansının değerlendirilmesinde güvenilir bir modelleme yöntemi olarak kullanılabileceğini kaydetmişlerdir. Yıldız ve Kışoğlu (2011), bayan dış giyim alanında faaliyet gösteren hazır giyim işletmelerinden alınan boyut tabloları ve vücut büyüklüğü numaralarını inceleyerek ortak bir vücut numaralandırma sistemini bulanık mantık sistemi kullanarak modellemişlerdir. Yapılan bu modelleme ile; pazarlama problemlerine olumlu anlamda katkı sağlanacağını ve hazır giyim sektöründe rekabete katkıda bulunarak tüketici ürünleri ile ilgili sorunların azalacağını önermişlerdir. Özek ve Sinecen (2004), bir havalandırma sisteminin modelini bulanık mantık yaklaşımıyla incelemişlerdir; çünkü kontrol sistemlerindeki temel sorunlardan biri kontrol mekanizması ile ilgili matematiksel modeli oluşturmadaki zorluktur. Kontrol sisteminin matematik modeli kullanılmadan yapılan bulanık mantık yönteminin sadece sözel değişkenler yardımıyla kontrol mekanizması gerçekleştirebildiğini göstermişlerdir. Tiryaki ve Kazan (2007), günlük yaşamda sık kullanılan bir bulaşık makinasının simule edilmesi ve bulanık mantık kullanılarak modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Uygun bir donanım desteği ve uygun sensörler kullanıldığında bulanık mantık modelinin amacı ile bulaşık miktarı, türü gibi girdilere göre, insan müdahalesi olmadan yıkama işleminin yapılabileceği sonucuna varmışlardır. Berber ve diğ., (2013) karşıt akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüplerinin ısıtma ve soğutma performanslarını deneysel olarak incelemiş ve bir kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile modellemişlerdir. BM'nin başarılı bir şekilde farklı geometrik yapılara sahip karşı akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüpü ısıtma ve soğutma performans analizi için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada, HHO hücre performansları, kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modelleme tekniği ile gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından modellenmiştir. Giriş parametreleri kombinasyon ve zaman; çıkış parametreleri voltaj, akım ve sıcaklık; BM tarafından tanımlanmıştır. Plaka sayısı 1-10 arasında değiştirilerek, 10 dakikalık süre içerisinde tespit edilen volt, akım ve sıcaklık olmak üzere toplam 300 deneysel veri bu modelleme çalışmasında kullanılmıştır. Giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısal parametreleri bulanıklaştırılarak sözel değişkenlere çevrilmiştir. Çok çok düşük (L₁), çok düşük (L₂), düşük (L₃), negatif orta (L₄), orta (L₅), pozitif orta (L₆), yüksek (L₇), çok yüksek (L₈) ve çok çok yüksek (L₉) dil sınıflarını ifade etmektedir. Sistemin giriş ve çıkış arasındaki ilişkinin davranışları tespit için kullanılan kurallar belirlenmiştir. Bu sistem için kullanılan dil değişkenleri ile 243 kural elde edilmiştir. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda bulanık mantık ile belirlenmiştir. Deneysel veriler ve BM arasındaki karşılaştırma istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Çoklu Determinasyon katsayısı (R²) yönteminde, voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla % 98,29; % 99,5; % 96,47 değerleri tespit edilmiştir. 100 ve 580 saniye arasında yer alan, deneysel

çalışmada yapılmamış her plakaya ait toplam 270 çıkış değeri için voltaj, akım ve sıcaklık değerleri BM ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, bir bulanık mantık modeli üreterek HHO hücrelerinin performansını değerlendirmenin mümkün olduğunu sunmaktır. Gerçek değerler ve BM sonuçları, HHO hücrelerinin analizi için bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliğini göstermiştir.

