



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİT ALANI VE PLAKA SAYISININ HHO HÜCRESİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Abdullah IŞIKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Ağustos-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdullah IŞIKTAŞ

Tarih:19.08.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KESİT ALANI VE PLAKA SAYISININ HHO HÜCRESİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Abdullah IŞIKTAŞ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisli Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kevser DİNCER

2016, 118 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Kevser DİNCER
Prof. Dr. Şefik BİLİR
Yrd. Doç. Dr. Remzi ŞAHİN

Bu tez çalışmasında, çevreye sıfır emisyon veren temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan HHO (oksihidrojen) gazı üreten HHO kuru hücresi incelenmiştir. HHO hücresi, elektroliz yöntemiyle suyu HHO (oksihidrojen) gazına çeviren cihazdır. Bu çalışma kapsamında imal edilen HHO hücresi ile şebeke suyu kullanılarak HHO gazı elde edilmiş ve HHO Hücresinin performansı deneysel olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında, deneyler de 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 kesit alanlarında imal edilen HHO hücreleri kullanılmıştır. Her bir kesit alanı için plaka sayılarında farklı kombinasyonlar uygulanarak deneyler yapılmıştır. İncelenen performans parametreleri zaman (dk.), gerilim (V), akım (A), debi (kg/h) ve sıcaklık (^oC)'tır. Deneysel çalışmada elde edilen veriler yardımı ile HHO hücresinin performansının bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak HHO hücresinin performans analizinin bulanık mantık yöntemi ile etkili şekilde modellenebileceği ve sonuçların güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda, HHO hücresinin performansının belirlenmesinde, bulanık mantık yönteminin alternatif bir yaklaşım olabileceği belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Elektroliz, HHO Kuru Hücresi, Hidrojen Üretimi, Oksihidrojen Gazı, Performans, Yenilenebilir Enerji.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND FUZZY LOGIC MODELLING OF THE SECTION AREA AND PLATE NUMBER EFFECT ON THE HHO CELL PERFORMANCE

Abdullah IŞIKTAŞ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. Kevser DİNCER

2016, 118 Pages

Jury
Asst. Prof. Dr. Kevser DİNCER
Prof. Dr. Şefik BİLİR
Yrd. Doç. Dr. Remzi ŞAHİN

In this study, HHO cell which produce oxyhydrogen gas was examined. The HHO dry cell is clean and renewable energy source with zero emission to the environment. HHO cell converts the water to the gas with electrolysis method. Tap water was used to produce oxyhydrogen gas with HHO cell manufactured in this study.

In this study, the HHO drycell which is 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 and 11x11 cm^2 in cross-sectional area were established. In each size of the HHO cell, the tests were conducted with respect to number of plate combination. The performance parameters are time (min.), voltage (V), current (A), flow rate (kg/h), and temperature (°C). The performance of the HHO cell was obtained from the test results. With the aid of experimental data performance of the HHO cell was modeled by using fuzzy logic method. It was concluded that the performance analysis of the HHO cell can be effectively modeled with fuzzy logic method and the results were reliable. As a result, fuzzy logic model has shown satisfying relation with experimental results, which suggest it is an alternative approach to evaluation of the HHO cell performance.

Keywords: Electrolysis, Fuzzy Logic, HHO Dry Cell, Hydrogen Production, Oxyhydrogen Gas, Performance, Renewable Energy.

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli fikir ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Kevser DİNCER'e anlayışından ve her konuda gösterdiği desteğinden dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen Sadık ATA, Osman TÜRKMEN ve Ali VERİM'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük katkı ve emeğe sahip olan çok değerli eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Abdullah IŞIKTAŞ
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 3
1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları 7
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları 8
1.2. Hidrojen Enerjisi 9
1.2.1. Hidrojen Enerjisinin Avantajları 11
1.2.2. Hidrojen Enerjisinin Dezavantajları 12

2. HHO (OKSİHİDROJEN) HÜCRESİ **13**

2.1. Genel Özellikleri 13
2.2. HHO (Oksihidrojen) Gazı ve Kullanım Alanları 15
2.2.1. HHO (Oksihidrojen) Gazının Özellikleri 16
2.2.2. HHO (Oksihidrojen) Gazının Kullanım Alanları 16

3. BULANIK MANTIK **20**

3.1. Yapay Zeka Nedir? 20
3.2. Bulanık Mantık Kavramı ve Özellikleri 21
3.3. Bulanık Mantık Tarihçesi 22
3.4. Bulanıklık-Olasılık ve Random Sistemleri Nedir? 24
3.5. Bulanık Mantık Avantaj ve Dezavantajları 24
3.6. Bulanık Küme Kavramı Nedir? 25
3.7. Üyelik Fonksiyonu Nedir? 26
3.7.1. Üçgen üyelik fonksiyonu 28
3.7.2. Yamuk üyelik fonksiyonu 29
3.7.3. Gauss üyelik fonksiyonu 30
3.8. Bulanık Mantık Modelinin Çalışma Prensibi 31

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI **32**

4.1. HHO (Oksihidrojen) Gazı ve Hücresi İle İlgili Yapılan Çalışmalar 32
4.2. Bulanık Mantık Modeli İle İlgili Yapılan Çalışmalar 39

5. MATERYAL VE YÖNTEM **42**

5.1. Deneysel Çalışma 42

5.1.1. Deneysel Sistem 42
5.1.2. HHO Hücresi Demontajı 53
5.1.3. HHO Hücresi Montajı 53
5.1.4. HHO Hücresi Çalışma Prensibi 56
5.2. HHO Hücre Performansının BM Yöntemiyle Modellenmesi 61
5.2.1. HHO Hücresinin BM modelinin oluşturulması 62
5.2.2. Dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi 63
5.2.3. Giriş- Çıkış Üyelik Fonksiyonlarının Kural tabanın oluşturulması 65

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 69

6.1. HHO Hücresi Deney Sonuçları 69
6.1.1. KA'ı 9x9 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analiz ve Sonuçları 69
6.1.2. KA'ı 10x10 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analizleri ve Sonuçları 75
6.1.3. KA'ı 11x11 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analizleri ve Sonuçları 81
6.1.4. Tuzlu Su ve KOH Kimyasal Bileşikleri ile Yapılan HHO Hücresi Deney Analiz ve Sonuçları 87
6.1.5. Üç Farklı Kesit Alanındaki Aktif Plakaların HHO Hücresi Deney Analiz Karşılaştırılması ve Sonuçları 88
6.2. Bulanık Mantık Modeli Analiz Sonuçları 92
6.2.1. HHO hücre performansının BM modeli analiz sonuçları 92

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 99

7.1. Sonuçlar 99
7.2. Öneriler 101

KAYNAKLAR 102

ÖZGEÇMİŞ 108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

H_2	: Hidrojen
O_2	: Oksijen
^oC	: Sıcaklık (Santigrat derece)
Cr	: Krom
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbondioksit
KOH	: Potasyum hidroksit
K_2CO_3	: Potasyum karbonat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NaCl	: Sodyum Klorür (Tuz)
Ni	: Nikel
A	: Akım (Amper)
dak.	: Zaman (dakika)
kg/h	: Debi (kilogram/saat)
V	: Gerilim (Volt)
Amper/cm^2	: Akım yoğunluğu
Volt/cm^2	: Gerilim yoğunluğu
Watt/cm^2	: Güç yoğunluğu
cm^2	: santimetre kare

Kısaltmalar

HHO	: Oksihidrojen Hücresi (Hidroksi Hücresi)
BM	: Bulanık Mantık
KNT	: Karbon Nanotüp
PEM	: Polimer elektrolit membran yakıt hücresi
KTMTBM	: Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık Modelleme
DS	: Deneysel Sistem
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EMF	: Elektromanyetik Gerilim (ElectroMagnetic Threats)
KA	: Kesit Alanı

1. GİRİŞ

18. yüzyılın sonları ve 19. yüzyılın başları arasında hayata geçen sanayi inkılabı ile birlikte belli başlı kentlerde insan nüfusunun artışına sebep olmuştur. Zamanla bu kentler en kalabalık şehirler haline gelmiştir. Bu kentlerde artan nüfus ile beraber sanayileşmenin gelişmesi yeni sorunlar ortaya çıkarmıştır. Bu sorunların birçoğu sadece bu şehirlerin sorunları olmaktan çıkıp küresel sorunlar haline gelmiştir. Ortaya çıkan sorunlar ise, sanayi sektöründeki atıkların meydana getirdiği iklimdeki değişimler, su ve hava kirliliği ile birlikte asit yağmurları gibi önemli sorunlardır. Yeryüzünde ortaya çıkan bahsettiğimiz tüm olumsuzluklara, sanayi sektöründe enerji kaynağı olarak kullanılan hiç bitmeyecekmiş gibi şuursuzca ve aşırı bir halde tüketilen kökeni karbon olan fosil yakıtlar neden olmaktadır (Sarıkaya, 2010).

Enerji, üretim kademelerinin meydana gelmesi ve insanı ilgilendiren bütün faaliyetler için lazım olan kaynağın temelidir. Sürdürülebilir gelişmenin sosyal, çevresel ve ekonomik yanlarının araştırılmasında önemli bir etkendir. İnsanlığın inkişafı ile birlikte enerji gereksinimi de durmaksızın artmaktadır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli ihtiyaç kaynağı enerjidir. Her ne kadar tam bir gösterge olmasa da ülkelerin ilerleme seviyeleri, üretip harcadıkları enerji ile doğru orantılıdır. Endüstrileşme ile ortaya çıkan buhar gücü ihtiyacı, ham maddesi kömür olan fosil yakıt kullanımını yükseltmiştir. Buna müteakip elektrik enerjisinin yeni yeni kullanılması ve içten yanmalı motorların kullanım sahasının yaygınlaşması ile elektrik üretiminde ham maddesi petrol ve kömür gibi fosil yakıtların kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Nitekim endüstri ve şehirler için en önemli ham madde kaynağı; kömür, doğal gaz, petrol vb. gibi fosil yakıtlar olmuştur (Yıldızbilir, 2006).

Dünyadaki nüfusun fazlalaşması, teknolojideki gelişim ve sanayileşme enerji tüketiminin hızla artmasına sebep olmuştur. Enerji arzının giderilmesinde kullanılan fosil kaynaklı yakıtlarda ise birden çok sorunla karşılaşılmıştır. Bu sorunlar, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin hızla azalması ve ileriki yıllarda bitme ihtimalinin olması ve bu fosil yakıtların yanması ile meydana gelen zehirli gazların sebep olduğu olumsuz çevresel etkiler olarak sayılabilir. Bu sebeple enerji gereksinimini karşılamak için temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını arayış zorunlu hale gelmiştir (Yılmaz, 2006).

Fosil yakıtların kullanımı günümüzde büyük şehirlere ait bir tehlike olmaktan çıkıp artık dünyamızı etkileyen bir çevre tehlikesi olmaya başlamıştır. Hem yeryüzü için büyük tehlike olan hem de şuursuzca tüketilmesinden ötürü kısa bir süre içinde biteceği

düşünülen karbon kökenli fosil yakıtların alternatifi en kısa sürede bulunmalıydı. Bu sebeple çevre dostu yani çevreye zarar vermeyen ve güneş durdukça kaynak olarak değerlendirebileceğimiz bitmeyen enerji kaynaklarını kullanmaya ve yaygınlaştırılmaya sevk etmiştir. Daha yaşanabilir bir gelecek için elde bulunan enerji kademelerindeki tüm imkânları bu enerji kaynakları yatırımında kullanmak çok yerinde olacaktır. Bu sebeple temiz ve alternatif çevre dostu enerji kaynaklarına yöneliş artık bir ihtiyaç halini almıştır (Hocaoğlu ve ark., 2007).

Hiç şüphe ki çağımızın en önemli kavramlarından biri de sürdürülebilirliktir. Kaynağın beslediği sistemin sürdürebilir olması için, tükenmeden ve en yüksek düzeyde verim alınması gerekmektedir. Fosil yakıtlar hiç bitmeyecek gibi düşünülüp fütursuzca harcanmıştır. Hem atıklardan dolayı yeryüzünü yaşanmaz hale getirmiş hem de üretim için ihtiyaç olan hammaddenin süratli bir şekilde bitmesine sebep olmuştur. Bu belirti sürdürülebilir bir sistem belirtisi arasında yer almamaktadır (Sarıkaya, 2010).

Enerjide sürdürülebilirlik üç ana maddeye dayanır.

• Enerjinin tasarrufu ve etkin bir şekilde kullanılması.

• Çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, bu alanla ilgili teknolojik ve bilimsel araştırma ve projelerin çoğaltılması, hem hava kirliliğini engelleyecek hem de sürdürülebilir bir enerji siyaseti izlenmesi.

• Yenilenebilir enerji tabanlı teknolojilerin iyileştirilmesi, bununla ilgili yeni stratejiler geliştirilmesi, bölgelerin yenilenebilir enerji kaynakları kapasitesinin tespit edilmesi.

Yenilenebilir enerji (kaynakları), durmaksızın devam eden doğal süreçlerde meydana gelen enerji akışından elde edilen enerji çeşididir (Sarıkaya, 2010).

Alternatif enerji kaynakları doğrudan kullanılabildiği gibi enerjinin başka bir türüne dönüştürülerek te kullanılabilir. “Yeryüzündeki petrol kaynaklarının 40 yıl, doğalgaz kaynaklarının 67 yıl ve kömür kaynaklarının 227 yıl sonra düşünülmektedir. Dünya elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık olarak % 64.5’i fosil kaynaklı yakıtlardan (% 38.7 kömür, % 18.3 doğal gaz, % 7.5 petrol), % 7’si nükleer enerji, % 16.5’i hidrolik enerji ve % 13’ü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından meydana gelmektedir. Bu verilerden anlaşılacağı üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının bundan sonraki safhalarda çok daha önem arz edeceğini ve yenilenebilir enerji alanına yapılacak yatırımların süratle artacağını göstermektedir (Erkınay, 2012).

Hidrojen yenilenebilir enerji kaynakları içinde verim açısından en iyisi ve en kullanışlı olandır. Hidrojenin, enerji taşıyıcısı olması, üretilmiş enerjiyi bir yerden başka bir yere taşıyabilmesi anlamına gelmektedir. Hidrojen fosil temelli kaynaklardan elde

olunacağı gibi, alternatif enerji kaynaklarından da temiz bir halde elde edilebilir. Hidrojen hareketsiz güç üretme tesislerinde, ulaştırma sektöründe, içten yanmalı motorlarda veya yakıt hücrelerinde kullanılabilir ve bunun sonucu ortaya çıkan atık sadece sudur (Fettah, 2010).

Türkiye gibi gelişme kapasitesi ve teknoloji alanında geçişi hızlı olan ülkeler açısından uzun vadede fotovoltaik panellerden elde edilecek elektrik enerjisi ile suyun elektrolizinden hidrojen sağlayan güneş-hidrojen sistemi yaygınlaşması düşünülmektedir (sakarya, 2015).

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynağı genel anlamda; enerji kaynağından sağlanan enerjiye eşit miktarda veya kaynağın bitme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tarif edilebilir. Örneğin, güneşten elde edilen enerji ile çalışan bir teknoloji bu enerjiyi harcar, fakat tüketilen enerji toplam güneş enerjisinin yanında çok küçük kalır. Bu nedenle, yenilenebilir enerjinin; insanlar, tesisler ve hayvanlar tarafından kalıcı olarak sarf edilmesi mümkün değildir. Yenilenebilir enerji çeşitlerini genel olarak şu şekilde sıralayabiliriz; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik (su) enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir (Şahin, 2010).

Temiz, güvenilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artmasının neticesinde yenilenebilir enerji önem kazanmaya başlamıştır. Küresel ısınmanın artışı, iklimdeki değişim ve çevre bilincinin gelişmesi ile birlikte dünya geleceği açısından zararlı olmayan, kirliliğe neden olmayan yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu nedenle 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü ve devamında Durban'da yapılan konferans ve (Chiaroni ve F., 2014) 2012 yılındaki Doha konferansı çevrenin önemini vurgulayarak emisyon salınımlarının azaltılmasına çalışmaktadırlar. Bu çalışmalarda üzerinde önemle durulan kısım, emisyon salınımlarının aşağılara çekilmesinde en etkili yöntemin fosil kaynakların alternatifi olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve kapasitesi açısından Türkiye zengin bir ülkedir. Türkiye'miz, birçok ülkede olmayan jeotermal enerjide dünya kapasitesinin %8'ine sahiptir. Türkiye, coğrafi şartları sebebiyle büyük oranda güneş enerjisi almaktadır. Ülkemiz, hidrolik enerji kapasitesi bakımından da dünyanın sayılı ülkelerindendir.

Ülkemiz, rüzgâr enerjisi kapasitesi açısından 160 TWh olduğu düşünülmektedir. Bu enerji kaynaklarının maliyetleri oldukça azdır, yenilenebilir olduklarından dolayı bitmezler ve fosil yakıtların tersine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehlike meydana getirmezler (Gençoğlu, 2012).

Eski teknolojilerin terk edilmesinin temel nedenlerinden biri enerji üretimi ve kullanımı sırasında yaşanan çevre sorunlarıdır. Kömür, petrol ve doğalgaz santrallerinin kuruldukları bölgede bölgesel olarak çevreye verdikleri zararın yanında küresel olarak tüm dünyayı tehlike altına alan etkileri de bulunmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında atmosfere yayılan karbon dioksit, kükürt dioksit, azot oksit, toz ve kurum yakın çevreyi kirletip ölümlere neden olurken, karbon dioksit ve benzeri gibi sera gazları küresel iklim değişikliğine sebep olmakta ve tüm dünya ülkelerinde yaşamı daha zor hale getirmektedir (Gençoğlu, 2012).

Türkiye %67 oranında enerji kaynağı karşılama bakımından dışarıya bağımlıdır. Elektrik üretimi için satın aldığımız kömür, petrol ve doğalgaz için harcadığımız para ile rüzgâr enerjisi santralleri, güneş enerjisi panelleri veya hidrojen enerjisi için yatırımlar yapılmış olsa çok daha başarılı bir netice elde edilmiş olacaktı (Teiaş, 2015).

Türkiye'nin enerji kaynakları araştırıldığında temiz enerji kaynakları kapasitesinin küçümsenmeyecek derecede olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte çevre dostu ve temiz yenilenebilir enerjiden istenildiği kadar faydalandığımızı söyleyemeyiz. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesi açısından zengin bir ülke olduğumuzdan bu enerjilerin sarf edilmesi ülke bütçesine önemli faydalar sağlayacaktır. Ülkemizin enerji üretimi araştırıldığında büyük bir kısmının fosil kaynaklı termik santrallerden elde edildiği gözlemlenmektedir. 2010 yılı sonu itibariyle Ülkemizin kurulu gücü 49562 MW'tır. Bu güçle 210119,76 GWh'lik bir enerji üretilmektedir. Bu kurulu gücün dağılımına baktığımızda; bunun 264 santral ve 32317 MW kurulu güç ile %65,2'si termik santrallerinden oluşmakta, 259 santral ve 15831 MW kurulu güç ile %31,94'ü hidroelektrik santrallerinden ve 41 santral ve 1320 MW kurulu güç ile %2.84'ü rüzgâr santrallerinden ve jeotermal enerjiden elde edilmektedir (Demirkol, 2013).

Güneş enerjisi santralinde ise, Konya Kızören'de bulunan ve 18,5 MW'lık ilk fazı devreye alınan toplam 22,5 MW kapasiteli Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi santralinin resmi açılışını 4 Mayıs 2016 Çarşamba günü gerçekleştirdi.

Toplamda 430 bin m^2'lik alana kurulan Konya Kızören Güneş Enerji Santrali'nin, yıllık olarak toplamda 30.730.000 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmesi planlanıyor. En

yüksek kalitede ekipmanların kullanıldığı Konya Kızören Güneş Enerjisi Santrali "online scada" mimarisine sahip Türkiye'deki tek Güneş Enerjisi Santrali olma özelliğini taşıyor.

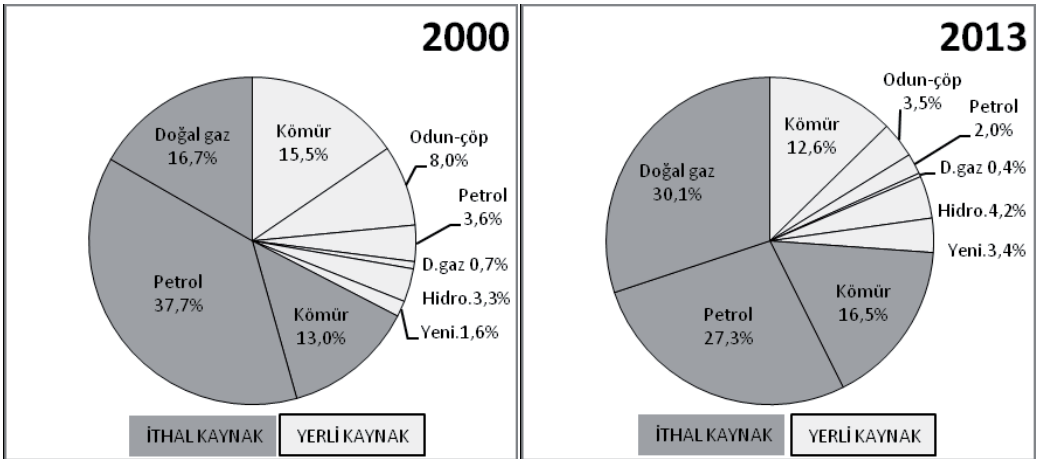
Türkiye'de örnek olarak gösterilebilecek ekipmana sahip olan Konya Kızören GES, yüksek verimli sistem tasarımı ve uzaktan izlenebilme özelliği ile üretim verilerini anlık takip etme fırsatı da sağlıyor.

Temiz ve sınırsız enerji kaynağı olan güneş enerjisinin, teknolojik alt yapı ve Tekno Ray Solar'ın uzman tasarım ekibiyle birleştiği bu proje ile yıllık 45 bin ağacın kesilmekten kurtarılması ve ortalama 18 bin ton CO_2 salınımının engellenmesi hedefleniyor.

Tekno Ray Solar, 2016 yılı içerisinde kurulumu gerçekleştirilecek toplamda 60 MW Güneş Enerjisi Santrali ile yatırımlarına devam etmeyi planlıyor (teknoraysolar 2016).



Şekil 1.1. Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi santrali Konya Kızören Güneş Enerjisi Santrali (teknoraysolar 2016).



Şekil 1.2. Türkiye Enerji Tüketiminde Kaynak Payları (mmo, 2016).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)'nin 2015–2019 stratejik planında, elektrik üretiminde çok iddialı hedefler yer almaktadır. 2013 elektrik tüketiminde öngörülen artış %5,40 iken, tüketim yalnızca %2,43 artmış, üretim ise %0,1 oranında azalmıştır. 2014 için talepte yıllık bazda %5,5 artış öngörülürken, geçici verilere göre, 250,4 milyar kWh olarak gerçekleşen üretim %4,26, 255,5 milyar kWh olarak gerçekleşen tüketim ise %3,71 oranında artmıştır (mmo, 2016).

Stratejik Plan Belgesi'nde, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesiyle ilgili olarak aşağıdaki 2019 hedefleri bulunmaktadır:

- Yerli kömüre dayalı elektrik üretiminin 60 milyar kWh'a,
- HES'lerin kurulu gücünün 32.000 MW'a,
- RES'lerin kurulu gücünün 32.000 MW'a,
- JES'lerin kurulu gücünün 700 MW'a,
- GES'lerin kurulu gücünün 3.000 MW'a,
- Biyokütleye dayalı kurulu gücünün 700 MW'a çıkarılması,
- Ayrıca Akkuyu Nükleer Güç Santralinin (NGS) test üretimine başlaması, Sinop NGS'nin inşatına başlanması, üçüncü NGS hazırlıklarının sonuçlandırılması hedefleri yer almaktadır (mmo, 2016).

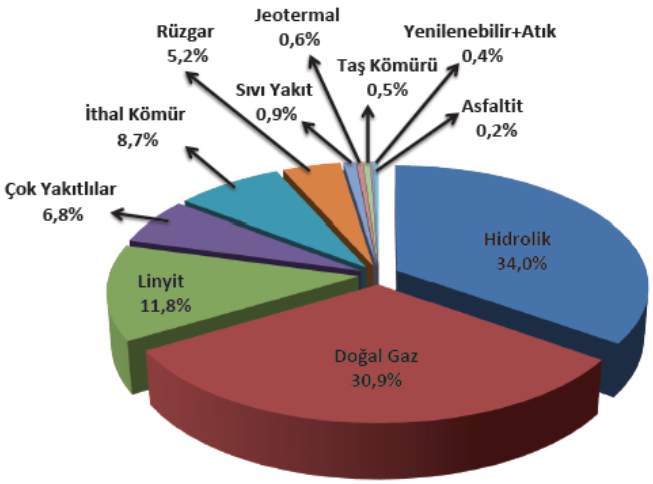
Elektrik üretimi için kurulu güç, 2013 sonunda 64.007,5 MW iken, 2014 sonunda %8,6 artışla 69.516,40 MW'a ulaşmıştır. Aşağıdaki tabloda, hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç 23.690,90 MW ile birinci sırada yer almaktadır. Doğal gaz santralleri ise 21.476,10 MW ile ikinci sıradadır. Ancak katı, sıvı ve gaz esaslı çok yakıtlı santrallerin de, çoğunlukla gaz yakıtla çalıştığı dikkate alındığında, doğal gaz yakıtlı santraller kurulu güç içinde ilk sırada yer almaktadır (mmo, 2016).

Yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalar, önümüzdeki on yılda, sürdürülebilir enerji için gerekli olan yenilenebilir enerji sistemlerinin hızla çoğalmasına, ekonomik büyüme yanında yeni teknolojilerin geliştirilmesine, geleceği olan yeni işlerin oluşmasına imkân sağlayacaktır (Jesu´s, 2008; Paska ve ark., 2009; Dalton ve Lewis, 2011).

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin hidroelektrikte %36'sının, rüzgâr enerjisinde %2,8'inin, jeotermalde ise sadece %16'sının işletilmesine karşın, doğalgazı ithal ettiğimiz gibi elektrik üretiminin %60'ının doğalgazdan karşılanıyor olması, ülke dengesi açısından çok kritik bir uygulamadır (Yorgancılar, 2013).

Tablo 1.1. Kaynaklara Göre Kurulu Güç (2014 Sonu İtibarıyla) (mmo, 2016).

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç Payı (%)
Hidrolik	23.690,9	34,0
Doğal Gaz	21.476,1	30,9
Linyit	8.238,4	11,8
İthal Kömür	6.062,6	8,7
Çok Yakıtlılar (Katı+sıvı)	4.741,8	6,8
Rüzgar	3.629,7	5,2
Sıvı Yakıtlılar	523,8	0,8
Taş Kömürü	335,0	0,5
Jeotermal	404,9	0,6
Asfaltit	135,0	0,2
Yenilenebilir +Atık	288,1	0,4
Toplam	69.516,4	100,0



Genel olarak enerji tüketimini ele aldığımızda artan enerji talebi karşısında bununla doğru orantılı artan bir enerji tüketimi görülmektedir. Sonuç olarak, Türkiye artan nüfus, sanayileşme gibi temel nedenlerle ülke içindeki enerji kaynaklarının yetersizliği nedeniyle dışarıdan yerli tüketimi karşılayacak düzeyde enerji ithal etmektedir. Bu durum daha önce de belirtildiği gibi yeterli ve gerekli önlemler alınmadığı taktirde enerjide dışa bağımlılığın artacağı anlamına gelmektedir. Petrol'de %92, doğalgazda %98, birincil enerji kaynakları açısından %72 dışa bağımlı olan Türkiye'de hızla artan enerji fiyatları cari açığın artmasında belirleyici bir faktör olmuştur (Şimşek, 2013).

2012 yılında, yenilenebilir enerji toplam küresel yatırımı 244.000.000.000 $ oldu. 2010 seviyesine kıyasla % 8 oranında artış vardır. 2012 yılında sağlanan yenilenebilir enerji, dünyanın enerji tüketimi olarak yaklaşık % 19'unu karşıladı. Son yıllarda yenilenebilir enerji, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde güçlü artış göstermiştir (Renewables, 2014).

1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının olumlu yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Temiz olmaları,

a) Hava kirliliğini azaltmaları,
b) Su kirliliğini azaltmaları,
c) Sera etkisini azaltmaları,
d) Çekirdeksel kirliliği azaltmaları,
e) Toprak erozyonunun azalması ve flora ve faunanın korunması,

2. Yenilenebilir (tükenmez) olmaları,
3. Yerli olmaları,
4. Ekonomik olmaları,
   a) Dışsal (toplumsal) maliyetlerinin az olması,
   b) Yakıt maliyetlerinin az olması,
   c) Güvenlik maliyetlerinin az olması,
   d) İşletme maliyetlerinin az olması,
   e) Atıklarının yok edilme maliyetlerinin az olması,
   f) Ekonomik ömür sonu sökülme maliyetlerinin az olması,
5. İş alanlarının (istihdam olanakları) fazla olması,
6. Enerji sektöründe ülkenin bağımsız olmasını sağlamaları,
7. İç ve dış barışı destekleyici olmaları,
8. Çağdaş (çağcıl) olmaları,
9. Bugünkü ve gelecek kuşakların haklarına saygılı olmaları,
10. Ekolojik olmaları,
11. Toplumsal ve ekonomik gelişmeyi desteklemeleri,
12. Yakıt tekellerinin kırılmasını sağlamaları,
13. Çekirdeksel (nükleer) silahların çoğalma riskini azaltmaları (meb, 2015).

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dezavantajları

Sonuç olarak, başta çevresel üstünlükleri olmak üzere bütün olumlu özelliklerine karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının şu andaki kullanımları kısıtlıdır. Bunun çeşitli nedenleri bulunmaktadır, bunlar şöyle sıralanabilir:

1. Dışsal maliyetlerin dikkate alınmaması yüzünden ekonomik açıdan pahalı kabul edilmeleri, kredi ve finansman düzeneklerinin yetersiz olması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, bunu dengeleyecek yeterli kredi ve finansman düzeneklerinin bulunmaması.

2. Ulusal enerji plan ve politikalarında dikkate alınmaması ve öncelik verilmemesi.
3. Geleneksel (fosil) kaynakları destekleyen dolaylı ve dolaysız düzeneklerin bulunması.
4. Yasal ve yönetsel düzenlemelerin yetersiz olması.
5. Teknolojiler hakkında, bunların ekonomik ve toplumsal yararları konusunda bilgi sahibi olunmaması.
6. Teknoloji geliştirme konusunun gereğince desteklenmemesi.
7. Standartların gelişmemiş olması.
8. Çoğu ülkede üretime yönelik alt yapının bulunmaması (meb, 2015).

1.2. Hidrojen Enerjisi

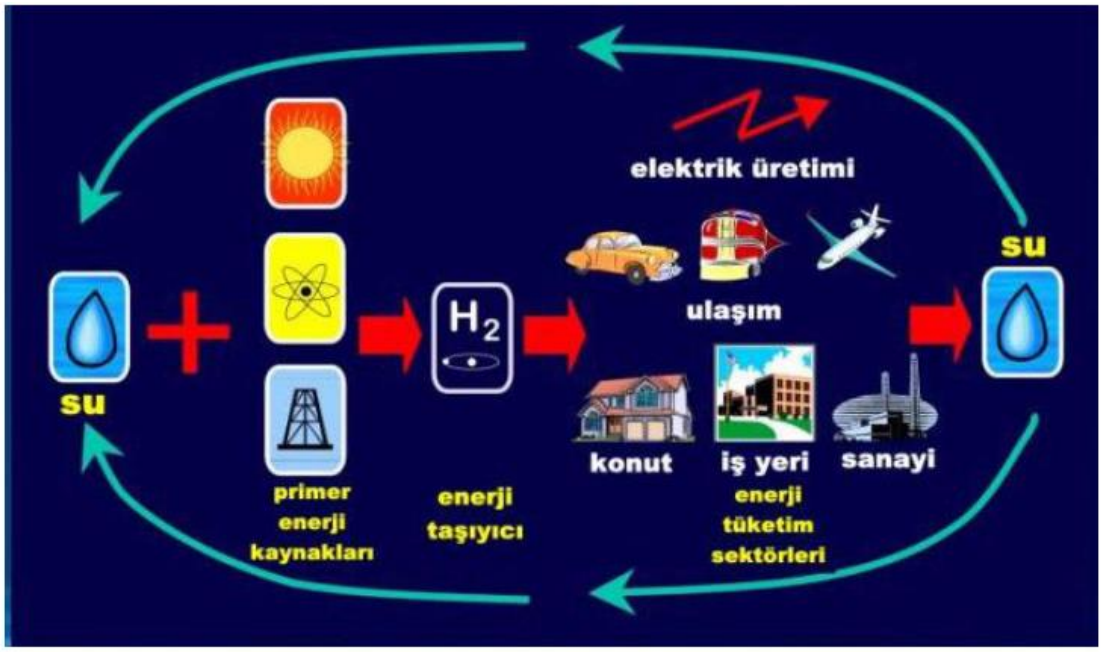
Hidrojen enerjisi yeni bir kavram değildir. Hidrojen gazı sentetik olarak ilk defa T. Von Hohenheim (Paracelsus, 1493-1521) tarafından güçlü asitlerle metalleri karıştırarak elde etmiştir. Bu kimyasal reaksiyon sonucu elde edilen bu yanıcı gazın yeni bir element olduğunun farkına varamamıştır. 1671 yılında hidrojen Robert Boyle tarafından demir çubuk ve seyreltik asit çözeltilerinin reaksiyonu sonucu yeni keşfedilmiştir. 1776 yılında Cavendish alev alan hava adında makale yayınlamıştır. Lavosier ise 1783'te suyun bileşimini bulup " Hidrojenyum" adını vermiştir (Acaroglu, 2013).

Hidrojen yeryüzünün en sade ve en çok bulunan elementidir. Havadan 14.4 kez daha hafiftir. Kokusuz, renksiz ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeyle vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, dünyamızın ana enerji kaynağıdır. Hidrojen periyodik cetvelde birinci element olup H sembolü ile gösterilmektedir. Hidrojenin yoğunluğu 0.0899 gram/litre, atom ağırlığı 1.00797, kaynama noktası -252.76 °C ve erime noktası -259.06 °C'dir. Hidrojen sıvı halde iken yoğunluğu 0.070 g/cm^3, kristal halindeki yoğunluk ise 0.088 g/cm^3'tür. Bir proton ve bir elektrondan oluşmaktadır. Nötronu bulunmayan tek element Hidrojen'dir. Hidrojenin gaz halindeki hacmi sıvı halindeki hacminin 700 katı kadardır. Bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına hidrojen en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Aynı zamanda 2.016 moleküler ağırlığı ile en hafif kimyasal elementtir. Sıvı hidrojenin birim kütlesinin ısıl değeri 141.9 MJ/kg olup, petrolden 3.2 kat daha fazla enerji vermektedir. Sıvı hidrojenin birim hacminin ısıl değeri ise 10.2 MJ/m^3'tür ve petrolün %28'i kadardır. Gaz hidrojenin birim kütlesinin ısıl değeri sıvı hidrojenle aynı olup, doğal gazın 2.8 katı kadarken, birim hacminin ısıl değeri 0.013 MJ/m^3 ile doğal gazın %32.5'i olmaktadır. Verileri daha sade bir şekilde ifade

edersek, 1 kg hidrojen 2.8 kg doğal gaz veya 3.2 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Doğada Hidrojen serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur. Hidrojenin büyük kısmı oksijenle birleşerek su (H_2O)'yu oluşturmaktadır. Sudaki üç atomdan ikisi hidrojen atomudur. Hidrojen rezervi olarak okyanuslar, nehirler ve göller geniş kullanım alanına sahiptir. Hidrojen yakıtının dönüşe bilirliği ve çok yönlü kullanımı, yanma işlemi dışında, diğer enerjilere çevrilmesine uygunluğunu gösterir (Yıldızbilir, 2006).

Hidrojen füzyon reaksiyon yöntemi ile hidrojen bombası elde edilmektedir. Hidrojen bombası atom bombasından daha kuvvetlidir. Termonükleer silah olarak ta bilinen hidrojen bombasını ilk olarak 1958 yılında ABD geliştirmiştir. 6 Ocak 2016 yılında Kuzey Kore hidrojen bombası denemesini başarıyla gerçekleştirmiş ve Punggye-ri adlı nükleer merkez yakınlarında 5,1 büyüklüğünde bir deprem etkisi meydana geldiğini Kuzey Kore resmi televizyonu açıklamıştır (Hürriyet, 2016).

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılabilecek olası kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerjidir. Türkiye gibi potansiyeli olan ülkeler de fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir. Fotovoltaik panellerden elde olunacak elektrik enerjisi ile suyun elektrolizinden hidrojen üreten bu yöntemde 1 m^3 sudan 108,7 kg hidrojen elde edilebilir ki bu 422 litre benzine denktir (sakarya, 2015).



Şekil 1.3. Hidrojen enerji sistemi (sakarya, 2015).

Hidrojen enerjisi, önümüzdeki yüzyılın en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu enerji, sudan elde edilebilmekte ve yüksek verimlilikle çevre üzerinde hiçbir olumsuz etki yaratmadan yararlı bir enerjiye çevrilebilmektedir. Birincil enerji kaynaklarının kullanılarak hidrojen üretildiği bu sisteme "hidrojen enerji sistemi" adı verilmektedir. Bu yeni enerji sisteminde hidrojen sudan elde edildiğinden atık olarak sadece su veya su buharı olmaktadır (sakarya, 2015).

1.2.1. Hidrojen Enerjisinin Avantajları

Hidrojen gazı diğer gazlara oranla maliyetli olmakla beraber uzun süreçte teknolojinin de gelişmesi ile dünyanın belli ülkelerine enerji bakımından bağımlı olarak varlığını sürdüren devletlerin birçoğu kendi enerjisini kendi üretir duruma geldiğinde dünya genelinde gözle görülür bir siyasi ve ekonomik rahatlamayı da beraberinde getireceği düşünülmektedir.

Hidrojen enerjisinin avantajları:

1. Alternatif enerji kaynakları kullanılarak yapısı karbon olan bir enerji yapısından yapısı hidrojen olan bir yapıya dönüştürülerek çevre kirliliğinin önlenmesi.
2. Hidrojen kullanımı temiz ve çevre dostu bir yakıt olması.
3. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu atık olarak sadece suyun oluşması.
4. Hidrojenin kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan; sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilen bir yakıt olması.
5. Hidrojenin diğer gazlara oranla pahalı olmakla beraber uzun vadede teknolojinin de gelişmesi ile birlikte ekonomik olması.
6. Hidrojen gazının yoğunluğu az olduğundan sızıntı anında yükselip atmosfere karışarak ortamı terk edeceğinden yangın veya patlama riski oluşturmaması
7. Fosil yakıtlara göre hidrojenin % 39 daha verimli olması.
8. Hidrojenin gaz şeklinde (büyük ölçekli depolamada), sıvı şeklinde (hava ve uzay ulaşımında) veya metal hidrat şeklinde (araçlar ve diğer küçük ölçekli depolamada) depolanabilmesi (sakarya, 2015).



Şekil 1.4. Hidrojen enerjinin kullanımı temiz bir yakıt olması ve çevre kirliliği oluşturmaması (sakarya, 2015).

1.2.2. Hidrojen Enerjisinin Dezavantajları

Hidrojen enerjisinin avantajlarının fazlalığı yanında dezavantajları da vardır.

1. Hidrojenin fiziksel özelliklerinden dolayı güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu olduğundan bir kaçak anında yer seviyesinde birikinti hâlinde kalmayarak atmosferde yükselir ve dağılır. Bunun farkına varılması güç olduğundan ekonomik kayba neden olması.
2. Diğer yakıtlara göre hidrojenin daha pahalı olması.
3. Hidrojen temiz ve kokusuz olduğu için sızıntısının gazolin veya diğer yakıtlara göre daha az fark edilmesi ve yanan hidrojenin alevinin görülmemesi (sakarya, 2015).

2. HHO (OKSİHİDROJEN) HÜCRESİ

2.1. Genel Özellikleri

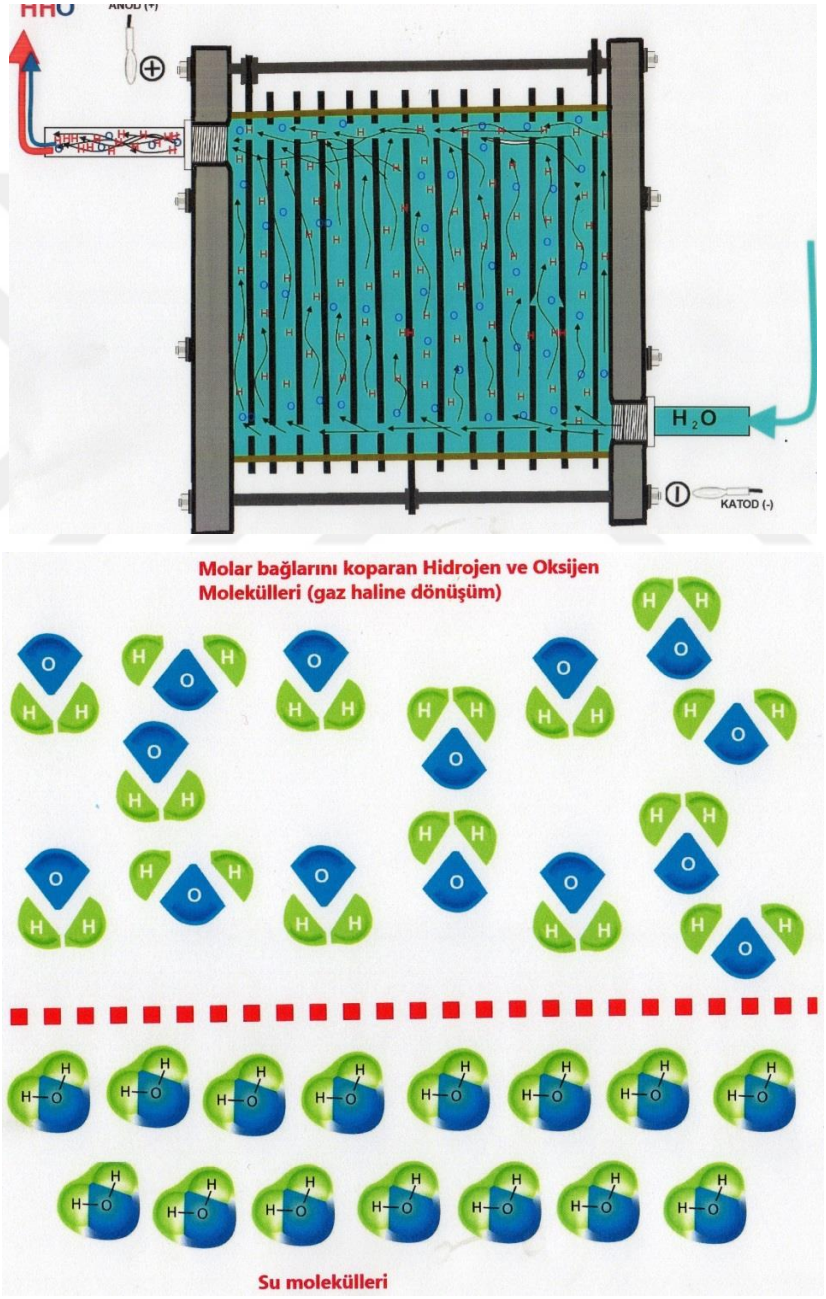
Son yıllarda kullanımı artan cihazlardan biri de HHO hücresidir (Şekil 2.1). HHO (oksihidrojen) hücresi, suyu HHO (oksihidrojen) gazına dönüştüren bir cihazdır. Cihazın çalışma mantığı suyun elektroliz yöntemine dayanmaktadır. Sisteme verilen elektrik akımı suyu moleküllerine ayrıştırmak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan akımın doğru akım olması gerekmektedir ve cihazın boyutuna göre DC akım değeri farklı akım değerleri alabilir. Paslanmaz çelik plakalar, plakaları birbirinden ayıran plastik contalar ve sistemi bir arada tutan son (mika) plakalar HHO (oksihidrojen) hücresini oluşturan parçalardır. Kullanılacak yere göre sistemin büyüklüğü ve plaka kombinasyonları farklılık gösterebilmektedir. HHO (oksihidrojen) gazının patlayıcı ve yüksek sıcaklıktaki yanıcı özelliğinden dolayı patlama ve yüksek yanma uygulamalarında kullanılabilmektedir.



Şekil 2.1. HHO Hücresi (Plus, 2016).

Oksijen ve hidrojen gazlarından oluşan gaz karışımına HHO (oksihidrojen) gazı denilmektedir. Bu gaz karışımı her türlü sektördeki kaynak işlerinde, metallerin kesme işleminde, ısıtma ve sızdırma alanlarında ve motorlarda yakıt olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Teoriksel olarak hidrojenin oranı oksijenin 2 katı olan gaz karışımına knallgas olarak da belirtilmektedir (wikipedia- Oxyhydrogen, 2015).

HHO gazının normal şartlardaki karışımı, normal atmosfer basıncı altında 570 °C sıcaklıkta kendiliğinden tutuşmaya başlar (O'Connor, 2015). HHO gazının içinde %4 - %95 oranında hidrojen olduğu zaman yanma işlemi gerçekleşmektedir. Bu gaz yakıldığı zaman harcanan her mol hidrojen gazı başına 241,8 kJ enerji açığa çıkmaktadır. Ulaşabileceği en yüksek sıcaklık 2800 °C'dir (Calvert, 2009). Kullanım alanlarına göre çeşitli yapıda ve türde HHO hücresi uygulamaları mevcuttur. Şekil 2.2'de, HHO (oksihidrojen) hücresinin ve su moleküllerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2. HHO hücresinin ve su moleküllerinin şematik gösterimi

HHO (oksihidrojen) gazı hidrojen ve oksijenin moleküler ve manyetik olarak birbirine bağlanmasıyla oluşan zenginleştirilmiş bir gaz karışımıdır. HHO gazı ortak-kanallı elektrolizlerde üretilmekte ve motorun yanma odası içine emme manifoldundan gönderilmektedir. HHO gazları yanma odasındaki kendiliğinden tutuşma sıcaklığına getirildi zaman kendiliğinden yanma olur (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)

2.2. HHO (Oksihidrojen) Gazı ve Kullanım Alanları

Dünyada kullanılan enerjinin birincil kaynağını Hidrokarbon yakıtlar oluşturmaktadır. Hidrokarbon yakıtların başlıca olumsuz yan etkileri arasında zararlı kirletici emisyonları, artan sera gazı seviyeleri, yüksek maliyetleri ve politik istikrarsızlık gelmektedir. Bu yakıtın tüketimini ve ortaya çıkan emisyonunu düşürmenin bir yolu, yakıt takviyesi olarak hidrojen gazı kullanmak olarak gösterilmiştir (Bhardwaj ve ark., 2014).

Yanma aşamasında hava girişinde hidrojen gazı ilavesi alev hızını, yalın yanma yeteneğini ve alev söndürme mesafesini arttırmaktadır. Ancak ulaşım sıkıntısı ve üretim maliyeti fazlalığı bu tür uygulama yapmayı güçleştirmektedir. Brown gaz veya hidroksi hücresi (HHO) olarak adlandırılan; suyun elektrolizi ile üretilen hidrojence zengin bir gaz, bu zorlukları çözmek için bir alternatif yakıt olarak görülmektedir (Leelakrishnan ve ark., 2013).

Kuzey Amerikalı mucit Charles Frazer 1918 yılında, içten yanmalı motorlar için hidrojen güçlendirici olarak kullanılan ilk su elektroliz makinesinin patentini aldı. 1970 ve 80'li yıllarda ise, Bulgaristan doğumlu Avustralyalı mucit Yull Brown, Brown Gazının patentini alarak bir kesme gazı ve yakıt katkı maddesi olarak özendirmeyi ve tanınır hale getirmeye çalıştı (Cameron, 2012).

2.2.1. HHO (Oksihidrojen) Gazının Özellikleri

HHO (Oksihidrojen) gazı, hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) oluşan gazların bir karışımıdır. Bu HHO (oksihidrojen) gazı karışımı meşalelesi, refrakter malzemelerin işlenmesi ve kaynak için kullanılan bir gaz karışımıdır. Teorikte hidrojen:oksijen oranı 2:1 olsada uygulamada 4:1 ya da 5:1'lik bir oran ateşleme için gereklidir. Normal atmosfer basıncında stoikiometrik bir HHO (oksihidrojen) gaz karışımı için, kendinden yanma yaklaşık 570°C (1065°F) gerçekleşir (wikipedia- Oxyhydrogen, 2015). Bir kıvılcımın bir oksihidrojen gaz karışımını tutuşturmak için gereken minimum enerji yaklaşık 20 mikrojoule (μJ) dür. Hacimsel olarak yaklaşık % 4 ile % 95 arasında hidrojen gazı olduğu zaman, standart sıcaklık ve basınçta HHO gazı (oksihidrojen) yanabilir. Tüketildiği zaman hidrojen gazının her molü için 241,8 kJ enerji açığa çıkar. HHO gazının (oksihidrojen) alev sıcaklığının ulaşabileceği en yüksek sıcaklık değeri 2800 °C'dir ki buda HHO gazının kendinden yanma sıcaklığı olan 700 °C daha fazladır (Dweepson ve ark., 2014) (Dincer, 2013).

HHO gazı çok yüksek yayılmaya sahiptir. Havada dağılma 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 dağılabilir. HHO gaz yoğunluğu çok düşüktür. İçten yanmalı bir motorda kullanıldığında bu depolama sorununa yol açar. Nitrojen gibi bir soy gaz ile karıştırıldığında daha büyük bir miktar ısı yayma özelliğine sahiptir. Bir litre sudan 1,860 lt HHO gaz üretebilmekte ve her gram sudan 34,116 kalori enerji alınmaktadır (Dweepson ve ark., 2014).

HHO gazı üreten jeneratör tasarımlarında elektrotların seçimi, iki elektrot arasındaki mesafe, elektrotlar arasındaki bağlantı, katalizörün seçimi, seviyesi, hazne seçimi, elektriksel bağlantı ve yangın koruması gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Chakrapani ve Neelamegam, 2011).

2.2.2. HHO (Oksihidrojen) Gazının Kullanım Alanları

1. **Her türlü sektördeki kaynak işlerinde;**
   a) **Takı sektörü:** HHO gazı kaynağı; türlü zincir ve dize yapıldığı platin, altın, gümüş, bakır, paslanmaz çelik, vb. için, küçük kum deliklerin tamiri, takı döküm üzerinde , takı içi onarımı (reform, döküm, kaynak).

b) **Elektronik Sanayi:** HHO gazı kaynağı; emaye tel kaynağı için, bilgisayar tel soyma, gofret açtı, alev- arıtım devre kartı, termokupl ve platin direnç tellerinin kaynağı.

c) **Tıp sektöründe:** HHO gazı kaynağı; hiçbir karbon alev dezenfeksiyonu içermeden protez kaynağı ve diş hekimliği için kaynak metali bağlantı parçaları ve kum deliklerin onarılmasında kullanılır.

d) **Laboratuvarlarda:** HHO gazı kaynağı; HHO (oksihidrojen) gazının alevi güvenli ve temiz olması nedeniyle laboratuvar içi kaynak ve öğrenim için uygundur.

e) **Diğer sektörler:** HHO gazı kaynağı; enstrüman kaynağı, bakır boru kaynağı, otomobil egzoz borusu kaynağı, olta kaynağı, akümülatör kaynağı, teneke kaynağı, aydınlatma donanım kaynağı vb. alanlarda kullanılır (Şekil 2.3) (Alibaba, 2016).



Şekil 2.3. HHO gazının değişik alanlarda kaynağı (Alibaba, 2016).

2. Metallerin Kesiminde;

Her türlü metal, karbon çeliği ve sürekli döküm levha kesimi için HHO gazı kullanımı uygundur (Şekil 2.4) (Alibaba, 2016).



Şekil 2.4. HHO gazı ile kesim işlemi (Alibaba, 2016).

3. Isıtma ve Sızdırma alanında;

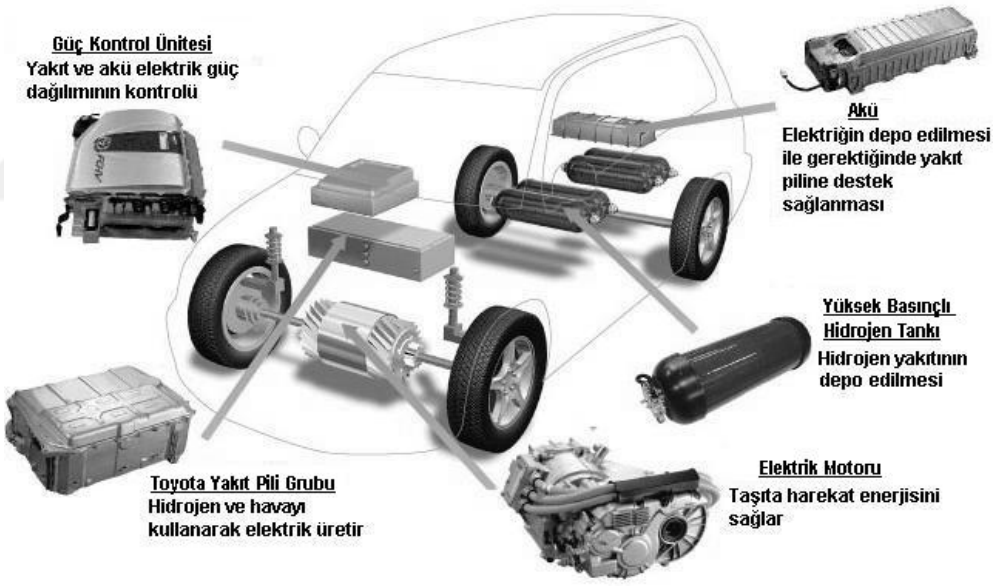
a) Metal ve ametal malzemelerin ısıtılması,
b) Cam tüp ve kuvars cam tüp sızdırmazlığında,
c) Ampul şişelerinin sızdırmazlığında,
d) Su enjeksiyon malzemelerini sızdırmazlığında,
e) Kalıp onarımı, metal potaların ısıtılmasında,
f) Güneş paneli hücresi işlemesinde (Şekil 2.5) (Alibaba, 2016).



Şekil 2.5. HHO gazı ile sıtma ve sızdırma işlemi (Alibaba, 2016).

4. Motorlarda yakıt olarak kullanma;

HHO gazının veya dönüştürülerek hidrokarbon yakıtların tüketildiği, doğru akımdan alternatif akıma dönüşümü gerçekleştirilen yakıt pilli sistemleriyle üretilen elektrik akımı, AC elektrik motorları ile aracın hareket kazandırılma olayıdır. Yani klasik motor teknolojisinde izlenen kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü ve böylelikle aracın tahrik edilmesi yerine, elektro kimyasal-elektrik dönüşümüyle aracın tahriki olayına dayanmaktadır. Bu şekilde yüksek sıcaklık, basınç ve gürültü seviyelerinde gerçekleştirilen karmaşık parçaların oluşturduğu, büyük atalet kuvvetlerinin ve titreşimlerin meydana geldiği bir mekanizma ortadan kalkmış olmaktadır. Bunun yerini düşük sıcaklıklarda çalışan, düşük gürültü seviyesine ve karmaşık hareketli parçalar oluşturmayan, düşük titreşim seviyeli bir sistemle güç üretilmektedir. Bu güçle aracın hareketi gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.6) (toyota, 2016).



Şekil 2.6. HHO gazı kullanılan taşıt sistemi (toyota, 2016).

3. BULANIK MANTIK

3.1. Yapay Zeka Nedir?

Yapay zeka, son yıllarda dikkatleri üzerine çeken bir alandır. Yapay zeka alanındaki araştırmalar, zeki davranışlara sahip bilgisayar sistemlerini geliştirmeye ağırlık vermektedir. Yapay zeka, insanın zeka gerektiren davranışlarının özelliklerini taklit eden zeki bilgisayar sistemlerini tasarlamak ve geliştirmekle uğraşan bilgisayar biliminin bir dalıdır (Dilipak, 1997).

İnsanın düşünme, akıl yürütme, kavrama, öğrenme, olaylardan sonuç çıkarma özelliklerinin tamamına zeka denir. Yapay zeka ise, insana özgü olan yorumlama, geçmiş deneyimlerden faydalanma, genelleme gibi özellikleri bir bilgisayarın ya da bilgisayara bağlı bir makinenin yerine getirme yeteneği olarak ifade edilmektedir (Kalaycı, 2006).

Yapay zeka yöntemlerinden olan yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bulanık mantık son yıllarda geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmaktadırlar. Yapay sinir ağları, insan beyninin sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programı olarak bilinir. İlgili olaya ait örnekler üzerinde çalışılarak yapay sinir ağlarına bilgiler gönderilir. Bu örnekleri kullanarak daha önceden ortaya çıkarılmış özellikler ile genelleştirme yapılarak, daha sonra çalışılacak olaylara çözüm üretmektedir. Ayrıca o zamana kadar hiç rastlanmamış olaylar hakkında da yorum yapma yeteneğine de sahiptir. Genetik algoritmalar yöntemi ise, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını içermektedir. İlgili çalışma üzerindeki bir veri demetinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir. Bulanık mantık ise, bulanık küme teorisine dayanan bir matematiksel disiplindir olarak tarif edilmektedir. Bulanık mantık insan mantığında olduğu gibi, uzun-kısa yerine, uzun-ortadan uzun-orta-ortadan kısa-kısa vb. ara değerlere göre çalışma prensibi vardır (Elmas, 2011).

Yapay zekanın ilgi alanları ise şu şekilde sıralanabilir (Gülesin, 1997).

1. Makinayı görme kabiliyeti,
2. Konuşmayı bilme,
3. Ses bilme,
4. Robotik,
5. Doğal dil işleme,
6. Desen bilme,
7. Makinanın öğrenmesi,
8. Uzman sistemler.

3.2. Bulanık Mantık Kavramı ve Özellikleri

Gerçek bir olayın olduğu şekilde kavratılması insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamıyla ile mümkün olamadığından insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorum ve çıkarımlarda bulunabilmektedir. Bilgisayarlardan farklı olarak insan yaklaşık düşünme ve oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olamayan bilgi kaynaklarına BULANIK (fuzzy) kaynaklar ismi verilmektedir (Şen, 2009).

Sözel olarak düşünen insan bilgisini sözel yolla aktarır bu da kesinlikten yoksun bir gerçeği açıklar. Bulanıklık (mantık, sistem, küme) kavramı da özellikle sözel belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bulanık mantık, incelenen bir olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına (uzman görüş) yer verilmesi ile insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine (bir çıkarım) ihtiyaç göstermesi bakımından son derece önem arz etmektedir (Şen, 2009).

Klasik mantık ilkesinin doğru ve yanlış olarak belirlediği ifadelerin arasına ara değerleri de ekleyerek bu değerleri matematiksel olarak ifade etmeye yönelik bir teori olan bulanık mantık, bir elemanın ilgili kümeye üye olma derecesine göre netice veren bir mekanizmadır. Bu üyelik derecesi, yetkin bir kişi tarafından belirlenecek olan üyelik fonksiyonu ile ölçülebilir (Dincer ve ark., 2007).

Bulanık mantık, verilerin doğru ve yanlış olmasıyla ilgilenmez. Eldeki verilerin hangi oranda doğru veya yanlış olduğuyla ilgilenmektedir. Bulanık Mantık (BM) insanın düşünme ve karar verme mekanizmasına benzer bir çalışma prensibi olduğundan, modelleme yöntemi olarak çok kullanılır. Bu çalışmada, deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulan bulanık mantık model çalışmaları anlatılmıştır.

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 bilinememesi, bağımsız değişkenlerin sayısının çok fazla olması nedeniyle hesaplamaların zor oluşu gibi olumsuz halleri gidermek için de kullanılmaktadır (Hasgül ve Anagün, 2005).

İnsanlar, bir konu hakkında karar verirken sistemi tam olarak analiz edebilmek için gerekli tüm değişkenlere sahip olmamalarına rağmen doğru kararlar verebilmektedirler. Örnek verecek olursak bisiklet ile giderken bir sokağa dönmemiz gerektiğinde, bisikletin hızını, tekerlek sürtünmesini, dönmesi gereken sokağın açı değerini, bisikletin kaç derece eğimle yana yattığını sayısal olarak bilmediğimiz halde, bisikletin üstünde bir şekilde dengede durur ve uygun bir açıyla düşmeden o sokağa döndürebiliriz. Bu karar, hiçbir matematiksel hesaplama yapılmadan doğru bir şekilde verilmesinde, insanların daha önceki deneyimleri ve algıları ile yaklaşık değerlerle karar verebilme yeteneğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Çınar, 2013).

Bulanık mantığın çalışma prensibi de insanın karar verme mekanizmasına benzemektedir. Çalışılacak sistem hakkında önceki yapılmış çalışmaları eksiksiz şekilde öğreterek, oluşturulan bulanık mantık modelinin karar vermesi istenmektedir. Klasik mantık ilkesinde yapılan bir iş ya doğrudur ya da yanlıştır. Yapılan işin bir kısmının doğru veya bir kısmının yanlış olma durumu kabul edilmez. Bulanık mantık, bu durumu kabul etmeyen, özellikle modelleme çalışmalarında bireyin daha aktif bir şekilde kullanılmasına izin veren bir yöntemdir (Kıyak ve Kahvecioglu, 2003).

Bulanıklık yalnızca zihin için söz konusudur. Herhangi bir şeyin kesin olarak tanımlanamaz oluşu onların kesin olarak kuralsız olduğu anlamına gelmemektedir. Bulanık mantık kuramı, öznenin nesnesine dair verdiği yargıdaki yüklemlerin uygulanmasında belirsizliğin yerini tutan, bu tür belirsizliklerin ve bulanıklıkların ifade edilmesini sağlayan bir mantıktır. Bulanık mantık, şeyleri ve değerleri gerçekliğe daha uygun olarak betimlemeyi amaçlayan ve bunu matematiğin elverdiği oranda başaran bir mantık silsilesidir (Işıklı, 2008).

Zadeh'e göre bulanık mantığın üç özelliği vardır;

1) Bulanık mantığın doğruluk değerleri kelimelerdir, sayılar değildir!
2) Bu kelimeler, çok doğru, oldukça doğru, çok yanlış gibi terimler içermektedir.
3) Bulanık mantığın doğruluk tabloları kesinlik içermez.
4) Çıkarım kurallarının geçerliliği için kesin doğruluktan söz edilemez (Ural, 2004).

3.3. Bulanık Mantık Tarihçesi

Bulanık mantığı bilim dünyasına kazandıran Lütfi A. Zadeh olmuştur. Berkeley'deki California Üniversitesi'nde Bilgisayar Teknolojileri ve Elektrik Mühendisliği (Computer Sciences and Electrical Engineering) bölümünün başkanı olan bu

bilim insanı, *Professioanl Biography* adlı biyografi sitesinde "bulanık mantığın babası, çok seçkin bir bilim adamı, mühendis ve sistem kuramcısı" olarak tanımlanır (Işıklı, 2010). Zadeh, 1965 yılında yayınladığı *The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets* (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Kuramı) makalesiyle bilim dünyasındaki pek çok tabuyu da yıkmıştı. Ona göre "bulanık mantık her şeyin, doğrunun da, bir derece meselesi olduğu insani akıl yürütme için bir modeldir. Temelde, sözcükle hesaplama anlamı sunmaktadır." (Işıklı, 2008).

Bulanık Mantığın kronojik sıralamasını şu şekilde özetleyebiliriz.

- Bulanık mantık, 1965 yılında ilk olarak Azerbaycan asıllı bilim adamı Lütfü Askerzade (Zadeh) tarafından matematiksel modelleme yaklaşımı olarak uygulanmıştır.
- 1975 yılında ise Mamdani ve Assilian, bulanık sistem modeli ile buhar makinesinin kontrolünü oluşturmuşlardır. "Eğer türbin hızı çok hızlı artıyorsa ve basınç da çok düşükse, buhar vanasını biraz aç" türünden kurallardan oluşan bir sistem geliştirmişlerdir.
- 1980 yılında ise Danimarka'da bulunan bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolünde ticari amaçla kullanılmıştır.
- Bulanık Mantık Batı dünyasında Japonya'da teknolojik ürünlerin geliştirilmesiyle 1985 yılları sonrasında önem kazanmıştır.
- 1987 yılında Hitachi firması tarafından Sendai metrosu bulanık mantık temeliyle gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bulanık mantık modeli ile, trenin istenen konumda durması üç kat daha iyileştirilmiş, kullanılan enerji ise %10 oranında azaltılmıştır.
- Yamaichi Securities'in geliştirdiği Bulanık Mantık temelli uzman sistem, Tokyo Borsası'nda 1988 yılının Ekim ayında kara Pazar adlı krizin sinyallerini on sekiz gün önceden haber vermiştir.
- Yaşanan olumlu gelismeler üzerine bulanık mantık çalışmalarına ilgi artmış ve 1989 yılında aralarında SGS, Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsuhita gibi dünya devlerininde bulundugu 51 firma tarafından LIFE (Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur (Ertunç, 2012).

3.4. Bulanıklık-Olasılık ve Random Sistemleri Nedir?

Bu bölümde anlamları çok fazla karıştırılan bulanıklık, olasılık ve random ifadeleri açıklanmıştır. Bulanıklığın tespit edilebilir bir belirsizlik olması olasılık kavramından farkını ortaya koymaktadır. “A elemanı %50 ihtimalle bu kümeye aittir” ifadesi olasılık kavramını açıklar, yani A elemanının bu kümeye ait olmama ihtimali vardır. “A elemanı %50 oranında bu kümeye aittir” ifadesi ise bulanıklığı açıklar. A elemanının bu kümeye hiç ait olmama durumu yoktur.

Random ile bulanıklık arasındaki fark ise sonuç kısmında ortaya çıkmaktadır. Random sistemlerde sonuç tamamen rastgele alınmaktadır, herhangi bir bilgiye veya değişkene ihtiyaç yoktur. Bulanık sistemde ise sonuç en az bir giriş değişkenine ve uzman kişinin sistem hakkında belirlediği kurallar doğrultusunda alınmaktadır (Elmas, 2011).

3.5. Bulanık Mantık Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık mantık çalışma prensibi insan düşünce sistemi ve karar verme mekanizmasına yakındır, bundan dolayı anlamak kolaydır. Uygulamasında matematiksel modelin gerekliliği yoktur. Matematiksel ifade edilişi çok zor oluşturulan sistemlerin modelinin oluşturulmasında kolaylık sağlar. Doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine izin verir (Kıyak ve Kahvecioglu, 2003).

Klasik mantıkta birşey ya tüm aittir yada değildir bulanık mantıkta ise bu, kısmen aitdir veya değildir. Bulanık Mantıkta bir dizi ya da kategoriye 'aidiyet' seviyesi sayısal 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi ile tarif edilebilir.

Bu avantajlarının yanı sıra, bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman kişilerin deneyimlerine dayanarak tanımlanması mecburiyetimvardır. Üyelik fonksiyonlarının değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem yoktur. Deneme-yanılma yöntemi kullanılır, bu yöntem de çok uzun zaman alabilir. Çünkü o sistemin nasıl bir üyelik fonksiyonuna sahip olması gerektiğine üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmış testler sonucunda karar verilir (Elmas, 2011).

3.6. Bulanık Küme Kavramı Nedir?

Bulanık kümeler klasik kümelerden oldukça farklılık arz etmektedir. Örneğin Klasik kümelerdeki keskin ve ani geçişlerin tersine bulanık kümelerdeki geçiş yumuşak ve sürekli bir şekilde olmaktadır (Şen, 2009).

Bulanık mantık yaklaşımı, makinalara insanların deneyimleri ve öngörülerinden faydalanılarak özel verilerin işlenmesi ve çalışma yeteneğini sağlamaktadır. Bu yeteneği geliştirirken, sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanılmaktadır. Makinelere bu sembolik ifadelerin transferi matematiksel bir esasa dayanmaktadır. Bu matematiksel temel; bulanık mantık küme teorisidir ve bulanık mantık bu teoriye dayanmaktadır. Bulanık mantık denetleyicinin temelini bu tür sözlü ifadeler ve onların arasındaki mantıksal ilişkiler oluşturmaktadır (Yilmaz 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 (Alibaba, 2016) ile ifade edilen üyelik dereceleri, bulanık kümede süreklilik arz eden ve [0,1] aralığında üyelik dereceleri alan elemanlardan oluşmaktadır (Gülcan B., 2012).

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki fark, Şekil 3.1 ve 3.2'de açıklanmıştır. Şekil 3.1'de klasik kümelerle boy sınıflaması gösterilmiştir. Bu kümeye göre kısa boy sınırı 159 cm ile son bulmuş, orta boy sınırı 160 cm'den başlamaktadır. Klasik mantık anlayışı, aralarında 1 cm olan iki kişiden 159 cm boyu olan kişiyi kısa grubuna dahil ederken, 160 cm boyundaki kişiyi orta sınıfına dahil etmektedir. Hemen hemen aynı uzunlukta olan iki kişiyi, boy sınıflandırılmasında farklı gruplarda göstermektedir.

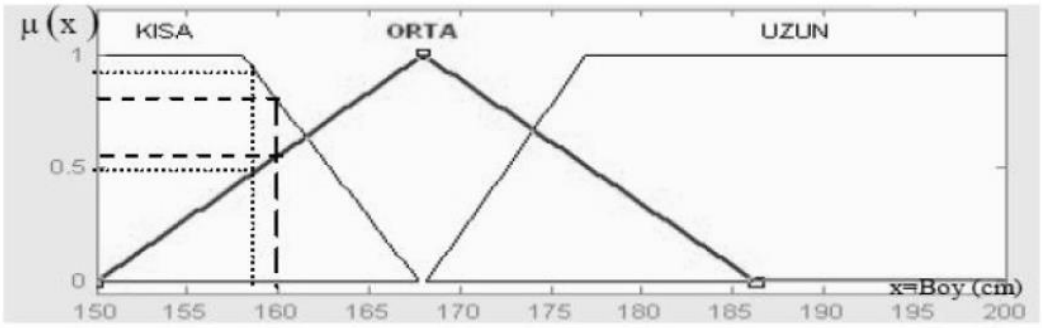


Şekil 3.2. Klasik Mantık kümelerle boy sınıflandırması (Tektas, 2014).

Bulanık mantık anlayışı ise, boy sınıflandırılması yapılırken her değerin ilgili grupta bir ağırlığının olacağını açıklamaktadır. Şekil 3.2'de gösterilen bir bulanık kümeyi örnek alırsak, orta boyun 150 cm'den başladığını üyelik derecesinin adım adım artarak 168

cm'de maksimuma ulaştığını ve 168 cm'den 186 cm'e kadar üyelik derecesinin azaldığını göstermektedir. Yani 150 cm ile 186 cm arasındaki kişilerin belli oranlarda orta sınıfına dahil olduğunu açıklar. Klasik mantık ile verilen örneği tekrarlarsak, 159 cm boyundaki kişi aşağıdaki sekle göre kısa kümesine %90 üye iken, orta kümesine %50 üye olacaktır. Aynı şekilde kendisinden sadece 1 cm uzun olan diğer kişi de %85 kısa kümesine üye, % 55'de orta kümesine üyedir.

Klasik mantık yapısına göre tamamen farklı sınıflandırmalara dahil olan iki kişi, bulanık mantık açısından değerlendirildiğinde aynı kümelere farklı oranlarda dahil olunduğu görülür.



Şekil 3.2. Bulanık Mantık kümelerle boy sınıflandırması (Tektas, 2014).

Bulanık kümede değişkenlerin bulanıklaştırılması, üyelik fonksiyonları ile karakterize edilmektedir. Bulanık veriler ile işlem yapabilmek için, belirli üyelik fonksiyonları kullanarak gerçek verileri bulanık veriye dönüştürmek gereklidir. Üyelik fonksiyonları oluşturmak için farklı yöntemler mevcuttur. Bulanık mantık yaklaşımında kurallar ve üyelik fonksiyonlarının bilgileri uzmanlardan elde edilmektedir (Bölgen, 2010).

3.7. Üyelik Fonksiyonu Nedir?

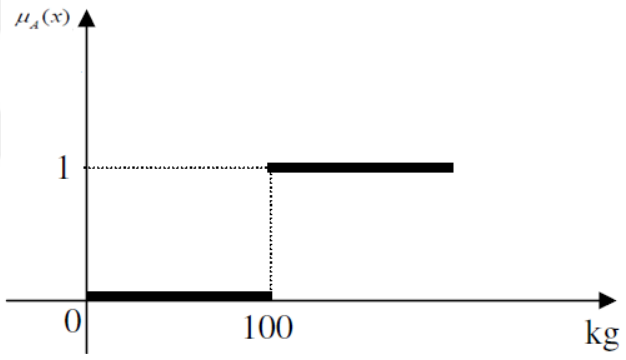
Kullanımlarını kolaylaştırmak amacıyla bulanık kümeleri temsil eden üyelik fonksiyonları (karakteristik fonksiyonlar) parametrelerine bağlı olarak formüle edilirler (L.A. Zadeh, 1973).

Üyelik fonksiyonları, değişken parametrelerin oluşturulan bulanık kümeye ait olma derecelerinin değişimini gösteren fonksiyonlardır. Bulanık küme üzerinde çalışılırken, üyelik fonksiyonu çeşitinin belirlenmesi sezgisel veya çıkarım seklinde olabileceği gibi algoritmik temelli de olabilir. Üyelik fonksiyonunun doğru bir şekilde analiz edilerek

belirlenmesi, ilgili sistemin değişkenleri ile ilgili modelleme çalışmalarında önemli hale gelmektedir (Gülcan B., 2012).

Üyelik fonksiyonu kavramı da klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki fark kullanılarak Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te açıklanmıştır. İlgili örneğimiz "Ağır malzemeler kümesi 100 kg'dan daha çok ağırlığa sahip malzemeler olsun" diye belirttiğimizde, klasik mantık kavramına göre ilgili küme, 100 kg'dan az olanlar ve çok olanlar olarak ikiye ayrılır. Az olanların üyelik derecesi 0 olurken, çok olanların üyelik derecesi 1 olur. Yani 99 kg ağırlığında malzeme ağır olarak nitelendirilmez. Bu sisteme ait üyelik fonksiyonu Denklem 3.1'de, bu fonksiyona göre oluşturulan grafikte Şekil 3.3'te verilmiştir.

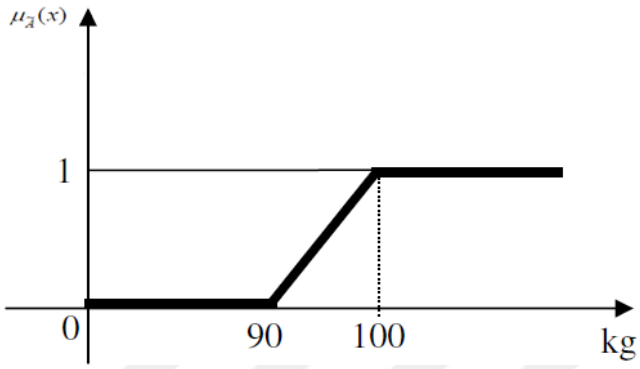
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1, & x > 100\ kg \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \qquad (3.1.)$$



Şekil 3.3. Klasik kümelerde üyelik fonksiyonu grafiği (Göksu, 2008).