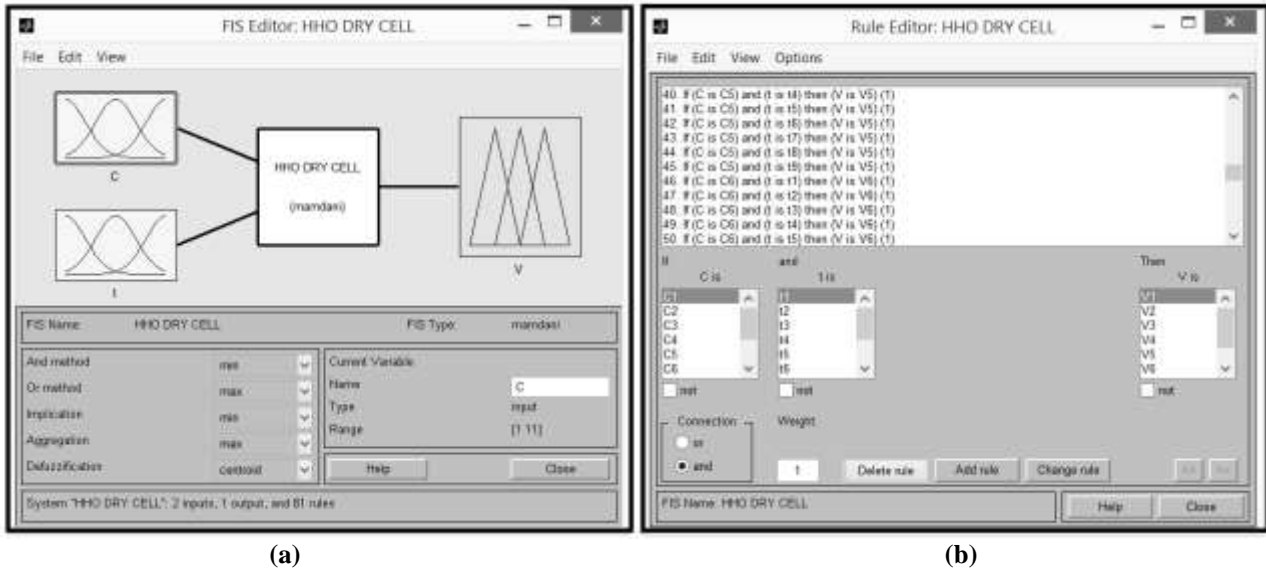
MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Bulanık mantık yaklaşımı, makinalara insanların deneyimleri ve öngörülerinden faydalanılarak özel verilerin işlenmesi ve çalışma yeteneğini vermektedir. Bu yeteneği geliştirirken, sayısal ifadeler yerine sembolik İfadeler kullanılmaktadır. Makinelere bu sembolik ifadelerin transferi matematiksel bir esasa dayanmaktadır. Bu matematiksel temel; bulanık mantık küme teorisi ve bulanık mantık bu teoriye dayanmaktadır. Bulanık mantık denetleyicinin temelini bu tür sözlü İfadeler ve onların arasındaki mantıksal ilişkiler oluşturmaktadır (Yılmaz ve Ayan, 2013). Bulanık küme, klasik küme kavramının genelleştirilmiş halidir. Bir elemanın o kümeye ne kadar ait olduğu üyelik dereceleri ile ifade edilir. Klasik kümede $\{0,1\}$ ile ifade edilen üyelik dereceleri, bulanık kümede süreklilik arz eden ve $[0,1]$ aralığında üyelik dereceleri alan elemanlardan oluşmaktadır (Gülcan, 2012).

Bu çalışmada, deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulan bulanık mantık model çalışması için Matlab programının Fuzzy Logic modülü kullanılmıştır. Bu modül, sisteme ait giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi, her bir parametreye ait bulanık küme oluşturulması ve bu sistemin çalışması için kuralların belirlenmesi aşamalarına sahiptir. Oluşturulan kurallar ile sisteme öğrettiğimiz çalışma sonucunda, tüm parametrelerin üç boyutlu değişimini gösteren yüzey izleyici şeklini ve istenen giriş değerlerine göre çıkış değerinde nasıl bir sonuçla karşılaşacağımızı bize sunar. Matlab Fuzzy Logic modülüne ilk giriş yapıldığında bulanık çıkarım yöntemlerinden Mamdani veya Sugeno yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı seçilir. Bu çalışmada Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Mamdani yöntemi, deneysel çalışmaların bulanık mantık modeli oluşturulmasında çok fazla kullanılan, deneysel çalışmadaki her bir aşamada bilgi sahibi olan uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Sugeno yönteminde çıkış üyelik fonksiyonları katsayılar ve girişlerden oluşan polinom şeklinde olduğu durumlar ve değişken sayısının çok fazla olmadığı durumlarda tercih edilir.

Modelleme çalışması için sisteme ait giriş-çıkış parametreleri belirlenir. Giriş parametreleri, kombinasyon ve zaman, çıkış parametreleri ise gerilim, akım ve sıcaklık olarak belirlenmiştir. Her bir çıkış parametresi ayrı ayrı incelenerek modelleme çalışması yapılmıştır. Şekil 1a'da gerilim değerleri için oluşturulmuş bulanık mantık yapısı gösterilmiştir. Giriş-çıkış parametrelerini belirledikten sonra her birinin fonksiyon kümeleri oluşturulur. Elde ettiğimiz deneysel verilerin yorumlanmasından sonra, bu değerlerin kaç tane dilsel değişkenle isimlendirileceğine karar verilir. Bu aşamadan sonra üyelik fonksiyonu çeşitlerinden hangisinin kullanılacağı belirlenir. Bu çalışmada, deneysel verilerin modellenmesinde çok fazla kullanılan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın sisteme öğretilen bu aşamasında yapılan yanlışlar, sonucu direk olarak etkileyecektir. Deneysel çalışmadaki verilerin iyi bir şekilde analiz edilmesi, bundan sonra dilsel değişken ve üyelik fonksiyonu çeşidinin belirlenmesi gerekir. Bulanık mantık sisteminin performansını etkileyen en önemli faktör; sistemin kuralları ve bunların doğruluğudur. Kurallar belirlenirken deneysel çalışmada elde edilmiş her değer iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Sisteme öğretilen her yanlış kural BM modelinin doğruluk hassasiyetinin bozulmasına neden olur (Ata, 2015).