Aynı örneği, bulanık mantık ilkesine göre açıklarsak, ağır malzemelerin 100 kg'da başladığı bilgisinin yanı sıra 100 kg'dan daha az ağırlığa sahip olan malzemelerin de belli oranlarda bu kümeye ait olduğu söylenebilir. Şekil 3.4'te oluşturulan bulanık küme üzerinden açıklanırsa, ağır malzeme sınırının 90 kg'da başladığı, malzemenin 100 kg'a kadar belli oranlarda ağır grubuna dahil olduğunu açıklıyor. Örneğin 95 kg gelen malzeme, klasik mantık bakımından hafif sınıfında bulunmasına rağmen, bulanık yaklaşımda %50 ağır sınıfında olduğu söylenebilir. Bu sisteme ait üyelik fonksiyonu Denklem 3.2'de, bu fonksiyona göre oluşturulan grafikte Şekil 3.4'te verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1, & x > 100\ kg \\ \dfrac{x-90}{10}, & 90 \leq x \leq 100 \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \qquad (3.2.)$$



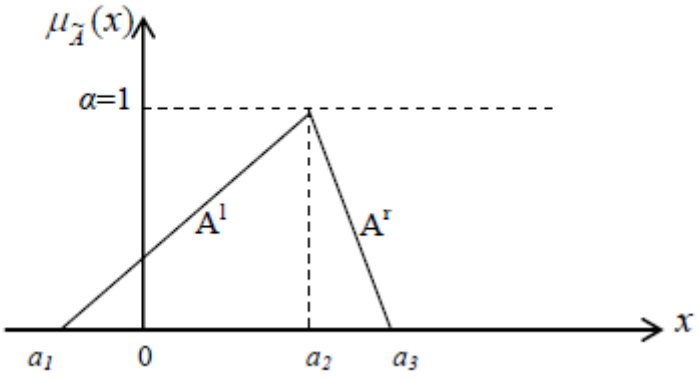
Şekil 3.4. Bulanık kümelerde iki parametreli üyelik fonksiyonu grafiği (Göksu, 2008).

Üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinin yapı taşlarıdır. Bulanık modelde bulanıklık kendi üyelik fonksiyonu tarafından belirlenir. Üyelik fonksiyonlarının şekilleri ve bulanıklaştırmanın çıkarım mekanizması üzerinde etkisi vardır. Üyelik fonksiyonlarının şekilleri üçgen, yamuk ve gauss v.b. gibi farklı şekiller alabilir.

3.7.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

En çok kullanılan üyelik fonksiyonu çeşitlerinden Üçgensel üyelik fonksiyonu, elemanları A=(a_1,a_2,a_3) şeklinde tanımlanan fonksiyonlardır. Burada, a_2 üyelik derecesinin 1 olduğu değeri, o kümenin tam olarak elemanı olduğunu, a_1 ve a_3 ise alt ve üst sınırı göstermektedir. Üyelik derecesi değerinin a_1'den itibaren arttığı , aynı şekilde a_3 değerine kadar azaldığı, a_3 değerinden sonra üyelik derecesinin 0 olduğu görülür (Lee ve ark., 2008). Bu şekilde tanımlanan üçgensel üyelik fonksiyonu Denklem 3.3'te verilmiştir. Üçgensel üyelik fonksiyonuna ait grafik, Şekil 3.5'te verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0, & x < a_1\ ve\ x > a_3 \\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \dfrac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases} \qquad (3.3.)$$

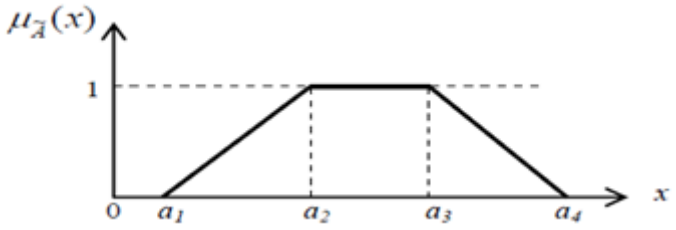


Şekil 3.5. Bulanık kümelerde üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği (Bojadziev ve Bojadsiev, 1995).

3.7.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

En çok kullanılan üyelik fonksiyonu çeşitlerinden bir diğer üyelik fonksiyonu olan Yamuk üyelik fonksiyonları a_1, a_2, a_3 ve a_4 olmak üzere dört parametre ile tanımlanır ki a_1, sistemin üyelik derecesinin artmaya başladığı alt sınır, a_2 ile a_3 arası ilgili elemanın tam olarak o kümeye ait olduğunu gösteren kısım, a_4 ise üyelik derecesinin son bulduğu kümenin üst sınırı olarak ifade edilir. Modelleme çalışmalarında, ilgili değişken aralığının bir süre boyunca tamamen o kümeye ait olması istendiğinde yamuk üyelik fonksiyonu kullanılır. Bu istenen değer a_2 ile a_3 arasında belirtilir. Bu şekilde tanımlanan yamuk üyelik fonksiyonu Denklem 3.4'te yamuk üyelik fonksiyonuna ait grafiği ise Şekil 3.6'da verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1, x > a_4 \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \end{cases} \qquad (3.4.)$$



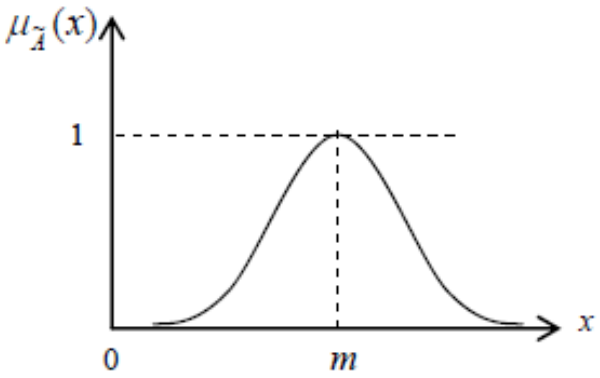
Şekil 3.6. Bulanık kümelerde yamuk üyelik fonksiyonu grafiği (Gülcan B., 2012).

3.7.3. Gauss üyelik fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu, aşağıda verilen m ve σ parametrelerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Burada σ söz konusu bulanık sayının dağılış şeklini m de dağılış merkezini gösterir. σ değeri küçüldükçe üyelik fonksiyonu dikleşirken, büyüdükçe üyelik fonksiyonu genişleyecektir (Kaya, 2007).

Bu şekilde tanımlanan gauss üyelik fonksiyonu Denklem 3.5'te yamuk üyelik fonksiyonuna ait grafiği ise Şekil 3.7'de verilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x;m,\sigma) = e^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{3.5.}$$



Şekil 3.7. Bulanık kümelerde gauss üyelik fonksiyonu grafiği (Kaya, 2007).

3.8. Bulanık Mantık Modelinin Çalışma Prensibi

Bulanık mantık modelinin çalışma prensibi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Giriş üyelik fonksiyonları tarafından bulanıklaştırma işlemi, bulanık mantık kuralları ile çıkarım mekanizması ve son olarak da çıkış üyelik fonksiyonu tarafından da durulaştırma işlemi yapılarak çıkış değerine ulaşılır.



Şekil 3.8. Bulanık mantık çalışma mekanizması (Yılmaz ve Ocak, 2008).

Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık Mantık (KTMTBM)'in bilgi tabanını bulanık eğer-ise kuralları topluluğu oluşturmaktadır. Mamdani yöntemi; giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki fonksiyonel bağımlılıkların, genel dil kullanımındaki ve-veya-değil operatörleri ile eğer-ise kurallar kümesi aracılığıyla açıklanmasını sağlayan bir modelleme yaklaşımını ifade etmektedir. Mamdani bulanık mantık modeli, her kuralın bir eğer-ise ilişkisi ile temsil edildiği bir bulanık ilişkisel modelleme çeşididir (Tosun ve ark., 2011).

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

4.1. HHO (Oksihidrojen) Gazı ve Hücresi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

(Işıktaş ve ark., 2016b), çalışmalarında, HHO (oksihidrojen) hücresinin performansını akım ve sıcaklık açısından farklı plaka kombinasyonlarındaki performanslarını deneysel olarak incelenmişlerdir. Plakaların boyutları 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 olarak belirlemişlerdir. Akım ve sıcaklık değerleri farklı plaka kombinasyonları için ölçülmüştür. Deneylerde şebeke suyu kullanılmış ve sistemin süresi her kombinasyon için 5 dakikaya ayarlanmıştır. Her kombinasyon için, HHO hücresi yeniden hazırlanmıştır. Deneysel verilerde en iyi sonucun 11x11 cm^2 kesit alanındaki kombinasyonlarda elde edildiği gözlemlenmiştir.

(Gollei ve ark., 2016), çalışmalarında, karmaşık enerji sisteminin simülasyonu için hidrojen üreten hücrenin ölçüm ve modellemesini yapmıştır. Modelleme parametreleri HHO hücrenin ayrıntılı inceleme sırasında elde edilen ölçüm verilerine dayalı yapılmıştır. Bir dizi deney optimum elektrokimyasal, (örneğin, elektrolit konsantrasyonu, geçerli değeri, vb) ve geometrik (plakalar arasındaki mesafe) parametreleri bulmak için kuru hücre üreten HHO (oksihidrojen) gaz gerçekleştirilmiştir. Hidrojen üretimi hücrenin akım ve konsantrasyona bağlı Matlab Simulink modeli yapılmıştır. Potansiyel olarak meydana gelen enerjik durumlar karmaşık enerjik sistem modelinde simüle edilmiştir. Simülasyonlarda sunulan Hidrojen üreten hücre modeli mühendislik beklentileri karşıladığını göstermiştir.

(EL-Kassaby ve ark., 2016), yaptıkları çalışmada, basit bir yenilikçi HHO üretim sistemi inşa etmek olmuştur. İçine bir motor performansı geliştirici olarak, HHO gazı ve benzin yakıtı ile birlikte motor performans ve emisyonlarına ilişkin iletkisini değerlendirmiştir. HHO hücresi, giriş gücü başına maksimum HHO gaz verimlilik için dizayn imal ve optimize edilmiştir. Nötr plakaların sayısı, bunların tipi ve iki katalizör miktarı arasındaki mesafe Potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksit (NaOH) Optimize parametreleri olarak belirlenmiştir. Skoda Felicia performansı 1.3 GLXi benzinli motor ve optimize HHO hücresine olmadan değerlendirildi. Buna ek olarak, CO, HC ve NO_x emisyonları TECNO TEST egzoz gazı analiz cihazı TE488 kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar ikisi birlikte kullanırken hücre HHO gazı azami verimlilik 18 L/h olduğunu gösterdiği belirtilmiştir.

(Gollei, 2014), yaptığı çalışmada, yapılan bir dizi deneylerde, elektrolit konsantrasyonu ve tabakalar arasındaki mesafeyi değiştirerek durma olup olmadığını kuru hücre üreten HHO gaz gerçekleştirildiğini gözlemlemiştir. KOH çözeltisi kullanıldı ve birim, örneğin, hücre gerilimi, gazı için birçok yönden gözlenmiştir. Üretim değeri olarak, ml/dak/W alınmıştır. Etkinliğindeki pikleri, 5 ve 8 g/l konsantrasyonda ve daha çok akım arasında olduğu belirlenmiş ve elektrolitin geçtiği ve gazın üretildiği belirtilmiştir.

(Dincer, 2013), yaptığı çalışmada, deneysel olarak HHO hücresinin performansını incelenmiştir. Değişik plaka kombinasyonları için; akım, gerilim ve sıcaklık performans verileri olarak belirlenmiştir. Deneyin çalışma zamanı 10 dakika olarak belirlemiştir. En yüksek sıcaklık değeri olarak 38 ^{o}C olduğu belirtilmiştir. Bu sıcaklık değeri deneydeki en yüksek akım değeri olan 5,3 amperde oluştuğu belirtilmiştir. Akım yoğunluğu olan aktif plaka alanının akım değerine oranı maksimum 0,1 A/cm^2 olduğu belirtilmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde gerilim değerinin aradaki boş plaka sayısının azalması sonucunda düştüğü gözlemlenmiştir. En iyi HHO hücre verileri 11-4 kombinasyonunda olduğu tespit edildiği belirtilmiştir.

(Dweepson ve ark., 2014), yaptıkları çalışmada, hidroksi (HHO) hücresi yani oksihidrojen (HHO) hücresinin gaz etkinliğini incelemek için geleneksel dört çeker, çift silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) sıkıştırma ateşlemeli (CI) motor ve oksihidrojen (HHO) gazını depolamak için tank kullanmışlardır. Burada HHO gazı üç elektroliz işlemi ile üretilen farklı elektrolitler (KOH (sulu), NaOH (sulu), K_2CO_3 (sulu)) karışık inşa elektrod malzemesi ile metal oksit kuru hücre tipi HHO gaz kitte (MMO) kaplı titanyum plakalar kullanılmıştır. Bu deneysel araştırmada, 0,45 lpm sürekli bir akış hızında üretilen HHO gaz girişindeki hava filtre sonra giriş hava ile manifolda karıştırılmıştır. Performans ve egzoz emisyon testleri, 1500 rpm sabit bir motor hızında gerçekleştirilmiştir. Bir damla ise, fren ısıl verim (η BT) artış ve hacimsel verimliliği (η Vol.) içine çıkan özgül yakıt tüketimi (BSFC) 'de, dizel motorun ortalama efektif basıncı (IMEP) ile gösterilmiştir. Karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon(NO) monoksit emisyonlarının ve azot eğrileri (UBHC) bazı düşüş olduğu belirtilmiştir. Bu üç farklı elektrolit arasındaki karşılaştırıldığında Su HHO gazı oluşturmak üzere, hidrojen ve oksijen bağları azaltmak için, KOH (sulu) elektrolit en uygun olduğu belirtilmiştir. Bu elektrolitin, daha iyi performans ve emisyon sonuçlarını verdiği görüşüne varılmıştır.

(Ramchandra ve ark., 2014), yaptıkları çalışmada, Elektroliz yoluyla hidrojen üretimi yaşam döngüsü (LCA) değerlendirmesi yapmışlardır. Bu küresel ısınma potansiyeli (GWP) hemen hemen tüm yazarlar tarafından analiz darbe kategorisi olduğu gözlenmiştir.

Asitleme potansiyeli (AP) ikinci sırada yer açıklanmıştır. Toksisite potansiyeli gibi diğer kategoriler sıklıkla analiz edilmiştir. Elektrolitik hidrojen üretimi ile ilişkili başlıca çevresel kaygı elektrik arzı olduğu belirtilmiştir. Elektrolizör biriminin GWP katkısı (hidrojen üretimi ve depolama sistemleri de dahil olmak üzere, rüzgar tabanlı elektroliz örneğin sadece yaklaşık % 4) nispeten küçük olduğu belirtilmiştir. LCA açısından bakıldığında, elektroliz kullanarak rüzgar veya hidroelektrik üretilen elektrik konvansiyonel şebeke elektrik karışımı ya da fosil yakıt hammaddeleri kullanmaya kıyasla, en iyi hidrojen üretim teknolojileri olduğu sonucuna varılmıştır.

(Iribarren ve ark., 2014), çalışmalarında, Kavak bitkisinden hidrojen gazı üretmişlerdir, enerji ürünler haline biyokütleye dönüştürülmesi için umut verici bir yoldur. Özellikle, biyokütle gazlaştırma yoluyla üretilen sentez gazı, hidrojen üretimi için büyük ilgi olduğu belirtilmiştir. Teknolojik seçeneklerin bir bakış dayanarak, biyokütle gazlaştırma yoluyla hidrojen üretimi için bir üs durum sistemi tanımlanır ve bunun çevresel ve termodinamik performans yaşam döngüsü değerlendirmesi ve ekserjik analiz yoluyla değerlendirilmesi gerektiği vurgusu yapılmıştır. Biyokütlenin (kavak) hesaplanan ekserjetik verimi % 48, hidrojen üretimi için, geleneksel kömür gazlaştırma teknolojileri ile kıyaslanabilir bir değer olduğu belirtilmiştir. Sistemin yaşam döngüsü enerji dengesi nispeten umut verici bir enerji performansı göstermektedir.

(Badr ve ark., 2015), yaptıkları çalışmada, otomobil yakıt tüketimi verimliliği için hidrojen hücre talebi ile ilgilidir. Benzin yakıtlı dört zamanlı dört silindirli motor otomobiller gerçek çalışma koşulları altında otomobillerin performansı üzerinde ev yapımı tam hidroksil (HHO) sisteminin etkisi üzerinde incelenmiştir. Testlerde göstermiştir ki Ortalama O_2 % 11 artarak iken ortalama CO hacimsel konsantrasyon, % 12 oranında azalmıştır. Öte yandan, üzerinde hidrokarbon konsantrasyon rastgele 2420 rpm'de maksimum % 35 azalma olduğu belirtilmiştir.

(Sarrias-Mena ve ark., 2015), yaptıkları çalışmalarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının genişletilmesi , geleneksel fosil yakıtlarına temiz ve güvenilir bir alternatif sağlamak için katkıda bulunan hibrid güç sistemlerinin sürekli ilerleme ve gelişmesine yol açar. Hidrojen teknolojisi bu konuda özel ilgi ile izlenmiştir. Hidrojen, elektrik üretimi dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için istismar edilebilir olağanüstü bir enerji taşıyıcısıdır. Bu nedenle, yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretimi son zamanlarda pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu amaçla, elektroliz (EZ) çalışması ve rüzgar türbini ile birleştiğinde bu ilgi biraz olsun durulmuştur. Bu çalışmada dört farklı EZ modelleri

sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Bu modeller MATLAB/Simulink kullanarak değişken hızlı rüzgar türbini modeli toplamıştır. Dört farklı yapılandırmayı değerlendirmişlerdir.

(Urbaniec ve Grabarczyk, 2014), çalışmalarında, Şeker pancarı pekmezinden hidrojen gazı üretmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu (ham suyu, kalın bir meyve suyu ve pekmez) üretilir, teknik çözümler sükroz fermentasyon besleme malzemeleri olarak kullanılır, böylece kavramsal hidrojen tesisi bir şeker fabrikasında bağlı olduğu varsayılmıştır. Çalışma için gerekli İşlem verileri kısa bir süre önce tamamlanan araştırma projesi sonuçlarına dayandırılmıştır ve hidrojen üretiminin tekno-ekonomik değerlendirme, şeker sektöründe elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Pekmez hidrojen üretim maliyetinin parametrik bir çalışma toplam maliyet fermentasyon görünümü aşamasında sermaye ve işletme maliyetleri son derece hassas olduğunu gösterilmiştir.

(Shivaprasad ve ark., 2014), yaptıkları çalışmada, buji ateşlemeli yüksek hızlı benzinli motora hidrojen gazı (HHO) ilavesinin Yanma performans ve emisyon özelliklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bugün, fosil yakıtlara enerji krizleri ve kirlilik problemleri göz önüne alındığında ve fosil yakıtların yanma ürünleri toksik bileşenleri düşündürücü olduğu bir durumda alternatif yakıtlar için yapılmış bir çalışmadır. Uzman çalışmalar kanıtlamıştır ki benzin yakıtlı buji ateşlemeli (SI) motor yanma ve emisyon performansını artırmak için kullanılabilecek birçok mükemmel yanma özelliklerine sahip belirgin alternatif enerji kaynaklarından en önemlisi hidrojendir. Deneysel çalışmada farklı hidrojen benzin karışımlarında ile çalışan yüksek hızlı tek silindirli SI motorun performans ve emisyon özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla geleneksel karbüratörlü yüksek hızlı SI motoru “dedicatedly” enjeksiyon zamanlamaları ve benzin enjeksiyon süreleri kontrol etmek için kullanılan elektronik kontrol ünitesi (ECU) yardımı ile elektronik kontrollü motora modifiye edilmiştir. Test sonuçları, hidrojen zenginleştirme ile yanma performansları, yakıt tüketimi ve fren etkili basıncı ortalama hafiflettiğini göstermiştir. Deneysel sonuçlar da fren ısıl verimi, saf benzin işlemi için daha yüksek olduğunu gösterdi. Ayrıca, HC hem CO emisyonları, hepsi hidrojen zenginleştirmeden sonra azaltılmıştır.

(Lee ve ark., 2013), çalışmalarında, kimyasal sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve elektrolitik oksihidrojen (HHO) (EOH) alevlerin lazer kaynaklı arıza spektroskopisi (LIBS) sinyalinin iki boyutlu haritalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Baz LIBS sinyalleri bir alev yoğunluğu ortalama 350-320 nm dalga boylarında ölçmüşlerdir. H/O ve yakıt/hava sinyali denklik oranını temsil ederken CN LIBS sinyali, yakıt konsantrasyonunu sağlamıştır.

(Ji ve ark., 2013), çalışmalarında, yük ve yalın koşullarda bir metanol motorun performansını artırmaya hidrojen ilave etkisi araştırılmıştır. Deney ayarlanabilir çift yakıt enjeksiyon sistemi ile donatılmış modifiye buji ateşlemeli motor üzerinde yürütülmüştür. Motor % 0 ve % 3 alımında iki hidrojen hacmi fraksiyonları ile 1400 rpm bir motor hızında çalıştırılmıştır. Test sonuçları, motor çevrimsel değişim hafifletmiş ve fren ısıl verim hidrojen karıştırma sonrasında geliştirilmiş olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca, hidrojen zenginleştirme alev geliştirme ve yayılma dönemleri azaltılmasında etkili olmuştur. HC ve CO emisyonları genellikle hidrojen harmanlama sonrası azalmıştır. NO_x motor yüksek fazla hava oranları altında çalıştırdığınızda hidrojen karışımlı metanol motor emisyonları düşük seviyelerde olmuştur.

(Ursua ve ark., 2012), çalışmalarında, suyun elektroliz yöntemiyle hidrojen üretiminde şuan ki durumu ve gelecekteki eğilimlerini incelemiş. Hidrojen üretimi için su elektroliz teknolojilerini incelenmiş ve ayrıca yenilenebilir enerjiler ile su elektroliz entegrasyon sanatının durumu anketlenmişlerdir. İlk olarak, iyi elektroliz hücreleri (HHO) nasıl çalıştığını anlamak için termodinamik ve elektrokimyasal süreçleri iyi tasarlamak ve onlar büyük elektroliz modülleri oluşturmak için nasıl kombine edilebilir onu incelemişlerdir. Mevcut elektroliz teknolojileri ele alınıp, 3 yöntem yani alkali, polimer elektrolit membran ve katı oksit elektrolit özellikleri, avantajları, dezavantajları ve sorunları, daha sonra ele almışlardır. Güncel üreticileri ve piyasada mevcut elektrolitik ana özellikleri yaygın olarak gözden geçirmişler. Son olarak, özerk ve şebekeye bağlı iki sistemde de yenilenebilir enerji kaynakları ile su elektroliz birimlerinin entegrasyon sağlayan olası yapılandırmaları sunmuşlar ve bazı ilgili demonstrasyon projeleri yorumlamışlardır.

(Wang ve Ji, 2012), çalışmalarında, çeşitli çalışma koşulları altında, hidrojen bakımından zengin bir kıvılcım-ateşlemeli benzinli motorun sıklık varyasyonu incelenmiş. Elektronik olarak kontrollü bir hidrojen enjeksiyon sistemi dört silindirli benzinli motor üzerine modifiye edililerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, hidrojen ekleme düşük yüklerden ziyade yüksek yüklerde motor döngüsel değişimini azaltarak daha etkili olduğunu göstermiş.

(Wang ve ark., 2011), çalışmalarında, benzin-hidrojen karışımı ile buji ateşlemeli motor çalıştırılmasını incelemişler. HC ve CO emisyonları nedeniyle gelişmiş yanma süreci hidrojen eklenmesinden sonra belirgin derecede düştüğünü belirtmişlerdir. Hidrojen gazı (HHO) akış hızı 0'dan 2.5 ve 4.3 L/dk arttığı, anlık keskin pik HC emisyonları

sırasıyla 17.850 ve 15.738 ppm 57083 düşürülmüş. NO_x emisyonlarının ilk 5 saniye artmış ve daha sonra hidrojen ilavesinden sonra, azaldığını gözlemlemişlerdir.

(Musmar ve Al-Rousan, 2011), yaptıkları çalışmada, yağ yakma dünyada giderek artan bir ilgi gördüğünü ve buna bağlantılı emisyon kirliliğini azaltılması konusunda çalışmalar yapılmışlardır. Bu çalışmalardan en önemlisi, braun gaz (HHO gaz) enerji alternatif temiz kaynağı olarak kullanıma girdiğini belirtmişler. HHO gazı üretmek için sistem inşa edilmiş ve Honda G 200 (197 cc tek silindirli motor) ile entegre edilmişler. Sonuçlar HHO, hava ve benzin karışımı konsantrasyonunda emisyon kirletici maddelerin ve motor verimliliği bir donanımın bir azalmaya neden olduğunu gösterdiği belirtmişler. Emisyon testleri yaparak motoru değişik devirlerde çalıştırılmışlardır. HHO, hava ve yakıt karışımı kullanıldığı zaman Sonuç olarak azot monoksit (NO) ve azot oksitler (NO_X) yaklaşık % 50 azaltıldığı gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, karbon monoksit konsantrasyonu, yaklaşık % 20 oranında düştüğünü belirtmişlerdir. Yakıt tüketiminde yaklaşık % 20 ve % 30 arasında bir tasarruf olduğu fark etmişlerdir.

(Ozbilen ve ark., 2011), yaptıkları çalışmada, Cu-CI çevrimi kullanılarak termokimyasal su bölme yoluyla hidrojen üretimi karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi yapmışlardır. Karşılaştırmalı çevre çalışmasıyla birlikte diğer çeşitli hidrojen üretim yöntemleri ile Cu-CI su bölme döngüsü bildirmişlerdir. Kükürt iyot (S-I) su bölme döngüsü, yüksek sıcaklık, su elektroliz, doğal reform geleneksel buhar yenilenebilir kaynaklardan gaz ve hidrojen üretimi yöntemlerinden birisi olduğunu belirtmişlerdir.

(Yilmaz ve ark., 2010), çalışmalarında, farklı elektroliz işlemi ile üretilen elektrolitler [KOH (sulu), NaOH (sulu), NaCl (sulu)] korumalı çeşitli elektrod tasarımlarıyla hidrojen jeneratöründen oksihidrojen (HHO) gazı üretmişlerdir. Oksihidrojen (HHO) gazını dört silindirli, dört zamanlı, sıkıştırma ateşlemeli (CI) motorda depolama tankına gerek kalmadan kullanmışlardır. Egzoz emisyonları ve motor performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. HHO gaz oranı KOH, NaOH, NaCl (katalizörler) çeşitli miktarları kullanılarak ölçmüşler. Bu katalizörler, hidrojen ve oksijen bağları azaltmak için su içine ilave etmişler ve NaOH en uygun katalizör olarak belirtilmişlerdir. HHO sistemi herhangi bir değişiklik olmadan motora ilave artan motor tork çıkışı olduğunu belirtmişlerdir.

(Ma ve ark., 2010), yaptıkları çalışmalarda, turbo kıvılcım ateşlemeli doğal gaz motorunu kullanarak tam açık gaz kelebeği çalışma şartlarında HCNG (hidrojen zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğal gaz) performans ve emisyon özelliklerine yakıtların çeşitli hidrojen oranlarının etkisini araştırmışlardır. Deney verileri hacimsel olarak % 0, %

30 ve % 55 hidrojen fraksiyonlarda alındı ve MBT çalışma şartları altında, farklı fazla hava oranı (λ) altında gerçekleştirilmiştir. Hidrojen *eklenmesi önemli ölçüde CO azaltabilir,* CH_4 emisyonları ve NO_x ateşleme zamanlaması optimize edildiğinde emisyon kabul edilebilir bir seviyede kaldığını gözlemlemişlerdir.

(Ji ve Wang, 2010), çalışmalarında, düşük yanma limitleri olan karma hidrojen-benzinli motorun yanma ve emisyon performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Hidrojen benzinli motor düşük yanma sınırı genişletmek ve yalın koşullarda benzinli motor performansını artırmak için kullanılabilecek birçok mükemmel yanma özelliklerine sahip olduğu belirtilmitir.

(Ji ve Wang, 2009), çalışmalarında, yalın koşullarda bir kıvılcım ateşlemeli benzinli motora hidrojen ilavesi ile yanma ve emisyon performansı üzerindeki etkisini incelemişler. Hidrojen gazı ilavesi ile motorun performansı ve verimliliği % 6'dan % 26,37'ye yükseldiği gözlemlenmiş CO ve NO_x emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

(Brisse ve ark., 2008), yaptıkları çalışmada, katı oksit su elektroliz hücrelerinde yüksek sıcaklık konusunu ele almışlardır. Su buharı elektroliz reaksiyon için daha uygun termodinamik ve elektrokimyasal kinetik koşullar ele alındığında, su elektroliz ile karşılaştırıldığında daha az elektrik enerjisi tüketimine yol açtığını belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklıkta su buharı elektroliz yoluyla hidrojen üretimi gelecek vaat eden bir teknolojidir demişlerdir.

(Santilli, 2006), çalışmada, suyun yeni gaz yani HHO gazı olduğunu ve yanıcı formunu incelemiştir. Yeni bir elektroliz yoluyla üretilen hidrojen ve HHO gazı denilen oksijen karışımı çeşitli ölçümler, karışım belirgin olduğu (uluslararası patentler, Clearwater, Florida Inc. hidrojen teknolojileri uygulamalar bekleyen) Brown ve diğer bilinen gazlar farklıdır açıklaması yapmıştır. Burada bildirilen ölçümler H ve O atomları, onların dimerleri H-O oluşan kararlı kümelerin HHO gazı varlığını düşündürmektedir diye belirtmiştir.

(Chen ve ark., 2006), çalışmalarında, oksihidrojen (HHO) gaz patlaması baskılanması testlerinde beş tür kuru tozu patlama tüp içinde bastırıcı olarak gerçekleştirilmişlerdir. Deneysel sonuçlar olarak büyük toz bulutu yoğunluğu ve küçük yarıçapı ile toz iyi bastırılmasına sahip olduğunu göstermişlerdir. Yapılan deneylerde kullanılan tozların yoğunluğu ve yarıçapının küçüklüğü oksihidrojen (HHO) gaz patlaması üzerine etkili olduğu belirtilmişlerdir.

(Koroneos ve ark., 2004), yaptıkları çalışmada, hidrojen yakıt üretim süreçlerinin yaşam döngüsündeki değerlendirmesini yapmışlardır. Hidrokarbonların çevresel etkisinden

dolayı alternatif yakıt olarak hidrojenin kullanılması giderek daha fazla kabul görmektedir. Bir yaşam döngüsü değerlendirme çalışması hidrojen üretiminin çevresel yönlerini araştırmak için yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine doğal gaz ile üretim, buharlı reformasyon ile üretim incelemişlerdir. Hidrojen CO_2 salınımı olmaması ve kullanımından kaynaklanan emisyonlar, yüksek-enerji içeriği ve yanma kinetiği nedeniyle gelecekte alternatif yakıt olarak seçilebilir demişlerdir. Hidrojen üretimi için en çevresel olanı rüzgar, hidroelektrik ve güneş termal enerji kullanımı belirgin yöntemlerdir diye belirtmişlerdir.

(Stojic ve ark., 2003), çalışmalarında, alkalin sulu elektrolit su elektroliz yoluyla hidrojen üretimi iyi kurulmuş geleneksel bir teknolojidir. Bununla birlikte, yaklaşık 4,5-5 kWh/m^3 H_2 yüksek enerji gereksinimlerine pek çok endüstriyel elektrolizör içinde, bu şekilde üretlmiş olan hidrojenin maliyeti yüksektir. Bu, elektriğin çok ucuz olduğu ülke dışında, büyük bir ölçekte bu yöntemin kullanımı için sınırlayıcı bir faktördür. Deney sonuçlarına dayanarak, iyonik aktivatörler ile aktivasyon aktif olmayan elektrolitlerin kıyasla bazı durumlarda % 10'dan fazla üretilen hidrojen kütlesi birimi başına enerji ihtiyacı azaltılacağına dair kuvvetli bir gösterge bulunmaktadır diye belirtmişlerdir.

4.2. Bulanık Mantık Modeli İle İlgili Yapılan Çalışmalar

(Işıktaş ve ark., 2016a), yaptıkları çalışmada gerilim, akım ve sıcaklık açısından HHO hücresinin performansını Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık modelleme tekniği ile modellemişlerdir. Giriş parametreleri; kombinasyon ve zaman çıkış parametreleri ise; voltaj, akım ve sıcaklık olarak belirlemişlerdir. Voltaj, akım ve sıcaklık üç ayrı üyelik fonksiyonu (üçgen, yamuk ve gauss) için ölçülmüştür. Bu üç üyelik fonksiyonu için Bulanık Mantık performansı karşılaştırılmıştır. Bu üç üyelik fonksiyonun deneysel verilere en yakın değeri üçgen üyelik fonksiyonunda elde edilmiştir. Çalışmaları neticesinde, HHO hücresinin performansının belirlenmesinde bulanık mantık yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermişlerdir.

(Ata ve Dincer, 2015), yaptıkları çalışmada, PEM yakıt hücresi ve HHO hücresinin performansının belirlenmesinde bulanık mantık modelini kullanmışlardır. PEM yakıt hücresinin şarj ve deşarj sırasında karbon nanotüp (KNT) ile kaplanması ve yitriya stabilize edilmiş zirkonyum ile kaplanması sırasında tespit edilmiş deneysel verileri, sisteme belli kurallar vasıtasıyla öğreterek üç farklı bulanık mantık modelleme çalışması yapmışlardır. Deneysel sonuçlar ile bulanık mantık model sonuçlarını istatistiksel metotları

sisteme tanıtarak karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, PEM yakıt hücresinin performansının belirlenmesinde bulanık mantık yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermişlerdir.

(Gollei ve ark., 2016), yaptıkları çalmada, hidrojen üreten hücrenin Yani Oksihidrojen (HHO) hücresinin ölçüm ve Bulanık Mantıkta modellemesini yapmıştır. Modelleme parametreleri, HHO hücrenin ayrıntılı inceleme sırasında elde edilen ölçüm verilerine dayalı yapılmıştır. Bir dizi deney optimum elektrokimyasal, (örneğin, elektrolit konsantrasyonu, geçerli değeri, vb) ve geometrik veri (plakalar arasındaki mesafe) parametreleri bulmak için kuru hücrede HHO (oksihidrojen) gazını üretmişlerdir. Hidrojen üretimi hücrenin akım ve konsantrasyona bağlı Matlab Simulink modeli tasarlamışlardır. Potansiyel olarak meydana gelen enerjik durumlar karmaşık enerjik sistem modelinde simüle edilmiştir. Simülasyonlarda sunulan hidrojen üreten hücre (HHO) modeli mühendislik beklentileri karşıladığını belirtmişlerdir.

(Berber ve ark., 2013), yaptıkları çalışmada, karşı-akım Ranque-Hilsch vorteks tüplerinin ısıtma ve soğutma performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu deneysel verileri Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık modelleme tekniği ile modellemesini tasarlamışlardır. BM'nın başarılı bir şekilde farklı geometrik yapılara sahip karşı akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüpü ısıtma ve soğutma performans analizi için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

(Tong ve ark., 2013), yaptıkları çalışmada, yaklaşık 1 kW yakıt hücresi ünitesi üzerine çalışmışlardır. 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 savunmuşlardır.

(Fan ve Liu, 2012), yaptıkları çalışmada, proton değişim membranlı yakıt hücresi matematiksel modeli üzerine çalışmışlar ve bulanık mantık modellemesini yapmışlardır. Yakıt pillerinin sabit güç çıkışları olması garanti edildiğinde uygun bulanık mantık kontrol semalarının, verilen belirli bir güç değerini izlemede tatmin edici sonuçlar elde ettiklerini önermişlerdir.

(Tosun ve ark., 2011), çalışmalarında, Türkiye'de konutlarda kullanılan çok katmanlı prekast beton panellerin termal performanslarını Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık modelleme kullanarak araştırmışlardır. BM'ın konut çalışmalarında kullanılan çok tabakalı prefabrik beton panellerin termal performansının değerlendirilmesinde güvenilir bir modelleme yöntemi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

(Yıldız ve Kisoglu, 2011), yaptıkları çalışmalarda, bayan dış giyim alanında faaliyet gösteren hazır giyim işletmelerinden alınan boyut tabloları ve vücut büyüklüğü numaralarını inceleyerek ortak bir vücut numaralandırma sistemini bulanık mantık yöntemiyle modellemesini yapmışlardır. Yapılan bu modelleme ile; pazarlama problemlerine olumlu anlamda katkı sağlanacağını ve hazır giyim sektöründe rekabete katkıda bulunarak tüketici ürünleri ile ilgili sorunların azalacağını aktarmışlardır.

(Becker ve Karri, 2010), çalışmalarında, pahalı ve karmaşık hidrojen ölçüm cihazlarının kullanımı yerine yapay sinir ağlarının kullanılmasının daha uygun olacağını önermişlerdir. Matematiksel benzetimler ile elde edilen hidrojen seviyeleri ölçüm cihazı ile elde edilen değerler arasında yaklaşık % 3'lük bir sapma olduğunu göstermişlerdir. Bu durum hidrojen tüketen sistemler için matematiksel modelli ölçüm cihazlarının yerini almasının yolunu açacağını belirtmişlerdir.

(Keshwani ve ark., 2008), çalışmalarında, cilt geçirgenliğinin kural tabanlı Mamdani tipi bulanık modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Toksisite riskleri, transtermal ilaç sağlanması için aday belirlemek ve tahmin etmek için sunulan modelleri bileşiklerin deri geçirgenliğini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanmışlardır.

(Tiryaki ve Kazan, 2007), çalışmalarında, günlük yasamda 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.

(Shakhawat ve ark., 2006), çalışmalarında üretilen su içinde doğal olarak meydana gelen insan sağlığı için riskli radyoaktif maddelerin bulanık kural tabanlı modellemesi üzerine modelleme çalışmaları yapmışlardır. Üretilen suyun içinde doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerin insan sağlığı risk değerlendirmesi için bir çift bariyer yaklaşımı olmasını önermişlerdir.