Bu çalışmada, 2 giriş ve 3 çıkışlı bir sistem için, her çıkış için 81 kural ve toplamda 243 kural oluşturulmuştur. Şekil 1b'de gerilim değerinin analizi için yazılmış kurallardan 40. ile 50. kural arasına ait Matlab görüntüsü gösterilmektedir. Kurallar "eğer.ise" durumuna göre yazılmıştır. Örnek vermek gerekirse, 40. kural, C değerinin C₅ dilsel değişkenine, t değerinin t₄ dilsel değişkenine karşılık geldiği zaman, çıkış parametresi olan V değerinin V₅ dilsel değişkenine karşılık gelmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 1. (a) Gerilim değeri için KTMTBM'nin yapısı (b) Gerilim değerleri için yazılar kuralların bazıları
 Figure 1. (a) Structure of RBMTF for voltage values (b) Some of the rules for writing voltage values

Analitik formda bulanık üyelik fonksiyonları, V için denklem (1-4), A için denklem (5-8), oC için denklem (9-12) denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$V(x) = \begin{cases} x; & 9.4 \leq x \leq 48 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$V_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (15.83 - x)/6.43; & \text{if } 9.4 \leq x \leq 15.83 \end{cases} \quad (2)$$

$$V_4(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 22.26 \\ (x - 22.26)/6.43; & \text{if } 22.26 < x \leq 28.69 \\ (35.12 - x)/6.43; & \text{if } 28.69 < x \leq 35.12 \\ 0; & x \geq 35.12 \end{cases} \quad (3)$$

$$V_7(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (48 - x)/6.43; & \text{if } 41.55 \leq x \leq 48 \end{cases} \quad (4)$$

$$A(x) = \begin{cases} x; & \text{if } 0.3 \leq x \leq 5.32 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$A_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (0.9275 - x)/0.6275; & \text{if } 0.3 \leq x \leq 0.9275 \end{cases} \quad (6)$$

$$A_5(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 2.1825 \\ (x - 2.1825)/0.6275; & \text{if } 2.1825 < x \leq 2.81 \\ (3.4375 - x)/0.6275; & \text{if } 2.81 < x \leq 3.4375 \\ 0; & x \geq 3.4375 \end{cases} \quad (7)$$

$$A_9(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (5.32 - x)/0.6275; & \text{if } 4.6925 \leq x \leq 5.32 \end{cases} \quad (8)$$

$$T(x) = \begin{cases} x; & \text{if } 16.43 \leq x \leq 37.36 \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$T_1(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (18.93 - x)/2.63; & \text{if } 16.3 \leq x \leq 18.93 \end{cases} \quad (10)$$

$$T_5(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 24.19 \\ (x - 24.19)/2.63; & \text{if } 24.19 < x \leq 26.83 \\ (29.46 - x)/2.63; & \text{if } 26.83 < x \leq 29.46 \\ 0; & x \geq 29.46 \end{cases} \quad (11)$$

$$T_9(x) = \begin{cases} 0; & \text{otherwise} \\ (37.36 - x)/2.63; & \text{if } 34.73 \leq x \leq 37.36 \end{cases} \quad (12)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