(Özek ve Sinecen, 2004), çalışmalarında, bir havalandırma sisteminin modelini bulanık mantık yaklaşımıyla modellemesini yapmışlardır. Kontrol sisteminin matematik modeli kullanılmadan yapılan bulanık mantık yönteminin sadece sözel değişkenler yardımıyla kontrol mekanizması oluşturulabileceğini göstermişlerdir.

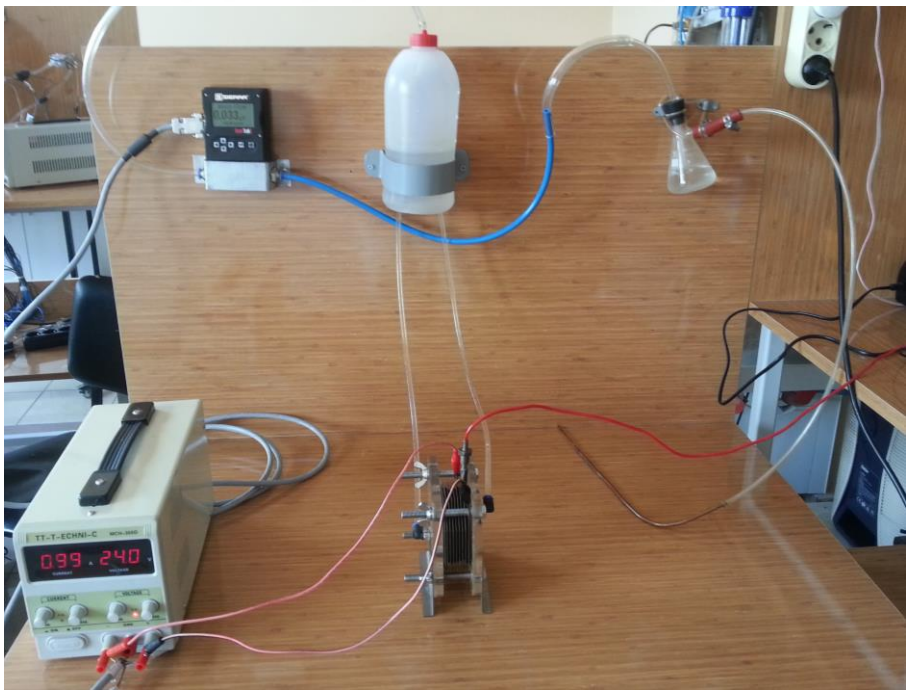
5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneysel Çalışma

Bu tez çalışmasında, HHO Hücresinin 9x9, 10x10 ve 11x11 cm^2 boyutlarında ve 9, 10 ve 11 plakaya kadar olan kombinasyonlarına bağlı olarak deneysel sistem kurulmuştur. Bu deneysel sistemin performans verileri debi (kg/h), zaman (dak.), gerilim (Volt), akım (A) sıcaklık (^oC)'e göre belirlenmiştir. Bu performans neticeleri belirlenirken ayrı ayrı her plaka varyasyonları için deneyler yapılmıştır. Akım yoğunluğu olarak ifade edilen A/cm^2 en yüksek değeri ifade edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda gerilim değerinin plaka sayısı artması ya da azalması ile nasıl etkilendiği de araştırılmıştır.

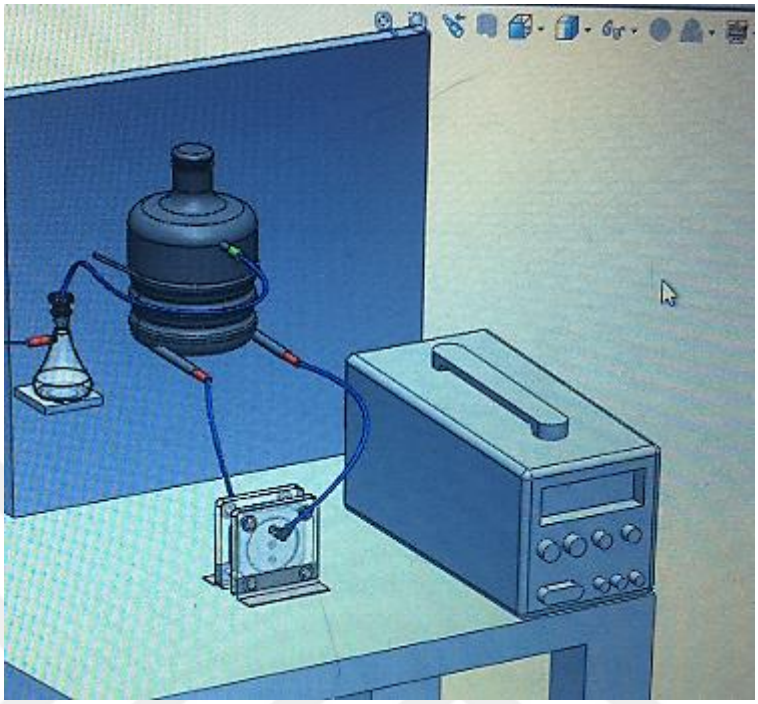
5.1.1. Deneysel Sistem

Bu tez çalışmada kullanılan deneysel sistem ve deneysel sistemi oluşturan elemanlar Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu sistemi oluşturan elemanların özellikleri aşağıda şekilleri ile birlikte gösterilmiştir.

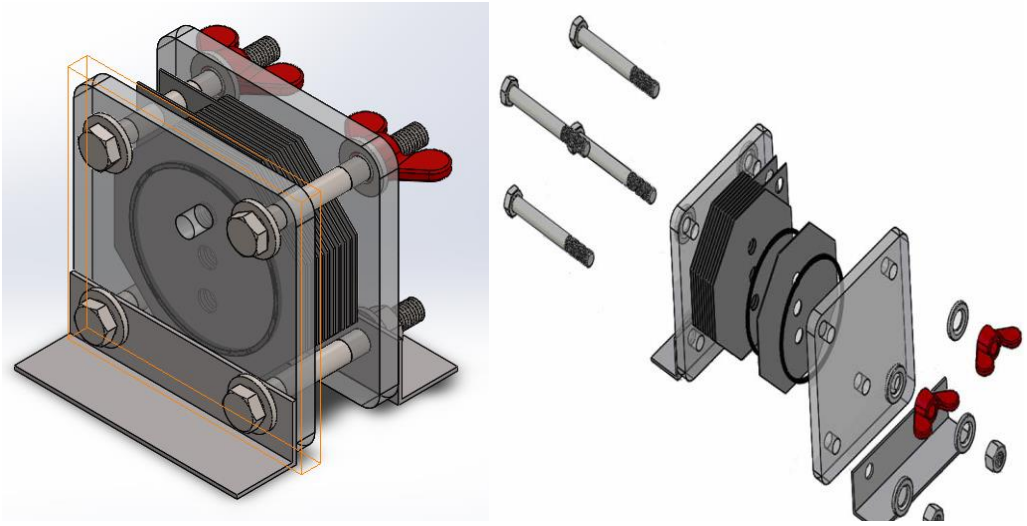


Şekil 5.1. Deneysel sistem

Şekil 5.2'de deneysel sistemin genel görünüşü ve Şekil 5.3'te ise HHO (oksihidrojen) hücresinin genel görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deneysel sistemin genel görünüşü (Solidworks çizimi)



Şekil 5.3. HHO hücresi genel görünüşü (HHO hücresi Solidworks çizimi)

i. **Profil Masa**: Deneysel çalışma esnasında kolay çalışma alanı bulabileceğimiz şekilde solid ortamında tasarlandı. Deney düzeneği elemanlarının düzenli bir şekilde yerleştirilmesi ve deneyin çok rahat gerçekleşmesi için tüm ölçüleri solid ortamında

çizilmiş ve profil masa oluşturulmuştur. Deneysel Sistem'de (DS) kullanılan profil masa'nın görünüşü Şekil 5.4'te profil kısmı ise Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Deneysel sistemde kullanılan profil masa



Şekil 5.5. Deneysel sistemde kullanılan masanın profili

ii. **Su Tankı**: HHO hücresinin kullanacağı suyun depolandığı parçadır. Bu parça su ve gaz karışımından etkilenmeyecek bir malzemeden seçilmelidir. 3 adet çıkış bulunan su tankında; su çıkışı suyun hücreye akışını sağlamaktadır, gaz girişi üretilen gazın tanka geri dönüşünü ve gaz çıkışı gazın tanktan çıkışını sağlamaktadır. Deney sistem de kullanılan su tankı, Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



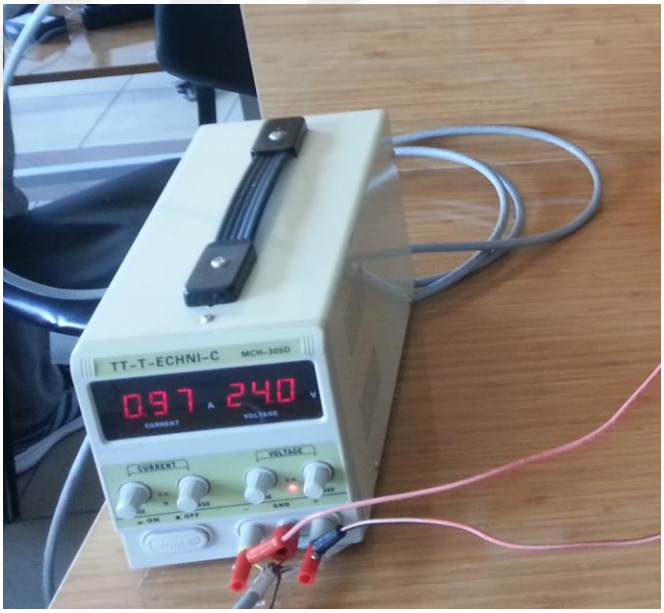
Şekil 5.6. Deneysel sistemde kullanılan su tankı

iii. **Emniyet Tankı:** Ana tankı koruyan en önemli elemanlardan biridir. Emniyet tankının içinde su bulunmaktadır ve geri alev tepmesi olduğu zaman sistemi koruyarak alevin ana tanka yani su tankına ulaşmasını engeller. Deneysel sistemde kullanılan emniyet tankı Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

iv. **Güç Kaynağı**: Deney düzeneği veya sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi oluşturmak için kullanılan kaynağın genel ismidir. Şekil 5.8'de de gösterilen deney düzeneğimizde elektroliz için ihtiyacımız olan elektriği Doğru Akım (DC) güç kaynağı ile sağlanmıştır. HHO (oksihidrojen) gazının elde edilmesi için kullanılan güç kaynağı DC elektrik üretmelidir.



Şekil 5.7. Deneysel sistemde kullanılan emniyet tankı



Şekil 5.8. Deneysel sistemde kullanılan DC güç kaynağı

v. **Debimetre (Sierra):** Kütlesel debimetreler volümetrik debimetrelerin aksine direkt geçen akışın kütle olarak miktarını ölçerler. Sonuç olarak akışkan içerisinde hapsolmuş hava miktarı gibi etkenlerden ölçüm etkilenmez. Çoğu kütlesel ölçüm yapan debimetrede volümetrik akış miktarı ile akışkanın yoğunluğu kullanılarak kütle elde edilir. Yani kütlesel ölçüm yapan debimetreler iki cihazın bir araya getirilmesi ile elde edilen enstrümanlardır. Bunlardan biri akış hızını ölçerken diğeri de yoğunluğu ölçer. Bu iki input bir mikro işlemcide bir araya getirilip ilave başka

bir data ile işlenerek kütlesel ölçüm elde edilir. Kütle ölçümü prensibi ile çalışan birçok cihaz vardır, bu cihazlardan biride SİERRA kütlesel debi ölçerdir. Deneysel sistemde, Şekil 5.9'daki debi metre kullanıldı.



Şekil 5.9. Deneysel sistemde kullanılan debimetre

vi. Data-logger: Şekil 5.10'da gösterildiği gibi Data-logger bir bilgiyi önceden ayarlanmış zaman aralıklarına göre kaydedebilen cihazlardır. Data-logger cihazları aynı zamanda veri kaydedici olarak da adlandırılır. Data-logger cihazları sıcaklık, nem, basınç, voltaj, su seviyesi vb. değerleri kullanıcıların belirlediği aralıklar içerisinde kaydedebilmektedir. Bu kayıt değerleri günümüzde sensör teknolojilerinin gelişmesi ile bir sensör tarafından ölçülebilen tüm değerler kayıt altına alınabilmektedir. Data-logger cihazları taşınabilir, sabit ya da tek kullanımlık olarak çeşitlere ayrılabilir. Data-logger cihazları, yeni teknolojik gelişmeler sayesinde minyatür elektronik cihazlar haline getirilmişlerdir, pille çalışırlar ve bilgiyi daha sonra bilgisayarlara aktarmak üzere otomatik olarak kaydedebilirler. Boyutları ve maliyeti asgariye indirmek için, veri kaydedicilerin kullanımı ve tam kontrolü, özel bir yazılımla kişisel bilgisayarlar üzerinden gerçekleştirilir.



Şekil 5.10. Data-logger

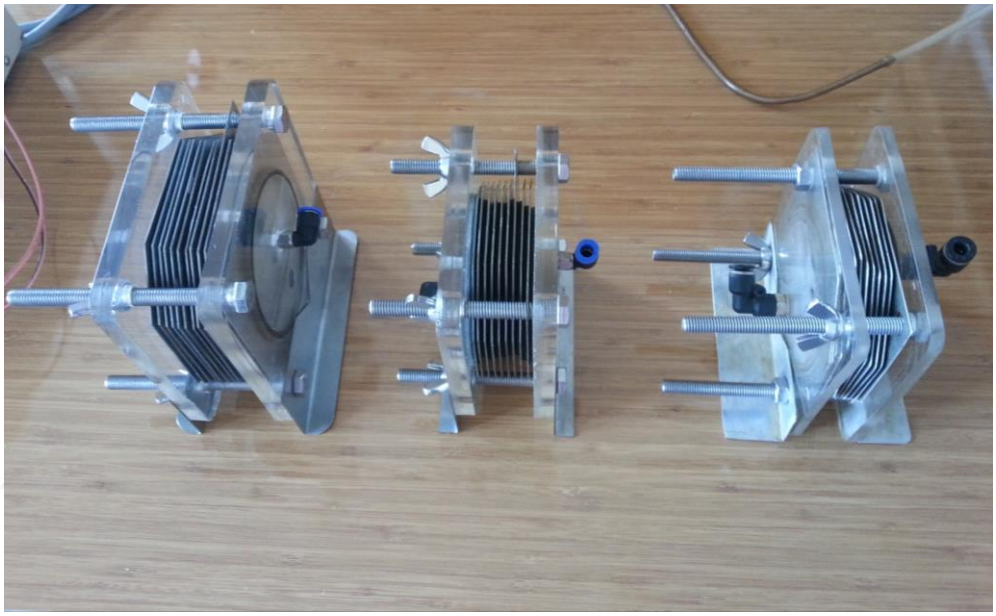
vii. **Isıl Çift (Termokupl):** Şekil 5.11'de gösterildiği gibi Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık algılayıcısıdır. Birbirinden farklı iki iletken malzemeden meydana gelmektedir. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (*sıcak nokta*) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (*soğuk nokta*) gerilim elde edilmektedir. Kullanılan malzemenin cinsi ve birleşim noktasının ısınma miktarı gerilimin değerini etkilemektedir. Üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olmaktadır. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim (EMF) meydana getirmektedir. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak şartı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunmaktadır. Isıl çiftler -200°C'den 2320 °C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda, ölçüm ve kontrol için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca sıcaklık gradyanını elektriğe dönüştürme imkânları da vardır.



Şekil 5.11. Deneysel sistemde kullanılan ısıl çift (Termokupl)

viii. **HHO Hücresi:** Şekil 5.12'de gösterildiği gibi son yıllarda kullanımı artan cihazlardan biri de HHO hücresidir. HHO (oksihidrojen) hücresi, suyu HHO

(oksihidrojen) gazına dönüştüren bir cihazdır. Cihazın çalışma mantığı suyun elektroliz yöntemine dayanmaktadır. Sisteme verilen elektrik akımı suyu moleküllerine ayrıştırmak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan akımın doğru akım olması gerekmektedir ve cihazın boyutuna göre DC akım değeri farklı akım değerleri alabilir. Paslanmaz çelik plakalar, plakaları birbirinden ayıran plastik contalar ve sistemi bir arada tutan son (mika) plakalar HHO (oksihidrojen) hücresini oluşturan parçalardır. Deneylerde 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 olmak üzere 3 farklı kesit alanında HHO hücresi kullanılmıştır.



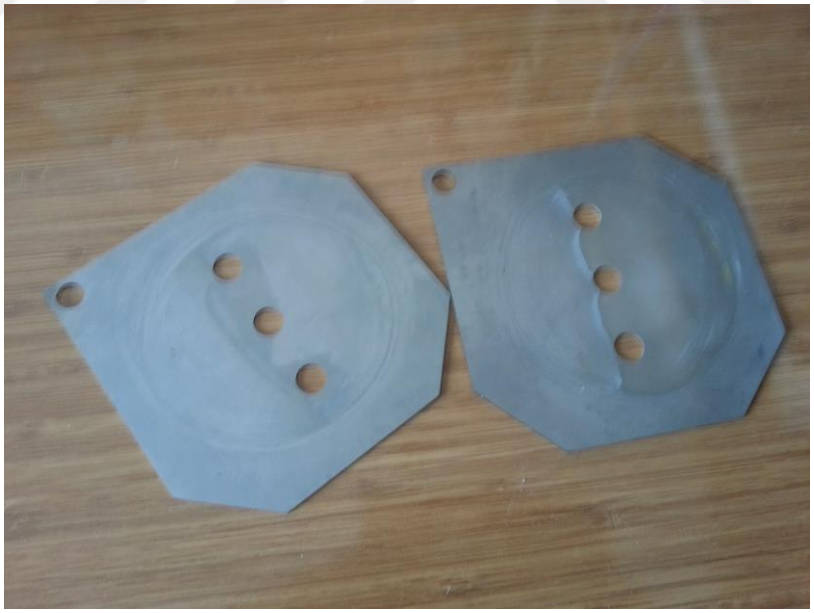
Şekil 5.12. Deneysel sistemde kullanılan HHO hücreleri

HHO Hücresini oluşturan bileşenleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- ✓ **Plakalar:** Şekil 5.13'te gösterildiği gibi plakalar paslanmaz 316L cinsi çelik malzeme seçilmiştir. 1 mm kalınlığında olan plakaların geometrik yapısı; 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 boyutlarındadır. Köşelerinden 2 cm uzunluğunda pah kırılmıştır. Bunun sebebi gerekli alan tasarrufu ve güç ihtiyacının azaltılmasıdır.
- ✓ **Elektrik Plakası:** Şekil 5.14'te gösterildiği gibi elektrik plakası da paslanmaz çelik 316L malzemeden seçilmiştir. Pah kırma işlemi 3 köşeden yapılmış ve kalan tek köşeden güç kaynağı ile elektrik verilmiştir.



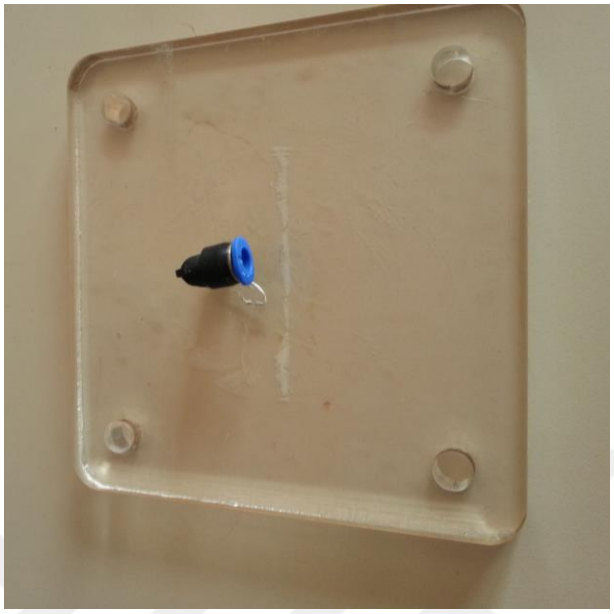
Şekil 5.13. Deneysel sistemde kullanılan plakalar



Şekil 5.14. Deneysel sistemde kullanılan elektrik plakaları

- ✓ **Son plakalar:** Şekil 5.15'te gösterildiği gibi son plakalar mika malzemeden seçilmiştir. Mika malzemeden seçilme sebebi sistemi çalışma esnasında gözlenmesi içindir. Mika malzemenin kalınlığı 20 mm olarak belirlenmiştir. Mika plakanın üst

kısmına gaz giriş deliği delinmiştir. Alt tarafa ise su giriş deliği açılmıştır. Her iki deliğin çapı 8 mm'dir.



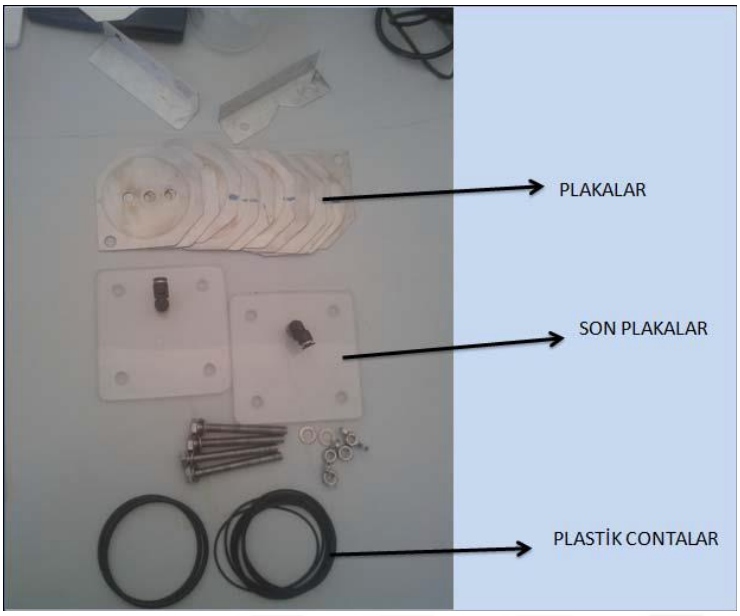
Şekil 5.15. Deneysel sistemde kullanılan son plakalar

- ✓ **Contalar:** Şekil 5.16'da gösterildiği gibi contalar plastik malzemeden belirlenmiştir. Contaların çapı 20 mm ve kalınlığı ise 2 mm olarak belirlenmiştir. Mika plakalar ile çelik plakalar arasındaki contalar 4 mm'dir. Bunun nedeni ise su girişi ve gaz çıkışının daha düzenli ve rahat akışını sağlamaktır.

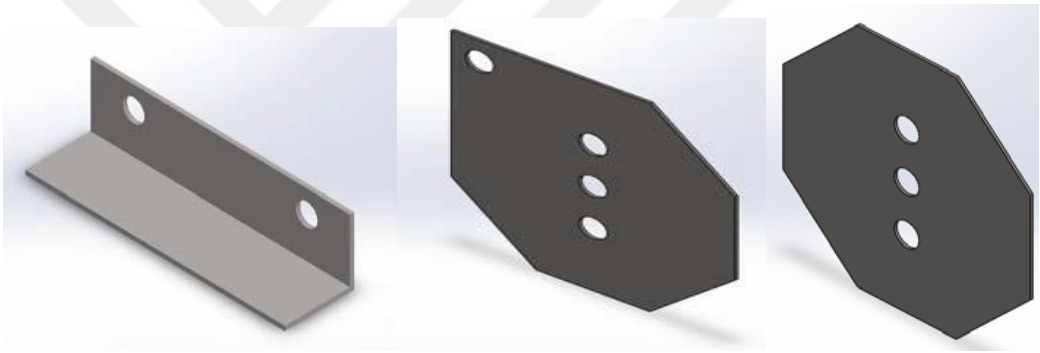


Şekil 5.16. Deneysel Sistemde kullanılan Contalar

HHO (oksihidrojen) hücresi bileşenleri Şekil 5.17'de HHO (oksihidrojen) hücresini oluşturan plakalar Şekil 5.18(a)'da toplu halde gösterilmiştir. Şekil 5.18(b)'de ise HHO (oksihidrojen) plaka dizilimi şematik olarak gösterilmiştir.

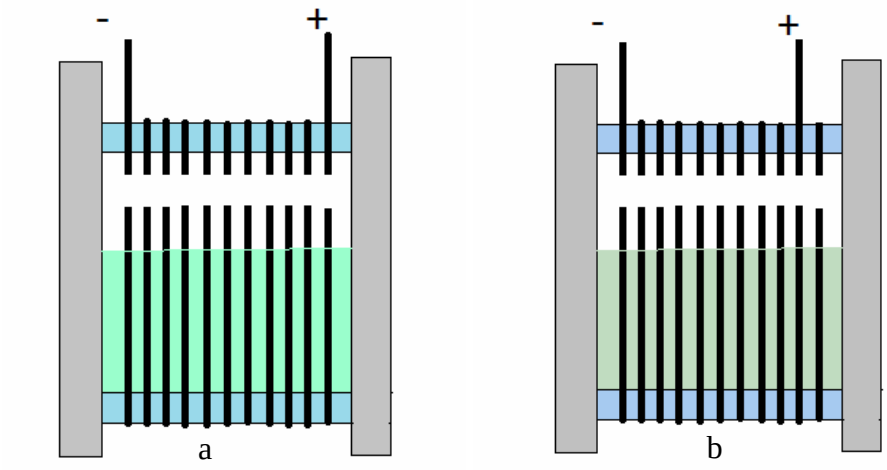


Şekil 5.17. HHO (oksihidrojen) hücresi bileşenleri



a) Ayak b) Elektrik plakası c) Normal plaka

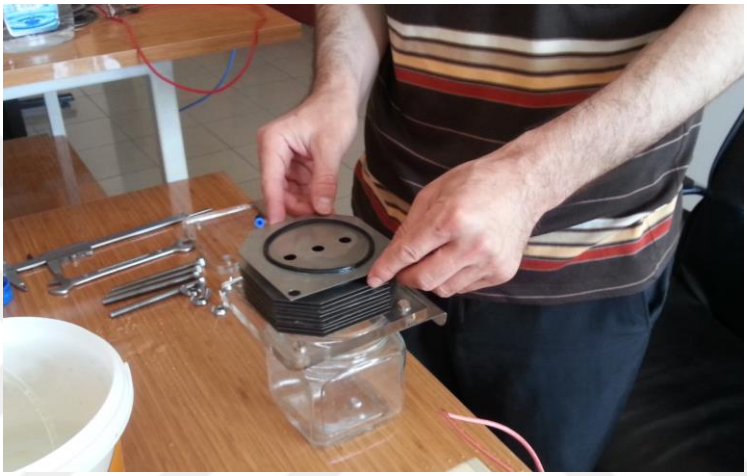
Şekil 5.18 (a). HHO (oksihidrojen) hücresi plakaları



Şekil 5.18 (b). 11-1 (a) ve 11-2 (b) HHO hücre plaka kombinasyonu

5.1.2. HHO Hücresi Demontajı

- HHO Hücresi bileşenleri olan normal plakalar, elektrik plakaları, mika plakalar (son plakalar) ve ayakları bir arada tutan cıvata ve kelebek somunlar çıkarılır.
- Mika plakalar ve ayaklar çıkarıldıktan sonra sırasıyla normal plakalar, elektrik plakaları ve onların arasındaki plastik contalar çıkarılarak HHO hücresinin demontajı yapılır.
- HHO hücresi demontaj hali Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. 11x11 cm^2 KA'lı HHO hücresi demontajı

5.1.3. HHO Hücresi Montajı

- HHO hücresi oluşturulurken en alt kısma HHO hücresi bileşeni olan mika plakanın bir tarafı (gaz çıkış tarafı) konulur (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Mika plaka montajı

- Mika plakanın üzerine 4 mm'lik mika plaka contası konulur. 4 mm'lik conta'nın üzerine elektrik plakası konur (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Mika plaka contası

- Elektrik plakasının üzerine 2 mm conta konulur. 2 mm'lik conta'nın üzerine ise normal plaka konulur (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Normal plaka ve conta montajı

- Hangi kombinasyon istiyorsak üst üste normal plakalar ve aralarına contalar konulur (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Plaka kombinasyonu montajı

- Elektrik plakaları ve normal plakaların 3'lü delikleri üst üste gelmesi sağlanır.
- En son kısma tekrar mika plakanın diğer tarafı (su giriş tarafı) konulur (Şekil 5.24).



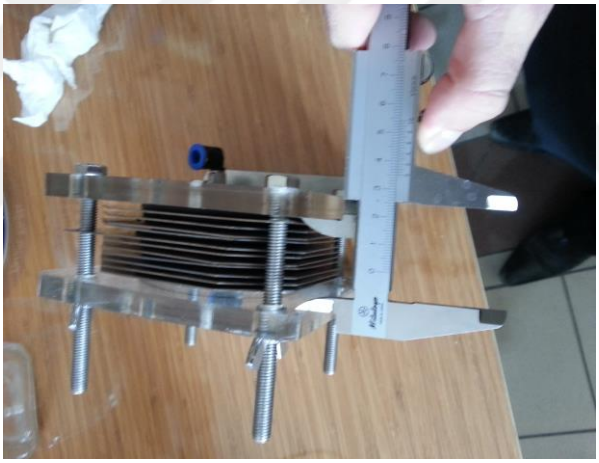
Şekil 5.24. Son plaka (mika plaka) montajı

- Ayaklarla birlikte cıvata ve kelebek somunla HHO hücresi bileşenleri sıkılır (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. HHO hücresi bileşenlerinin cıvata ve kelebek somun ile sıkıştırılması

- Kumpas yardımı ile tüm köşelerde eşit sıkıştırma sağlanır (Şekil 5.26).

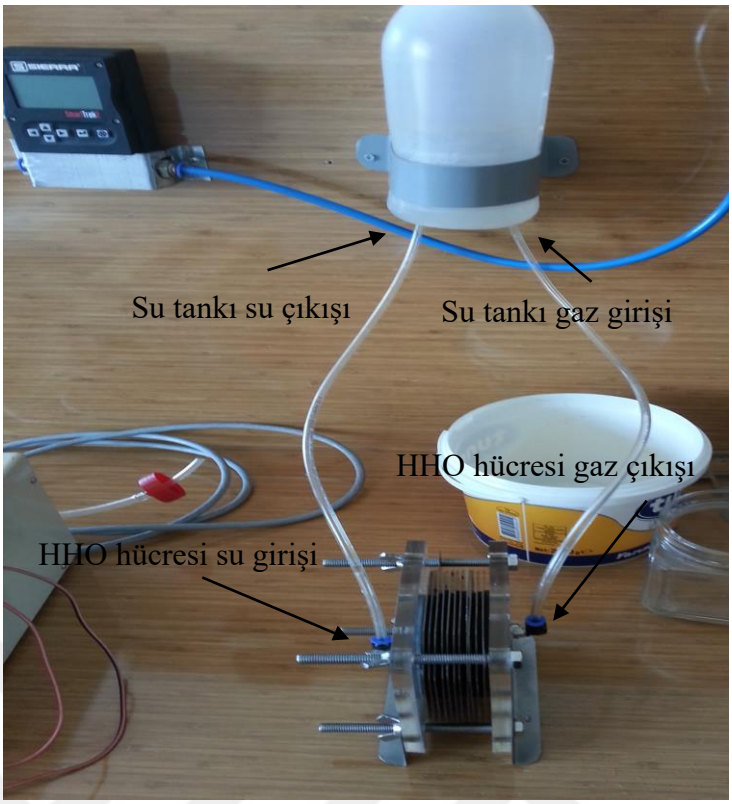


Şekil 5.26. HHO hücresi köşelerinin dengelenmesi

5.1.4. HHO Hücresi Çalışma Prensibi

HHO hücresinin çalışma prensibi şu şekildedir;

1. Montajı yapılmış HHO hücresinin su giriş kısmına su tankının su çıkış borusu bağlanır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Su tankından HHO hücresine bağlantı boruları

2. HHO hücresinin gaz çıkış kısmına su tankının gaz giriş borusu bağlanarak sabitlenir (Şekil 5.27).
3. Su tankına su seviyesi her kombinasyon da aynı olacak şekilde şebeke suyu konulur (Şekil 5.28).



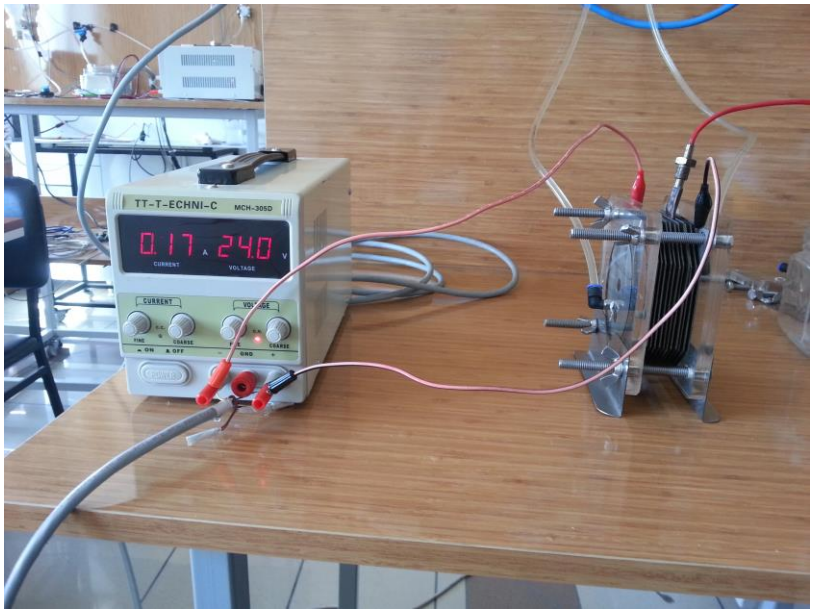
Şekil 5.28. Su tankına şebeke suyunun konulması

4. HHO hücresi içinde suyun gaz çıkış borusunun üzerine çıkması sağlanır (Şekil 5.29).



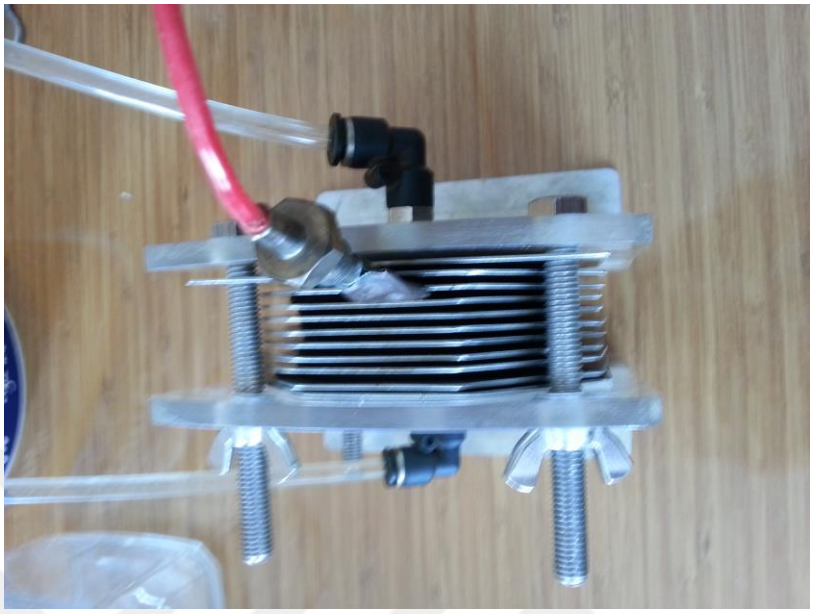
Şekil 5.29. HHO hücresi içinde suyun gaz çıkış borusunun üzerine çıkması

5. HHO hücresine elektrik vermek için DC güç kaynağının + ve – kutupları HHO hücresinin elektrik plakalarına bağlanır (Şekil 5.30).



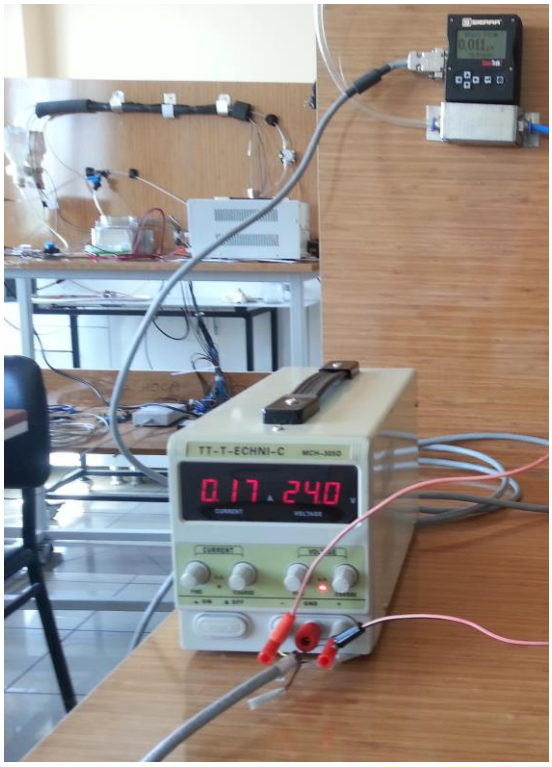
Şekil 5.30. DC güç kaynağının HHO hücresine bağlanması

6. Isıl çift (Termokupl)'un ucu HHO hücresi plakalarının içine yerleştirilir (Şekil 5.31).



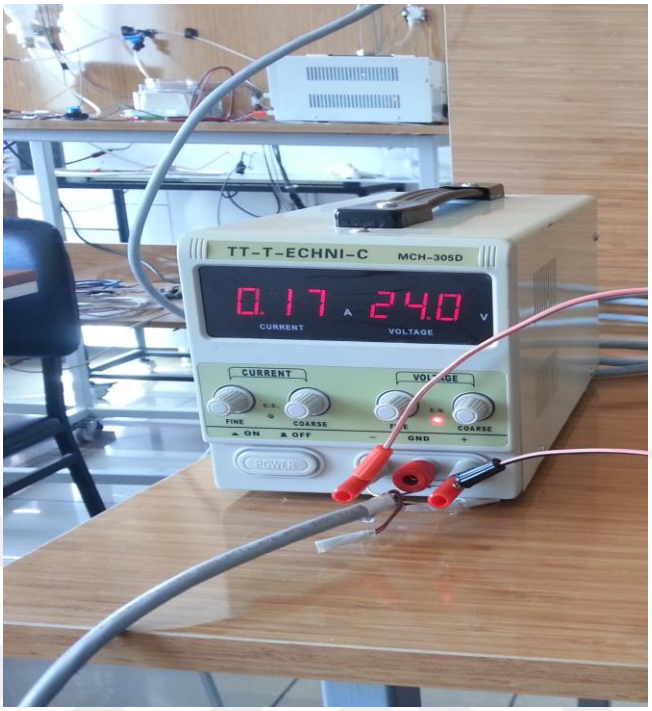
Şekil 5.31. Isıl çift (Termokupl)'un HHO hücresine yerleştirilmesi

7. Debimetre DC güç kaynağına bağlanır (Şekil 5.32).



Şekil 5.32. Debimetre'nin DC güç kaynağına bağlanması

8. DC güç kaynağı çalıştırılıp gerilim sabitlenir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. DC güç kaynağının çalıştırılıp gerilimin sabitlenmesi

9. Her dakika için DC güç kaynağındaki akım, ısıl çiftlerdeki sıcaklık ve debimetreden geçen HHO gazının debisi kaydedilir (Şekil 5.34).