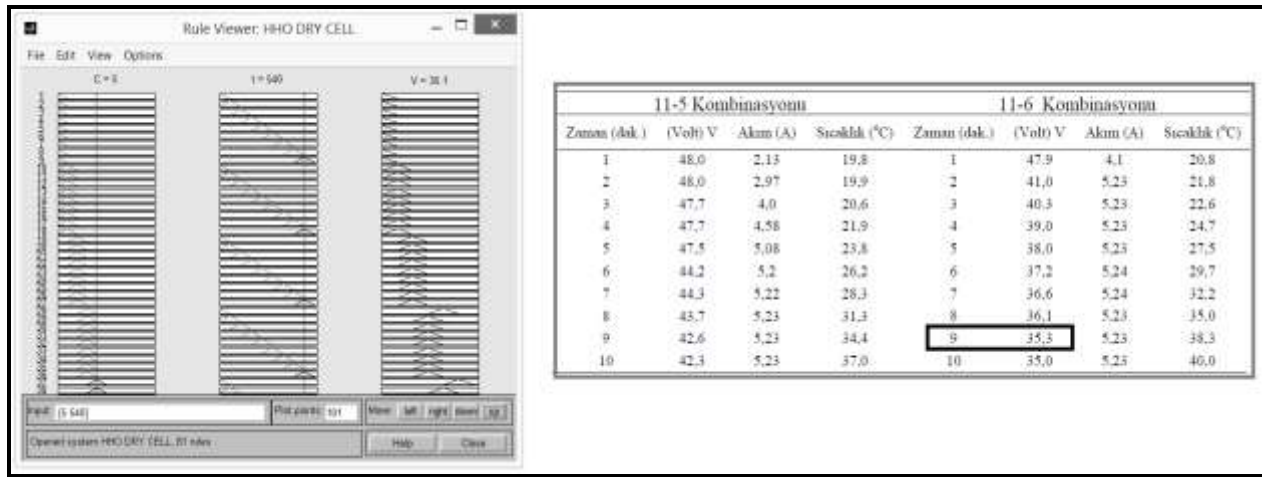
Bulanık mantık modeli oluşturmanın temel aşamaları, bulanıklaştırma, kural tabanı oluşturma, bulanık çıkarım mekanizması ve son olarak durulaştırma adımlarından oluşur. Bulanıklaştırma işleminde, bilgisayara ölçüm yoluyla alınan ve kesin bir sayısal değere sahip olan giriş verisi sözel ifadelerle dönüştürülür. Bu aşamada bilgi tabanında belirlenen üyelik fonksiyonlarından yararlanır. Bulanıklaştırma sonunda elde edilen sözel ifadeler kullanılarak, sistemin giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan kurallar belirlenir. Bulanık çıkarımda ise sözel ifadeler ve kurallar kullanılarak bulanık çıkış elde edilir. Bulanık çıkışların, sayısal çıkış değerine dönüştürülmesi işlemi de durulaştırma ya da berraklaştırma katında yapılır (Tektaş, 2010).

Bu çalışmanın amacı, deneysel verilerin yardımıyla HHO hücresi performanslarının, BM modelleme tekniği ile modellenmesidir. Performans parametreleri, gerilim, akım ve sıcaklık olarak belirlenmiştir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kuralları oluşturulmuştur. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda da bulanık mantık ile de belirlenmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmada tespit edilen sonuçlar, çoklu determinasyon yöntemi kullanılarak mukayese edilmiştir. Ayrıca çalışmada, deneysel çalışmada gerçekleştirilmemiş deneyler, bulanık mantık modeli sayesinde tahmin ettirilmiştir.

İlk aşamada, sistem için belirlenen bulanık küme, üyelik fonksiyonları ve oluşturulan kurallar ile deneysel çalışmanın bilgisayara öğretilme işlemi tamamlanmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen değerlere, oluşturulan bulanık mantık modeli ile de ulaşabileceğimizi görmek için kural izleyicisi

menüsü kullanılır. Şekil 2b’de giriş değerlerinin yazıldıktan sonra çıkış değerinin sonucunu gösteren kural izleyici sayfasına ait Matlab görüntüsü gösterilmiştir. Şeklin en altında sistemin kaç kuralla bu sonuca karar verdiğini belirten kural sayısı yazılmıştır. Gerilim çıkış değerine ait sonucun gösterildiği şekilde, C değeri 5 ve t değeri 540 s iken V değerinin 35.1 olması gerektiğini, belirlenen 81 kural sonucunda karar verdiğini belirtiyor.

DeneySEL çalışmada elde edilen sonuç ile karşılaştırılması yapılarak, hata varsa tekrar bulanık küme oluşturulması ve üyelik fonksiyonu belirlenmesi aşamasına geçilir. Şekil 2b’de Dincer ve diğ., (2013) yaptıkları deneySEL çalışmanın sonuçlarının bir kısmı verilmiştir. Yukarıda verilen örnek gözönüne alınırsa C değerinin 5 olduğu yani 11-6 kombinasyonunda olduğu, t değerinin ise 540 saniye yani 9 dakikada olması durumunda deneySEL çalışma elde edilen değer 35.3 V olduğu görülmektedir. BM modelinin tespit ettiği değere çok yakın bir değer olduğu görülmektedir. Tüm değerler için bu şekilde karşılaştırma yapılarak sistemin hata oranı tespit edilir.