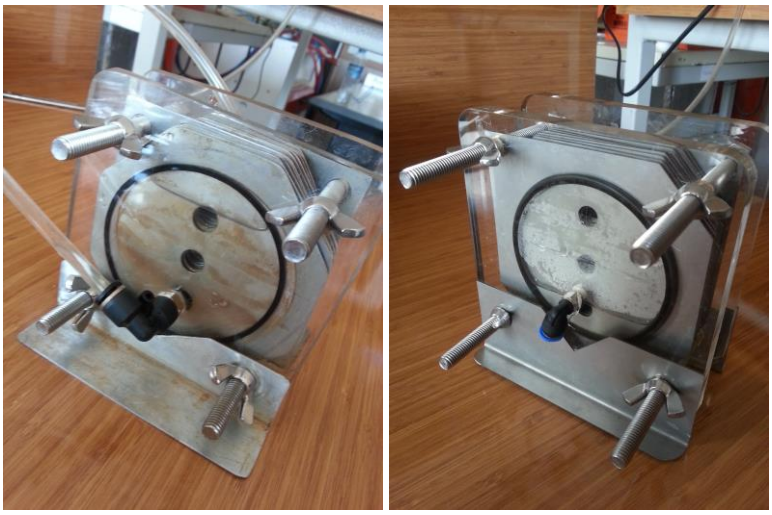


Şekil 5.34. Deneysel çalışmada verilerin kaydedilmesi

10. Belirlenen süre bittiği zaman DC güç kaynağı kapatılır.

11. Çalışma esnasında su tankına biriken su-gaz karışımı boşaltılır.

12. HHO hücresinde içindeki su-gaz karışımı boşaltılır (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. HHO hücresinde içindeki su-gaz karışımı boşaltılması

13. Her bir kombinasyon için HHO hücresi demontaj - montaj işleminden sonra yukarıdaki işlemler uygulanır.

5.2. HHO Hücre Performansının BM Yöntemiyle Modellenmesi

Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık Mantık (KTMTBM) tekniği ile HHO hücre performansları; gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri ile modellenmiştir. Giriş parametreleri plaka kombinasyonu (C) ve zaman (t); çıkış parametreleri ise voltaj (V), akım (A) ve sıcaklık (T) olarak BM tarafından tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısal parametreleri bulanıklaştırılarak çok çok düşük (L_1), çok düşük (L_2), düşük (L_3), negatif orta (L_4), orta (L_5), pozitif orta (L_6), yüksek (L_7), çok yüksek (L_8) ve çok çok yüksek (L_9) dil sınıflarını ifade eden sözel değişkenlere çevrilmiştir.

Bu tez çalışmasında, KTMTBM farklı üyelik fonksiyonları HHO kuru hücrenin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Performans parametreleri olarak plaka sayısı, zaman, voltaj, akım ve sıcaklık vardır. Deneysel veriler ile, giriş değişkenleri olan plaka sayısı ve zamanı bulanıklaştırma, 9 dilsel değişkenlerle bulanık kümesinin temsili, kural bazında oluşumunu, oluşturulan kural ve üç farklı üyelik fonksiyonu KTMTBM tekniğine dayalı hesaplama ile elde edilen çıktı değerleri arasında bir karşılaştırma içermektedir.

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 (R^2)

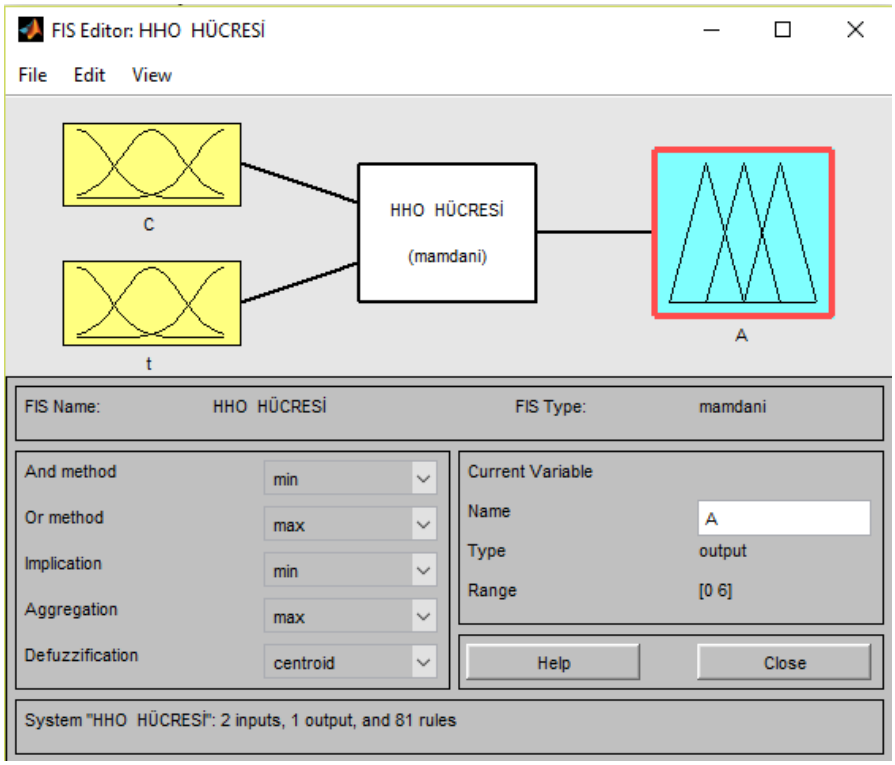
yönteminde, üçgen üyelik fonksiyonu için voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla % 98,29; % 99,5 ve % 96,47 değerleri; yamuk üyelik fonksiyonu için voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla % 96,8; % 97,9 ve % 95,1 gauss üyelik fonksiyonu için voltaj, akım ve sıcaklık için sırasıyla % 97,1; % 98,2 ve % 95,6 değerleri tespit edilmiştir (Işıktaş ve ark., 2016a).

Üçgen, Yamuk ve Gauss üyelik fonksiyonlarının HHO kuru hücre performansı açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, farklı bir bulanık mantık modeli üreterek HHO hücrenin performansını değerlendirmenin mümkün olduğunu sunmaktır (Işıktaş ve ark., 2016a).

5.2.1. HHO Hücresinin BM modelinin oluşturulması

Çalışmanın bu kısmında, elde edilmiş olan deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulan bulanık mantık model çalışması için Matlab programının Fuzzy Logic modülü kullanılmıştır.

Sisteme ait giriş - çıkış parametreleri, modelleme çalışması için önemli bir unsurdur. HHO hücresinin kombinasyon ve zamana bağlı, akım değişiminin analizi için oluşturulmuş bir model Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Kombinasyon ve zamana bağlı, gerilim ve sıcaklık değişimleri için de BM modeli oluşturulur.



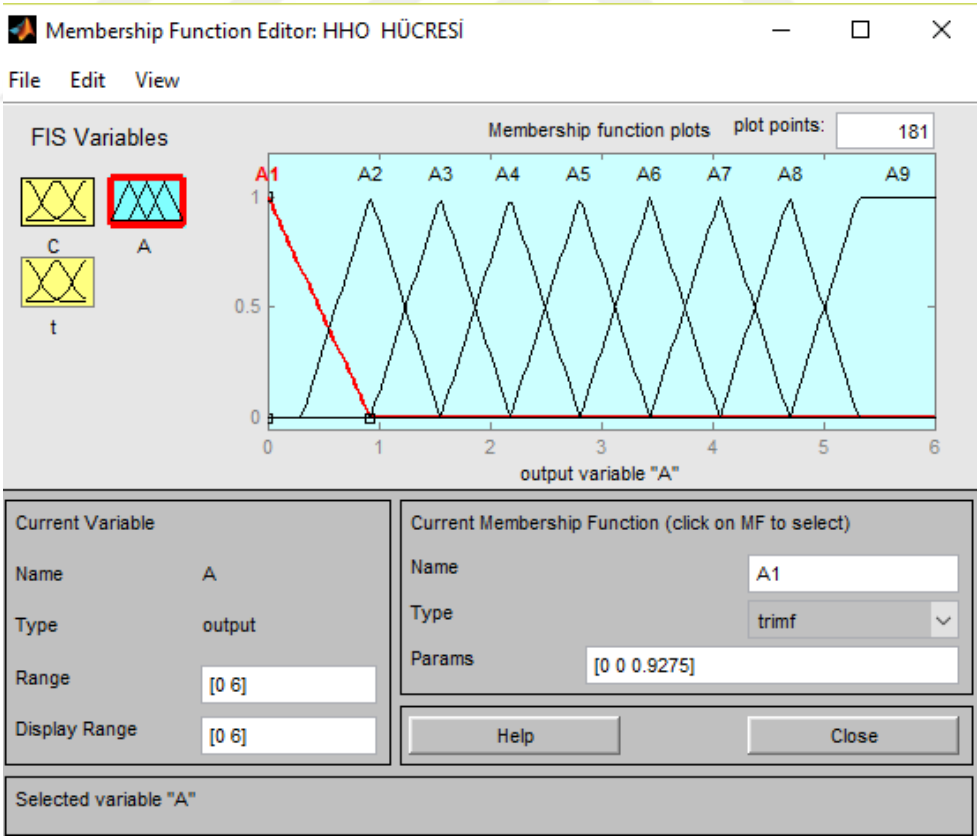
Şekil 5.36. Akım değeri için oluşturulan BM modelinin Matlab görüntüsü

5.2.2. Dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Giriş - çıkış parametrelerinin fonksiyon kümeleri oluşturulur. Deneysel çalışmadaki verilerin iyi bir şekilde analiz edilmesi için dilsel değişken ve üyelik fonksiyonu çeşitinin belirlenmesi gerekir.

Girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısal parametreleri sözel değişkenler olarak bulanıklaştırılmıştır. Çok çok düşük (L_1), çok düşük (L_2), düşük (L_3), negatif orta (L_4), orta (L_5), pozitif orta (L_6), yüksek (L_7), çok yüksek (L_8) ve çok çok yüksek (L_9) sözel değişkenlerinin hangi sayısal değerlere karşılık geldiği Tablo 5.1 - 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.37'de akım değerlerinin; A_1'den A_9'a kadar isimlendirildiği, A_8'e kadar üçgen üyelik fonksiyonu kullanıldığı daha sonra yamuk üyelik fonksiyonunun kullanıldığı görülmektedir. Her bir kümenin fonksiyon içerisinde 0-1 değerinde bir ağırlığı vardır. Bir (1) olması, tam olarak o kümenin elemanı olduğunu, sıfıra (0) yaklaşması ise o kümedeki etkisinin azaldığını belirtmektedir. Aynı şekilde çıkış değişkenleri ve giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyon grafikleri oluşturulur.



Şekil 5.37. Akım değerinin üyelik fonksiyonu grafiğine ait Matlab görüntüsü

Tablo 5.1. Giriş değerlerinin bulanık gösterimi (Ata, 2015).

Dilsel Değişkenler	Çok çok düşük	Çok düşük	Düşük	Negatif orta	Orta	Pozitif Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Çok çok yüksek
Plaka sayısı (C)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
	0-2	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10
t (s)	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
	1- 120	60- 180	120-240	180-300	240-360	300-420	360-480	420-540	480-600

Tablo 5.2. Çıkış değerlerinin bulanık gösterimi a. Volt (V) b. Akım (A) c. Sıcaklık (°C) (Ata, 2015).

(a)

Dilsel Değişkenler	Çok Düşük	Düşük	Negatif Orta	Orta	Pozitif Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Gerilim (V)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
	0-15.83	9.4-22.26	15.83-28.69	22.26-35.12	28.69-41.55	35.12- 48	41.55- 48

(b)

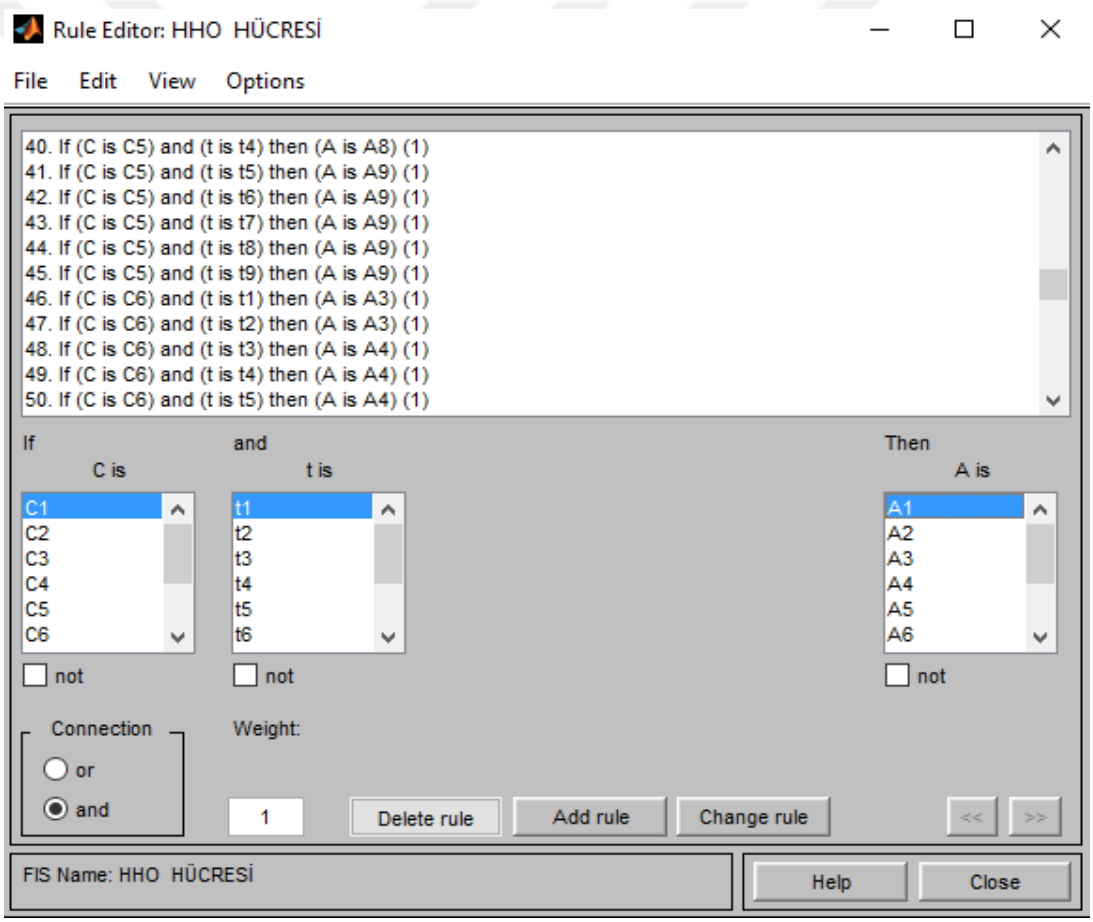
Dilsel Değişkenler	Çok çok düşük	Çok düşük	Düşük	Negatif orta	Orta	Pozitif Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Çok çok yüksek
Akım (A)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
	0-0.9275	0.3-1.555	0.927-2.182	1.555-2.81	2.182-3.437	2.81-4.065	3.437-4.692	4.065-5.32	4.6925-5.32

(c)

Dilsel Değişkenler	Çok çok düşük	Çok düşük	Düşük	Negatif orta	Orta	Pozitif Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Çok çok yüksek
Sıcaklık (°C)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
	0-18.93	16.3-21.56	18.93-24.19	21.56-26.83	24.2-29.46	26.83-32.09	29.46-34.73	32.1-37.36	34.73-40

5.2.3. Giriş- Çıkış Üyelik Fonksiyonlarının Kural tabanın oluşturulması

2 giriş ve 3 çıkışlı bir sistem için, her çıkış için 81 kural ve toplamda 243 kural oluşturulmuştur. Şekil 5.38'de akım değerinin analizi için yazılmış kurallardan 40. ile 50. kural arasına ait Matlab görüntüsü gösterilmektedir. Kurallar "eğer..ise" durumuna göre yazılmıştır. Örnek vermek gerekirse; 50. kural, C değerinin C6 dilsel değişkenine, t değerinin t5 dilsel değişkenine karşılık geldiği zaman, çıkış parametresi olan A değerinin A4 dilsel değişkenine karşılık gelmesi gerektiğini belirtiyor. V, A ve T için oluşturulan BM kuralları sırasıyla Tablo 5.3 - 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.38. Akım değeri için belirlenmiş kural sayfasının Matlab görüntüsü

Tablo 5.3. Bulanık modelleme ile gerilim değeri için belirlenen kurallar (Işıktaş ve ark., 2016a).

Rule no.		C		t		V	Rule no.	If	C	and	t	then	V
1	If	C is C_1	and	t is t_1	then	V is V_1	42	If	C is C_5	and	t is t_6	then	V is V_5
2	If	C is C_1	and	t is t_2	then	V is V_1	43	If	C is C_5	and	t is t_7	then	V is V_5
3	If	C is C_1	and	t is t_3	then	V is V_1	44	If	C is C_5	and	t is t_8	then	V is V_5
4	If	C is C_1	and	t is t_4	then	V is V_1	45	If	C is C_5	and	t is t_9	then	V is V_5
5	If	C is C_1	and	t is t_5	then	V is V_1	46	If	C is C_6	and	t is t_1	then	V is V_6
6	If	C is C_1	and	t is t_6	then	V is V_1	47	If	C is C_6	and	t is t_2	then	V is V_6
7	If	C is C_1	and	t is t_7	then	V is V_1	48	If	C is C_6	and	t is t_3	then	V is V_6
8	If	C is C_1	and	t is t_8	then	V is V_1	49	If	C is C_6	and	t is t_4	then	V is V_6
9	If	C is C_1	and	t is t_9	then	V is V_1	50	If	C is C_6	and	t is t_5	then	V is V_6
10	If	C is C_2	and	t is t_1	then	V is V_2	51	If	C is C_6	and	t is t_6	then	V is V_6
11	If	C is C_2	and	t is t_2	then	V is V_2	52	If	C is C_6	and	t is t_7	then	V is V_6
12	If	C is C_2	and	t is t_3	then	V is V_2	53	If	C is C_6	and	t is t_8	then	V is V_6
13	If	C is C_2	and	t is t_4	then	V is V_2	54	If	C is C_6	and	t is t_9	then	V is V_6
14	If	C is C_2	and	t is t_5	then	V is V_2	55	If	C is C_7	and	t is t_1	then	V is V_7
15	If	C is C_2	and	t is t_6	then	V is V_2	56	If	C is C_7	and	t is t_2	then	V is V_7
16	If	C is C_2	and	t is t_7	then	V is V_2	57	If	C is C_7	and	t is t_3	then	V is V_7
17	If	C is C_2	and	t is t_8	then	V is V_2	58	If	C is C_7	and	t is t_4	then	V is V_7
18	If	C is C_2	and	t is t_9	then	V is V_2	59	If	C is C_7	and	t is t_5	then	V is V_7
19	If	C is C_3	and	t is t_1	then	V is V_3	60	If	C is C_7	and	t is t_6	then	V is V_7
20	If	C is C_3	and	t is t_2	then	V is V_3	61	If	C is C_7	and	t is t_7	then	V is V_7
21	If	C is C_3	and	t is t_3	then	V is V_3	62	If	C is C_7	and	t is t_8	then	V is V_7
22	If	C is C_3	and	t is t_4	then	V is V_3	63	If	C is C_7	and	t is t_9	then	V is V_7
23	If	C is C_3	and	t is t_5	then	V is V_3	64	If	C is C_8	and	t is t_1	then	V is V_7
24	If	C is C_3	and	t is t_6	then	V is V_3	65	If	C is C_8	and	t is t_2	then	V is V_7
25	If	C is C_3	and	t is t_7	then	V is V_3	66	If	C is C_8	and	t is t_3	then	V is V_7
26	If	C is C_3	and	t is t_8	then	V is V_3	67	If	C is C_8	and	t is t_4	then	V is V_7
27	If	C is C_3	and	t is t_9	then	V is V_3	68	If	C is C_8	and	t is t_5	then	V is V_7
28	If	C is C_4	and	t is t_1	then	V is V_5	69	If	C is C_8	and	t is t_6	then	V is V_7
29	If	C is C_4	and	t is t_2	then	V is V_4	70	If	C is C_8	and	t is t_7	then	V is V_7
30	If	C is C_4	and	t is t_3	then	V is V_4	71	If	C is C_8	and	t is t_8	then	V is V_7
31	If	C is C_4	and	t is t_4	then	V is V_4	72	If	C is C_8	and	t is t_9	then	V is V_7
32	If	C is C_4	and	t is t_5	then	V is V_4	73	If	C is C_9	and	t is t_1	then	V is V_7
33	If	C is C_4	and	t is t_6	then	V is V_4	74	If	C is C_9	and	t is t_2	then	V is V_7
34	If	C is C_4	and	t is t_7	then	V is V_4	75	If	C is C_9	and	t is t_3	then	V is V_7
35	If	C is C_4	and	t is t_8	then	V is V_4	76	If	C is C_9	and	t is t_4	then	V is V_7
36	If	C is C_4	and	t is t_9	then	V is V_4	77	If	C is C_9	and	t is t_5	then	V is V_7
37	If	C is C_5	and	t is t_1	then	V is V_6	78	If	C is C_9	and	t is t_6	then	V is V_7
38	If	C is C_5	and	t is t_2	then	V is V_5	79	If	C is C_9	and	t is t_7	then	V is V_7
39	If	C is C_5	and	t is t_3	then	V is V_5	80	If	C is C_9	and	t is t_8	then	V is V_7
40	If	C is C_5	and	t is t_4	then	V is V_5	81	If	C is C_9	and	t is t_9	then	V is V_7
41	If	C is C_5	and	t is t_5	then	V is V_5							

Tablo 5.4. Bulanık modelleme ile akım değeri için belirlenen kurallar (Işıktaş ve ark., 2016a).

Rule number		C		t		A	Rule number		C		t		A
1	If	C is C_1	and	t is t_1	then	A is A_9	42	If	C is C_5	and	t is t_6	then	A is A_9
2	If	C is C_1	and	t is t_2	then	A is A_9	43	If	C is C_5	and	t is t_7	then	A is A_9
3	If	C is C_1	and	t is t_3	then	A is A_9	44	If	C is C_5	and	t is t_8	then	A is A_9
4	If	C is C_1	and	t is t_4	then	A is A_9	45	If	C is C_5	and	t is t_9	then	A is A_9
5	If	C is C_1	and	t is t_5	then	A is A_9	46	If	C is C_6	and	t is t_1	then	A is A_3
6	If	C is C_1	and	t is t_6	then	A is A_9	47	If	C is C_6	and	t is t_2	then	A is A_3
7	If	C is C_1	and	t is t_7	then	A is A_9	48	If	C is C_6	and	t is t_3	then	A is A_4
8	If	C is C_1	and	t is t_8	then	A is A_9	49	If	C is C_6	and	t is t_4	then	A is A_4
9	If	C is C_1	and	t is t_9	then	A is A_9	50	If	C is C_6	and	t is t_5	then	A is A_4
10	If	C is C_2	and	t is t_1	then	A is A_9	51	If	C is C_6	and	t is t_6	then	A is A_5
11	If	C is C_2	and	t is t_2	then	A is A_9	52	If	C is C_6	and	t is t_7	then	A is A_5
12	If	C is C_2	and	t is t_3	then	A is A_9	53	If	C is C_6	and	t is t_8	then	A is A_5
13	If	C is C_2	and	t is t_4	then	A is A_9	54	If	C is C_6	and	t is t_9	then	A is A_5
14	If	C is C_2	and	t is t_5	then	A is A_9	55	If	C is C_7	and	t is t_1	then	A is A_1
15	If	C is C_2	and	t is t_6	then	A is A_9	56	If	C is C_7	and	t is t_2	then	A is A_1
16	If	C is C_2	and	t is t_7	then	A is A_9	57	If	C is C_7	and	t is t_3	then	A is A_1
17	If	C is C_2	and	t is t_8	then	A is A_9	58	If	C is C_7	and	t is t_4	then	A is A_2
18	If	C is C_2	and	t is t_9	then	A is A_9	59	If	C is C_7	and	t is t_5	then	A is A_2
19	If	C is C_3	and	t is t_1	then	A is A_9	60	If	C is C_7	and	t is t_6	then	A is A_2
20	If	C is C_3	and	t is t_2	then	A is A_9	61	If	C is C_7	and	t is t_7	then	A is A_2
21	If	C is C_3	and	t is t_3	then	A is A_9	62	If	C is C_7	and	t is t_8	then	A is A_2
22	If	C is C_3	and	t is t_4	then	A is A_9	63	If	C is C_7	and	t is t_9	then	A is A_2
23	If	C is C_3	and	t is t_5	then	A is A_9	64	If	C is C_8	and	t is t_1	then	A is A_1
24	If	C is C_3	and	t is t_6	then	A is A_9	65	If	C is C_8	and	t is t_2	then	A is A_1
25	If	C is C_3	and	t is t_7	then	A is A_9	66	If	C is C_8	and	t is t_3	then	A is A_1
26	If	C is C_3	and	t is t_8	then	A is A_9	67	If	C is C_8	and	t is t_4	then	A is A_1
27	If	C is C_3	and	t is t_9	then	A is A_9	68	If	C is C_8	and	t is t_5	then	A is A_1
28	If	C is C_4	and	t is t_1	then	A is A_8	69	If	C is C_8	and	t is t_6	then	A is A_1
29	If	C is C_4	and	t is t_2	then	A is A_9	70	If	C is C_8	and	t is t_7	then	A is A_1
30	If	C is C_4	and	t is t_3	then	A is A_9	71	If	C is C_8	and	t is t_8	then	A is A_2
31	If	C is C_4	and	t is t_4	then	A is A_9	72	If	C is C_8	and	t is t_9	then	A is A_2
32	If	C is C_4	and	t is t_5	then	A is A_9	73	If	C is C_9	and	t is t_1	then	A is A_1
33	If	C is C_4	and	t is t_6	then	A is A_9	74	If	C is C_9	and	t is t_2	then	A is A_1
34	If	C is C_4	and	t is t_7	then	A is A_9	75	If	C is C_9	and	t is t_3	then	A is A_1
35	If	C is C_4	and	t is t_8	then	A is A_9	76	If	C is C_9	and	t is t_4	then	A is A_1
36	If	C is C_4	and	t is t_9	then	A is A_9	77	If	C is C_9	and	t is t_5	then	A is A_1
37	If	C is C_5	and	t is t_1	then	A is A_4	78	If	C is C_9	and	t is t_6	then	A is A_1
38	If	C is C_5	and	t is t_2	then	A is A_5	79	If	C is C_9	and	t is t_7	then	A is A_1
39	If	C is C_5	and	t is t_3	then	A is A_7	80	If	C is C_9	and	t is t_8	then	A is A_1
40	If	C is C_5	and	t is t_4	then	A is A_8	81	If	C is C_9	and	t is t_9	then	A is A_1
41	If	C is C_5	and	t is t_5	then	A is A_9							

Tablo 5.5. Bulanık modelleme ile sıcaklık değeri için belirlenen kurallar (Işıktaş ve ark., 2016a).

Rule number		C		t		T	Rule number		C		t		T
1	If	C is C_1	and	t is t_1	then	T is T_2	42	If	C is C_5	and	t is t_6	then	T is T_7
2	If	C is C_1	and	t is t_2	then	T is T_3	43	If	C is C_5	and	t is t_7	then	T is T_8
3	If	C is C_1	and	t is t_3	then	T is T_3	44	If	C is C_5	and	t is t_8	then	T is T_9
4	If	C is C_1	and	t is t_4	then	T is T_3	45	If	C is C_5	and	t is t_9	then	T is T_9
5	If	C is C_1	and	t is t_5	then	T is T_3	46	If	C is C_6	and	t is t_1	then	T is T_2
6	If	C is C_1	and	t is t_6	then	T is T_3	47	If	C is C_6	and	t is t_2	then	T is T_3
7	If	C is C_1	and	t is t_7	then	T is T_3	48	If	C is C_6	and	t is t_3	then	T is T_3
8	If	C is C_1	and	t is t_8	then	T is T_3	49	If	C is C_6	and	t is t_4	then	T is T_4
9	If	C is C_1	and	t is t_9	then	T is T_4	50	If	C is C_6	and	t is t_5	then	T is T_5
10	If	C is C_2	and	t is t_1	then	T is T_2	51	If	C is C_6	and	t is t_6	then	T is T_5
11	If	C is C_2	and	t is t_2	then	T is T_3	52	If	C is C_6	and	t is t_7	then	T is T_7
12	If	C is C_2	and	t is t_3	then	T is T_3	53	If	C is C_6	and	t is t_8	then	T is T_8
13	If	C is C_2	and	t is t_4	then	T is T_4	54	If	C is C_6	and	t is t_9	then	T is T_9
14	If	C is C_2	and	t is t_5	then	T is T_4	55	If	C is C_7	and	t is t_1	then	T is T_1
15	If	C is C_2	and	t is t_6	then	T is T_4	56	If	C is C_7	and	t is t_2	then	T is T_2
16	If	C is C_2	and	t is t_7	then	T is T_5	57	If	C is C_7	and	t is t_3	then	T is T_2
17	If	C is C_2	and	t is t_8	then	T is T_5	58	If	C is C_7	and	t is t_4	then	T is T_3
18	If	C is C_2	and	t is t_9	then	T is T_6	59	If	C is C_7	and	t is t_5	then	T is T_3
19	If	C is C_3	and	t is t_1	then	T is T_3	60	If	C is C_7	and	t is t_6	then	T is T_3
20	If	C is C_3	and	t is t_2	then	T is T_4	61	If	C is C_7	and	t is t_7	then	T is T_4
21	If	C is C_3	and	t is t_3	then	T is T_4	62	If	C is C_7	and	t is t_8	then	T is T_4
22	If	C is C_3	and	t is t_4	then	T is T_4	63	If	C is C_7	and	t is t_9	then	T is T_5
23	If	C is C_3	and	t is t_5	then	T is T_5	64	If	C is C_8	and	t is t_1	then	T is T_1
24	If	C is C_3	and	t is t_6	then	T is T_5	65	If	C is C_8	and	t is t_2	then	T is T_1
25	If	C is C_3	and	t is t_7	then	T is T_6	66	If	C is C_8	and	t is t_3	then	T is T_1
26	If	C is C_3	and	t is t_8	then	T is T_6	67	If	C is C_8	and	t is t_4	then	T is T_1
27	If	C is C_3	and	t is t_9	then	T is T_7	68	If	C is C_8	and	t is t_5	then	T is T_1
28	If	C is C_4	and	t is t_1	then	T is T_3	69	If	C is C_8	and	t is t_6	then	T is T_2
29	If	C is C_4	and	t is t_2	then	T is T_3	70	If	C is C_8	and	t is t_7	then	T is T_2
30	If	C is C_4	and	t is t_3	then	T is T_4	71	If	C is C_8	and	t is t_8	then	T is T_2
31	If	C is C_4	and	t is t_4	then	T is T_5	72	If	C is C_8	and	t is t_9	then	T is T_2
32	If	C is C_4	and	t is t_5	then	T is T_5	73	If	C is C_9	and	t is t_1	then	T is T_1
33	If	C is C_4	and	t is t_6	then	T is T_6	74	If	C is C_9	and	t is t_2	then	T is T_2
34	If	C is C_4	and	t is t_7	then	T is T_7	75	If	C is C_9	and	t is t_3	then	T is T_2
35	If	C is C_4	and	t is t_8	then	T is T_8	76	If	C is C_9	and	t is t_4	then	T is T_3
36	If	C is C_4	and	t is t_9	then	T is T_9	77	If	C is C_9	and	t is t_5	then	T is T_3
37	If	C is C_5	and	t is t_1	then	T is T_3	78	If	C is C_9	and	t is t_6	then	T is T_3
38	If	C is C_5	and	t is t_2	then	T is T_3	79	If	C is C_9	and	t is t_7	then	T is T_3
39	If	C is C_5	and	t is t_3	then	T is T_4	80	If	C is C_9	and	t is t_8	then	T is T_3
40	If	C is C_5	and	t is t_4	then	T is T_5	81	If	C is C_9	and	t is t_9	then	T is T_3
41	If	C is C_5	and	t is t_5	then	T is T_6							

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. HHO Hücresi Deney Sonuçları

9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 Kesit Alanlarında (KA) 3 farklı HHO hücresi için gerilim sabit tutularak debi (kg/h), zaman (dak.), akım (A) ve sıcaklık (^oC) değerleri tespit edilmiştir. Her bir kombinasyon için 5 dakika süre ile deneyler yapılmıştır. Deneyler de şebeke suyu kullanılmıştır.

6.1.1. KA'ı 9x9 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analiz ve Sonuçları

Deneyler de KA'ı 9x9 cm^2 olan HHO hücresi performansı için;

1) Gerilim (24V) sabit tutulmuştur.
2) Şebeke suyu kullanılmıştır.
3) Her bir kombinasyon için su tankındaki şebeke suyu değiştirilmiştir.
4) Her bir kombinasyon için 5 dakika süre belirlenmiştir.
5) Zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri gözlemlenmiştir.
6) HHO hücresi performans parametreleri olan zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri her bir kombinasyon için uygulanmıştır.
7) KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının kombinasyon verileri Tablo 6.1 - 6.8'de sunulmuştur.