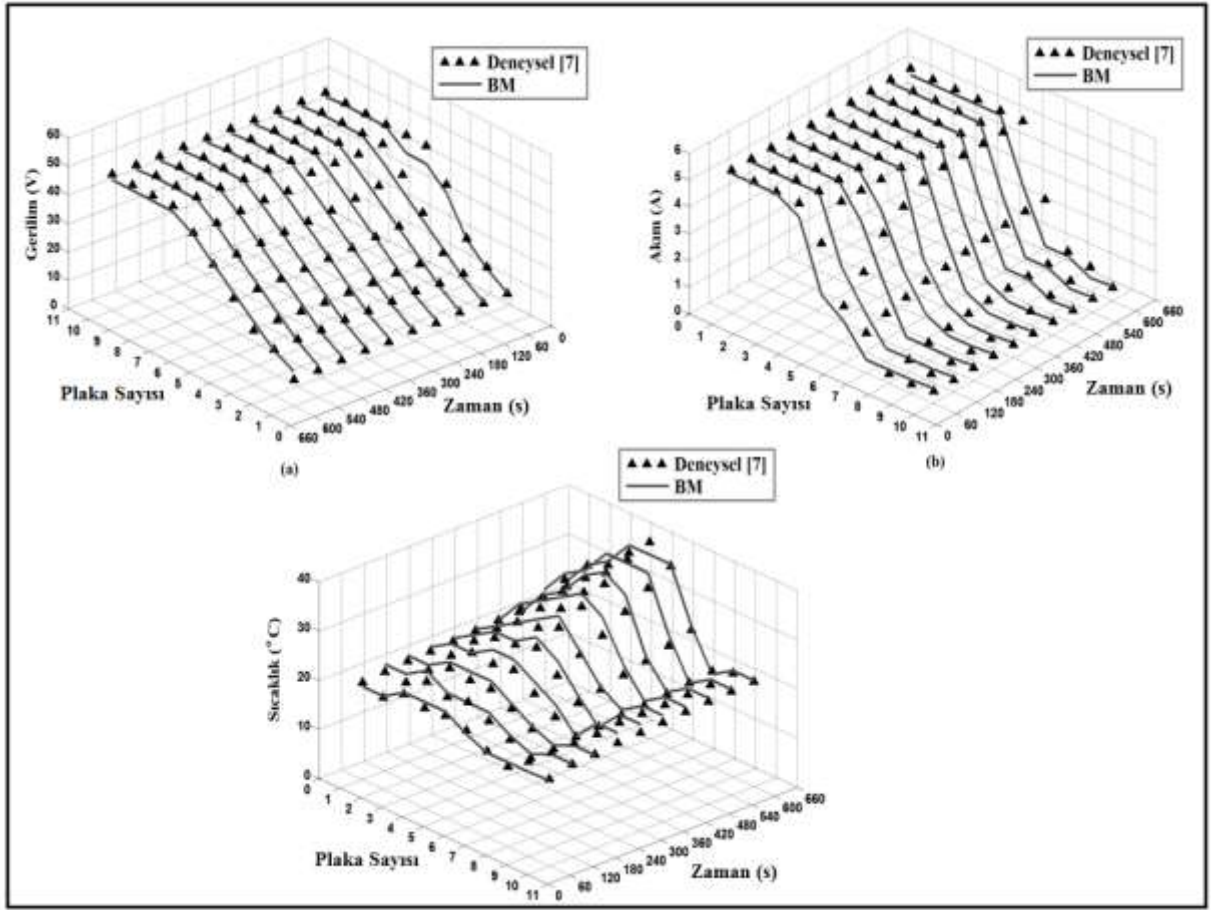


Şekil 2. (a) Gerilim değerinin bulanık mantık ile hesaplanmasına ait görüntü **(b)** HHO hücresi performansına ait bazı deneySEL veriler

Figure 2. (a) Image of calculation of voltage value by fuzzy logic (b) Some experimental data on HHO cell performance

Şekil 3a-3c, BM ile deneySEL verilerin sırasıyla voltaj, akım ve sıcaklık değerlerinin zaman ve plaka sayısına göre değişiminin karşılaştırmasını göstermektedir (plaka numarası = 1-10; t = 60-600s). Bu karşılaştırma sonucunda bulanık mantık değerleri ile gerçek değerlerin birbirlerine oldukça uyumlu olduklarını görmekteyiz.

- Sistem 6 ya da daha fazla plakaya sahip ise, voltaj değeri stabildir, ancak 6 ya da daha az plakaya sahip ise voltaj zamanla azalır (Şekil 3a).
- Akım değeri zamanla ve plaka sayısı arttıkça azalmaktadır, 3 veya daha az plaka olduğunda akım değeri stabildir (Şekil 3b).
- Her plakada sıcaklık zamanla artmaktadır, 5 plaka olması durumunda sıcaklık maksimum değerini almaktadır (Şekil 3c).