Tablo 6.1. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-1 kombinasyon verileri

9-1 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	0,008 $x10^{-3}$	0,1	22	24
2	0,014 $x10^{-3}$	0,11	24	24
3	0,014 $x10^{-3}$	0,13	25,5	24
4	0,020 $x10^{-3}$	0,14	25	24
5	0,029 $x10^{-3}$	0,15	26	24

Tablo 6.2. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-2 kombinasyon verileri

9-2 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,006 $x10^{-3}$	0,1	23	24
2	0,008 $x10^{-3}$	0,12	24,7	24
3	0,029 $x10^{-3}$	0,13	24	24,1
4	0,030 $x10^{-3}$	0,13	25	24,2
5	0,033 $x10^{-3}$	0,14	26	24,2

Tablo 6.3. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-3 kombinasyon verileri

9-3 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,040 $x10^{-3}$	0,24	23	24
2	0,042 $x10^{-3}$	0,34	24,8	24
3	0,046 $x10^{-3}$	0,35	24	24
4	0,052 $x10^{-3}$	0,36	25	24
5	0,060 $x10^{-3}$	0,37	26	24

Tablo 6.4. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-4 kombinasyon verileri

9-4 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,017 $x10^{-3}$	0,23	22	24
2	0,019 $x10^{-3}$	0,25	23	24
3	0,034 $x10^{-3}$	0,28	24	24,4
4	0,040 $x10^{-3}$	0,33	26,8	24,6
5	0,045 $x10^{-3}$	0,36	26	24,7

Tablo 6.5. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-5 kombinasyon verileri

9-5 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,060 $x10^{-3}$	0,52	23	24
2	0,065 $x10^{-3}$	0,71	24	24
3	0,070 $x10^{-3}$	0,75	25	24,1
4	0,072 $x10^{-3}$	0,76	26,6	24,2
5	0,073 $x10^{-3}$	0,77	26	24,3

Tablo 6.6. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-6 kombinasyon verileri

9-6 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,022 $x10^{-3}$	0,70	24	24
2	0,027 $x10^{-3}$	0,71	25	24,1
3	0,020 $x10^{-3}$	0,75	26	24,1
4	0,043 $x10^{-3}$	0,75	27	24,1
5	0,055 $x10^{-3}$	0,76	28	24,1

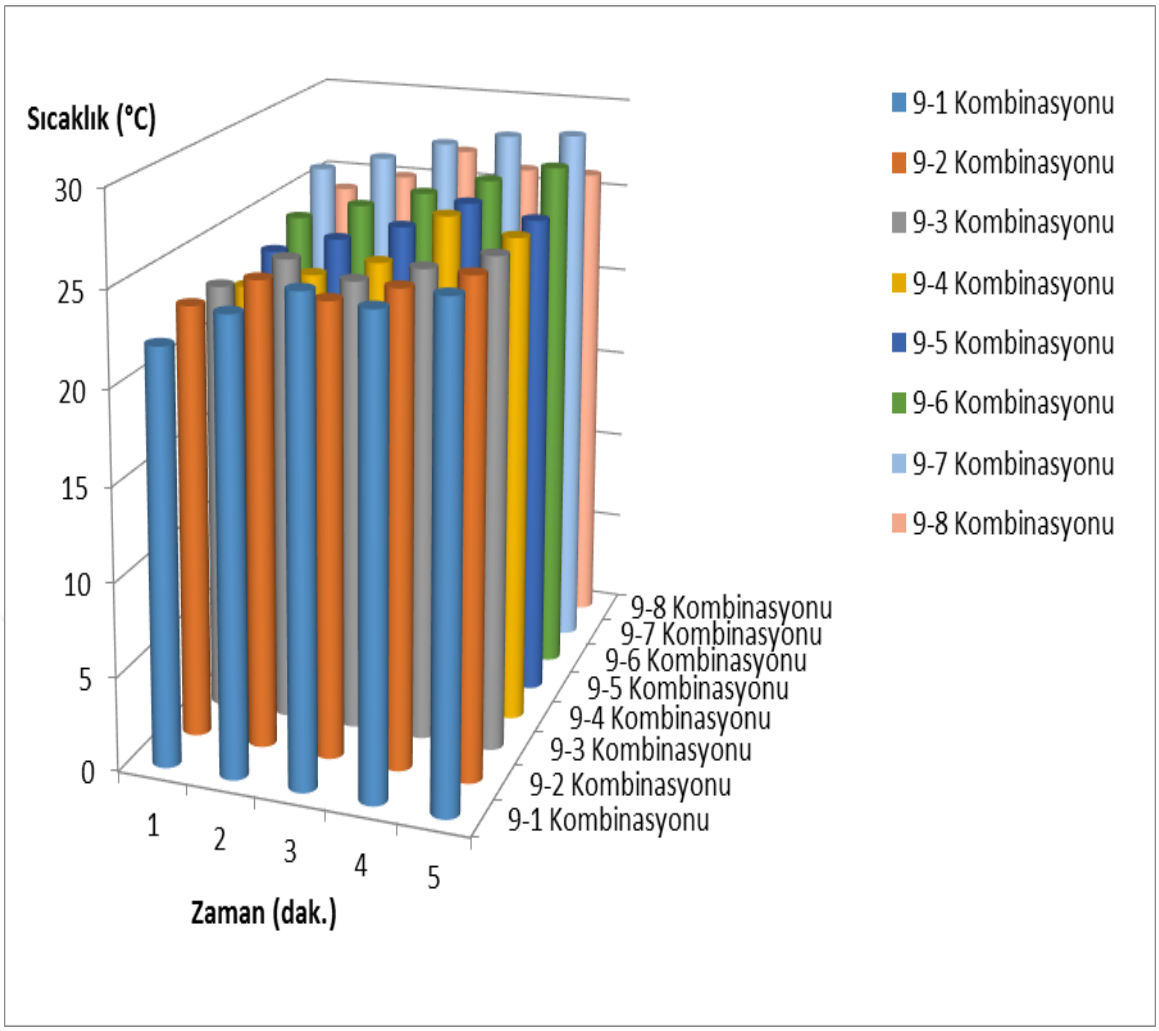
Tablo 6.7. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-7 kombinasyon verileri

9-7 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,010 $x10^{-3}$	1,00	26	24
2	0,027 $x10^{-3}$	1,01	26,9	24
3	0,032 $x10^{-3}$	1,02	28	24
4	0,035 $x10^{-3}$	1,03	28,7	24
5	0,036 $x10^{-3}$	1,07	29	24

Tablo 6.8. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının 9-8 kombinasyon verileri

9-8 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,030 $x10^{-3}$	0,98	24	24
2	0,032 $x10^{-3}$	0,98	25	24
3	0,046 $x10^{-3}$	0,99	26,8	24
4	0,047 $x10^{-3}$	1,00	26	24
5	0,050 $x10^{-3}$	1,01	26	24

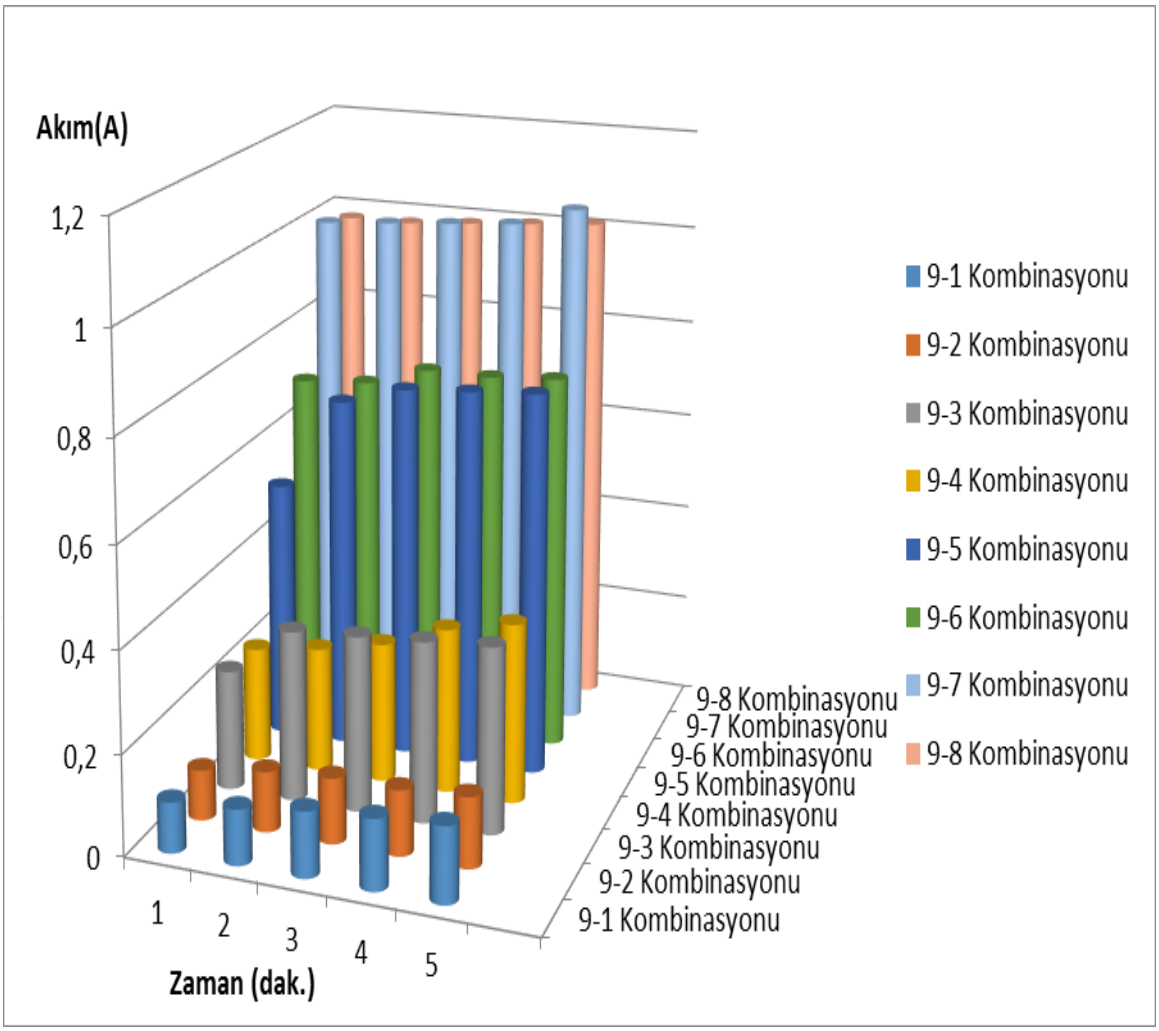
Sıcaklık, akım ve debinin; HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafikleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 6.1 - 6.3).



Şekil 6.1. Sıcaklığın HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.1'de; çalışma sıcaklığının, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Sistemin en önemli unsurlarından biri çalışma sıcaklığıdır. Çalışma sıcaklığı akım ve plaka sayısına göre değişebilmektedir.

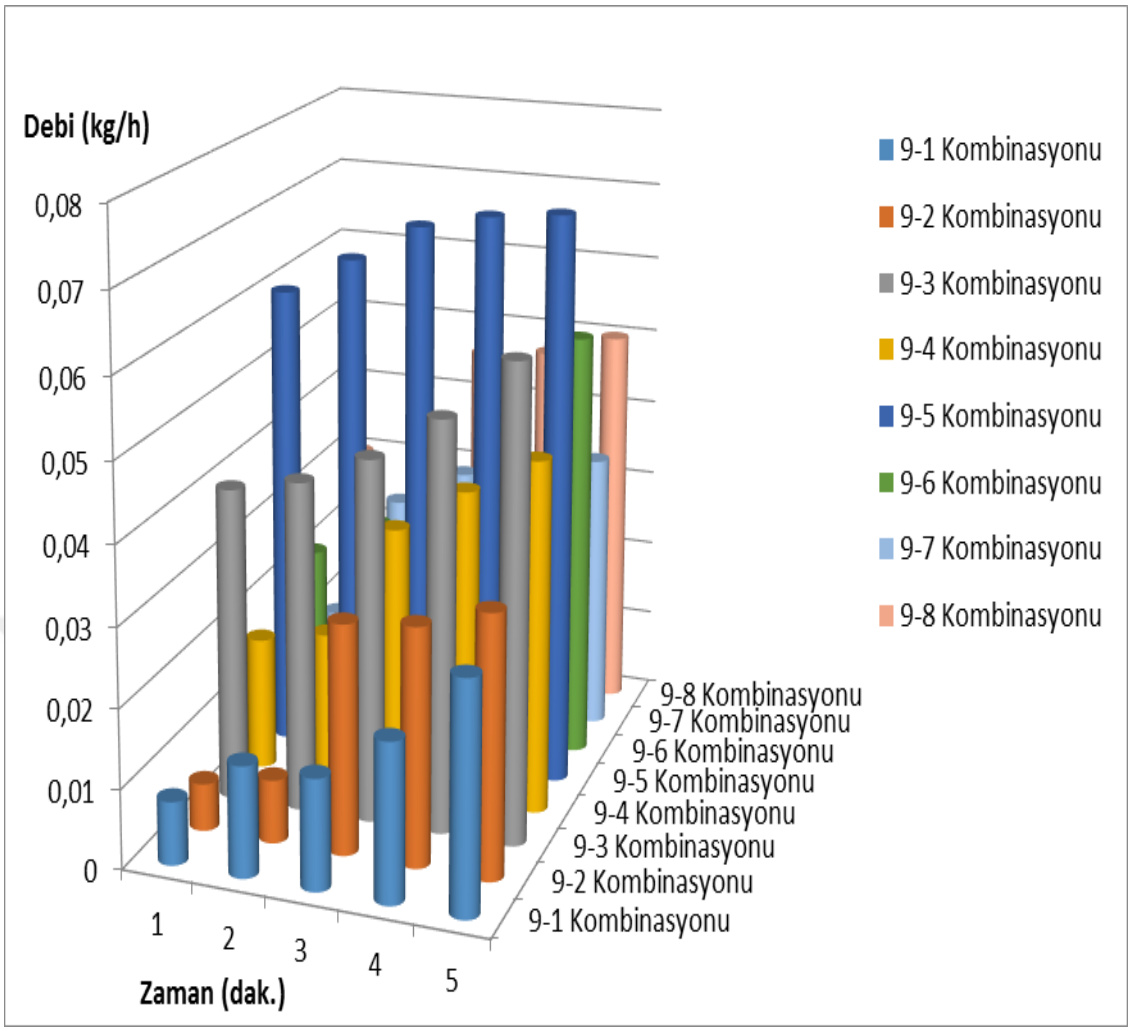
- Sisteme çektiği akım yükseldikçe sıcaklığın yükseldiği gözlemlenmiştir.
- Deneylerde belirlenen en yüksek sıcaklık değeri 29 ^{o}C olarak ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri sistemin 9-7 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri deneysel sistemin en yüksek akım değeri olan 1,07 A' de meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 6.2. Akımın HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.2'de; akımın, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Akım değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Sistemdeki akımın boş plaka sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
- Sistemdeki akım boş plaka sayısı azaldıkça azalmıştır.
- Sistemdeki en yüksek akım değeri 1,07 A'dir ve sistemin 9-7 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Fakat sistemde 1,07 A değerinin üzerinde bir ölçüm yapılmamıştır.
- Bunun nedeni çelik plakaların aktif alanı ile sistemin çektiği akım arasında bir bağıntı olmasıdır.
- Aktif plaka alanının akım değerine oranı yani akım yoğunluğu en fazla 0,02 A/cm^2 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.3. Debinin HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği.

Şekil 6.3'te; debinin, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Debi değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Debi değerinin zaman ile doğru orantılı olduğu görülür.
- Debi değerleri her kombinasyon için zaman artıkça artmıştır.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,073 $x10^{-3}$ (kg/h) değeri sistemin 9-5 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,073 $x10^{-3}$ (kg/h) değerinin üzerine çıkmamıştır.

6.1.2. KA'ı 10x10 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analizleri ve Sonuçları

Deneyler de KA'ı 10x10 cm^2 olan HHO Hücresi performansı için;

1) Gerilim (24V) sabit tutulmuştur.
2) Şebeke suyu kullanılmıştır.
3) Her bir kombinasyon için su tankındaki şebeke suyu değiştirilmiştir.
4) Her bir kombinasyon için 5 dakika süre belirlenmiştir.
5) Zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri gözlemlenmiştir.
6) HHO hücresi performans parametreleri olan zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri her bir kombinasyon için uygulanmıştır.
7) KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının kombinasyon verileri Tablo 6.9 – 6.17'de sunulmuştur.

Tablo 6.9. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-1 kombinasyon verileri

10-1 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	0,016 $x10^{-3}$	0,14	23,5	24
2	0,022 $x10^{-3}$	0,13	24,7	24
3	0,026 $x10^{-3}$	0,13	25,8	23,9
4	0,030 $x10^{-3}$	0,15	26,3	24
5	0,034 $x10^{-3}$	0,14	26,5	24

Tablo 6.10. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-2 kombinasyon verileri

10-2 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	0,020 $x10^{-3}$	0,19	24,8	24
2	0,024 $x10^{-3}$	0,17	24,9	24
3	0,030 $x10^{-3}$	0,18	24,7	23,9
4	0,032 $x10^{-3}$	0,14	25,3	24
5	0,036 $x10^{-3}$	0,18	26,3	24

Tablo 6.11. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-3 kombinasyon verileri

10-3 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,022 $x10^{-3}$	0,35	24	24
2	0,025 $x10^{-3}$	0,40	24,5	24,1
3	0,029 $x10^{-3}$	0,38	24,8	24
4	0,038 $x10^{-3}$	0,42	24,8	24
5	0,042 $x10^{-3}$	0,45	26,8	24

Tablo 6.12. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-4 kombinasyon verileri

10-4 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,027 $x10^{-3}$	0,54	24,2	24
2	0,030 $x10^{-3}$	0,53	24,5	24,1
3	0,032 $x10^{-3}$	0,52	25	24
4	0,035 $x10^{-3}$	0,52	26,8	23,9
5	0,034 $x10^{-3}$	0,55	26,2	24

Tablo 6.13. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-5 kombinasyon verileri

10-5 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,028 $x10^{-3}$	0,70	24,5	24
2	0,027 $x10^{-3}$	0,73	25,2	24
3	0,030 $x10^{-3}$	0,76	25,5	24
4	0,039 $x10^{-3}$	0,75	26,8	24
5	0,048 $x10^{-3}$	0,76	27,9	24

Tablo 6.14. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-6 kombinasyon verileri

10-6 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,037 $x10^{-3}$	0,75	26	24
2	0,038 $x10^{-3}$	0,77	26,6	24
3	0,039 $x10^{-3}$	0,78	27,6	24
4	0,048 $x10^{-3}$	0,79	28,8	23,9
5	0,057 $x10^{-3}$	0,78	29,2	24

Tablo 6.15. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-7 kombinasyon verileri

10-7 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,055 $x10^{-3}$	0,83	25,8	24
2	0,060 $x10^{-3}$	0,88	26,8	24
3	0,062 $x10^{-3}$	0,89	27,3	24
4	0,065 $x10^{-3}$	0,92	27,6	24
5	0,073 $x10^{-3}$	0,88	27,8	24,1

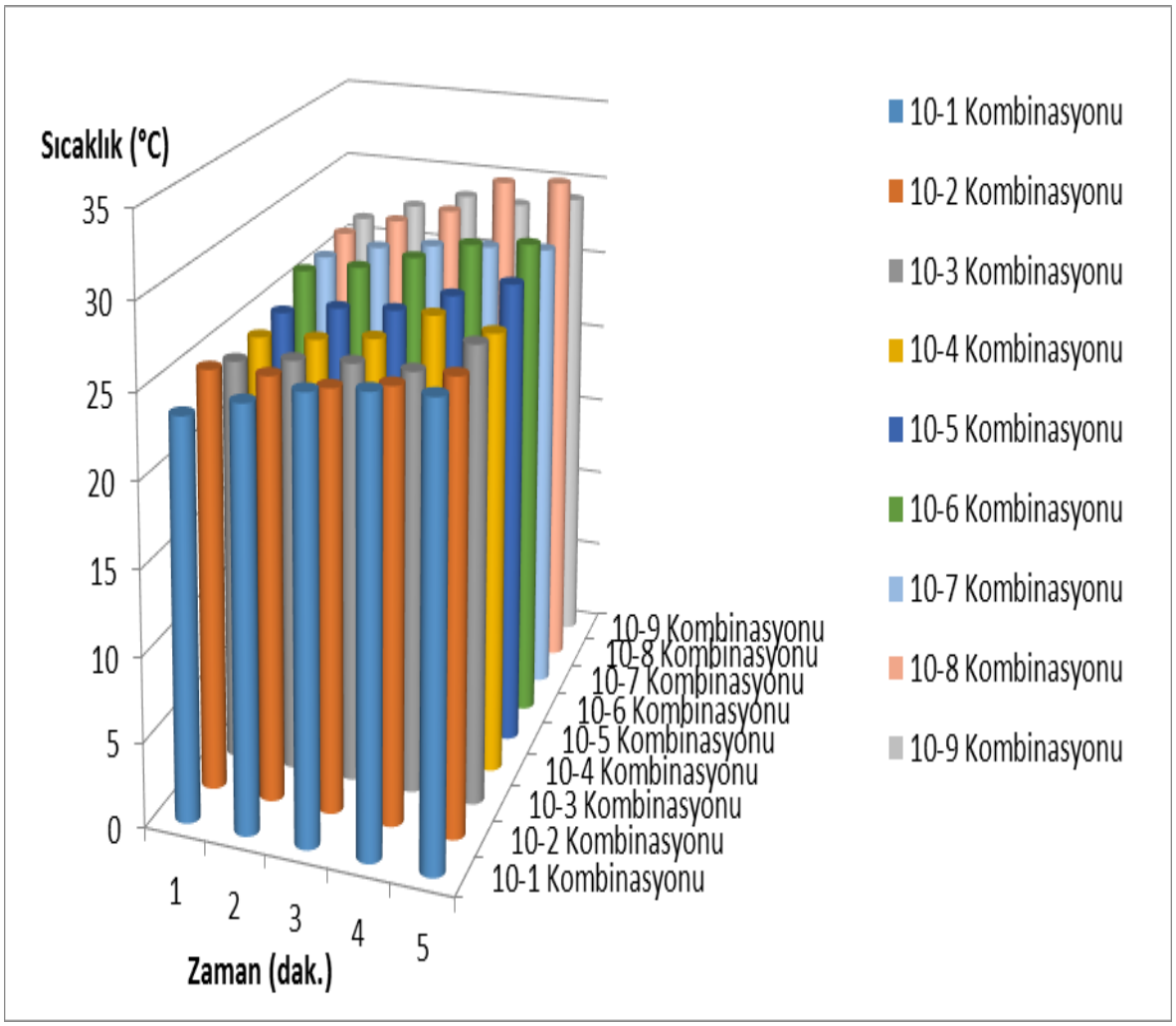
Tablo 6.16. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-8 kombinasyon verileri

10-8 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,067 $x10^{-3}$	1,15	26,3	24
2	0,068 $x10^{-3}$	1,17	27,5	24
3	0,073 $x10^{-3}$	1,19	28,5	24
4	0,076 $x10^{-3}$	1,18	30,7	24
5	0,088 $x10^{-3}$	1,22	31	24

Tablo 6.17. KA'ı 10x10 cm^2 HHO hücresi performansının 10-9 kombinasyon verileri

10-9 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,045 $x10^{-3}$	1,15	26,3	24
2	0,048 $x10^{-3}$	1,10	27,5	24
3	0,050 $x10^{-3}$	1,07	28,5	24,1
4	0,053 $x10^{-3}$	1,05	28,3	24
5	0,058 $x10^{-3}$	1,08	29	24

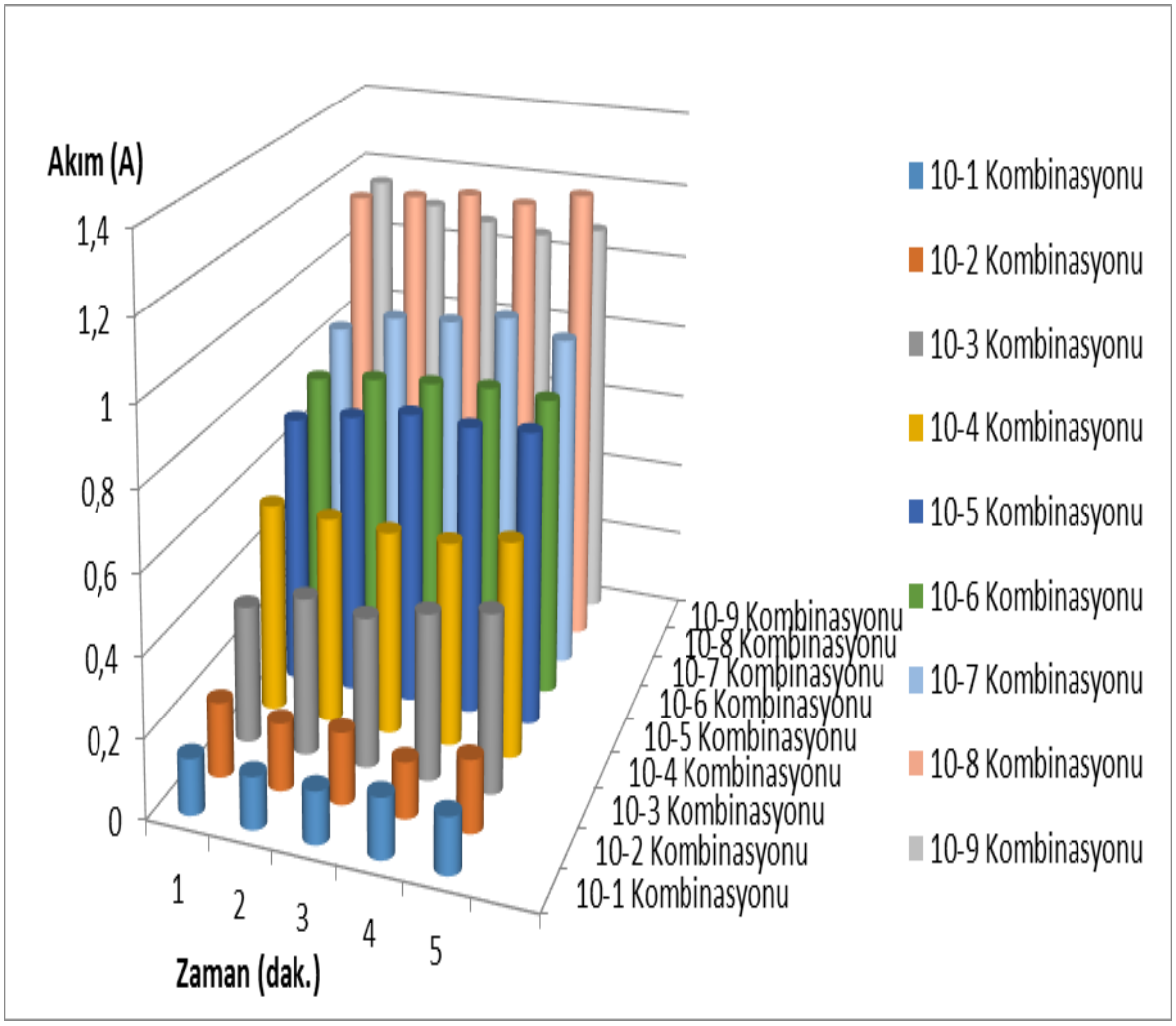
Sıcaklık, akım ve debinin; HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafikleri (Şekil 6.4 – 6.6)'da sunulmuştur.



Şekil 6.4. Sıcaklığın HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.4'te; çalışma sıcaklığının, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Sistemin en önemli unsurlarından biri çalışma sıcaklığıdır. Çalışma sıcaklığı akım ve plaka sayısına göre değişebilmektedir.

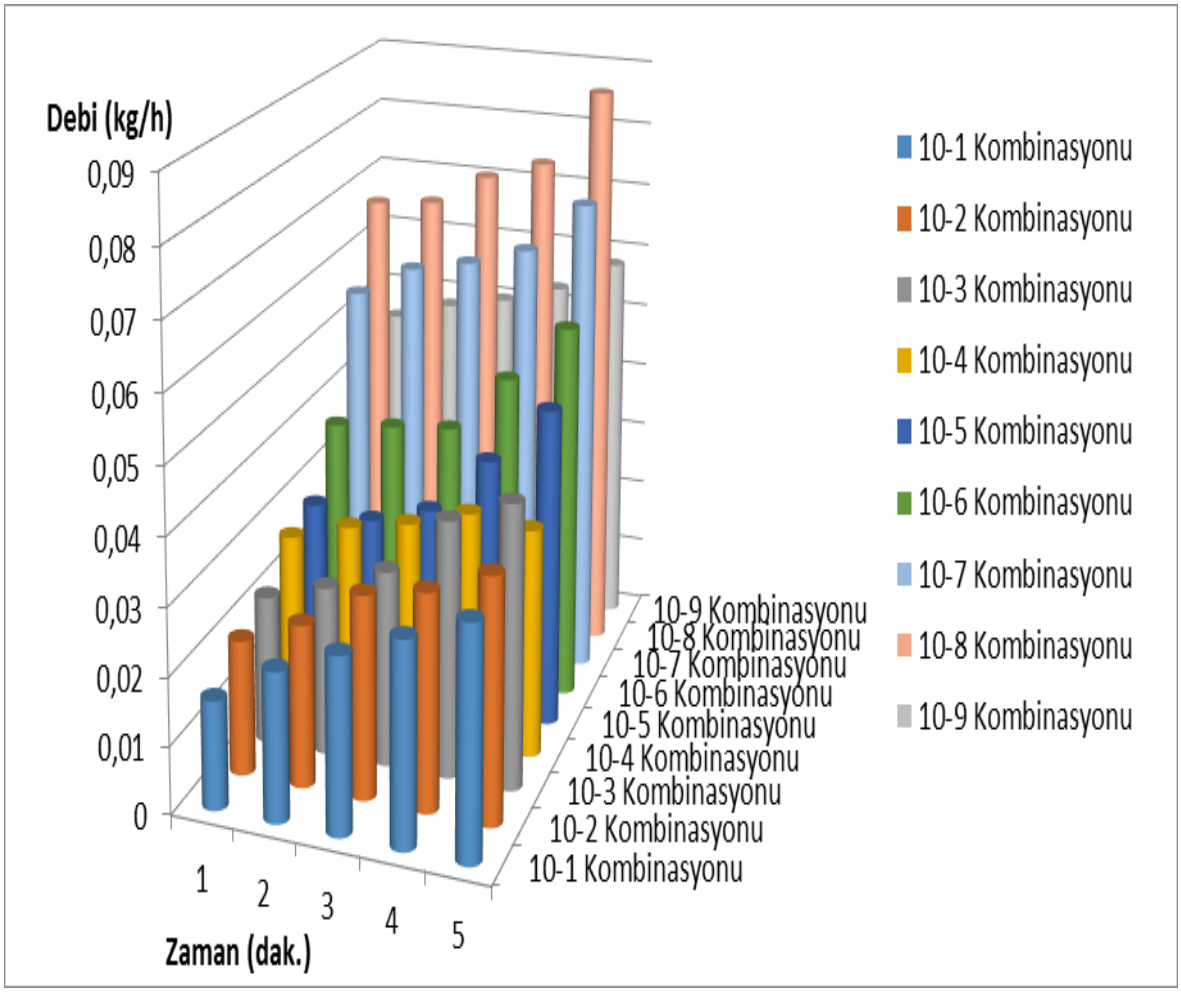
- Sisteme çektiği akım yükseldikçe sıcaklığın yükseldiği gözlemlenmiştir.
- Deneylerde belirlenen en yüksek sıcaklık değeri 31 ^{o}C olarak ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri deneysel sistemin en yüksek akım değeri olan 1,22 A değerinde meydana geldiği görülmüştür.
- Aynı zaman da en yüksek sıcaklık değeri sistemin en yüksek debi değeri olan 0,088 x10^{-3} (kg/h) değerinde gerçekleştiği gözlenmiştir.



Şekil 6.5. Akımın HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil-6.5'te; akımın, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Akım değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Sistemdeki akımın boş plaka sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
- Sistemdeki akım boş plaka sayısı azaldıkça azalmıştır.
- Sistemdeki en yüksek akım değeri 1,22 A'dir ve sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Fakat sistemde 1,22 A değerinin üzerinde bir ölçüm yapılmamıştır.
- Bunun nedeni çelik plakaların aktif alanı ile sistemin çektiği akım arasında bir bağıntı olmasıdır.
- Aktif plaka alanının akım değerine oranı yani akım yoğunluğu en fazla 0,023 A/cm^2 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. Debinin HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.6'da; debinin, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Debi değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Debi değerinin zaman ile doğru orantılı olduğu görülür.
- Debi değerleri her kombinasyon için zaman artıkça artmıştır.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,088 $x10^{-3}$ (kg/h) değeri sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,088 $x10^{-3}$ (kg/h) değerinin üzerine çıkmamıştır.
- Debi değerinin en yüksek değeri sıcaklığın (31 ^{o}C) en yüksek olduğu değer olarak ölçülmüştür.
- Aynı zamanda debi değerinin en yüksek değeri akımın (1,22 A) en yüksek olduğu değer olarak ölçülmüştür.

6.1.3. KA'ı 11x11 cm^2 olan HHO Hücresi Deney Analizleri ve Sonuçları

Deneyler de KA'ı 11x11 cm^2 olan HHO hücresi performansı için;

1) Gerilim (24V) sabit tutulmuştur.
2) Şebeke suyu kullanılmıştır.
3) Her bir kombinasyon için su tankındaki şebeke suyu değiştirilmiştir.
4) Her bir kombinasyon için 5 dakika süre belirlenmiştir.
5) Zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri gözlemlenmiştir.
6) HHO hücresi performans parametreleri olan zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri her bir kombinasyon için uygulanmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.
7) KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının kombinasyon verileri Tablo 6.18 – 6.27'de sunulmuştur.

Tablo 6.18. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-1 kombinasyon verileri

11-1 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	$0{,}017 \times 10^{-3}$	0,13	23,5	24
2	$0{,}023 \times 10^{-3}$	0,15	24,7	24
3	$0{,}028 \times 10^{-3}$	0,16	25,5	23,9
4	$0{,}031 \times 10^{-3}$	0,15	25,7	24,1
5	$0{,}033 \times 10^{-3}$	0,15	25,9	24

Tablo 6.19. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-2 kombinasyon verileri

11-2 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	$0{,}020 \times 10^{-3}$	0,20	24,2	24
2	$0{,}022 \times 10^{-3}$	0,22	24,3	24
3	$0{,}030 \times 10^{-3}$	0,19	24,7	23,9
4	$0{,}032 \times 10^{-3}$	0,21	25,6	24
5	$0{,}036 \times 10^{-3}$	0,23	26,3	24

Tablo 6.20. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-3 kombinasyon verileri

11-3 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,025 $x10^{-3}$	0,28	23,7	24,1
2	0,030 $x10^{-3}$	0,3	24,6	24
3	0,034 $x10^{-3}$	0,35	25,3	23,9
4	0,036 $x10^{-3}$	0,33	25,5	24
5	0,040 $x10^{-3}$	0,34	26,8	24

Tablo 6.21. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-4 kombinasyon verileri

11-4 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,024 $x10^{-3}$	0,34	23	24
2	0,025 $x10^{-3}$	0,36	23,6	24
3	0,029 $x10^{-3}$	0,37	24,2	24
4	0,036 $x10^{-3}$	0,39	24,8	24
5	0,041 $x10^{-3}$	0,43	25,6	24

Tablo 6.22. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-5 kombinasyon verileri

11-5 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,028 $x10^{-3}$	0,52	23,6	24
2	0,029 $x10^{-3}$	0,53	24,1	24
3	0,030 $x10^{-3}$	0,55	25	24,1
4	0,035 $x10^{-3}$	0,57	26,6	24
5	0,042 $x10^{-3}$	0,52	26,8	23,9

Tablo 6.23. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-6 kombinasyon verileri

11-6 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,025 $x10^{-3}$	0,72	24,3	24
2	0,030 $x10^{-3}$	0,73	25,2	24
3	0,035 $x10^{-3}$	0,75	25,6	24
4	0,037 $x10^{-3}$	0,75	26,9	24,1
5	0,052 $x10^{-3}$	0,78	27,5	24

Tablo 6.24. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-7 kombinasyon verileri

11-7 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,038 $x10^{-3}$	0,76	25,9	24
2	0,042 $x10^{-3}$	0,78	26,4	23,9
3	0,040 $x10^{-3}$	0,79	27,8	24
4	0,047 $x10^{-3}$	0,75	28,5	24
5	0,058 $x10^{-3}$	0,77	28,9	24,1

Tablo 6.25. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-8 kombinasyon verileri

11-8 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,047 $x10^{-3}$	0,86	25,4	24
2	0,046 $x10^{-3}$	0,88	26,3	24,1
3	0,049 $x10^{-3}$	0,89	27	24
4	0,062 $x10^{-3}$	0,92	27,2	24
5	0,072 $x10^{-3}$	0,96	27,6	24

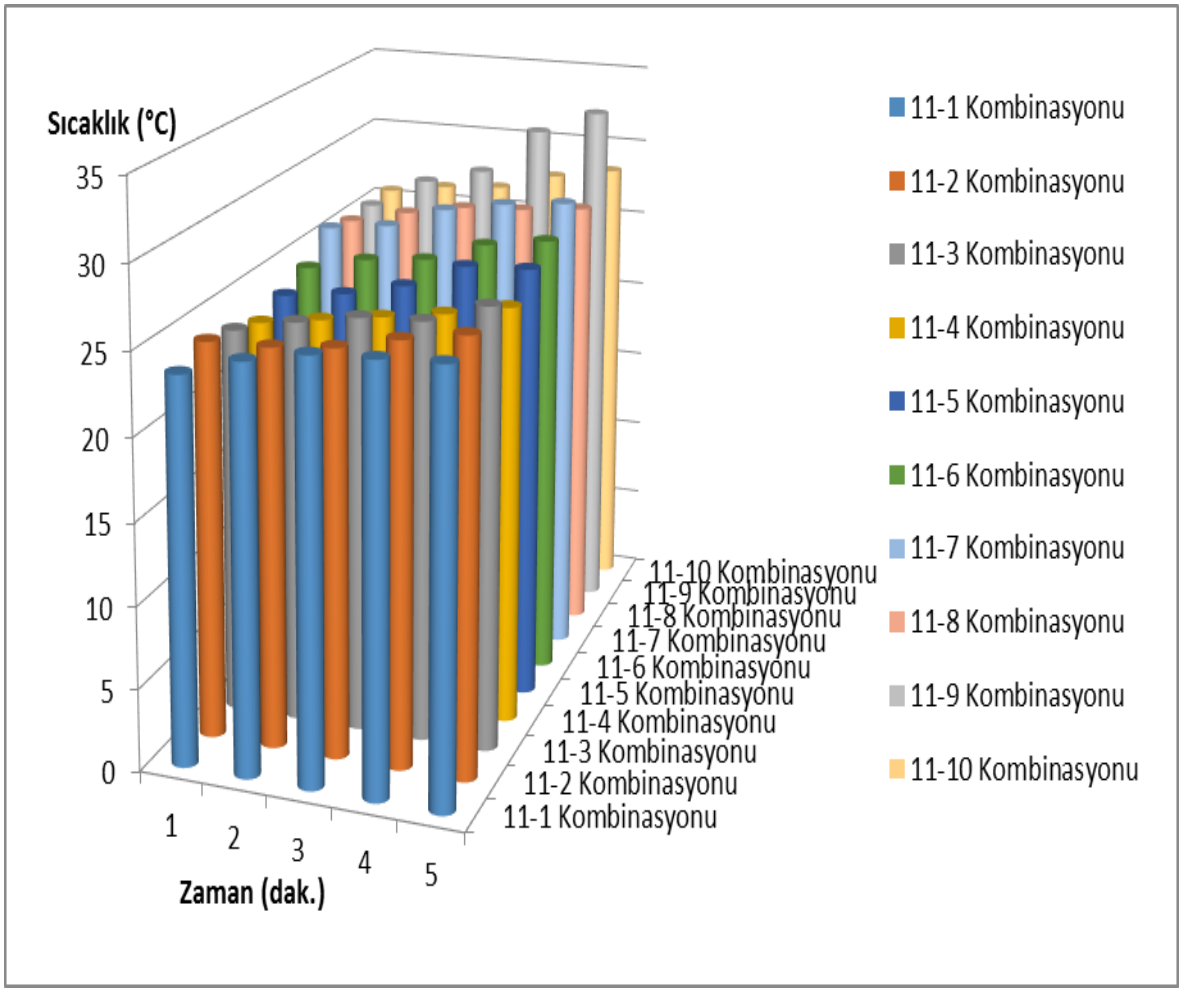
Tablo 6.26. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-9 kombinasyon verileri

11-9 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,075 $x10^{-3}$	1,22	25,5	24
2	0,078 $x10^{-3}$	1,19	27,5	23,9
3	0,082 $x10^{-3}$	1,18	28,5	24
4	0,089 $x10^{-3}$	1,17	31,5	24
5	0,096 $x10^{-3}$	1,25	33	24

Tablo 6.27. KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi performansının 11-10 kombinasyon verileri

11-10 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (Volt)
1	0,045 $x10^{-3}$	1,16	25,6	24
2	0,055 $x10^{-3}$	1,18	26,2	23,9
3	0,048 $x10^{-3}$	1,16	26,5	24
4	0,049 $x10^{-3}$	1,15	27,6	24,1
5	0,058 $x10^{-3}$	1,18	28,3	24

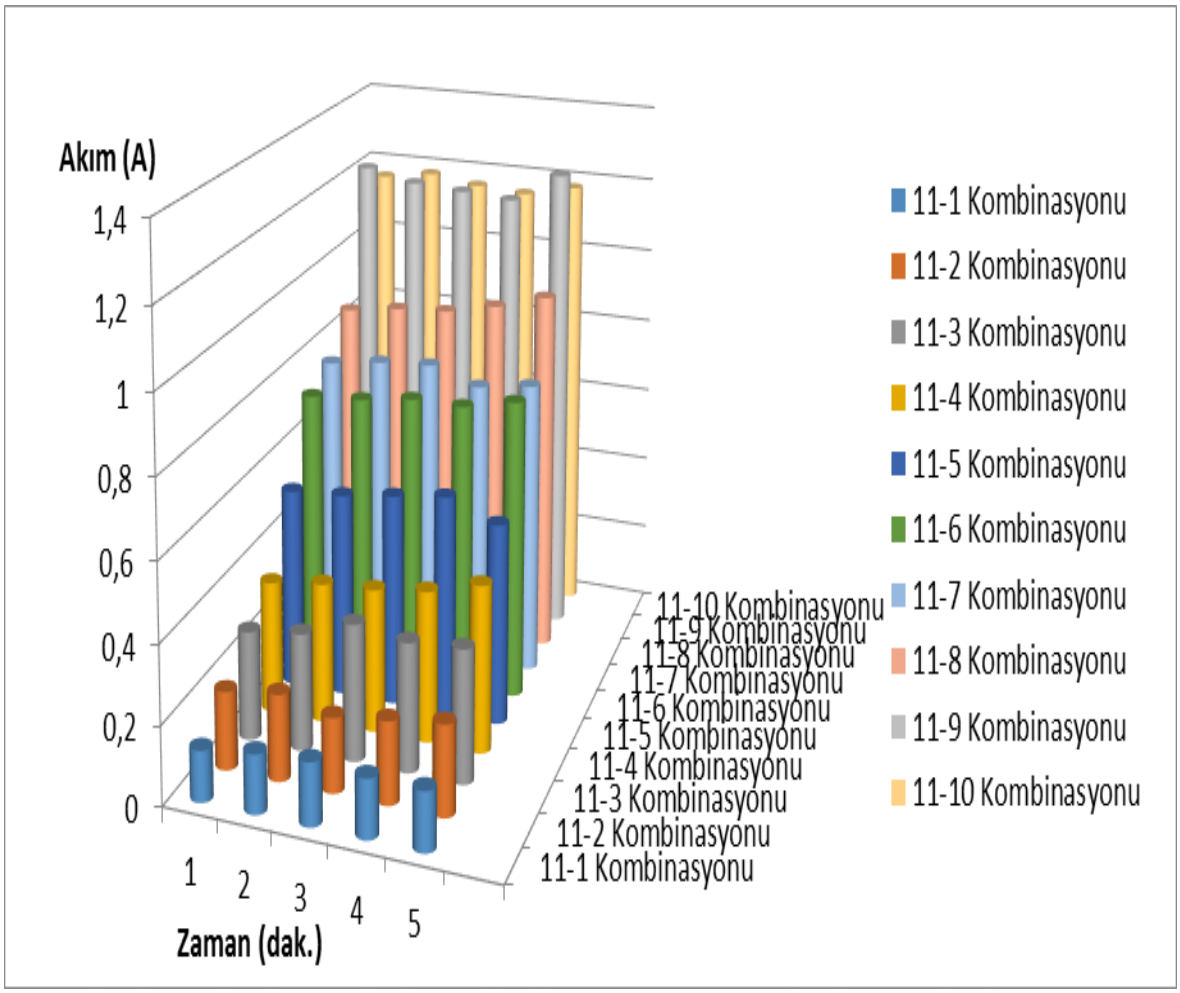
KA'ı 11x11 cm^2 HHO hücresi sıcaklık, akım ve debinin; HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafikleri (Şekil 6.7 - 6.9)'da sunulmuştur.