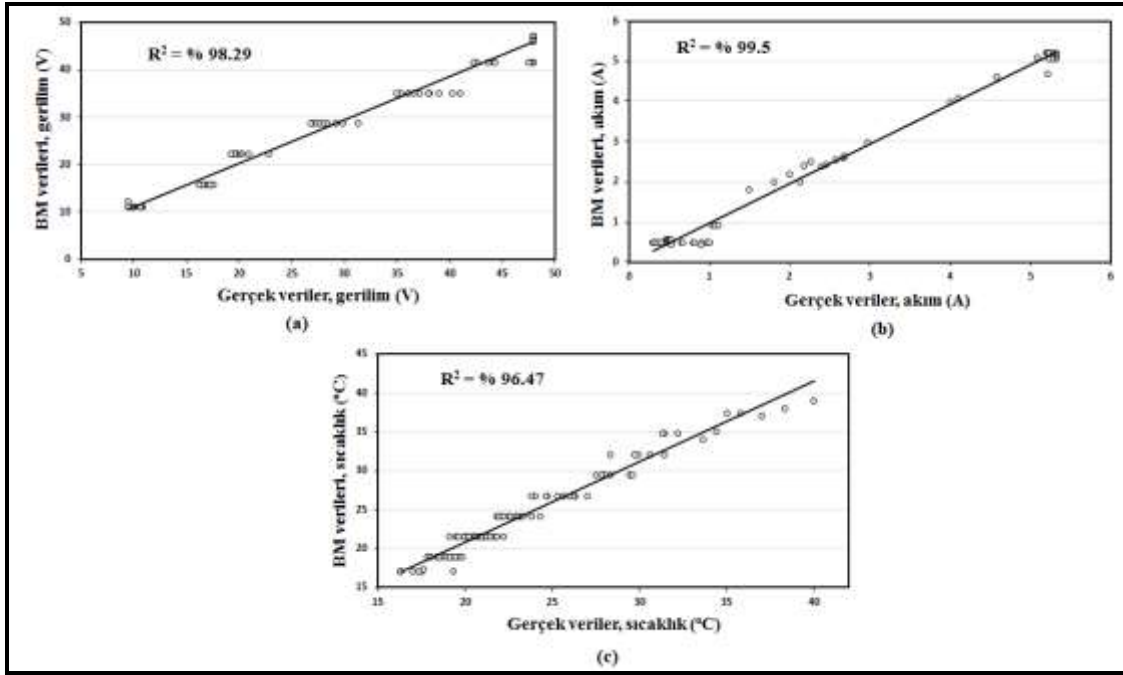


Şekil 3. Deneysel verilerin bulanık mantık verileri ile karşılaştırılması (a) Gerilim, (b) Akım, (c) Sıcaklık
Figure 3. Comparison of experimental datas with fuzzy logic datas (a) Voltage, (b) Current, (c) Temperature

Deneysel veriler ve bulanık mantık arasındaki karşılaştırma çoklu determinasyon katsayısı (R^2) kullanılarak yapılmıştır. Burada t_m , m gerçek değeri, $y_{p,m}$ tahmin edilen değeri, $\bar{t}_{m,m}$ gerçek değerlerin ortalamasını ifade etmektedir (Önal ve diğ., 2015).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n (t_{m,m} - y_{p,m})^2}{\sum_{m=1}^n (t_{m,m} - \bar{t}_{m,m})^2} \quad (13)$$

Şekil 4a-4c sırasıyla gerçek sonuçlar ile ve BM model sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. R^2 , voltaj için % 98.29, akım için % 99.5 ve sıcaklık % 96,47 'dir. Şekil 4a-4c incelendiğinde; gerçek değerler ve bulanık mantıktan elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