Şekil 6.7. Sıcaklığın HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.7'de; çalışma sıcaklığının, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Sistemin en önemli unsurlarından biri çalışma sıcaklığıdır. Çalışma sıcaklığı akım ve plaka sayısına göre değişebilmektedir.

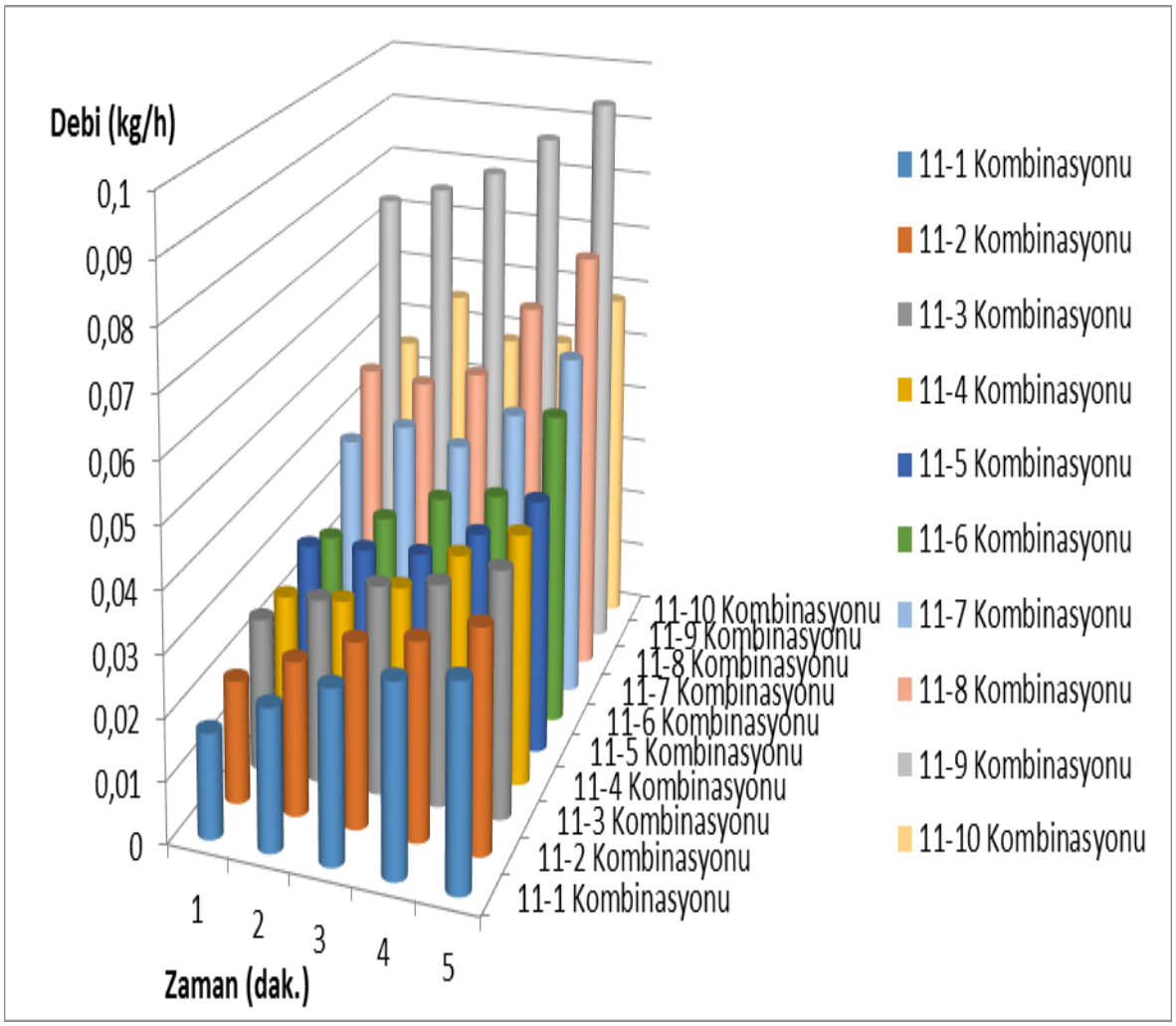
- Sisteme çektiği akım yükseldikçe sıcaklığın yükseldiği gözlemlenmiştir.
- Deneylerde belirlenen en yüksek sıcaklık değeri 33 ^oC olarak ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri deneysel sistemin en yüksek akım değeri olan 1,25 A değerinde meydana geldiği görülmüştür.
- Aynı zaman da en yüksek sıcaklık değeri sistemin en yüksek debi değeri olan 0,096 $x10^{-3}$ (kg/h) değerinde gerçekleştiği gözlenmiştir.



Şekil 6.8. Akımın HHO Hücresi Plaka Kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.8'de; akımın, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Akım değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Sistemdeki akımın boş plaka sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
- Sistemdeki akım boş plaka sayısı azaldıkça azalmıştır.
- Sistemdeki en yüksek akım değeri 1,25 A'dir ve sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Fakat sistemde 1,25 A değerinin üzerinde bir ölçüm yapılmamıştır.
- Bunun nedeni çelik plakaların aktif alanı ile sistemin çektiği akım arasında bir bağıntı olmasıdır.
- Aktif plaka alanının akım değerine oranı yani akım yoğunluğu en fazla 0,024 A/cm^2 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.9. Debinin HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil-6.9'da; debinin, HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Debi değeri zaman ve plaka sayısına göre değişim göstermiştir.

- Debi değerinin zaman ile doğru orantılı olduğu görülür.
- Debi değerleri her kombinasyon için zaman artıkça artmıştır.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,096 $x10^{-3}$ (kg/h) değeri sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Debi değerinin en yüksek değeri olan 0,096 $x10^{-3}$ (kg/h) değerinin üzerine çıkmamıştır.
- Debi değerinin en yüksek değeri sıcaklığın (33 ^{o}C) en yüksek olduğu değer olarak ölçülmüştür.
- Aynı zamanda debi değerinin en yüksek değeri akımın (1,25 A) en yüksek olduğu değer olarak ölçülmüştür.

6.1.4. Tuzlu Su ve KOH Kimyasal Bileşikleri ile Yapılan HHO Hücresi Deney Analiz ve Sonuçları

Deneyler de KA'ı 9x9 cm^2 olan Tuzlu Su ve KOH kimyasal bileşikleri ile yapılan HHO hücresi performansı için;

1) Gerilim (24V) sabit tutulmuştur.
2) Tuzlu su ve KOH kimyasal bileşikleri kullanılmıştır.
3) Her bir kombinasyon için 5 dak. süre belirlenmiştir.
4) Zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri gözlemlenmiştir.
5) HHO hücresi performans parametreleri olan zaman (dak.), debi (kg/h), akım (Amper) ve sıcaklık (^oC) değerleri her bir kombinasyon için uygulanmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.
6) KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının kombinasyon verileri Tablo 6.28 – 6.29'da sunulmuştur.

Tablo 6.28. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının tuzlu su verileri

9-1 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	$0,16 \times 10^{-3}$	0,7	22	24
2	$0,16 \times 10^{-3}$	0,7	22	24
3	$0,17 \times 10^{-3}$	0,8	23	24
4	$0,18 \times 10^{-3}$	0,9	24	24
5	$0,15 \times 10^{-3}$	1,3	24	24

Tablo 6.29. KA'ı 9x9 cm^2 HHO hücresi performansının KOH kimyasal bileşiği verileri

9-1 Kombinasyonu				
Zaman(dak.)	Debi (kg/h)	Akım (Amper)	Sıcaklık (^oC)	Gerilim (Volt)
1	$0,152 \times 10^{-3}$	0,98	22	24
2	$0,155 \times 10^{-3}$	1,03	23	24
3	$0,158 \times 10^{-3}$	1,05	24	24
4	$0,160 \times 10^{-3}$	1,1	24	24
5	$0,161 \times 10^{-3}$	1,15	25	24

Deneyler de KA'ı 9x9 cm^2 olan tuzlu su ve KOH kimyasal bileşikleri ile yapılan HHO hücresi performansı için şu sonuçlar elde edilmiştir;

1. Performans verileri şebeke suyuna göre daha yüksektir.
2. Şebeke suyuna göre plakaların çektiği akım yüksek olup elektroliz daha hızlı gerçekleşmektedir.
3. Bu hızlı elektroliz ile birlikte plakaların aşınması daha hızlıdır. Bu sebepten dolayı HHO hücresi değişimi çok hızlı olup ekstra maliyet yüklemektedir (Şekil 6.10).

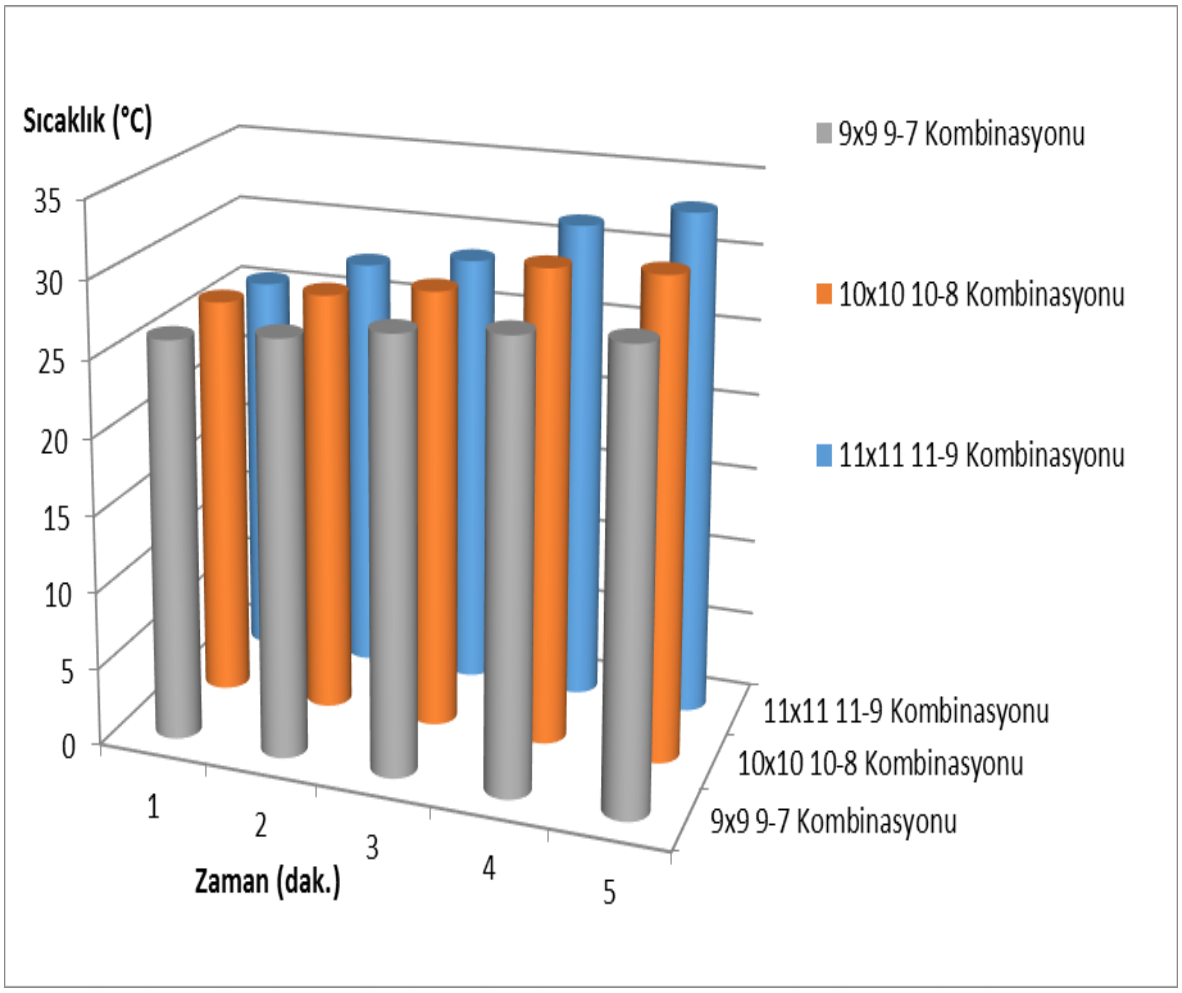


Şekil 6.10. Tuzlu su ve KOH kimyasal bileşiklerinde HHO hücresi plakaların aşınması

4. Aşınan plakalardan dolayı elektroliz olayı daha yavaş gerçekleşmekte ve performans verileri düşmektedir.
5. Yukarıdaki dezavantajlar sebebiyle deneylerimiz de şebeke suyu kullanılmıştır.

6.1.5. Üç Farklı Kesit Alanındaki Aktif Plakaların HHO Hücresi Deney Analiz Karşılaştırılması ve Sonuçları

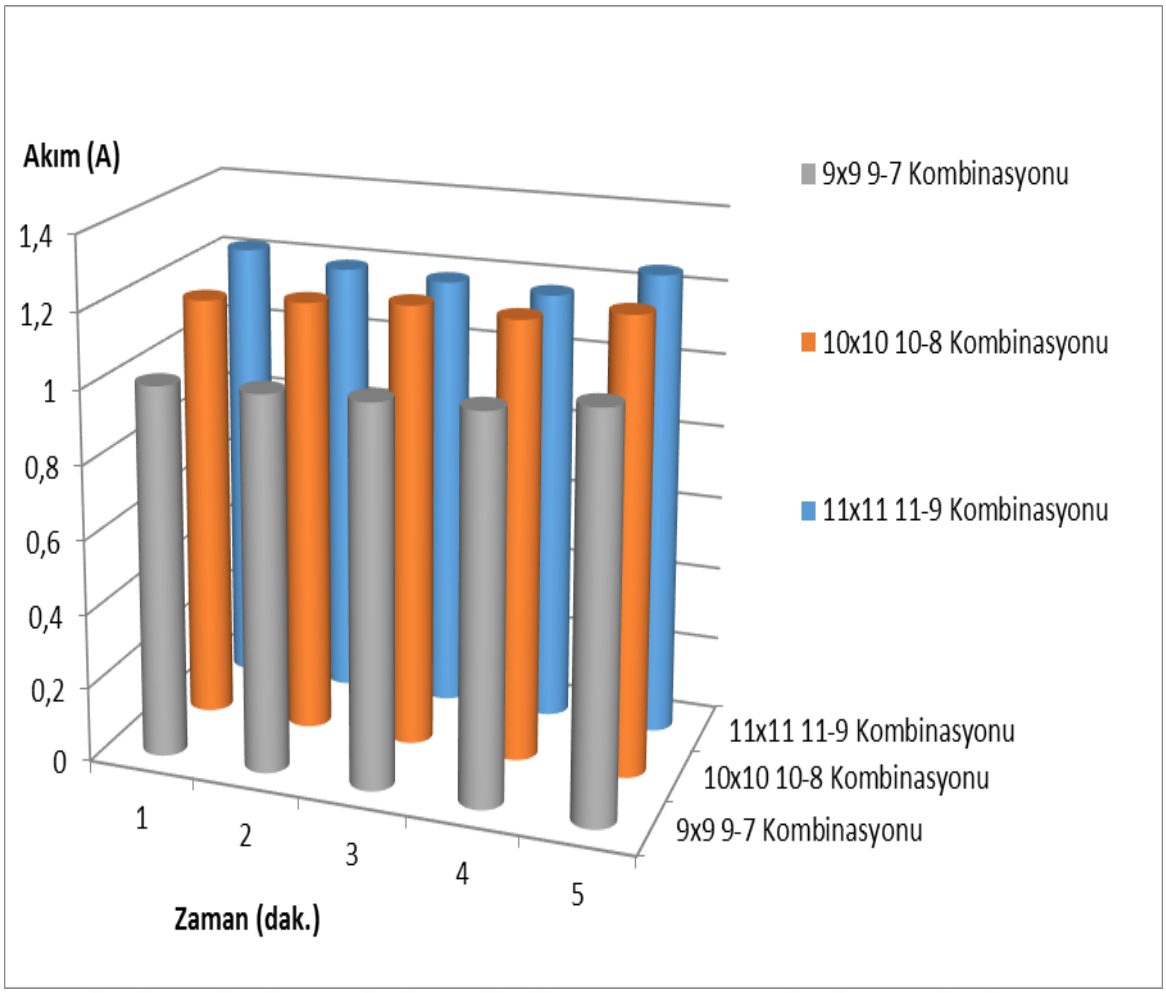
Sıcaklık, akım ve debinin üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği Şekil 6.11 – 6.13'te sunulmuştur.



Şekil 6.11. Sıcaklığın üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.11'de; çalışma sıcaklığının, üç farklı kesit alanındaki (9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2) aktif plakaların HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir. Sistemin en önemli unsurlarından biri çalışma sıcaklığıdır. Çalışma sıcaklığı akım ve plaka sayısına göre değişebilmektedir.

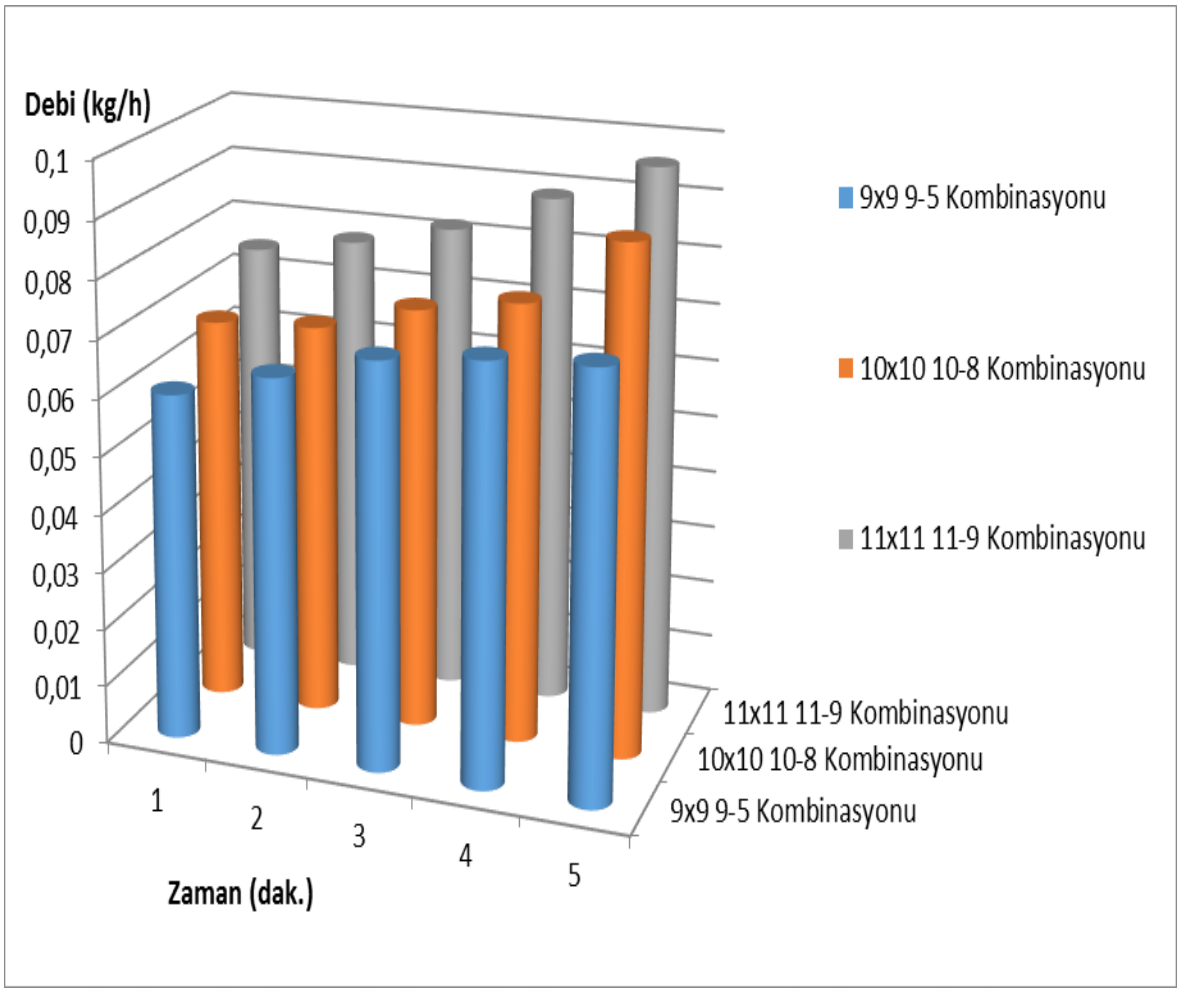
- Çalışma sıcaklığı kesit alanı ile doğru orantılı olup, kesit alanı arttıkça sıcaklıkta artmıştır.
- En yüksek sıcaklıklar 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 için sırasıyla 29 ^oC, 31 ^oC ve 33 ^oC ölçülmüştür.
- En yüksek sıcaklık değeri 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 için sırasıyla 9-7, 10- 8 ve 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların en yüksek sıcaklık değeri aynı zamanda sisteminde en yüksek akım değerleridir.



Şekil 6.12. Akımın üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.12'de; akımın, üç farklı kesit alanındaki (9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2) aktif plakaların HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir.

- Akım, kesit alanı ile doğru orantılı olup, kesit alanı arttıkça akım da artmıştır.
- En yüksek akım değerleri 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11cm^2 için sırasıyla 1,07 A, 1,22 A ve 1,25 A olarak ölçülmüştür.
- En yüksek akım değeri 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 için sırasıyla 9-7, 10-8 ve 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların en yüksek akım değeri aynı zamanda sistemin de en yüksek akım değerleridir.



Şekil 6.13. Debinin üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların HHO hücresi plaka kombinasyonları ve zamana göre değişim grafiği

Şekil 6.13'te; debinin, üç farklı kesit alanındaki (9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2) aktif plakaların HHO hücresi plaka sayısı ve zamana göre değişimi verilmiştir.

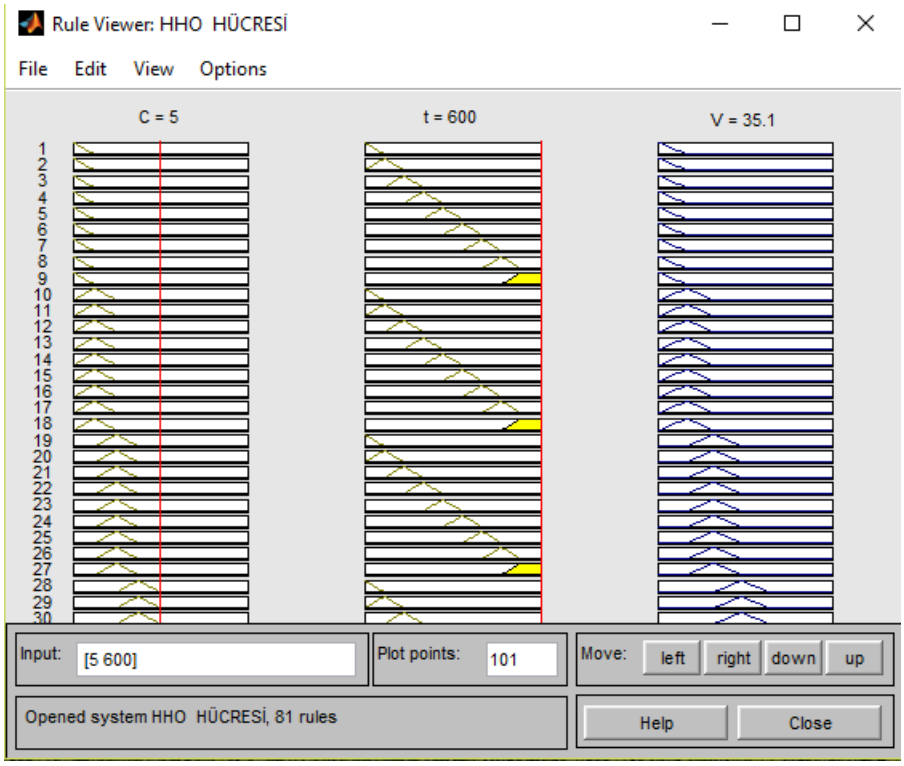
- Debi, kesit alanı ile doğru orantılı olup, kesit alanı arttıkça debi de artmıştır.
- En yüksek debi değerleri 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11cm^2 için sırasıyla 0,073 $x10^{-3}$ (kg/h) ; 0,088 $x10^{-3}$ (kg/h) ve 0,096 $x10^{-3}$ (kg/h) olarak ölçülmüştür.
- En yüksek debi değeri 9x9 cm^2, 10x10 cm^2 ve 11x11 cm^2 için sırasıyla 9-5, 10-8 ve 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür.
- Üç farklı kesit alanındaki aktif plakaların en yüksek debi değeri aynı zamanda sisteminde en yüksek debi değerleridir.
- Sistemin en fazla gaz ürettiği kombinasyonlar Şekil 6.13'te ölçülmüştür.

6.2. Bulanık Mantık Modeli Analiz Sonuçları

6.2.1. HHO hücre performansının BM modeli analiz sonuçları

HHO hücre performansını tespit etmek için kullanılan bu deneysel çalışmada; plaka sayısı ve zamanın değişimine göre gerilim, akım ve sıcaklığın değişimi araştırılmıştır. Deneysel sistem 10 dakika ayarlandı. Voltaj, akım ve sıcaklık değerleri deneysel çalışmada aralıklı 60 saniye ile 600 saniye 60 saniye her plaka üzerinde elde edilir. Bu modelleme çalışmasında 300 deneysel veri kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı HHO hücresi performansları yardımıyla elde edilen deneysel veriler; gerilim, akım ve sıcaklık üç farklı üyelik fonksiyonlarında Kural Tabanlı Mamdani Tipi Bulanık Mantık (KTMTBM) tekniği ile modellenmiştir. Geliştirilmiş KTMTBM sisteminde, giriş parametreleri, plaka sayısı (C) ve zaman (t) çıkış parametreleri ise gerilim (V), akım (A) ve sıcaklık (T) olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık denetleyici ve sistemin giriş ve çıkış arasındaki ilişkinin davranışları tespit için kullanılan kurallar bundan sonra belirlenir. Bu kuralların bir sonucu olarak, deneysel çalışmadan elde edilen her değeri de çok farklı üyelik fonksiyonlarında bulanık mantık tarafından belirlenmiştir.



Şekil 6.14. Gerilim değeri için kural izleyici sayfasına ait Matlab görüntüsü

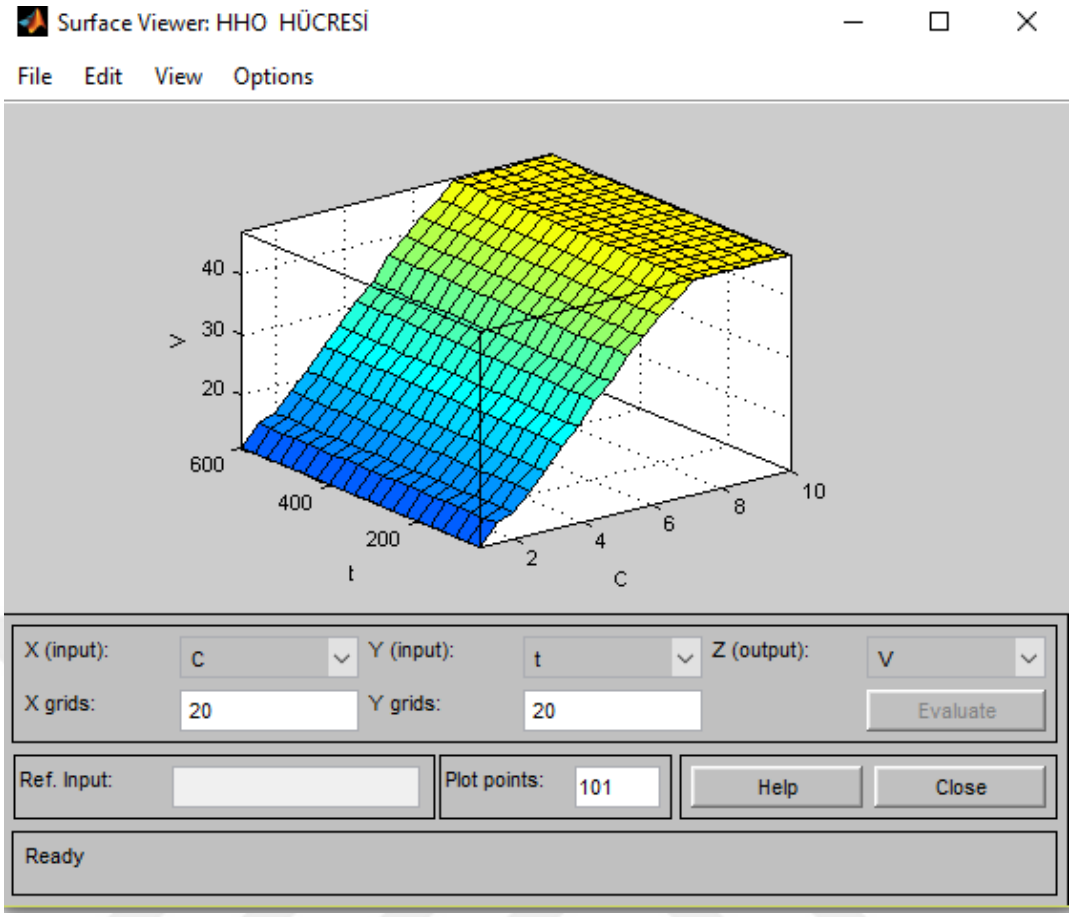
Şekil 6.14'te giriş değerlerinin yazıldıktan sonra çıkış değerinin sonucunu gösteren kural izleyici sayfasına ait Matlab görüntüsü gösterilmiştir. Şeklin en altında sistemin kaç kuralla bu sonuca karar verdiğini belirten kural sayısı yazılmıştır. Gerilim çıkış değerine ait sonucun gösterildiği şekilde, C değeri 5 ve t değeri 600 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. Yukarıda verilen örnek göz önüne alınırsa C değerinin 5 olduğu yani 11-6 kombinasyonunda olduğu, t değerinin ise 600. saniye yani 10. dakikada olması durumunda deneysel çalışma elde edilen değerin 35,0 (V) olduğu, aşağıdaki deneysel verilerin bir kısmının verildiği tablo 6.30'da görülmektedir. BM modelinin tespit ettiği değere çok yakın bir değer olduğu görülmektedir. Tüm değerler için bu şekilde karşılaştırma yapılarak sistemin hata oranı tespit edilmiştir.

Tablo 6.30. HHO hücresi performansının belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmanın bazı sonuçları (Dincer, 2013) .

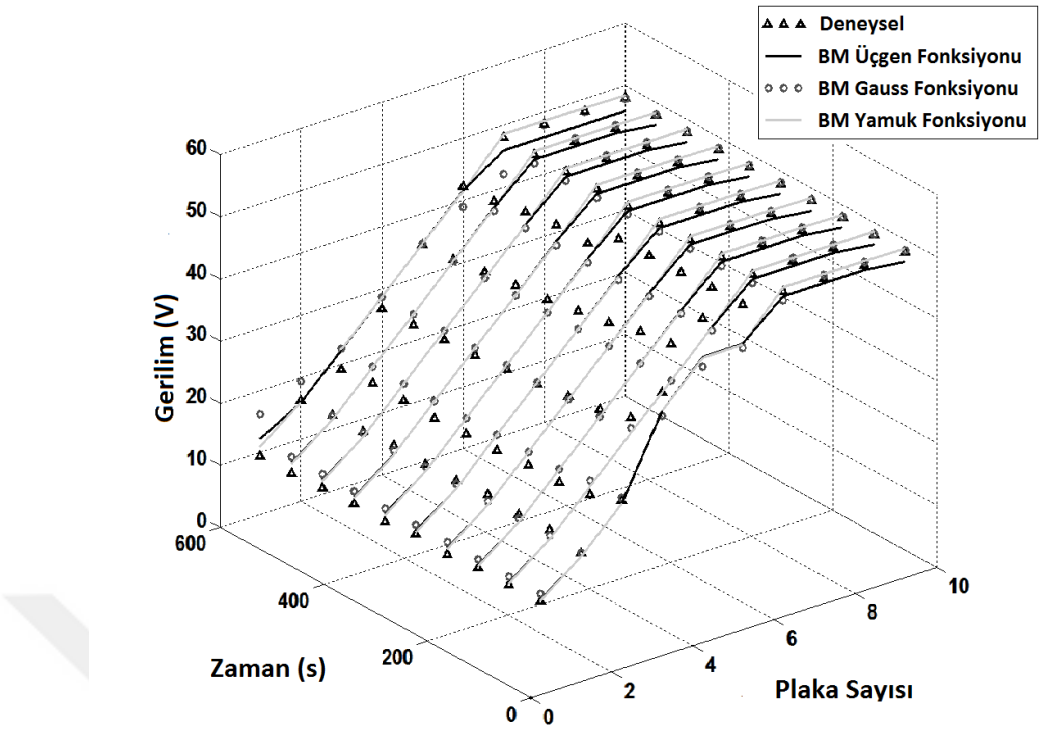
11-5 Kombinasyonu				11-6 Kombinasyonu			
Zaman(dak.)	Volt (V)	Akım (A)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dak.)	Volt (V)	Akım (A)	Sıcaklık (°C)
1	48,0	2,13	19,8	1	47,9	4,1	20,8
2	48,0	2,97	19,9	2	41,0	5,23	21,8
3	47,7	4,0	20,6	3	40,3	5,23	22,6
4	47,7	4,58	21,9	4	39,0	5,23	24,7
5	47,5	5,08	23,8	5	38,0	5,23	27,5
6	44,2	5,2	26,2	6	37,2	5,24	29,7
7	44,3	5,22	28,3	7	36,6	5,24	32,2
8	43,7	5,23	31,3	8	36,1	5,23	35,0
9	42,6	5,23	34,4	9	35,3	5,23	38,3
10	42,3	5,23	37,0	10	35,0	5,23	40,0

Tüm parametrelerin birbiriyle olan değişikliğini üç boyutlu gözlemlenmesi için yüzey izleyici sayfasına geçilir. Şekil 6.15'te gerilim değerinin plaka sayısı ve zamana göre değişimini gösteren yüzey izleyici sayfasının Matlab görüntüsü verilmiştir. Modülün bu kısmı, sisteme ait tüm parametrelerin değişim analizi için kullanılmaktadır.