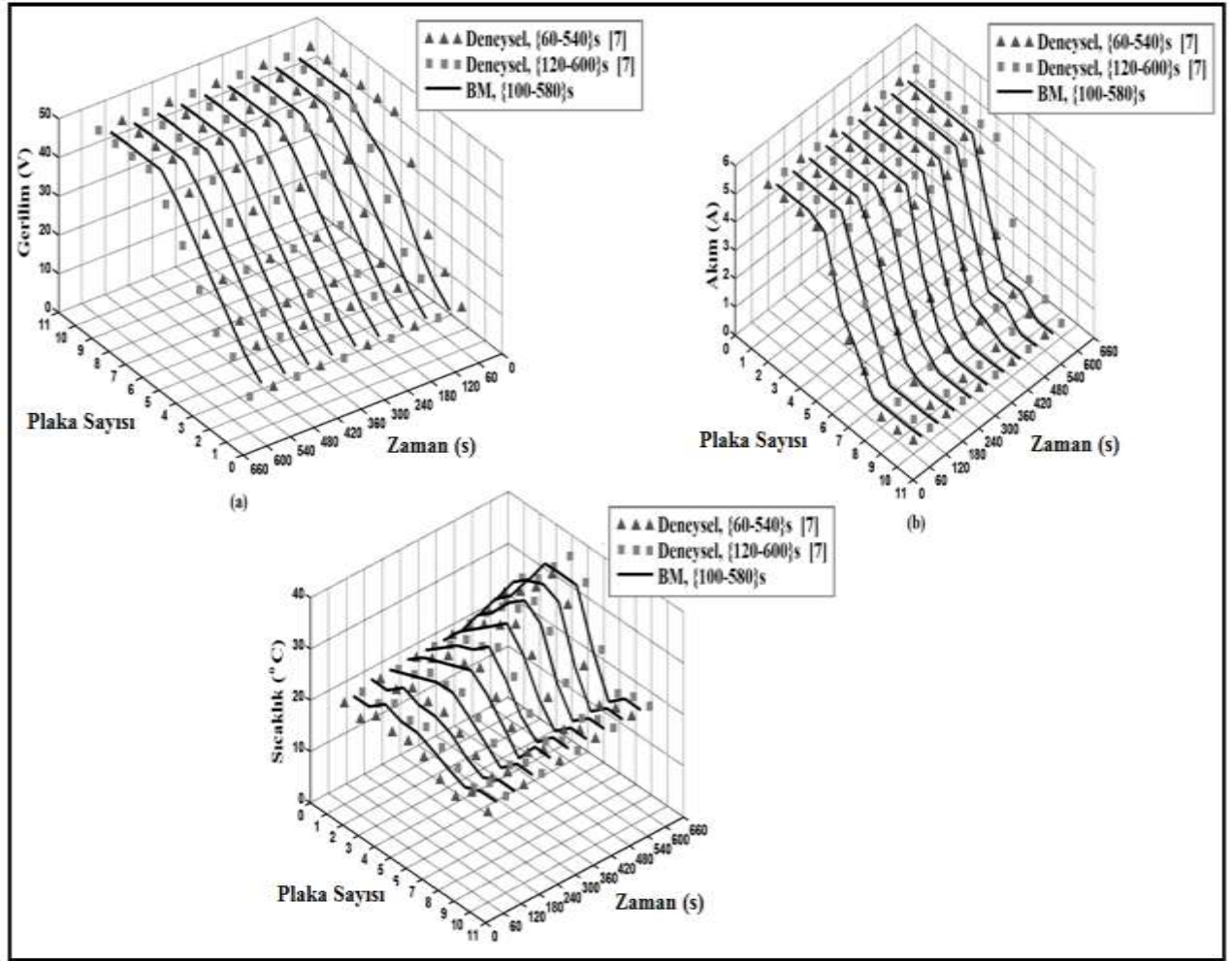


Şekil 4. Deneysel veriler ile bulanık mantık verilerinin çoklu determinasyon katsayısı ile karşılaştırılması (a) Gerilim, (b) Akım, (c) Sıcaklık

Figure 4. Comparison of experimental data with fuzzy logic data with multiple determination coefficients (a) Voltage, (b) Current, (c) Temperature

Bulanık mantık, deneyler ile elde edilmesi mümkün olmayan ara değerleri de değerlendirme avantajına sahiptir. Bu çalışmada, bulanık mantık ayrıca deneysel çalışmada elde edilmeyen değerlerin tahmin edilerek belirlenmesi için de kullanılmıştır. Gerilim, akım ve sıcaklık için deneysel çalışma sırasında elde edilmemiş 100 ve 580 saniye arasındaki 270 değer bulanık mantık yöntemi ile tahmin edilmiştir. Şekil 5a-5c, BM modeli ile tahmin ettirilerek elde edilen değerler ile deneysel verilerin voltaj, akım ve sıcaklık değerlerinin zaman ve plaka sayısına göre değişiminin karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu şekiller analiz edildiğinde aşağıdaki bilgilere ulaşılır.

- Plaka sayısı=4 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen gerilim değeri, plaka sayısı=4 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen gerilim değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=4 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5a).
- Plaka sayısı=9 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen akım değeri, plaka sayısı=9 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen akım değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=9 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5b).
- Plaka sayısı=9 ve $t=270s$ için BM modeli ile elde edilen sıcaklık değeri, plaka sayısı=9 ve $t=240s$ için deneysel çalışma ile elde edilen sıcaklık değerinden daha küçüktür, fakat plaka sayısı=9 ve $t=300s$ için deneysel çalışma ile elde edilen değerden daha büyüktür (Şekil 5c).



Şekil 5. Bulanık mantık yöntemi ile tahmin ettirilen veriler **(a)** Gerilim, **(b)** Akım, **(c)** Sıcaklık
Figure 5. Predicted datas by fuzzy logic method (a) Voltage, (b) Current, (c) Temperature

SONUÇ VE TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, HHO hücresi performansı, gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri bakımından incelenmiş ve BM yöntemi ile modellenmiştir. Geliştirilen BM model sisteminde, çıkış parametresi olan gerilim, akım ve sıcaklık; giriş parametreleri plaka sayısı ve zaman kullanılarak tespit edilmiştir. Bulanık mantık denetleyici davranışını belirlemek ve sistemin giriş-çıkış arasındaki ilişkisini tespit etmek için 243 kural belirlenmiştir. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her bir değer aynı zamanda da bulanık mantık yöntemi ile de belirlenmiştir. Bulanık mantık ve deneysel veriler arasında karşılaştırma istatistiksel yöntem olan çoklu determinasyon katsayı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek değerler ve BM model sonuçları; BM model tekniğinin başarılı bir şekilde HHO hücresi performansını belirlemede kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, gerçekleştirilmemiş deneyler BM modeli ile tahmin ettirilerek BM'nin deneysel çalışmalarda kullanılmasının önemi belirtilmiştir.

TEŞEKKÜR (Acknowledgment)

Bu çalışmanın bazı bölümleri Sadık Ata'nın Yüksek Lisans tezini içermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ata, S., 2015, PEM Yakıt Hücresinin Membran Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Ayrışımı Olayının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ata, S., Dincer, K., 2015a, "Anot Tarafı Karbon Nanotüp İle Kaplanmış PEM Yakıt Hücresi Performansının Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi", Ulusal Hidrojen Teknolojileri Kongresi UHTEK-2015, İstanbul, Aralık 2015.
- Ata, S., Dincer, K.2015b, "Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of performance proton exchange membrane fuel cell with carbon nanotube", 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, Bulgaria, June 2015.
- Berber, A., Dincer, K., Yılmaz, Y., Ozen, D.N., 2013, "Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of heating and cooling performances of counter-flow Ranque Hilsch vortex tubes with different geometric construction for steel", Energy, Vol.51, pp. 297-304.
- Bhardwaj, S., Verma, A.S., Sharma, S.K., 2014, "Effect of Brown Gas on The Performance of A Four Stroke Gasoline Engine", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.4, No.1, pp.300-307.
- Cameron, R., 2012, Effects of On-board HHO and Water Injection in a Diesel Generator, Bachelor of Engineering Research Project, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying.
- Chakrapani, K., Neelamegam, P., 2011, "Optimization of Fuel Consumption using HHO in HDL Technique Verified in FPGA", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.31, No.2, pp.140-145.
- Dincer, K., Ongun, R., Dede, O., 2013, "HHO Hücresinin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Journal of Technical-Online, Vol.12, No.3, pp.66-75.
- Gao, D., Jin, Z., Lu, Q., 2008, "Energy Management Strategy Based on Fuzzy Logic for a Fuel Cell Hybrid Bus," Journal of Power Sources, Vol.185, pp.311-317.
- Gülcan, B.2012. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.
- Hasgül, Ö., Anagün, A.S., 2005, "Deneysel Sonuçların Analizinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Beton Dayanım Testi İçin Bir Uygulama", V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul.
- Keshwani, D.R., Jones, D.D., Meyer G.E.R., Brand, M., 2008, "Rule-based Mamdani-type Fuzzy Modeling of Skin Permeability", Applied Soft Computing, Vol.8, pp. 285-294.
- Leelakrishnan, E., Lokesh, N., Suriyan, H., 2013, "Performance and Emission Characteristics of Brown's Gas Enriched Air in Spark Ignition Engine", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.2, No.2, pp.393-404.
- Madyira, D, Harding, W., 2014, "Effect of HHO on Four Stroke Petrol Engine Performance", 9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics, Somerset West.
- Önal, G., Dincer, K., Yayla, S., Yılmaz, Y., Ersoyoğlu, A., S.2015, "Pt/C Coating for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) and Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy Modeling of PEMFC Performance", International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering, Vol.3, No.3, pp.122-128.
- Özek, A., Sincen, M., 2004, "Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellemesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 10, No. 3, pp.353-358.

- Sakthivel, S., 2014, "An Experimental Assessment of Performance and Exhaust Emission Characteristics by Addition of Hydroxy (HHO) Gas in Twin Cylinder C.I. Engine", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol.3, No.2, pp.60-65.
- Shakhawat, C., Tahir, H., Neil, B., 2006, "Fuzzy Rule-based Modelling for Human Health Risk from Naturally Occurring Radioactive Materials in Produced Water", *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.89, pp.1-17.
- Tektaş, M., 2010, *Web Tabanlı Yapay Zeka Teknikleri Eğitim Simülatörlerinin Hazırlanması*, Marmara Üniversitesi BAP Komisyonu Başkanlığı Proje Raporu, pp.76-90.
- Tiryaki, A.E., Kazan, R., 2007, "Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi", *Mühendis ve Makine*, Vol. 48, sayı 565, pp.3-8.
- Tong, S.W., Qian, D.W., Fang, J.J., Li, H.X., 2003, "Integrated Modeling and Variable Universe Fuzzy Control of a Hydrogen-Air Fuel Cell System", *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.8, pp.3636-3652.
- Tosun, M., Dincer, K., Baskaya, S., 2011, "Rule-based Mamdani-type Fuzzy Modelling of Thermal Performance of Multi-Layer Precast Concrete Panels used in Residential Buildings in Turkey", *Expert Systems with Applications*, Vol.38, pp.5553-5560.
- Yadav, M.S., Sawant, S.M., 2011, "Investigations on Oxyhydrogen Gas and Producer Gas as alternative Fuels on The Performance of Twin Cylinder Diesel Engine", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol.2, No.2, pp.85-98.
- Yıldız, Ş., Kişoğlu, S., 2011, "Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hazır Giyimde Beden Numarası Belirleme", *E-Journal of New World Sciences Academy*, Vol.6, No.1, pp.12-22.
- Yılmaz, A., Ayan, K., 2013, "Cancer Risk Analysis by Fuzzy Logic Approach and Performance Status of The Model", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, TÜBİTAK, Vol.21, pp.897-912.