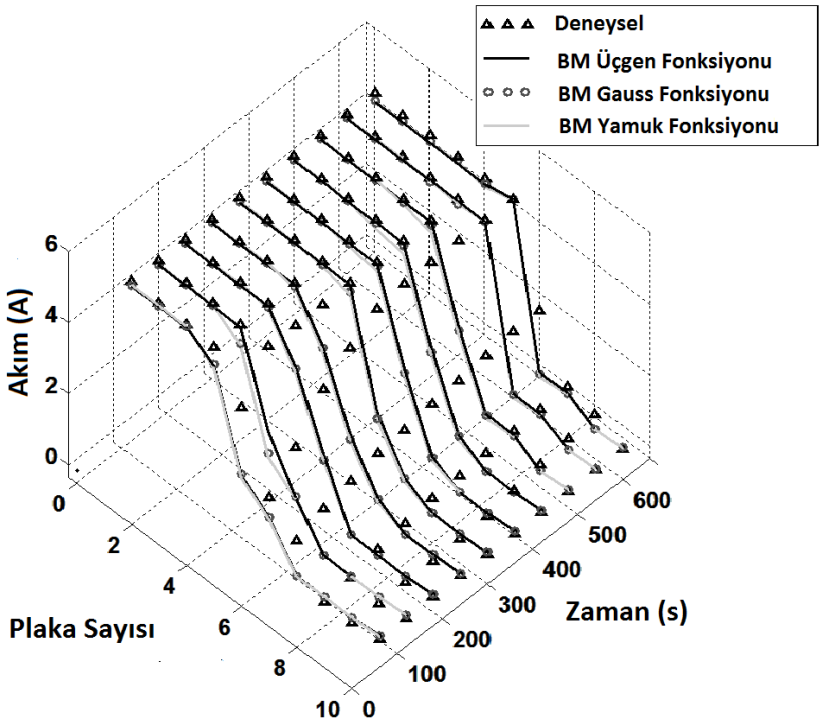


Şekil 6.15. Gerilim değeri için yüzey izleyici sayfasına ait Matlab görüntüsü.

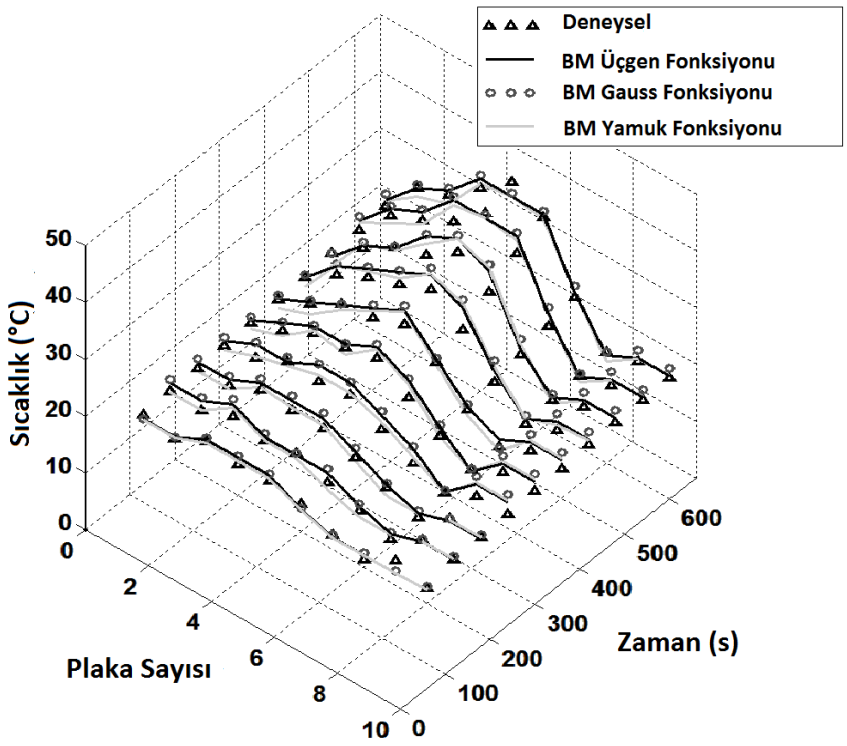
Şekil 6.16 – 6.18'de; Üçgen, Yamuk ve Gauss üyelik fonksiyonlarının BM ile deneysel verilerin sırasıyla voltaj, akım ve sıcaklık değerlerinin zaman ve plaka sayısına göre değişiminin karşılaştırmasını göstermektedir (plaka sayısı = 1-10; t = 60-600s). Bu karşılaştırma sonucunda bulanık mantık değerleri ile gerçek değerlerin birbirlerine oldukça uyumlu olduklarını görmekteyiz.



Şekil 6.16. Gerilim değerinin kombinasyon ve zamana göre değişiminin deneysel çalışma verileri ve Üçgen, Yamuk ve Gauss üyelik fonksiyonlarının BM ile tespit edilen veriler tarafından karşılaştırılması



Şekil 6.17. Akım değerinin kombinasyon ve zamana göre değişiminin deneysel çalışma verileri ve Üçgen, Yamuk ve Gauss üyelik fonksiyonlarının BM ile tespit edilen veriler tarafından karşılaştırılması



Şekil 6.18. Sıcaklık değerinin kombinasyon ve zamana göre değişiminin deneysel çalışma verileri ve Üçgen, Yamuk ve Gauss üyelik fonksiyonlarının BM ile tespit edilen veriler tarafından karşılaştırılması

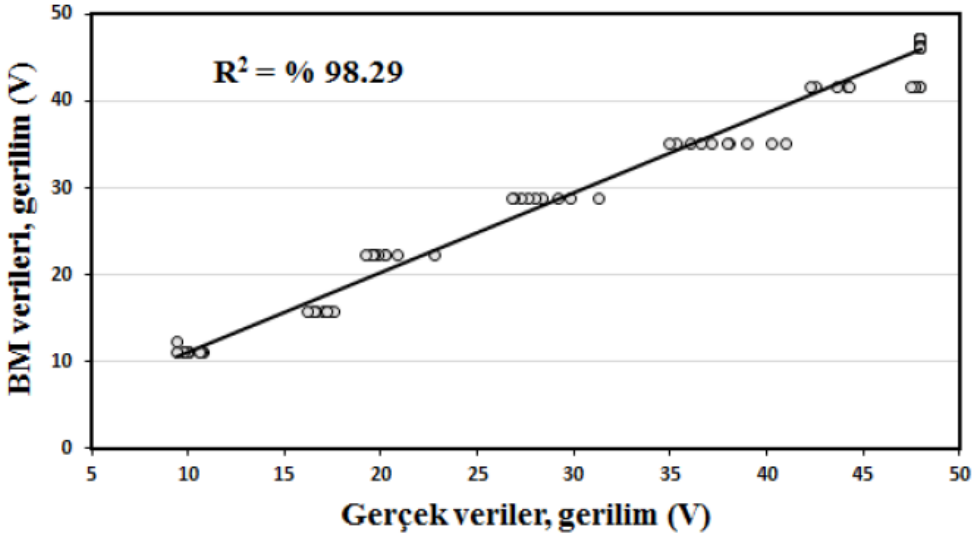
- ✓ Sistem 6 ya da daha fazla plakaya sahip ise, gerilim değeri stabildir, ancak 6 ya da daha az plakaya sahip ise gerilim zamanla azalır (Şekil 6.16).
- ✓ Akım değeri zamanla ve plaka sayısı arttıkça azalmaktadır, 3 veya daha az plaka olduğunda akım değeri stabildir (Şekil 6.17).
- ✓ Her plakada sıcaklık zamanla artmaktadır, 5 plaka olması durumunda sıcaklık maksimum değerini almaktadır (Şekil 6.18).

Deneysel veriler ve bulanık mantık arasındaki karşılaştırma istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemlerden biri, çoklu determinasyon katsayısı (R^2)'dir. Burada t hedef değeri, o çıkış değerini ifade etmektedir (Önal, G., ve ark, 2015).

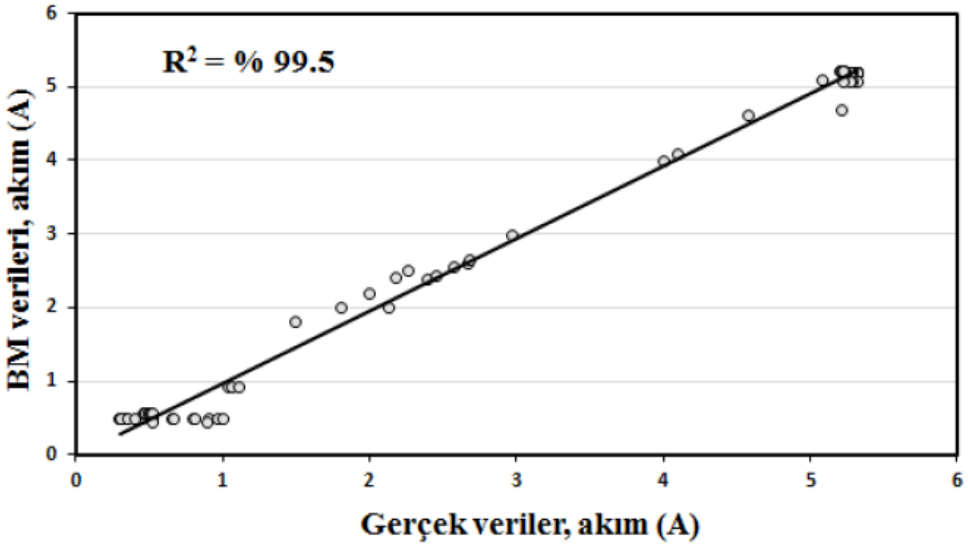
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \qquad (6.1)$$

Üç farklı üyelik fonksiyonu HHO hücresi performansı açısından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu diğer üyelik fonksiyonlarından daha iyi

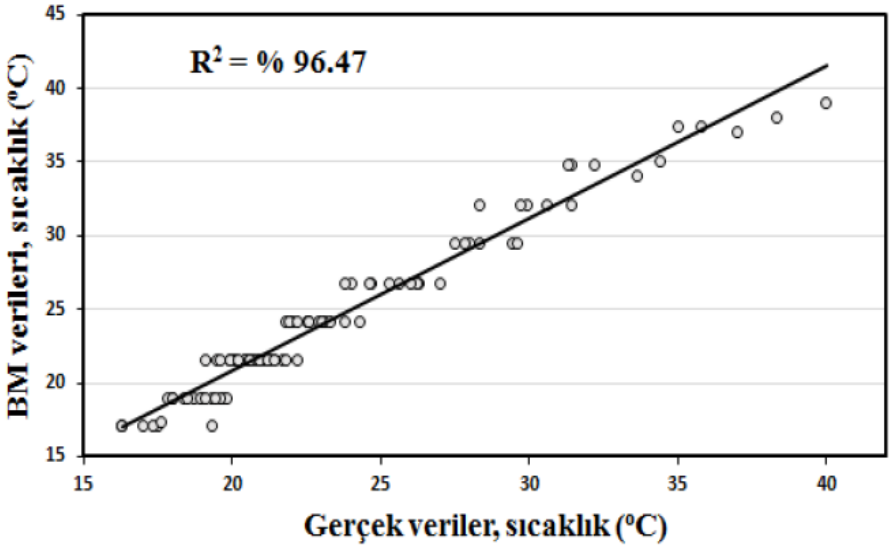
performansa sahiptir. Şekil 6.19 - 6.21'de üçgen üyelik fonksiyonu sırasıyla voltaj, akım ve sıcaklık için deney ve bulanık mantık sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. İstatistiksel yöntemlerden çoklu determinasyon katsayısı (R^2) gerilim için % 98.29, akım için % 99.5 ve sıcaklık için % 96,47 değerleri elde edilmiştir. Tablo 6.31'de voltaj, akım ve sıcaklık R^2 değerleri üç üyelik fonksiyonları karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil 6.19 - 6.21 ve Tablo 6.31'de gerçek değerleri ve üçgen üyelik fonksiyonunun bulanık mantık tekniği değerleri karşılaştırıldığında birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur (Işıktaş ve ark., 2016a).



Şekil 6.19. Gerilim için gerçek veriler ile BM ile tespit edilen değerlerin çoklu determinasyon katsayısı ile karşılaştırılması



Şekil 6.20. Akım için gerçek veriler ile BM ile tespit edilen değerlerin çoklu determinasyon katsayısı ile karşılaştırılması



Şekil 6.21. Sıcaklık için gerçek veriler ile BM ile tespit edilen değerlerin çoklu determinasyon katsayısı ile karşılaştırılması

Tablo 6.31. HHO Hücresinin voltaj, akım ve sıcaklık için farklı üyelik fonksiyonlarının karşılaştırılması (Işıktaş ve ark., 2016a).

Üyelik Fonksiyonları	**R^2**		
	Voltaj (V)	Akım (A)	Sıcaklık (°C)
Üçgen Üyelik Fonksiyonu	% 98.2	% 99.5	% 96.47
Gauss Üyelik Fonksiyonu	% 97.1	% 98.2	% 95.6
Yamuk Üyelik Fonksiyonu	% 96.8	% 97.9	% 95.1

Bulanık mantık, deneysel çalışmalar esnasında karşılaşılan dezavantajları kolaylıkla aşabilmektedir (örneğin ekonomik kayıplar, zaman kaybı, ölçüm hataları, ölçüm cihazlarının hassasiyetleri dolayısıyla ölçüm hataları, zamanla duyarlılık kaybı, ölçüm cihazlarının çevresel sıcaklığın zararlı etkilerinden etkilenmesi gibi). Bulanık mantık, deneyler ile elde etmesi mümkün olmayan ara değerleri de değerlendirme avantajına sahiptir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

İçinde bulunduğumuz yüzyılın en büyük problemlerinden birisi hava kirliliğidir. Günümüzde, enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Hava kirliliğinde ise en önemli etkenlerden birisi fosil yakıtlardır. Fosil yakıtların kullanılması ile küresel ısınmanın boyutları gün geçtikçe artmaktadır. Kullanılan petrol ve türevi yakıtlar gerek doğaya verdiği zarar gerek tükene bilirlik açısından problem teşkil etmekte ve bu problemlerin başında petrol türevli yakıtların ekolojik dengeye verdikleri zararlar gelmektedir. Çoğu karbon içerikli bu yakıtların yanması ile açığa çıkan emisyonların zehirli olması, bu emisyonların atmosferdeki artışı asit yağmurları ve sera etkisi gibi olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yakıt olarak kullanıldığında emisyon olarak ortama zararlı atık vermeyen enerji üretimine geçmek gerekmektedir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir tercih olmaktan çıkıp mecburiyet haline dönüşmüştür. Bu çalışmada temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan HHO (oksihidrojen) hücresi teknolojisi üzerinde durulmuştur.

Son yıllarda kullanımı artan cihazlardan biri de HHO hücresidir. HHO hücresi, suyu HHO gazına dönüştüren bir cihazdır. Cihazın çalışma mantığı suyun elektroliz yöntemine dayanmaktadır. Sisteme verilen elektrik akımı suyu moleküllerine ayrıştırmak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan akımın doğru akım olması gerekmektedir ve cihazın boyutuna göre DC akım değeri farklı akım değerleri alabilir. Paslanmaz çelik plakalar, plakaları birbirinden ayıran plastik contalar ve sistemi bir arada tutan son (mika) plakalar HHO hücresini oluşturan parçalardır. Kullanılacak yere göre sistemin büyüklüğü ve plaka kombinasyonları farklılık gösterebilmektedir. HHO gazının patlayıcı ve yüksek sıcaklıktaki yanıcı özelliğinden dolayı patlama ve yüksek yanma uygulamalarında kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada üç farklı kesit alanında deneyler yapılmıştır. Bütün deneyler için performans verileri belirlenmiştir. Performans verileri zaman (dak.), debi (kg/h), akım (A), sıcaklık (^{o}C) ve gerilim (V) olarak belirlenmiştir. Zaman 5 dakika ve gerilim 24 (V) sabit tutularak bütün kombinasyonlar için diğer performans verileri gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalarda şebeke suyu kullanılmıştır. Birinci deneysel çalışma da KA'ı 9x9 cm^2 olan HHO hücresi performansı, ikinci deneysel çalışma da KA'ı 10x10 cm^2 olan HHO hücresi

performansı ve üçüncü deneysel çalışma da KA'ı 11x11 cm^2 olan HHO hücresi performansı incelenmiştir. HHO hücresi kombinasyon performansları ; birinci deneyde, en yüksek sıcaklık değeri sistemin 9-7 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 29 ^oC olarak ölçülmüştür. En yüksek akım değeri sistemin 9-7 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 1,07 A olarak ölçülmüştür. En yüksek debi değeri ise, 0,073 $x10^{-3}$ (kg/h) olarak sistemin 9-5 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür. İkinci deneyde, en yüksek sıcaklık değeri sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 31 ^oC olarak ölçülmüştür. En yüksek akım değeri sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 1,22 A olarak ölçülmüştür. En yüksek debi değeri ise, 0,088 $x10^{-3}$ (kg/h) olarak sistemin 10-8 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür. Üçüncü deneyde, en yüksek sıcaklık değeri sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 33 ^oC olarak ölçülmüştür. En yüksek akım değeri sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında 1,25 A olarak ölçülmüştür. En yüksek debi değeri ise, 0,096 $x10^{-3}$ (kg/h) olarak sistemin 11-9 plaka kombinasyonun 5. dakikasında ölçülmüştür. Sistemin sıcaklığı akım ile doğru orantılı olup çekilen akım arttıkça arttığı görülmüştür. Sistemdeki akım değeri boş plaka sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin akım değerleri boş plaka sayısı azaldıkça azaldığı tespit edilmiştir. Debi değerinin zaman ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Debi değerleri her kombinasyon için zaman artıkça artmıştır. Üç deneyin en iyi performansları karşılaştırılmış en iyi performansın KA'ı 11x11 cm^2 olan HHO hücresi performansı olduğu gözlemlenmiştir. Şebeke suyu haricinde tuzlu su ve KOH kimyasal bileşikleri ile deney yapılmış olup, bu deneylerdeki performans verileri şebeke suyuna göre yüksek olmakla birlikte sisteme ekstra zaman ve maliyet yüklediği belirtilmiştir.

Deneysel çalışmada elde edilmiş veriler üzerinde çalışarak, sistemin bulanık mantık modeli Matlab Fuzzy Logic modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Sistemde bulunan üç çıkış değerinin her biri için oluşturulan 81 kural olmak üzere toplam 243 kural belirlenmiştir. Bu kuralların sisteme aktarılmasıyla, deneysel çalışma ile tespit edilen verilerin bulanık mantık modelinden elde edilen değerler ile çoklu determinasyon katsayısı (R^2) kullanılarak karşılaştırılması yapılmıştır. Gerilim, akım ve sıcaklık için R^2 değerleri sırasıyla % 98,29 ; % 99,5 ve % 96,47 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra deneysel çalışmalarda tespit edilmeyen ara zaman değerlerine karşılık gelen gerilim, akım ve sıcaklık değerleri bulanık mantık modeli ile tahmin ettirilmiştir. Yapılan çalışmalar, HHO hücresinin performansının belirlenmesinde, bulanık mantık yönteminin başarıyla uygulanabildiğini göstermiştir.

7.2. Öneriler

Fosil yakıtlı kaynakların kullanılmaya devam edilmesi ilerde çok ciddi sorunlara yol açacağı düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda bu enerji kaynaklarının mevcut performanslarının arttırılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. HHO hücrelerinin performansının arttırılmasına yönelik yapılan bu çalışma, daha büyük bir hacme sahip HHO hücresi üzerinde yapılarak HHO hücresinden oksihidrojen gazı elde etme maliyetinin düşürülmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilebilir. HHO hücresinin performansının belirlenmesinde bulanık mantık modelinin uygulanabildiği gösterilmiş, deneysel çalışmalarda zaman ve maliyet unsurunun bu şekilde azaltılacağı vurgulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, bulanık mantık modelinin uygulanarak hem deneysel çalışmalarda tespit edilmeyen değerlerin tahmin ettirilmesi hem de maliyetin azaltılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Acaroglu, M., 2013, Alternatif Enerji Kaynakları, p. 263.

Alibaba, 2016, http://turkish.alibaba.com/product-gs/ce-tuv-iso-portable-cheap-oxygen-hydrogen-fuel-cell-generator-oxy-hydrogen-generator-oxy-hydrogen-fuel-cell-generator-943657038.html [Ziyaret tarihi: 2 Ocak 2016].

Ata, S., 2015, PEM Yakıt Hücresinin Membran Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Ayrışımı Olayının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, p. 56-65.

Ata, S. ve Dincer, K., 2015, Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of performance proton exchange membrane fuel cell with carbon nanotube,. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*,**:** p. 487-494.

Badr, M. H., Hassan, M. I. ve EL-Hamalawy, A. A., 2015, An On-Demand Hydrogen Cell for Automobile Fuel Consumption Efficiency *International Journal of Green Energy*, 12 (11), p.1086-1090.

Becker, S. ve Karri, V., 2010, Predictive models for PEM-electrolyzer performance using adaptive neuro-fuzzy inference systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (18), 9963-9972.

Berber, A., Dincer, K., Yilmaz, Y. ve 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*, 51, 297-304.

Bhardwaj, S., Verma, A. S. ve 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*, 4, p. 300-307.

Bojadziev, G. ve Bojadsiev, M., 1995, Fuzzy Sets,Fuzzy Logic, Applications, *World Scientific*, p. 22-23.

Bölgen, M., 2010, Şirketlerin Kredi Talebi Değerlendirilmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*

Brisse, A., Schefold, J. ve Zahid, M., 2008, High temperature water electrolysis in solid oxide cells, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (20), p. 5375-5382.

Calvert, J. B., 2009, Hydrogen, *University of Denver*. Retrieved 2009- 04-23.

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*, p. 1-5.

Chakrapani, K. ve Neelamegam, P., 2011, Optimization of fuel consumption using HHO in HDL technique verified in FPGA, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 31 (2), p. 140-145.

Chen, Z. H., Fan, B. C. ve Jiang, X. H., 2006, Suppression effects of powder suppressants on the explosions of oxyhydrogen gas, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19 (6), 648-655.

Chiaroni, D. ve F., C. V. F., 2014, Renewable Energy Generation Incentives Matter", in Woodrow Clark (Ed.), Global Sustainable Communities Handbook: *Green Design Technologies and Economics*. Butterworth-Heinemann USA**:** p. 347-368.

Çınar, E., 2013, Hidrolik Silindirin Bulanık Mantık Yöntemi ile Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 36-42.

Dalton, G. J. ve Lewis, T., 2011, Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies, using Ireland as a case study, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15 (4), 2123-2133.

Demirkol, Z., 2013, AFYONKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s.3.

Dilipak, H., 1997, Torna Operasyonları İçin Uzman Sistemlerine Dayalı Kesici Seçimi, *Makina İmalat Kongresi*, İTÜ, İstanbul

Dincer, K., Tasdemir, S., Baskaya, S. ve Uysal, B. Z., 2007, Karsıt Akıslı Ranque-Hilsch Vorteks Tüpün Performansına Tapa Açısı Etkisinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi. *ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*. Kayseri.

Dincer, K., 2013, HHO Hücresinin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, 12 (3), 66-75.

Dweepson, Chinnasamy, S. S., Ashok, K. J. ve 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*, 3 (2), 60-65.

EL-Kassaby, M. M., Eldrainy, Y. A., Khidr, M. E. ve Khidr, K. I., 2016, Effect of hydroxy (HHO) gas addition on gasoline engine performance and emissions, *Alexandria Engineering Journal*, 55 (1), 243-251.

Elmas, Ç., 2011, Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, p. 185-250.

Erkınay, P. E., 2012, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar Enerjisinin Türkiye'de Binalarda Kullanımı Üzerine Bir inceleme, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 7-9.

Ertunç, H. M., 2012, Bulanık Mantıga Giris, *Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Ders Notu*, p. 6-30.

Fan, L. P. ve Liu, Y., 2012, Fuzzy Logic Based Constant Power Control of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell, *Przeglad Elektrotechniczny*, 88 (5B), 72-75.

Fettah, S., 2010, Katı Oksit Yakıt Pilinin Atık Isısından Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*

Gençoğlu, M. T., 2012, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi adlı makelesi, 1-2.

Gollei, A., 2014, MEASURING AND OPTIMISATION OF HHO DRY CELL FOR ENERGY EFFICIENCY, ACTA TEHNICA CORVINIENSIS, *Bulletin of Engineering*, ISSN:2067-3809, Tome VII (2014), Fassicule4 (October-December).

Gollei, A., Gorbe, P. ve Magyar, A., 2016, Measurement based modeling and simulation of hydrogen generation cell in complex domestic renewable energy systems, *Journal of Cleaner Production*, 111, 17-24.

Göksu, A., 2008, Bulanık Analitik Hiyerarsik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması ,Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi* Isparta
s. 5-15.

Gülcan B., 2012, Bulanık Dogrusal Programlama ve Bir Bisküvi işletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma, *Karamanoğlu Mehmetbey*, Karaman, s. 32-38.

Gülesin, M., 1997, Sanayide Uzman Sistem Uygulamaları Ders Notları, Ankara, p.

Hasgül, Ö. ve Anagün, A. S., 2005, Deneysel Sonuçların Analizinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Beton Dayanım Testi İçin Bir Uygulama. *V. Ulusal Üretim Arastırmaları Sempozyumu*. İstanbul**:** s. 133-139.

Hocaoğlu, F. O., Kurban, M. ve Filik, Ü. B., 2007 WAsP yazılımı ile rüzgâr potansiyeli analizi ve uygulama. *EMO-lV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. Gaziantep. 30.

Hürriyet, 2016, Kuzey Kore: İlk hidrojen bombası denemesini başarıyla gerçekleştirdik http://www.hurriyet.com.tr/kuzey-kore-ilk-hidrojen-bombasi-denemesini-basariyla-gerceklestirdik-40036239 [Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2016].

Iribarren, D., Susmozas, A., Petrakopoulou, F. ve Dufour, J., 2014, Environmental and exergetic evaluation of hydrogen production via lignocellulosic biomass gasification, *Journal of Cleaner Production*, 69, 165-175.

Işıklı, Ş., 2008, Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojileri Araştırma, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi*, 19 105-126.

Işıklı, Ş., 2010, Lotfi A. Zadeh'nin Hayat Hikayesi ve Bulanık Paradigmanın Üç Temel Unsuru, *Kutadgu Bilig Felsefe-Bilim Araştırma Dergisi*, 17, s.91.

Işıktaş, A., Dincer, K. ve Ata, S., 2016a, Comparison between the effects of different types of Membership Functions on Fuzzy Logic for Hydroxy Dry Cell performance. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016*. Albena-Bulgaria, 30 June- 6 July, 2016 Vol.1**:** p. 221- 228. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Işıktaş, A., Dincer, K., Verim, A., Türkmen, O. ve Ata, S., 2016b, Experimental Investigation and Fuzzy Logic Modeling of Performance Hydroxy Dry Cell with Different Plate Combination. *3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16)*. 01 Sep ~ 03 Sep.,2016 Konya, Turkey (Kabul Edildi) (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Jesu´s, M. B. v. L. p. A., 2008, The effect of renewable energy onemployment, The case of Asturias (Spain), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 732–751.

Ji, C. W. ve Wang, S. F., 2009, Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark ignition gasoline engine at lean conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (18), 7823-7834.

Ji, C. W. ve Wang, S. F., 2010, Experimental study on combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine at lean burn limits, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (3), 1453-1462.

Ji, C. W., Zhang, B. ve Wang, S. F., 2013, Enhancing the performance of a spark-ignition methanol engine with hydrogen addition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (18), 7490-7498.

Kalaycı, T. E., 2006, Yapay Zeka Teknikleri Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları için X3D ile Bir Altyapı Oluşturulması ve Gerçekleştirimi, Yüksek Lisans Tezi,, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*, İzmir,, 66-68.

Kaya, Ö., 2007, Bulanık Doğrusal Programlama ve Üretim Planlama Üzerine Bir Uygulama, Yüksek lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, s.17-18.

Keshwani, D. R., Jones, D. D., Meyer, G. E. ve Brand, R. M., 2008, Rule-based Mamdani-type fuzzy modeling of skin permeability, *Applied Soft Computing*, 8 (1), 285-294.

Kıyak, E. ve Kahvecioglu, A., 2003, Bulanık Mantık ve Uçus Kontrol Probleminin Uygulanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (2), 63-72.

Koroneos, C., Dompros, A., Roumbas, G. ve Moussiopoulos, N., 2004, Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes, *International Journal of Hydrogen Energy*, 29 (14), 1443-1450.

L.A. Zadeh, 1973, Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decisionprocesses, *IEEE Transactions on Systems man and Cybernetics*, SMC-3, (1), 28-44.

Lee, A. H. I., Chen, W. C. ve Chang, C. J., 2008, A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 34 (1), 96-107.

Lee, S. H., Hahn, H. T. ve Yoh, J. J., 2013, Towards a two-dimensional laser induced breakdown spectroscopy mapping of liquefied petroleum gas and electrolytic oxy-hydrogen flames, *Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy*, 88, 63-68.

Leelakrishnan, E., Lokesh, N. ve 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*, 2 (2), p.393-404.

Ma, F. H., Wang, M. Y., Jiang, L., Deng, J. A., Chen, R. Z., Naeve, N. ve Zhao, S. L., 2010, Performance and emission characteristics of a turbocharged spark-ignition hydrogen-enriched compressed natural gas engine under wide open throttle operating conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (22), 12502-12509.

Madyira, D. ve Harding, W., 2014, Effect of HHO on four stroke petrol engine performance. *9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics*. Somerset West.

meb, 2015, http://www.solar-academy.com/menuis/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri-Kaynaklari-Onemi.164622.pdf [Ziyaret Tarihi: 27-29 Aralık 2015].

mmo, 2016, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a5a69d7ec06d9cd_ek.pdf?dergi=1522 [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2016].

Musmar, S. A. ve Al-Rousan, A. A., 2011, Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines, *Fuel*, 90 (10), 3066-3070.

O'Connor, K. H. N., 2015, Glenn Research Center Glenn Safety Manual

Ozbilen, A., Dincer, I. ve Rosen, M. A., 2011, A comparative life cycle analysis of hydrogen production via thermochemical water splitting using a Cu-Cl cycle, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (17), 11321-11327.

Özek, A. ve Sinecen, M., 2004, Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellemesi, *P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (3), s.353-358.

Paska, J., Salek, M. ve Surma, T., 2009, Current status and perspectives of renewable energy sources in Poland, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13 (1), 142-154.

Plus, H., 2016, http://www.hhoplusgas.com/product.php?id_product=11 [Ziyaret tarihi: 05 Ocak 2016].

Ramchandra, B., Clemens, A. T. ve Petra, Z., 2014, Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis e a review, *Journal of Cleaner Production*, 85, p.151-163.

Renewables, 2014, Global Status Report. 2014, *Renewable energy policy network for the 21th century (REN21).*

sakarya, 2015, http://www.beren.sakarya.edu.tr/sites/beren.sakarya.edu.tr/file/1382653160-Ders_Notu_2.pdf.pdf [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2015].

Santilli, R. M., 2006, A new gaseous and combustible form of water *International Journal of Hydrogen Energy August 2006*, 31 (9), p.1113–1128.

Sarıkaya, U., 2010, Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s.1-52.

Sarrias-Mena, R., Fernandez-Ramirez, L. M., Garcia-Vazquez, C. A. ve Jurado, F., 2015, Electrolyzer models for hydrogen production from wind energy systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40 (7), 2927-2938.

Shakhawat, C., Tahir, H. ve Neil, B., 2006, Fuzzy rule-based modelling for human health risk from naturally occurring radioactive materials in produced water, *Journal of Environmental Radioactivity*, 89 (1), 1-17.

Shivaprasad, K. V., Raviteja, S., Chitragar, P. ve Kumar, G. N., 2014, Experimental Investigation of the Effect of Hydrogen Addition on Combustion Performance and Emissions Characteristics of a Spark Ignition High Speed Gasoline Engine, *2nd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, Iciame 2014*, 14, 141-148.

Stojic, D. L., Marceta, M. P., Sovilj, S. P. ve Miljanic, S. S., 2003, Hydrogen generation from water electrolysis - possibilities of energy saving, *Journal of Power Sources*, 118 (1-2), 315-319.

Şahin, Ö., 2010, Analitik Hiyerarşi Süreci ve Optimum Yenilenebilir Enerji Yatırımı Seçimine Dair Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara.

Şen, Z., 2009, Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme Üçüncü Baskı, *İstanbul*, p. s.14-18.

Şimşek, M., 2013, Bütçesinde Enerji Hedefleri, Enerji Günlüğü, p.

Teiaş, 2015, http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2014/istatistik2014.htm [Ziyaret Tarihi: 26 Aralık 2015].

teknoraysolar 2016, http://www.teknoraysolar.com.tr/turkiyenin-en-buyuk-gunes-enerjisi-santrali-aciliyor/ [Ziyaret tarihi: 8 Mayıs 2016].

Tektas, M., 2014, http://tektasi.net/wp-content/uploads/2014/01/fuzzy_proje.pdf [Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2016].

Tiryaki, A. ve Kazan, R., 2007, Bulasık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, *Mühendis ve Makine*, 48 (565), s.3-8.

Tong, S. W., Qian, D. W., Fang, J. J. ve Li, H. X., 2013, Integrated Modeling and Variable Universe Fuzzy Control of a Hydrogen-Air Fuel Cell System, *International Journal of Electrochemical Science*, 8 (3), 3636-3652.

Tosun, M., Dincer, K. ve 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*, 38 (5), 5553-5560.

toyota, 2016, http://www.toyota.com/vehicles/future/fines.html [Ziyaret tarihi: 03 Ocak 2016].

Ural, Ş., 2004, Puslu (Fuzzy) Mantık, Mantık, Matematik ve Felsefe. *1. Ulusal Sempozyumu*, İstanbul Kültür Üniversitesi Yay. Asos-Çanakkale**:** 43-58.

Urbaniec, K. ve Grabarczyk, R., 2014, Hydrogen production from sugar beet molasses - a techno-economic study, *Journal of Cleaner Production*, 65, 324-329.

Ursua, A., Gandia, L. M. ve Sanchis, P., 2012, Hydrogen Production From Water Electrolysis: Current Status and Future Trends, *Proceedings of the Ieee*, 100 (2), 410-426.

Wang, S. F., Ji, C. W. ve Zhang, B., 2011, Starting a spark-ignited engine with the gasoline-hydrogen mixture, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (7), 4461-4468.

Wang, S. F. ve Ji, C. W., 2012, Cyclic variation in a hydrogen-enriched spark-ignition gasoline engine under various operating conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (1), 1112-1119.

wikipedia- Oxyhydrogen, 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/Oxyhydrogen [Ziyaret tarihi: 16 Eylül 2015].

Yadav, M. S. ve Sawant, S. M., 2011, Investigations on oxyhydrogen gas and producer gas as alterntive fuels on the performance of twin cylinder diesel engine, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET),*, 2 (2), p.85-98.

Yıldız, S. ve Kisoglu, S., 2011, Bulanık Mantık Yaklasımı ile Hazır Giyimde Beden Numarası Belirleme, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (1), s.12-22.

Yıldızbilir, F., 2006, Yakıt Pili ile Elektrik Enerjisi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elazığ.

Yilmaz, A. ve Ayan, K., 2013, Cancer risk analysis by fuzzy logic approach and performance status of the model, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 21 (3), 897-912.

Yilmaz, A. C., Uludamar, E. ve Aydin, K., 2010, Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (20), 11366-11372.

Yılmaz, B., 2006, Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt Pilleri İçin Anot Üretimi,Yüksek Lisans Tezi, İ*stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul .

Yılmaz, Z. ve Ocak, S., 2008, Bulanık Mantık ile Aneminin Belirlenmesi 1.Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu. Ankara 375-378.

Yorgancılar, E., 2013, EBSO Yönetim Kurulu Başkanı Ender Yorgancılar'ın demeci, Enerjide dışa bağımlılık kabul edilemez, http://enerjienstitusu.com/2013/12/18/enerjide-disa-bagimlilik-kabul-edilemez/

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Abdullah IŞIKTAŞ
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kırıkkale – 01.10.1978
Telefon	**:**	+90 505 490 66 21
Faks	**:**	
e-mail	**:**	abdullahisiktas@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Kırıkkale Lisesi, Kırıkkale	1995
Üniversite	:	Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, Yozgat	2003
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisligi, Selçuklu, Konya	2016

İŞ DENEYİMLERİ

2014-	Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine Programı	Program Koordinatörü

UZMANLIK ALANI

HHO (Oksihidrojen) Hücresi, Bulanık Mantık Modeli

YAYINLAR

Yılmaz, Y., Dincer, K., Işıktaş, A., Önal, G., ve Ersoyoğlu, A., S., 2015, Experimental Investigation of Powder Holding Capacities of H13 and H14 Class Activated Carbon Filters Based on En 779 Standart, *International Journal of Mining,Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, Vol. 3, Issue 3, ISSN:2320-4060

Işıktaş, A., Dincer, K. ve Ata, S., 2016, Comparison between the effects of different types of Membership Functions on Fuzzy Logic for Hydroxy Dry Cell performance, *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016*, Albena-Bulgaria, 30 June- 6 July, 2016 Vol.1**,** p. 221- 228. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıstır).

Abdullah Işıktaş, Kevser Dincer, Ali Verim, Osman Türkmen ve Sadık Ata, 2016, Experimental Investigation and Fuzzy Logic Modeling of Performance Hydroxy Dry Cell with Different Plate Combination. *3rd International Conference on Advanced*

Technology & Sciences (ICAT'16). 01 Sep ~ 03 Sep.,2016 Konya, Turkey (Kabul Edildi) (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır).