

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ELEKTROLİZÖR VE YAKIT HÜCRESİNDEN OLUŞAN HİBRİT  
ENERJİ SİSTEMİNİN BULUT TABANLI NESNELERİN  
İNTERNETİ İLE İZLENMESİ**

**İLKER ÇOBANOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Ersin AKYÜZ (Tez Danışmanı)  
Dr. Öğr. Üyesi Tuğrul AKYOL  
Dr. Öğr. Üyesi Gülenay Alevay KILIÇ

**BALIKESİR, HAZİRAN-2024**



## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Elektrolizör ve Yakıt Hücresinden Oluşan Hibrit Enerji Sisteminin Bulut Tabanlı Nesnelerin İnterneti ile İzlenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İlker ÇOBANOĞLU



## ÖZET

**ELEKTROLİZÖR VE YAKIT HÜCRESİNDEN OLUŞAN HİBRİT ENERJİ  
SİSTEMİNİN BULUT TABANLI NESNELERİN  
İNTERNETİ İLE İZLENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İLKER ÇOBANOĞLU  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ERSİN AKYÜZ)**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

Nesnelerin İnterneti, fiziksel dünyada bulunan ve ölçümlenebilen büyüklüklerin dijital dünyaya aktarılması için akıllı cihazları ve sensörleri entegre ederek etkileşim şeklimizde büyük bir devrim yapmıştır. Toplumumuz giderek daha fazla birbirine bağlı hale geldiği sürece, Nesnelerin İnternetinin süreçleri kolaylaştırma, kolaylığı geliştirme ve verimliliği artırma potansiyeli göz ardı edilemeyecek boyuta gelmiştir.

Nesnelerin İnterneti, gerek sanayi uygulamalarında gerekse bireysel uygulamalarda bağlantı ve otomasyon operasyonlarında çok sayıda yenilik ve ilerleme fırsatı sunmuştur. Bu kavramın potansiyel yararları olarak tüketici deneyimlerinde yüksek bir kapasiteye sahip olduğundan, operasyonel avantajların ötesine geçmektedir. Bağlantılı cihazlarla donatılmış akıllı ev sistemlerinden başlayarak, giyilebilir cihazlarla sağlık ölçümlerini takip edebilen Nesnelerin İnterneti, günlük yaşamı zenginleştirmiş ve rahatlığı da önemli ölçüde arttırmıştır.

Bireysel uygulama alanlarından sanayi alanlarına kadar geniş bir alanda kullanılan Nesnelerin İnterneti yapısı, aynı zamanda enerji sektörünü hızla dönüştürerek enerjinin üretilme, dağıtılma ve tüketilme biçimlerinin değişmesine neden olmuştur. Nesnelerin İnterneti cihazlarının ve sensörlerinin enerji altyapısına entegre edilerek bu sistemlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, uzaktan kontrol edilmesine ve alt sistemlerin optimize edilmesine kadar farklı yararlar sağlamaktadır. Nesnelerin İnterneti'nin enerji sektörüne entegrasyonu, gelişmiş enerji depolama çözümlerinin de önünü açmıştır. Özellikle enerji depolama ve üretme sistemlerinin performansının izlenip kontrol edilmesi, enerji verimliliğinin ve ekipman kullanım ömürlerinin artırılmasında yarar sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, hidrojen enerji üretim sisteminin Nesnelerin İnterneti altyapısı kullanılarak gerçek zamanlı olarak sistem performansının izlenmesi sağlanacaktır. Bu izleme, farklı noktalardan sensörler aracılığıyla alınacak ölçümlerle gerçekleştirilecektir. Donanım tarafında, Arduino Uno R4 Wi-Fi geliştirme kartı ana kontrolcü olarak kullanılacak ve yazılım tarafında Nesnelerin İnterneti platformuna entegrasyon için Arduino Cloud web hizmetlerinden yararlanılacaktır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Nesnelerin İnterneti, elektrolizör, yakıt hücresi, hidrojen.

## **ABSTRACT**

### **MONITORING THE HYBRID ENERGY SYSTEM CONSISTING OF ELECTROLYSER AND FUEL CELL WITH CLOUD-BASED INTERNET OF THINGS**

**MSC THESIS**

**İLKER ÇOBANOĞLU**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ERSİN AKYÜZ )**

**BALIKESİR, JUNE - 2024**

The Internet of Things has revolutionized the way we interact by integrating smart devices and sensors to transfer measurable quantities in the physical world to the digital world. As our society becomes increasingly interconnected, the potential of the Internet of Things to streamline processes, improve convenience and increase efficiency cannot be ignored.

The Internet of Things has opened up opportunities for numerous innovations and advances in connectivity and automation operations, both in industrial applications and in individual applications. The potential benefits of this concept go beyond operational advantages, as it has a high capacity in consumer experiences. Starting from smart home systems equipped with connected devices to wearable devices that can track health metrics, the Internet of Things has enriched everyday life and significantly increased convenience.

The Internet of Things, which is used in a wide range of areas from individual application areas to industrial areas, has also rapidly transformed the energy sector, changing the way energy is produced, distributed and consumed. By integrating Internet of Things devices and sensors into the energy infrastructure, it provides different benefits such as real-time monitoring of these systems, remote control and optimization of subsystems.

The integration of the Internet of Things into the energy sector has paved the way for advanced energy storage solutions. In particular, monitoring and controlling the performance of energy storage and generation systems is beneficial in increasing energy efficiency and equipment lifetime.

In this thesis, real-time monitoring of the performance of the hydrogen energy production system using the Internet of Things infrastructure will be provided by measurements to be taken from different points through sensors. Arduino Uno Wifi development board will be used as the main controller on the hardware side, and for the integration of the software side into the Internet of Things platform, Arduino Cloud web services have been utilized.

**KEYWORDS:** Internet of Things, electrolyzer, fuel cell, hydrogen.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. BULUT TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ SİSTEMİ</b> .....	<b>6</b>
3.1 Nesnelerin İnterneti.....	6
3.1.1 Nesnelerin İnternetini Oluşturan Katmanlar .....	7
3.1.2 Ağ Katmanları Yapısı .....	8
3.1.2.1 Lan (Local Area Network) .....	8
3.1.2.2 Wlan (Wireless Local Area Network) .....	9
3.2 Bulut Bilişim.....	9
<b>4. HİDROJEN, ELEKTROLİZ VE YAKIT HÜCRESİ</b> .....	<b>10</b>
4.1 Hidrojen .....	10
4.2 Hidrojenin Depolanması .....	12
4.3 Elektroliz.....	13
4.4 Alkalın Elektroliz.....	15
4.5 SOEL.....	16
4.5.1 Alkalın Elektrolizör .....	17
4.5.2 Proton Değişimli Zarlı Elektroliz (PEM) Elektrolizör .....	17
4.6 Yakıt Hücresi .....	19
4.6.1 Yakıt Hücrelerinin Çalışma Prensibi .....	20
4.6.2 Yakıt Hücresi Çeşitleri.....	21
4.6.2.1 Katı Oksit Yakıt Hücreleri .....	21
4.6.2.2 Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri .....	21
4.6.2.3 Fosforik Asit Yakıt Hücreleri.....	21
<b>5. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>22</b>
5.1 Donanım Yapısı .....	22
5.1.1.1 Arduino Uno R4 Wi-Fi.....	22
5.1.1.2 LCD Ekran .....	23
5.1.1.3 Sıcaklık ve Nem Sensör Kartı .....	23
5.1.1.4 Röle Kartı .....	24
5.1.1.5 Sesli İkaz Kartı .....	24
5.1.1.6 Güç Kaynağı.....	24
5.1.1.7 Elektrolizör ve Yakıt Hücresi Sistemi.....	25
5.2 Yazılım Yapısı .....	27
5.2.1.1 Arduino IDE.....	27

5.2.1.2 Arduino Bulut Platformu.....	28
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>33</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>39</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>48</b>
EK A: Yazılım Kod Parçacığı .....	48
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>50</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Bir IoT platformunun temel bileşen yapısı.....	6
Şekil 3.2: Sektör bazlı IoT uygulamaları.....	7
Şekil 3.3: Nesnelerin İnterneti katman yapısı.....	8
Şekil 4.1: Alkali su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].....	15
Şekil 4.2: PEM su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].....	16
Şekil 4.3: PEM su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].....	19
Şekil 4.4: Yakıt hücresi çalışma prensibi.....	20
Şekil 5.1: Arduino yazılım geliştirme kartı.....	22
Şekil 5.2: 16x2 lcd ekran.....	23
Şekil 5.3: DHT22 sıcaklık ve nem sensörü.....	23
Şekil 5.4: Arduino için röle kartı.....	24
Şekil 5.5: Buzzer kartı.....	24
Şekil 5.6: DC adaptör.....	24
Şekil 5.7: Yakıt hücresi ve elektrolizör sistemi.....	25
Şekil 5.8: Elektrolizör ve yakıt hücreleri yapısı.....	26
Şekil 5.9: Elektroliz uygulama yapısı.....	26
Şekil 5.10: Yakıt hücreleri yapısı.....	27
Şekil 5.11: Arduino için program yazılımı.....	27
Şekil 5.12: Arduino IoT yazılım platformu giriş ekranı.....	28
Şekil 5.13: IoT platformu için arduino tanımlaması.....	28
Şekil 5.14: IoT platformunda bulut değişkenlerinin tanımlanması.....	29
Şekil 5.15: Arduino wi-fi kart için kablosuz ağ tanımları ve güvenlik yapısı.....	29
Şekil 5.16: IoT platformunda arduino wi-fi tanımlamalarının yapılması.....	30
Şekil 5.17: Arduino IoT platformu ve wi-fi r4 kart entegrasyonu.....	30
Şekil 5.18: Arduino IoT platformu ve wi-fi r4 kart aktivite bilgisi ekranı.....	31
Şekil 5.19: Uygulama yapısı ana elektronik kontrol sistemi.....	31
Şekil 5.20: Elektronik uygulama yapısı, fotovoltaik panel, elektroliz ve yakıt hücresi sistemi.....	32
Şekil 6.1: Sisteme dair ölçüm noktaları.....	33
Şekil 6.2: Arduino IoT hizmeti kullanıcı için web arayüzü ölçüm sonuçları – 1.....	33
Şekil 6.3: Arduino IoT hizmeti kullanıcı için web arayüzü ölçüm sonuçları – 2.....	34
Şekil 6.4: Çekilen akım ve elektrolizden üretilen hidrojen miktarı (mL).....	34
Şekil 6.5: Üretilen hidrojen miktarının saatlik değişim grafiği.....	35
Şekil 6.6: Fotovoltaik panel üretilen gerilim miktarı.....	35
Şekil 6.7: Fotovoltaik panelden çekilen akım ve gerilim değeri.....	36
Şekil 6.8: Hava sıcaklığı ve nem miktarı günlük ölçüm sonuçları.....	36
Şekil 6.9: Elektrolizden çekilen akım ve besleme gerilimiyle ilgili ölçüm sonuçları.....	37

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 4.1:</b> Suyun elektroliz işleminde kimyasalların termodinamik özellikleri.....	13
<b>Tablo 4.2:</b> Farklı elektrolizör türleri arasında karşılaştırma. ....	14
<b>Tablo 5.1:</b> Arduino wi-fi 4 özellikleri. ....	22



## SEMBOL LİSTESİ

<b>IoT (Internet of Things)</b>	: Nesnelerin İnterneti
<b>V</b>	: Volt
<b>A</b>	: Amper
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>MI</b>	: Mililitre



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Ersin AKYÜZ'e,

Sistemin hazırlanması esnasında destek olan Sayın Öğr. Gör. Batın DEMİRCAN'a,

Yüksek lisans dönemimde bana her konuda destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2024

İlker ÇOBANOĞLU

## 1. GİRİŞ

Yakın gelecekte enerji üretimi, iletimi ve kullanımında yeni eğilimler ve zorluklar beklenmektedir. Bu sorunu ele almak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve diğer dağıtık elektrik enerjisi kaynaklarının dahil edilmesine yönelik artan bir ihtiyaç bulunmaktadır [1].

Küresel enerji talebi, 2018'de 2017'ye kıyasla %2,3 oranında artarak 2010'dan bu yana en yüksek artışı göstermiştir. Enerji sektöründen kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları ise 2018 yılında yeni bir rekor kırmıştır. Sanayi öncesi sıcaklık seviyesiyle karşılaştırıldığında, küresel ısınma 1,5 °C'ye yaklaşıyor ve bu da büyük olasılıkla 21. yüzyılın ortalarından önce gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Bu eğilim devam ederse, küresel ısınma 2 °C hedefini aşacak ve bu da gezegen ve insan yaşamı üzerinde ciddi bir etkiye sahip olacaktır. Küresel ısınma ve yerel hava kirliliği, termik enerji üretimi için su kaynaklarının kıtlığı ve tükenmekte olan fosil enerji kaynaklarının sınırlılığı gibi çevresel kaygılar, enerjinin daha verimli kullanılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına acil bir ihtiyaç doğurmaktadır. Farklı çalışmalar hem ülke düzeyinde hem de küresel olarak yenilenebilir enerji kullanımının fosil yakıtlardan kurtulmak için bir çıkış noktası olduğunu göstermektedir [2].

İklim değişikliği, günümüzün en acil sorunlarından biri ve sürdürülebilir enerji stratejilerine olan ihtiyaç hiç bu kadar belirgin olmamıştır [3]. Küresel iklim değişikliği, sürdürülebilir enerji ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin kesişimi, çevresel kaygıları gidermek ve daha sürdürülebilir bir gelecek yaratmak için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Nesnelerin İnterneti'nin gücünden faydalanılarak enerji tüketimi daha etkin bir şekilde izlenebilir ve yönetilebilir, yenilenebilir enerji kaynakları optimize edilebilir ve genel karbon emisyonları azaltılabilir hale getirilebilir [4].

Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin hidrojen ve yakıt hücresi sistemlerinin izlenmesi ve kontrolüne entegrasyonu, bu enerji sistemlerinin verimliliği ve güvenilirliği açısından önemli bir gelişmeyi ifade etmektedir. Uzaktan izleme ve kontrol imkanları, gerçek zamanlı veri analizi ve kestirimci bakımın mümkün olmasını sağlamıştır. Bu durum, enerji sistemlerinin güvenliği ve maliyet etkinliği üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır. Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin ilerlemesi ile birlikte, sürdürülebilir enerji üretimi ve kullanımı konusunda gelecekte daha büyük iyileştirmelerin potansiyeli bulunmaktadır. Bu

entegrasyon, sadece hidrojen ve yakıt hücresi sistemlerinin güvenilirliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji geleceğine doğru bir adım atılmasına olanak tanımaktadır [5].

Bu tez çalışmasında, elektroliz ve elektrolizin ürettiği hidrojeni kullanan bir yakıt hücresi sistemiyle enerji üreten bir yapı, Nesnelerin İnterneti tabanlı olarak hem uzaktan izlenebilen hem de uzaktan kontrol edilebilen bir donanım ve yazılım entegrasyonu ile geliştirilecektir.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Nesnelerin İnterneti (IoT) üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artarak devam etmiş ve sanayi uygulamalarından, kişisel uygulamalara, tarım uygulamalarına, sağlık uygulamaları gibi alanlarda ciddi bir yer edinmiştir. Yurt içinde ve yurt dışında yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu başlık altında IoT yapısında kullanılan güncel uygulama çalışmaları aktarılmıştır.

Siemens S7-1500 PLC donanımı ve yazılım tabanında Node-Red yazılımının kullanıldığı bu çalışmada PEM Elektrolizörün akım, gerilim, basınç ve hidrojen akışı gibi fiziksel büyüklükler ölçülmüştür. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti olarak yenilenebilir enerji destekli bir uygulama gerçekleştirilmiştir [6].

Donanım yapısında ana kontrolcü olarak PLC kullanılan bu çalışmada, Modbus tcp/ip iletişim altyapısı ile Matlab yazılımı kullanılmıştır. PEM yapısı ile birlikte çalışan sistemde bir dizi simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir [7].

Raspberry Pi ve kamera modülü kullanılarak oluşturulan bu yapıda, keşif robotu ile görüntü işleme teknikleri Python yazılımı aracılığıyla kullanılmıştır. Nesnelerin İnterneti yapısında yer alması planlanan keşif robotunda, nesne tespiti kısmında MQTT protokol yapısından yararlanılmıştır [8].

Raspberry Pi 4 kartının ve alt sensör bileşenlerinin kullanıldığı yüksek gerilim laboratuvarı için IoT uygulamasında bir hava istasyonunun tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Hava istasyonu, sensörlerden elde edilen sıcaklık, basınç ve bağıl nem verilerini kullanarak bağıl hava yoğunluğunu ve nem düzeltme katsayıları hesaplanmıştır. HTML ve CSS kullanılarak web tabanlı bir kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir [9].

Arudino ve ESP8266 donanım yapısında temel olarak kullanılan Fotovoltaik sistem için Nesnelerin İnterneti uygulamasında internet erişim platformu olarak Think Speak kullanılmış ve Fotovoltaik sisteme dair veriler IoT kullanılarak hem uzak noktaya gönderilmiş hem de veri depolanması sağlanmıştır [11].

Gemicilik sektörü için yapılan bu çalışmada rüzgar hızı ve yönü, hava basıncı, hava sıcaklığı verileri bir alıcıya gönderilmiş ve bulut bilişim yapısı kullanılmıştır. IoT'nin denizcilik uygulaması üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir [13].

Akıllı ev üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada, bina içerisinde yer alan su deposundan başlayarak ev ortamındaki verilerin kullanıcılar üzerinden izlenmesi raspberry pi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Zigbee kullanımı ile IoT yapısı üzerinden etkileşim sağlanmıştır [14].

Seracılık için ortam parametrelerinin izlendiği bu çalışmada Xbee donanımları ve Arduino Mega kartları ile sıcaklık, toprak nemi, karbon dioksit gibi fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinin ardından Microsoft Visual Studio ortamında hazırlanan hem masaüstü hem de mobil uygulama gerçekleştirilmiştir [15].

Node MCU Esp 8266 kartının kullanıldığı IoT kontrollü akıllı kapı uygulamasında web server ile local host üzerinden bir yapı geliştirilmiştir [16].

Su kirliliğinin IoT tabanlı olarak denetlendiği bu çalışmada pH, bulanıklık, karbondioksit, iletkenlik, nem ve sıcaklık parametreleri Arduino Uno kart üzerinden ölçülmüş ve su kaynaklarının güvenli hale getirilmesi amaçlanmıştır [17].

Likit petrol gazı (LPG) ölçümü ve güvenliği için gerçekleştirilen çalışmada Arduino Uno ve Esp8266 kartları kullanılmıştır. İnternet platformu için veri aktarımında ise Think Speak web sistemi tercih edilmiştir [18].

"SD3004 enerji ölçüm çipini içeren, tek fazlı ölçüm yapabilen PZEM-004T modülü kullanılarak şebekeden elektriksel büyüklükler ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm değerleri ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılarak InfluxDB IoT platformunda yayınlanmıştır [19].

IoT teknolojisinin kurulması ve yönetilmesi için bir Arduino kartı ve ilgili sensörler kullanılmıştır. Önerilen strateji, endüksiyon motoru parametrelerini toplamak ve işlemek için IoT tabanlı bir platform içermektedir. Elde edilen veriler bulut ağında işlenebilir ve web sayfası aracılığıyla görülebilir. Bu yaklaşım, endüksiyon motoru parametrelerini toplamak ve işlemek için geniş bir tabana sahip bir platform içermektedir. Toplanan veriler, bulut tabanlı platformda saklanabilir ve web sayfası üzerinden erişilebilir. Ayrıca, izlenen



parametrelerden herhangi birinin belirlenen aralıklardan sapması durumunda, sistem gerçek zamanlı uyarılar göndererek hızlı bir şekilde düzeltme yapılmasına olanak tanır. Bu, ekipmanın sürekli izlenmesini, alarmların alınmasını ve kestirimci bakım için veri kullanılabilirliğini sağlayarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır [20].

Akıllı şebekeler bağlamında, güç transformatörlerinin sağlık durumu analizlerine odaklanan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kwong, CLP Power şirketinde yürütülen bu çalışmada, güç transformatörlerinin sağlık durumunu değerlendirmek amacıyla kullanılan çeşitli modelleri detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu modeller şu alt başlıklar altında incelenmiştir: sargı arıza hatası öngörü modeli, yaşlanma değerlendirme modeli, transformatör yüklenme yönetimi modeli, gerilim regülasyon modeli, yalıtım yağı sağlık durumu modeli ve transformatör durum izleme modeli [21].

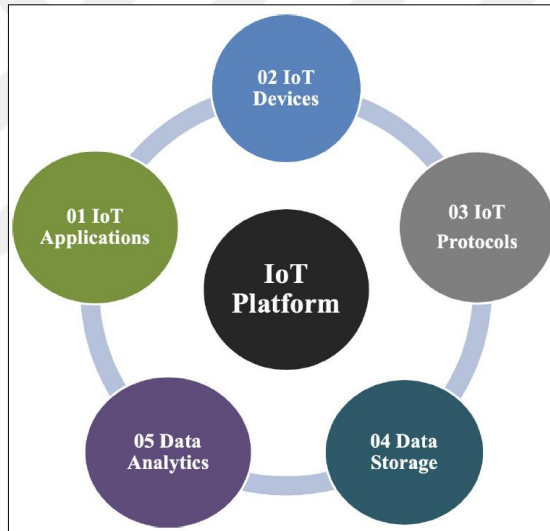
Yenilenebilir enerji sistemlerinin devreye girmesiyle, enerji dağıtım modelinin merkezi dağıtımdan dağıtık dağıtıma geçişi konusunda mikro ölçekli şebekelerin önemi vurgulanmıştır. Mikro ölçekli şebekeler arasındaki iletişim, enerji akışının etkin bir şekilde yönetilebilmesi için kritik bir gerekliliktir. Bir mikro şebekenin sahip olduğu verilerin, düşük gecikme süreleriyle birbirinden yüzlerce metre uzaklıktaki diğer mikro şebeke ile iletişim kurabilmesi, önemli bir konudur. Bu iletişimi, RS-485 protokolünün IEEE Std. 802.15.4 adaptasyonu ile birleştirilerek, IoT (Nesnelerin İnterneti) ile entegre ederek çözen bir çözüm sunulmuştur [22].

Nesnelerin İnterneti (IoT) alanında gerçekleştirilen 'Smart Healthcare Monitoring System Using Raspberry Pi' başlıklı çalışma, kalp atışlarının görselleştirilmesini sağlayan bir sistem geliştirmiştir. Bu proje kapsamında, kalp atışlarını ölçen bir sensör ile sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Hastaya bağlanan sensörlerden elde edilen veriler kablosuz olarak iletilmiş ve sonuçlar LCD ekran üzerinde görüntülenmiştir [23].

### 3. BULUT TABANLI NESNELERİN İNTERNETİ SİSTEMİ

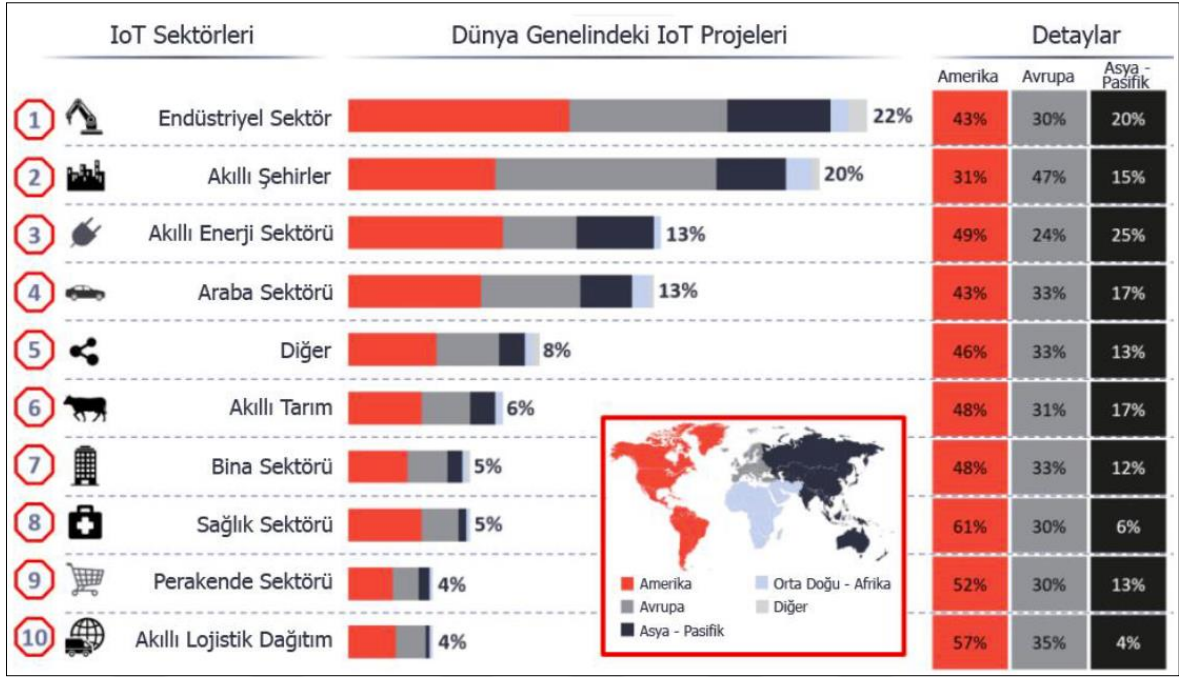
#### 3.1 Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), interneti kullanan ve fiziksel cihazlar veya "nesneler" arasında bağlantı sağlamayı amaçlayan gelişmekte olan bir teknolojidir [22]. IoT sistemlerinin tasarlanmasında ilk adım olan bir IoT uygulaması planlanırken, sensör cihazı, iletişim protokolü, veri depolama ve hesaplama gibi IoT bileşenlerinin seçiminin amaçlanan uygulamaya uygun olması gerekir. Örneğin, bir binada ısıtma, soğutma ve iklimlendirmeyi (HVAC) kontrol etmek için planlanan bir IoT platformu, ilgili çevresel sensörlerden yararlanmayı ve uygun iletişim teknolojisini kullanmayı gerektirebilmektedir [23]. Şekil 3.1'de bir IoT platformunun farklı bileşenleri gösterilmektedir [24]. IoT platformlarının ikinci bileşenleri olan IoT cihazları, sensörler, aktüatörler, IoT ağ geçitleri veya veri toplama, iletme ve işleme döngüsüne katılan herhangi bir cihaz şeklinde olabilir.



Şekil 3.1: Bir IoT platformunun temel bileşen yapısı.

Literatürdeki çalışmalarının yanı sıra ticari boyutta da nesnelerin uygulamaları geliştirilmiştir. Dünya genelinde sektörel olarak uygulanan IoT projeleri ve dağılımları ise Şekil 3.2'de verilmiştir [27].

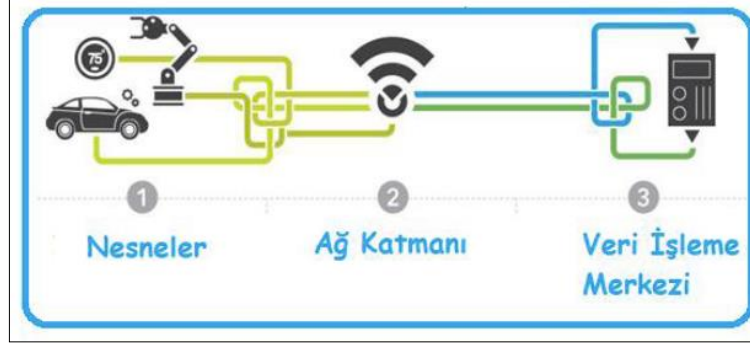


Şekil 3.2: Sektör bazlı IoT uygulamaları.

### 3.1.1 Nesnelerin İnternetini Oluşturan Katmanlar

Nesnelerin İnterneti (IoT), birden çok nesneyi ağlar aracılığıyla birbirine bağlayan bir sistemdir. Bu sistem, çeşitli bileşenlerden oluşmakta olup, her bir bileşenin kendine özgü görevleri bulunmaktadır. Nesnelerin İnterneti sistemini bir bütün olarak düşündüğümüzde, sistemin duyu organlarını sensörler ve kamera sistemleri oluşturmaktadır. Ayrıca, sistemi değerlendirdiğimizde, nesnelere tarafından üretilen verilerin tanımlanması ve analiz edilmesi için iletimi sağlayan haberleşme kanallarının toplamına da sinir ağları adını verebiliriz. Gelen verilerin işlenip yorumlanmasını sağlayan, kullanıcıya iletilmesini ve gerekli cevapların alınmasını sağlayan veri işleme merkezini ise sistemin beyini olarak kabul edebiliriz [28].

Nesneler, zaman içinde gelişerek daha teknolojik donanımlara sahip hale gelmektedir. Aynı şekilde, haberleşme ağları da her geçen gün biraz daha gelişim kaydetmektedir. Veri işleme merkezi olarak tanımladığımız mikro kontrolörlerin veya sunucuların kapasite ve işlem yetenekleri de sürekli olarak artmaktadır [29].



**Şekil 3.3:** Nesnelerin İnterneti katman yapısı.

### 3.1.2 Ağ Katmanları Yapısı

Nesnelerin İnterneti yapısında özellikle bağlantı kısmında farklı teknoloji ve protokollerin kullanımından yararlanılmaktadır. Ve her bir farklı tür yapısı ağ katmanı olarak ifade edilebilmektedir.

#### 3.1.2.1 Lan (Local Area Network)

LAN'ın Nesnelerin İnterneti ile birlikte kullanılması çeşitli sektörlerde önemli bir dönüşüme yol açmıştır. Akıllı evler ve otonom araçlardan endüstriyel otomasyon ve tarıma kadar LAN ve IoT kombinasyonu verimli veri toplama, analiz ve karar verme süreçlerinin önünü açmıştır. Daha fazla cihaz birbirine bağlandıkça, teknolojiye yenilik ve ilerleme potansiyeli de artmaya devam ediyor. LAN'ın, IoT cihazlarının bağlantı ve iletişim gereksinimlerini destekleyerek daha birbirine bağlı ve akıllı bir dünya yaratmada çok önemli bir rol oynadığı açıktır. Bu sorunsuz entegrasyondan doğan olasılıkları benimserken, LAN özellikli IoT çözümlerinin sürekli başarısını ve benimsenmesini sağlamak için güvenlik ve gizlilik endişelerini ele almak önemlidir [30].

LAN, yakın konumlu birden fazla bilgisayarın birbirleriyle bağlanması sonucu oluşan küçük ölçekli bir ağ sistemini tanımlayan bir terimdir. Bu ağlar, genellikle bilgisayarlar, yazıcılar, mobil aygıtlar ve bunları birbirine bağlayan anahtarlayıcılar gibi kişisel cihazları içerir. Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet ve 10 Gigabit Ethernet gibi farklı hızlarda çalışabilen 4 farklı Ethernet türü, yerel ağlarda kullanılan öne çıkan iletişim protokolleridir. LAN'lar, daha geniş ağ sistemlerine ölçeklendirme imkanı sağlayarak iletişim altyapısını güçlendirmek amacıyla kullanılır [29].

### **3.1.2.2 WLAN (Wireless Local Area Network)**

WLAN'ın Nesnelerin İnterneti ile entegrasyonu, teknolojiyle etkileşim biçimimizde önemli bir evrimi beraberinde getirmiştir. Cihazlar arasında kesintisiz bağlantı ve iletişim imkânı sunarak otomasyon, veri toplama ve analiz için yeni olanaklar açmıştır. Teknolojinin sürekli gelişimiyle birlikte, WLAN ve IoT entegrasyonunun daha da artacağını öngörebiliriz. Bu durum, daha akıllı ev sistemlerine, daha verimli endüstrilere ve genel olarak daha bağlantılı bir dünyaya doğru ilerlemeyi beraberinde getirecektir [30].

### **3.2 Bulut Bilişim**

Bulut bilişim, işletmelerin ve bireylerin veri depolama, yönetme ve işleme yöntemlerinde önemli bir devrim yaratmıştır. Bulut teknolojisinin hızla benimsenmesi, kuruluşların bilgi teknolojisi altyapısına ve kaynak yönetimine yaklaşımında önemli değişikliklere yol açmıştır. Bulut bilişim, yalnızca verilerin depolanma ve yönetilme şeklini değiştirmekle kalmamış, aynı zamanda yazılımın geliştirilme, sunulma ve erişilme şeklini de etkilemiştir. Bulut bilişiminin basit veri depolamadan karmaşık uygulama ve hizmetleri barındıran bir platforma dönüşmesi dikkat çekicidir. Altyapı, platform ve yazılım gibi bulut mimarisinin karmaşık ayrıntılarını anlamak, yeteneklerinin ve sınırlamalarının tüm kapsamını kavramak için son derece önemlidir [31-33]

Teknik yönlerin yanı sıra, bulut bilişiminin güvenlik hususları da son derece önemlidir. Verilerin şirket içi sunuculardan buluta taşınmasıyla birlikte, potansiyel güvenlik açıkları ve riskler titizlikle analiz edilmelidir [34-36].

Ayrıca, bulut bilişiminin iş operasyonları üzerindeki etkisi yalnızca maliyet tasarrufu ve ölçeklenebilirliğin ötesine geçmektedir. Kurumların dijital dönüşüme yaklaşımını temelden değiştirerek çevik, veriye dayalı karar alma süreçlerini mümkün kılmış ve inovasyonu teşvik etmiştir [37-39].

Bulut sistemlerinde güvenliğin sağlanması amacıyla, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından 2014 yılında bulut gizliliği içerikli ve ilk uygulama kodlu ISO/IEC 27001'e ek olarak, ISO/IEC 27018:2014 standartları kabul edilmiştir. Günümüzde birçok ticari bulut hizmeti sağlayıcısı, bulut sistemlerinde uygulanan güvenlik yapılarında bu standartları kullanmaktadır [42].

## 4. HİDROJEN, ELEKTROLİZ VE YAKIT HÜCRESİ

### 4.1 Hidrojen

Hidrojen, evrende en bol bulunan elementlerden biridir. Dünya üzerinde gözlemlenen maddelerin %90'dan fazlası hidrojen içermektedir. Güneş, tamamıyla hidrojenden oluşan bir yıldızdır. Dünya, güneşten elde ettiği enerjiyi, hidrojenin füzyon tepkimesi sonucunda helyuma dönüşmesiyle açığa çıkan enerji olarak almaktadır. Zira bu gaz, havanın ondörtte biri yoğunluğa sahip olduğundan dolayı atmosferde hızla dağılmaktadır. Hidrojenin sıvı hale getirilmesi, enerji yoğun bir süreçtir ve bu süreç, hidrojenin -253 °C'ye kadar soğutulmasını gerektirmektedir. Ne var ki, evrende en bol bulunan element olmasına rağmen, hidrojen gezegenimizde saf halde bulunmamaktadır. Hidrojen, genellikle su içerisinde oksijenle birleşik olarak, fosil yakıtlarda ve birçok hidrokarbon bileşiğinde karbon ve diğer elementlerle birleşik halde bulunmaktadır [41].

Periyodik tablonun başında yer alan hidrojen, yalnızca bir proton ve bir elektrondan oluşan, kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Doğal bir yakıt olmamakla birlikte, su, fosil yakıtlar ve biokütle gibi çeşitli hammaddelerden sentetik bir yakıt olarak üretilebilen hidrojen, birincil enerji kaynaklarından elde edilir. Hidrojen üretim aşamalarında, buhar iyileştirme, elektroliz, fotosüreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif birçok teknoloji bulunmaktadır.

Hidrojen, birincil enerji kaynağı olmamasına rağmen, bir enerji taşıyıcısı olarak işlev görmektedir. Elektriğe benzer özelliklere sahip olmasına rağmen, enerjiyi daha verimli bir şekilde taşıma kapasitesine sahiptir. Hidrojen, geleceğin ideal yakıtı olarak kabul edilmektedir. Bu ideal yakıt özelliklerini taşıması beklenen özellikler şunlardır [42] :

- Kolayca ve güvenli bir şekilde herhangi bir konuma taşınabilir olmalı ve taşınırken enerji kaybı minimum düzeyde veya hiç olmamalıdır.
- Herhangi bir yerde kullanılabilir ve depolanabilir olmalıdır.
- Tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen bir özelliğe sahip olmalıdır.
- Kütle başına yüksek kalori değerine sahip olmalıdır.
- Farklı şekillerde, örneğin, doğrudan yanarak veya kimyasal yollarla kullanılabilir olmalı, güvenli olmalı ve ısı, elektrik veya mekanik enerjiye kolayca dönüştürülebilmelidir.

- Çevre üzerinde olumsuz bir etkisi olmamalı, yüksek verimle enerji üretebilmeli ve karbon içermemelidir.
- Ekonomik olmalı ve hafif bir yapıya sahip olmalıdır.

1 kilogram sıvı haldeki hidrojenin ısı değeri 120 milyon Joule'dür ve bu, hidrojenin diğer yakıtlardan daha yüksek bir ısı değere sahip olduğunu gösterir. Bu özelliği nedeniyle, uzay araçlarında sıvı hidrojen kullanılmaktadır. Hidrojenin diğer yakıtlara göre önemli bir özelliği hidridleşme çevrimini içermekte ve birçok uygulamada bu özellikten yararlanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında H<sub>2</sub> depolama, H<sub>2</sub> zenginleştirme-ayırma, kompresyon, pompaj, ısı pompası, soğutma, iklimlendirme ve elektrik üretimi gibi alanlar bulunmaktadır [43].

Hidrojen üretimi için çeşitli kaynaklar ve teknolojiler kullanılmaktadır. Bu kaynaklar ve teknolojiler arasında doğal gaz, kömür, benzin, metanol veya biyokütle gibi fosil kaynaklardan ısı kullanılarak, bakteri ve algler tarafından fotosentez yoluyla, elektrik veya güneş ışığı kullanılarak suyun parçalanmasıyla hidrojen üretimi yer almaktadır. Günümüzde, hidrojen üretiminin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan gerçekleştirilmektedir. Dünya genelindeki hidrojen üretiminin %48'i doğal gazdan, %30'u petrolden, %18'i kömürden ve kalan %4'ü yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yoluyla elde edilmektedir [44].

Hidrojen üretim yöntemleri, kullanılan hammaddeye, elde edilmek istenen hidrojen miktarına ve saflık derecesine göre değişiklik gösterir. Yeni geliştirilen yöntemler dikkate alındığında, hidrojen üretim teknolojileri genellikle üç ana grupta toplanabilir [45]:

**Fosil Hammaddelerden:** Kömürün Gazlaştırılması, Buhar Reforming, Ototermlal Reforming, Termal Disosiyasyon.

**Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından:** Suyun Elektrolizi, Fotoelektroliz, Suyun Termal Parçalanması, Biokütle Gazlaşması.

**Atık Gaz Akımlarından Hidrojen Kazanma:** Rafinerilerde (buhar veya metanol reforming fabrikaları proses gazı gibi) ve kimyasal madde fabrikalarında (amonyak veya metanol sentezi gibi) gibi işletmelerde hidrojen zengin atık gazlardaki hidrojenin artırılması işlemidir.

Hidrojen, Carnot çevriminin sınırlayıcı etkisi olmadan, yakıt hücreleri aracılığıyla ve elektrokimyasal döngü ile doğrudan elektrik üretimi için kullanılabilen bir yakıttır. Bu süreçte hidrojen, alkali, fosforik asit, katı polimer, ergimiş karbonat, katı oksit tip elektrolitli yakıt hücrelerinde %50-80 verim aralığında kullanılabilmektedir. Genel olarak, hidrojen ulaşım için en uygun, en iyi dönüşebilirlik özelliğine sahip, kullanım verimi en yüksek, çevreyle en uyumlu ve güvenli bir yakıttır [46].

## 4.2 Hidrojenin Depolanması

Genel olarak, üç farklı hidrojen depolama yöntemi mevcuttur: sıkıştırılmış gaz, sıvı (kriyojenik sıvı H<sub>2</sub> veya sıvı organik hidrojen taşıyıcıları) veya metal hidritler ve kimyasal hidrojen depolama. Gaz fazında depolanan hidrojenin düşük volümetrik enerji yoğunluğu (1 kg hidrojen, 11 m<sup>3</sup> alanı kaplar) oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında kullanımını kısıtlayan önemli bir teknik sınırlamadır. Ancak, bu zamana kadar en yaygın kullanılan yöntem gazlı hidrojen depolamasıdır. Sanayi ölçekli enerji depolama sistemlerinin volümetrik verimlilik gereksinimlerini karşılamak için yüksek basınç uygulaması gereklidir, bu da ek maliyetlere ve enerji tüketimine neden olmaktadır [47].

Sıvı hidrojen depolama yöntemi, volümetrik özellikleri önemli ölçüde artırabilir; ancak, kriyojenik koşulların (~21.2 K, 101.325 kPa) veya oda sıcaklığında kapalı depolama sistemlerinde 104 ATM'ye kadar bir basınç gerektirmesi gibi teknik ve ekonomik zorlukları beraberinde getirir [48]. Hidrojen depolamanın hibrit yöntemleri, farklı fiziksel ve kimyasal hidrojen depolama teknolojilerini birleştirerek her birinin eksikliklerini aşmayı amaçlar. Kryo-adsorpsiyon, sıkıştırılmış, sıvılaştırılmış ve fizisorpsiyon malzemesi tabanlı hidrojen depolama teknolojilerinin avantajlarını birleştiren bir fiziksel-kimyasal hidrojen depolama yöntemidir [51].

Metal hidritler, hidrojen molekülünün metal yüzeyinde ayrışması ve ardından hidrojen atomlarının kristal kafese geçmesiyle oluşur. MgH<sub>2</sub>, yüksek gravimetrik kapasitesi (% 7,6 ağırlıkça) nedeniyle büyük ilgi görmüştür, ancak düşük gravimetrik yoğunluk ve yüksek çalışma sıcaklıkları gibi başlıca dezavantajlara sahiptir. Kompleks hidritler (alanatlar), yüksek hidrojen içeriklerine rağmen geri dönüşümlü olmadıkları düşünüldüğünden hidrojen depolamasında kullanılmamıştır [50], [51].



### 4.3 Elektroliz

Elektroliz, bir elektrolit içine iki elektrot daldırılarak, bu elektrotlara dışarıdan bir akım uygulanması sonucunda elektrotlarda kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği olayı ifade eder. Elektroliz, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürüldüğü bir süreçtir. Elektrotlardaki kimyasal reaksiyonlar, elektrolitin iyonları arasında gerçekleşir ve bu süreç sonucunda çeşitli gazlar veya çözülmüş maddeler meydana gelebilir. Elektroliz, metalurjik işlemlerden su ayrışmasına kadar birçok uygulamada kullanılan önemli bir tekniktir [52].

Elektroliz, 1800 yılında W. Nicholson ve Carlisle tarafından suyun elektrik enerjisi kullanılarak parçalanması olayını açıklamış olup, bu tarihten 1902 yılına kadar 400 endüstriyel elektroliz cihazı üretilmiştir. İlk büyük ölçekli elektroliz ünitesi 1939'da 10,000 Nm<sup>3</sup>/h hidrojen üretim kapasitesine sahipti. İlk Katı Polimer Elektrolit (PEM) sistemi, General Electric tarafından 1966 yılında üretilmiştir [53].

**Tablo 4.1:** Suyun elektroliz işleminde kimyasalların termodinamik özellikleri.

$h_{H_2(g)}$	$h_{O_2(g)}$	$h_{H_2O(s)}$
0	0	285826
$S_{H_2(g)}$	$S_{O_2(g)}$	$S_{H_2O(s)}$
130.68	205.14	69.92

Elektroliz oluşumu için, hücreye anot ve katot denge potansiyellerinin toplamından daha büyük bir potansiyelde dış akımın uygulanması gerekmektedir. Suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenlere ayrılması, hidrojen üretimi için en temel yöntem olarak kabul edilmektedir. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında, akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda yönlendirilecektir. Bu süreç sonucunda elektrolit içindeki su, katottan çıkan hidrojen ve anottan çıkan oksijene ayrışacaktır. Ancak su, iyi bir iletken olmadığından dolayı, elektrolit içine iletkenliği artırmak amacıyla potasyum hidroksit eklenir [54].

Suyun elektrolizi için gereken en düşük gerilim, Tablo 4.1'deki termodinamik değerler kullanılarak Denklem 3.1 ile hesaplanır ve normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1.229 V'dur. Serbest enerji olarak da bilinen Gibbs serbest enerjisi, entalpi (H) ve entropinin (S) bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. T mutlak sıcaklık (K) olduğunda elektroliz

reaksiyonunun gerçekleşmesi için oluşması gereken minimum enerji, reaksiyonun Gibbs enerjisi olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır [55].

$$\Delta G = \left[ \left( h_{H_2} + \frac{1}{2} h_{O_2} \right) - h_{H_2O(S)} \right] - T \cdot \left[ \left( s_{H_2} + \frac{1}{2} s_{O_2} \right) - s_{H_2O(S)} \right] \quad (4.1)$$

$$E_0 = \frac{\Delta G}{nF} = \frac{237177}{2.96487} = 1.229 \frac{J}{C} = 1.229V \quad (4.2)$$

Ancak, bir elektroliz hücresine uygulanan gerilimde, elektroliz ile hidrojen ve oksijenin ayrışabilmesi için uygulanan gerilimin suyun serbest enerjisinden, aktivasyon ve omik kayıpların toplamından daha büyük olması gerekmektedir. Bu bağlamda, elektroliz geriliminin belirlenmesi için gereken gerilim, genellikle 2-2.1 Volt aralığında değişmektedir. Yukarıda verilen denklem, 1 atm basınç ve 25°C sıcaklık için hesaplanmıştır ve artan sıcaklık ve basınç ile gerilim değeri düşmektedir. Bu durumda elektroliz gerilimi, yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında değişmektedir.

Hidrojen üretim sistemleri, genellikle paralel veya seri bağlı bir dizi elektroliz hücresini içeren bir elektroliz birimi oluşturur. Bu elektrokimyasal hücreler arasında, geleneksel alkalın elektroliz cihazları (sıvı elektrolit), Proton Değişim Membranı (PEM) elektroliz cihazları ve en son olarak SOEL içeren üç farklı elektrolizör teknolojisi bulunmaktadır ve bunlar şu anda ticari ürün olarak kullanılmaktadır. Tablo 4.2, bu üç teknolojinin özelliklerini detaylandırmaktadır. Bu teknolojik çeşitlilik, hidrojen üretimindeki elektroliz süreçlerini optimize etmek ve özelleştirmek için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, yeşil hidrojen üretimi süreçlerini daha verimli, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir hale getirme potansiyeli taşımaktadır [56].



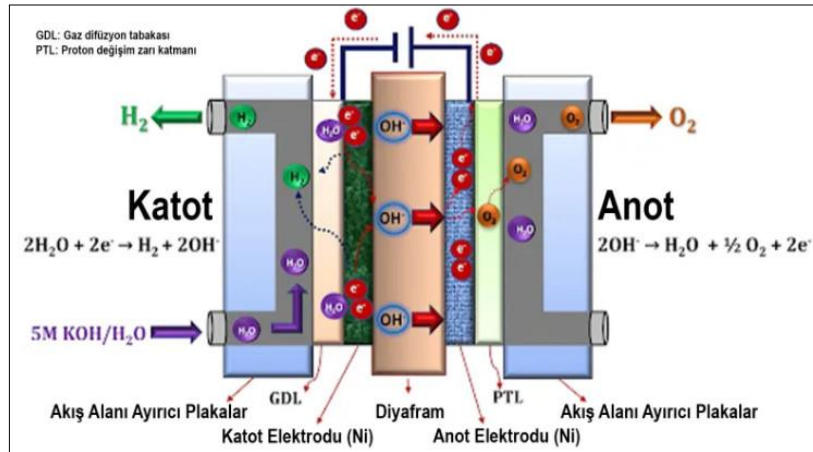
**Tablo 4.2:** Farklı elektrolizör türleri arasında karşılaştırma.

AÇIKLAMA	ALKALIN TIP	PEM TIP	SOEL TIP
Elektrolit (Membran)	Potasyum hidroksit	Proton Exchange membran	Zirkonyum seramik, Zirkonyum oksit seramik
Elektrot (Katalizör)	Anot: Ni/Ni, metal Oksit alaşımları	Anot: Grafit	Seramik (Mn, La, Cr)/Ni

	Katot: Ni/Ni-Co	P2FE+Ti/RuO <sub>2</sub> , IrO <sub>2</sub> , Katot: Grafit+Pt/Pt	Katot: Zr&Ni/CeO <sub>x</sub>
Reaksiyon	Anot: 4OH <sup>-</sup> (aq)→O <sub>2</sub> (g)+2H <sub>2</sub> O(s)+4e <sup>-</sup> Katot: 4H <sub>2</sub> O(s)+ 4e <sup>-</sup> →2H <sub>2</sub> (g)+ 4OH <sup>-</sup> (aq)	Anot: 6H <sub>2</sub> O(s) → O <sub>2</sub> (g)+ 4H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)+ 4e <sup>-</sup> Katot: 4H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)+ 4e <sup>-</sup> →4H <sub>2</sub> (g)+ 4H <sub>2</sub> O(s)	a)Anot: 2O <sup>2-</sup> →O <sub>2</sub> (g)+ 4e <sup>-</sup> Katot: 2H <sub>2</sub> O(g)+ 4e <sup>-</sup> →2H <sub>2</sub> (g)+2 O <sup>2-</sup> b)Anot: 2H <sub>2</sub> O→4H <sup>+</sup> +2O <sub>2</sub> (g)+4e <sup>-</sup> Katot: 4H <sup>+</sup> +4e <sup>-</sup> →2H <sub>2</sub> (g)
Çalışma sıcaklığı (°C)	70-100	80-100	800-1000
Çalışma basıncı (bar)	1-30	>200	-
Verim	60-70	50-75	85-100
Ömür(yıl)	15-20	15-17	-

#### 4.4 Alkalın Elektroliz

AEL sistemi, geleneksel olarak alkali bir çözelti (örneğin, potasyum hidroksit sulu çözeltisi) elektrolit olarak kullanılmaktadır. Elektrotlar, katotta oluşturulan OH<sup>-</sup> iyonlarına geçirgen olan bir diyafram ile ayrılır; bu iyonlar elektrolitten anoda geçer ve orada dönüştürülür [57]. Gelişmiş AEL konsepti, poroz elektrotların yalnızca gaz geçirmez bir membran ile mekânsal olarak ayrılmasını sağlar. Bu "sıfır boşluk" teknolojisi, geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek voltaj verimliliklerine izin verir. Alkalın elektrolizörler için tipik çalışma koşulları, 70-100 °C sıcaklıkları ve 1-30 bar basınçlarıdır M-42. Akım yoğunlukları 0.2-0.4 A/cm<sup>2</sup> aralığındadır ve hücre voltajları yaklaşık 1.8-2.4 V'tur [58].

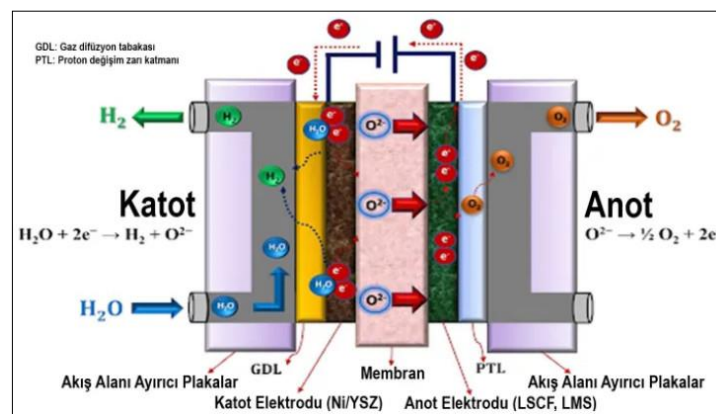


Şekil 4.1: Alkali su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].

#### 4.5 SOEL

SOEL elektrokimyasal dönüşümlerde kullanılan önemli bir hücre türüdür ve 1970'li yıllara kadar uzanan bir gelişim geçmişine sahiptir. SOEL'de kullanılan elektrolit, belirli işletme koşullarında  $O^{2-}$  iyonlarına geçirgen olan bir katı oksittir [60]. Çalışma sıcaklıkları 800-1000 °C aralığındadır. Yüksek sıcaklık, SOEL'in voltaj verimliliğini %80'den fazla artırabilir. Bu verim, 0.3-2.0 A/cm<sup>2</sup> akım yoğunlukları ve 0.7-1.5 V hücre voltajları ile elde edilir [61].

Uygun termodinamik ve reaksiyon kinetiği, yüksek çalışma sıcaklığıyla birleşerek rakipsiz bir verimlilik sağlar. SOEL hücresi, dimetil eter ve amonyak üretimi gibi termal entegrasyonları kolayca gerçekleştirebilir. Ayrıca, katı oksit hücre için soy metal bazlı elektro katalizörlere ihtiyaç duyulmaz ve yüksek dönüşüm verimliliği sağlar. Ancak, bu avantajlara rağmen, katı oksit su elektrolizinin ticarileşmesi uzun vadeli kararlılık eksikliği nedeniyle henüz tam anlamıyla gerçekleşmemiştir. Katı oksit hücre, su elektrolizi sırasında katot tarafında başlangıçta su molekülünün iki elektronun eklenmesiyle hidrojen ve oksit iyonlarına ( $O^{2-}$ ) ayrılan bir yapıya sahiptir. Katodik yüzeyden salınan hidrojen ve kalan oksit iyonu, iyon değişim zarından anota aktarılır. Anot tarafında oksit iyonları, oksijen ve elektron üretmek için daha da indirgendikten sonra üretilen oksijen anodik yüzeyden salınır ve elektronlar pozitif çekim tarafından dış devre boyunca katot tarafına taşınır. Katı oksit hücre, iki gözenekli anot ve katot elektrodu ile oksit iyonlarını ileten yoğun bir seramik elektrolitten oluşur [61].



Şekil 4.2: PEM su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].

#### 4.5.1 Alkalın Elektrolizör

Alkalın elektroliz cihazları, endüstride en yaygın olarak kullanılan hidrojen üreticileridir ve hidrojen üretiminin saflığı genellikle %99'a kadar ulaşmaktadır. Belirli saflaştırma süreçleri sonrasında, hidrojenin yakıt hücreleri için gereken yüksek saflık seviyelerine ulaşması mümkündür. Hidrojen üretiminin verimi genellikle yaklaşık %80 civarındadır. Elektroliz için kullanılan elektrolit olarak genellikle %25-30 oranında potasyum hidroksit (KOH) tercih edilmektedir. Bu elektrolizörler, düşük akım yoğunluklarında (0.3 A/cm<sup>2</sup> gibi) daha etkin bir şekilde çalıştırılabilirler.

Ancak, alkalın elektrolizörlerin dezavantajları arasında, yüksek sıcaklıklarda kullanılan sıvı elektrolitin yüksek korozyon etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, bu elektrolizörlerin oldukça kısa bir kullanım ömrü vardır [62]. Alkalın elektrolizörlerin yapısı, kostik su çözeltileri ve %25-30 oranında potasyum hidroksit (KOH) içermektedir. Katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) veya sodyum klorür (NaCl) kullanılmaktadır. Sıvı elektrolit, elektrotlar arasında iyon iletimine olanak tanır ve kimyasal reaksiyonda tükenmez, ancak sistemdeki kayıplara bağlı olarak periyodik olarak yenilenir. Ticari alkalın elektrolizörlerde genellikle akım yoğunluğu aralığı 100-400 mA/cm<sup>2</sup>'dir. Anotta ve katotta gerçekleşen tepkime şu şekildedir.

#### 4.5.2 Proton Değişimli Zarlı Elektroliz (PEM) Elektrolizör

Ticari olarak kullanılan bir diğer elektroliz teknolojisi, katı polimer elektrolit zarlı elektrolizördür. Katı polimer elektrolit (SPE) veya polimer elektrolit zarlı elektrolizör, katı bir proton iletimli zar olarak adlandırılır ve elektriksel olarak iletken olmayan bir yapıya sahiptir. Zar, gaz ayırıcı devre ve iyon iletici olarak görev yapar. PEM elektroliz için yüksek saflıkta iyonize edilmiş suya ihtiyaç duyulur ve minimum 1 Mohm-cm dirençte su kullanarak zarın ömrünü uzatmak mümkündür.

Bu teknoloji, sıfır boşluk konfigürasyonunu kullanmayı mümkün kılan katı bir elektroliti içerir. Katı elektrolit, iyonların iletimine izin veren ince bir polimer membrandır. Bu nedenle, Polimer Elektrolit Membranı olarak adlandırılır. Nafion™ malzemesi, DuPont tarafından geliştirilen membran için en iyi bilinen malzemelerden biridir [40]. Membrandaki H<sup>+</sup> iyonları, onu elektrotlar ve katalizör tabakalarıyla temas halinde olan öğeler, yani elektrotları ve katalizör tabakalarını aşındırabilen çok asidik bir ortama dönüştürür. Aşınmayı önlemek için, elektrotlarda ve katalizörlerde platin ve rutenyum gibi sağlam ancak

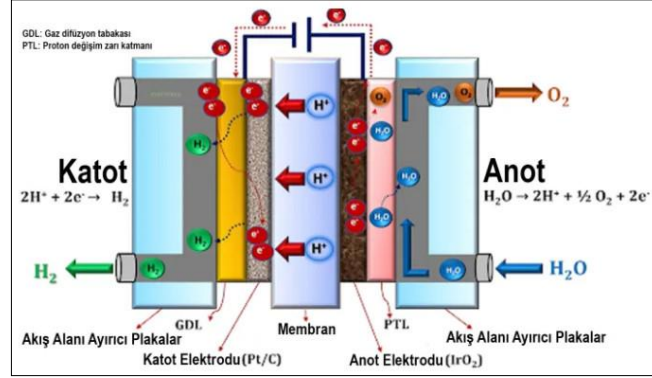
genellikle az bulunan malzemeler kullanılır, bu da yüksek maliyetlere yol açar [63]. PEM elektrolizöründe gerçekleşen reaksiyonlar, Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Şekil 4.3' te PEM su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi gösterilmiştir.

Sistemin performansı üzerinde etkili başka bir özellik de membranın kalınlığıdır. Bu bileşik, 50-300 µm kalınlığında olduğundan, bazı tasarım seçimleri yapmak gereklidir. Bir yandan, membranın kalınlığı, bu bileşenin direnciyle ilişkilidir. Ne kadar ince olursa, direnç o kadar düşüktür. Diğer yandan, yüksek basınçlı bir işlem isteniyorsa, gaz geçişini önlemek, güvenliği artırmak ve Faraday verimliliğini iyileştirmek için membran daha kalın olmalıdır [64].

Reaksiyonu kolaylaştırmak için bir ara katalizör tabakası eklenir. Gaz difüzyon tabakası, bu yığının son tabakasıdır ve Membran-Elektrot Birimi (MEB) olarak adlandırılan tek bir birim oluşturmak için bir araya getirilir. Gaz difüzyon tabakası, sadece suyun katot içine girmesine ve gazların çıkarılmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda dayanıklılık sağlar, sıkışmayı mümkün kılar, ısı taşır ve katalizörleri akışkan akışlarından korur. MEA ile temas halinde olan ve akım uygulanan bipolar plakalar, ayrıca suyu beslemek ve gazların çıkarılmasını kolaylaştırmak için akış kanalları içerirler [63].

Endüstriyel ölçekli üniteler için (yaklaşık 1 MW), bu teknoloji ve alkalin benzer verimliliklere sahiptir (LHV'ye göre %50–75). PEM teknolojisinin önemli avantajı, daha geniş bir işletme spektrumunda kullanılabilme yeteneğidir. Alkali teknolojisinin minimum işletme sınırı nominal kapasitesinin %20'si olarak belirlenirken, PEM %5'e kadar düşebilir. Diğer taraftan, PEM, nominal kapasitenin ötesinde çalışabilir, bu alkalin elektrolizörler için mümkün değildir. PEM'in diğer bir avantajı, daha yüksek akım yoğunluklarında çalışma

yeteneğine sahip olmasıdır; bu değer alkali teknolojisinin maksimum  $0.8 \text{ A/m}^2$  seviyesinden çok daha yüksektir,  $2 \text{ A/m}^2$ 'ye kadar çıkabilmektedir [61].



**Şekil 4.3:** PEM su elektroliz hücresinin yapısı ve işleyiş prensibi [61].

PEM elektrolizör sistemini oluşturan alt sistemler ve bu alt sistemlerin elemanları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. PEM teknolojisi, GEMİNİ uzay gemisi projesi kapsamında geliştirilmiştir. Alkali elektrolizörden farklı olarak, kostik sıvı elektrolit yerine katı iyon iletimli ince bir zar kullanılır. Bu yapı sayesinde, hidrojen  $\text{H}^+$  iyonları veya suyun hidrat molekülleri  $\text{H}_3\text{O}^+$  zarrın anot tarafından katot tarafına hareket ederek, dış devrede anottan katoda hareket eden elektronlarla birleşir ve anotta oluşan oksijen gazını katotta oluşan hidrojen gazından ayırmaktadır. Genellikle kullanılan zar yapısı nafiyondur. PEM elektrolizörler, bipolar yapıda kullanıldığı için zar boyunca yüksek diferansiyel basınçta kullanılabilir. Alkalın elektrolizlerden farklı olarak, PEM elektrolizörler yüksek akım yoğunluklarında ( $>1600 \text{ mA cm}^2$ ) tercih edilmektedir.

#### 4.6 Yakıt Hücresi

Yakıt pilleri, Sir William Grove tarafından 19. yüzyılın başlarında kimyasal reaksiyon yoluyla elektrik üretiminin ilk örneklerini göstermesiyle başlayan köklü bir geçmişe sahiptir. Yıllar içinde, otomotiv, havacılık ve sabit güç üretimi gibi çeşitli sektörlerde kullanılan uygulamalarla yakıt hücreleri güvenilir ve verimli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir [65-67].

Yakıt hücrelerinin temel fonksiyonlarından biri, kimyasal enerjiyi elektrokimyasal bir süreçle doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğidir. Bu süreç, elektrik üretmek için

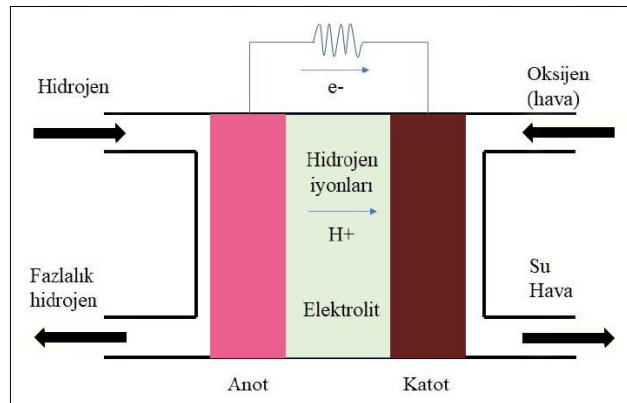
hidrojenin oksijenle reaksiyona girmesini içerir ve tek yan ürün olarak su oluşturur. Bu temiz ve verimli enerji dönüşüm süreci, yakıt hücrelerini geleneksel yanma tabanlı enerji üretim teknolojilerine alternatif bir çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır[66,70,72].

Yakıt pilleri, çevresel faydalarının yanı sıra yüksek enerji verimliliği, sessiz çalışma ve hidrojen, doğal gaz ve metan gibi çeşitli yakıtları kullanma esnekliği gibi avantajlar sunmaktadır. Yakıt hücresi teknolojisindeki araştırma ve geliştirme çalışmalarının ilerlemesiyle, bu sürdürülebilir enerji çözümünün yaygın bir şekilde benimsenme potansiyeli giderek artmaktadır [71-73].

#### 4.6.1 Yakıt Hücrelerinin Çalışma Prensibi

Yakıt hücreleri, kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Pillere benzer şekilde işlev görürler, ancak yeniden şarj edilmeleri gerekmez ve yakıt sağlandığı sürece elektrik üretmeye devam edebilirler. Bir yakıt hücresinin temel işleyiş prensibi, hidrojen ve oksijen arasında gerçekleşen ve elektrik, su ve ısı üreten kimyasal bir reaksiyonu içerir [74].

Yakıt hücresinin merkezinde, iyonların anot ve katot arasında hareket etmesini sağlayan bir elektrolit bulunmaktadır. Hidrojen anoda verildiğinde, protonlara ve elektronlara ayrışır. Protonlar elektrolit boyunca katoda doğru hareket ederken, elektronlar cihazlara güç sağlamak için kullanılabilir bir elektrik akımı oluşturur. Bu esnada katotta, oksijen protonlar ve elektronlarla tepkimeye girerek suyu oluşturur [75]. Şekil 4.4’de temel bir yakıt hücresi yapısı aktarılmıştır.



Şekil 4.4: Yakıt hücresi çalışma prensibi.



## **4.6.2 Yakıt Hücresi Çeşitleri**

Şekil 4.4'de aktarılan yakıt hücresi çalışması reaksiyon yapısı yakıt türü, kullanılan anot, kullanılan katot gibi kriterlerle birlikte değişmektedir ancak çalışma yapısı tüm yakıt hücresi türleri için benzerdir.

### **4.6.2.1 Katı Oksit Yakıt Hücreleri**

Tümüyle katı halde çalışmakla birlikte elektrolit olarak oksit iyon taşıyıcı seramik malzeme kullanılmaktadır. Yapısal olarak incelendiğinde kullanılan diğer yakıt hücrelerine göre en basit olanıdır . -3- Buna karşın yüksek sıcaklıkta çalıştığı için çalışma ömürleri bakımından diğer yakıt hücresi türlerine göre kısadır bu sebeple uygulamalarda ısı kaybının önlenmesi için ciddi yalıtım yapılması gerekmektedir [76].

### **4.6.2.2 Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri**

Elektrolit olarak erimiş karbonat tuz karışımının kullanıldığı yakıt hücresi çeşididir ve elektrolit malzemesi potasyum karbonat ve lityum karbonat karışımından oluşmaktadır [76]. Bu yakıt hücreleri kWe kapasitelerinden başlayarak MWe kapasitelerine kadar çıkmaktadır. Bununla birlikte verimleri %40-50 dolaylarındadır [77].

### **4.6.2.3 Fosforik Asit Yakıt Hücreleri**

İlk ticarileşen yakıt hücresi uygulamalarındandır ve 1990'lı yılların başında ticari uygulamalar yapılmaya başlamıştır [77]. Elektrolit olarak konsantre sıvı fosforik asit kullanılmaktadırlar. Bu yakıt hücrelerinin verimleri ise %36-42 aralığında değişmektedir [78].

## 5. MATERYAL VE METOT

Gerçekleştirilen çalışmada ana enerji üretim sistemi olarak hidrojen üretici tercih edilmiştir. Nesnelerin İnterneti ortamı için sensörler aracılığıyla hidrojen üretici yapısı üzerinden ölçümlerin alınması ve verilerin paylaşılması kısmında donanımlar ve yazılımlar kullanılmıştır.

### 5.1 Donanım Yapısı

Çalışmanın donanım yapısında ana istemci olarak Arduino Uno R4 Wi-Fi geliştirme kartı ve alt sensör ekipmanları ile birlikte hidrojen üretici yapısında çeşitli bileşenler kullanılmıştır.

#### 5.1.1.1 Arduino Uno R4 Wi-Fi

Çalışmanın ana kontrolcü yapısında kullanılan Arduino Uno R4 Wi-Fi geliştirme kartı Atmega328P mikro denetleyiciye sahiptir. Üzerinde entegre olarak ESP8266 Wi-Fi modülü bulunmaktadır. Temel yapı sayesinde IoT uygulamasının bulut tabanlı olarak gerçekleştirilmesi sağlanacaktır. Geliştirme kartına ait detaylı bilgiler Tablo 5.1’de verilmiştir [79]. Arduino kartına ait görsel Şekil 5.1’de aktarılmıştır.

**Tablo 5.1:** Arduino wi-fi 4 özellikleri.

AÇIKLAMA	ÖZELLİK
Çalışma gerilimi	5V
Analog giriş	6 adet
I2C bağlantıları	1 adet
SPI bağlantıları	1 adet
Çalışma frekansı	16MHz
Bellek (flash)	32KB
Bellek (sram)	2KB



**Şekil 5.1:** Arduino yazılım geliştirme kartı.

### 5.1.1.2 LCD Ekran

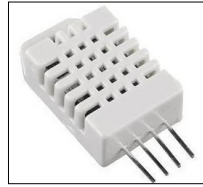
Verilerin ölçülmesinden sonra, doğrudan yerel kullanıcılara görselleştirilme yapmak için 2 satır ve her satırda 16 karakter kullanımına izin veren ayrıca üzerinde bulunan 6 farklı buton ile menü kısmında kontrolü kolaylaştıran LCD Shield kartı kullanılmıştır. Çalışmada, kullanıcının bölgesel olarak bilgilendirilmesi için sistemden alınan ölçümlerin görselleştirilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 5.2: 16x2 lcd ekran.

### 5.1.1.3 Sıcaklık ve Nem Sensör Kartı

Ortam sıcaklığı ve nem seviyesinin ölçülmesi için DHT22 sensör kartı tercih edilmiştir. Sensör kartının kullanımında analog bir ölçüm sistemi yerine dijital bir ölçüm yapısı sağlayan Arduino IDE içerisine eklenen bir kütüphane yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, sistemden sıcaklık ve nem ölçümleri almak için bu sensör kartı kullanılmıştır.



Şekil 5.3: DHT22 sıcaklık ve nem sensörü.

#### 5.1.1.4 Rôle Kartı

Kullanıcı için yük ihtiyacını karşılayabilmesi kısmında kontrollü çıkış olarak 5 V gerilim ile çalışan röle kartı kullanılmıştır. Kullanıcı bu çıkışa röle kartının izin verdiği elektriksel büyüklükte bir elektrik yükü bağlayabilmektedir.



Şekil 5.4: Arduino için röle kartı.

#### 5.1.1.5 Sesli İkaz Kartı

Kullanıcının bilgilendirilebilmesi ve çeşitli uyarı/ikaz durumlarının oluşturulmasında 5 Vdc gerilim ile çalışan buzzer kartı kullanılmıştır. Çalışmada kullanıcı için bölgesel ikaz veya uyarı verilmesi kısmında kullanılmıştır.



Şekil 5.5: Buzzer kartı.

#### 5.1.1.6 Güç Kaynağı

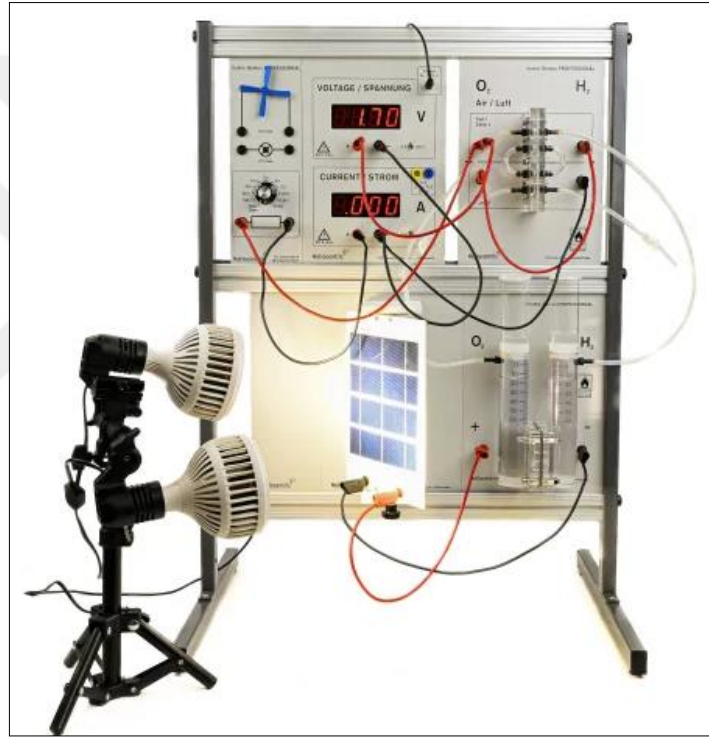
Genel olarak tüm sistemin izlenebilirliği ve performans değerlendirilmesi için, IoT platformuna gönderiminde 12 Vdc gerilimde ve 2 A akıma izin veren bir adaptör kullanılmıştır.



Şekil 5.6: DC adaptör.

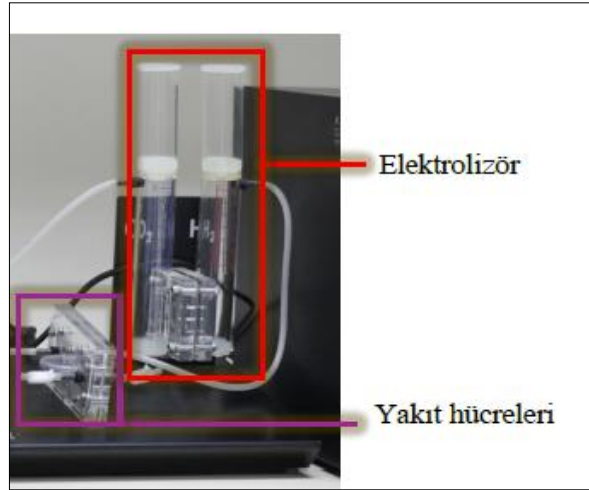
### 5.1.1.7 Elektrolizör ve Yakıt Hücresi Sistemi

Tez çalışması kapsamında kullanılan elektrolizör ve yakıt hücresi sistemi Heliocentris firmasına aittir ve çift yakıt hücresi içermektedir. Bu yakıt hücreleri hidrojen ve oksijenden yakıt üretimi için kullanılabilir. Ayrıca hücreler seri bağlantı yapısı ve paralel bağlantı yapısı olarak iki farklı şekilde kullanılabilir. Ek olarak, yapı üzerinde elektrolizör sistemi bulunmaktadır [80]. Kullanılan sistem Şekil 5.7’de verilmiştir.



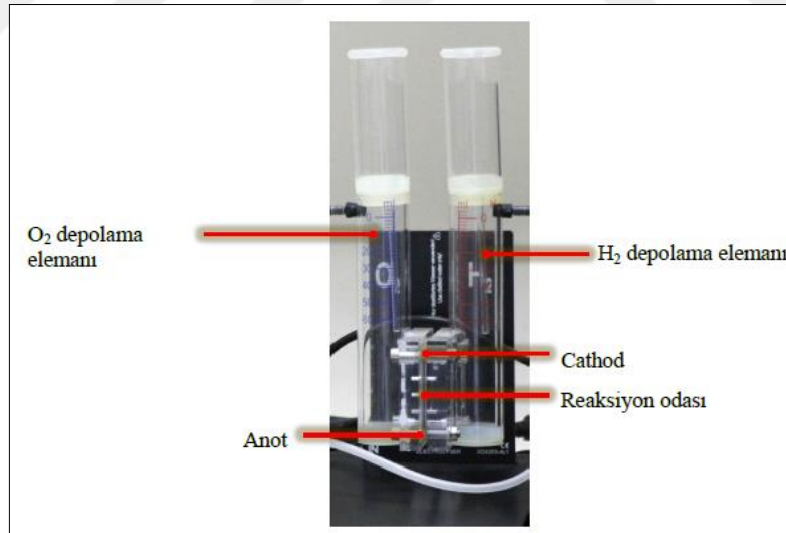
Şekil 5.7: Yakıt hücresi ve elektrolizör sistemi.

Çalışmanın ana yapısını oluşturan sistemde bulunan elektrolizör ünitesi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Fotovoltajik panel tarafından bu ünitenin dc gerilim ile beslenmesi sağlanmıştır.



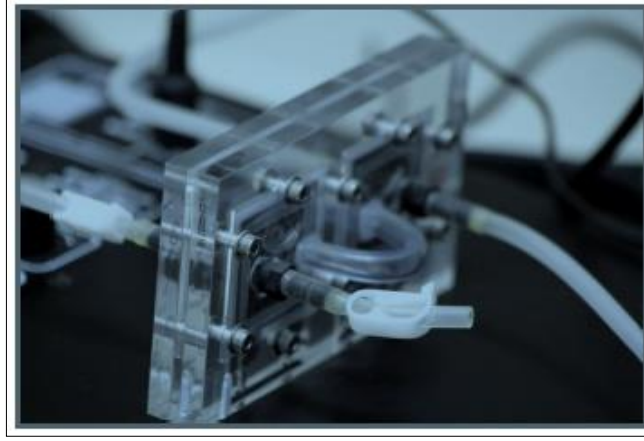
**Şekil 5.8:** Elektrolizör ve yakıt hücreleri yapısı.

Şekil 5.9’da aktarılan şekli incelediğimizde, oksijen ve hidrojen için ayrı iki yapının elektroliz ünitesinde sabitlendiği görülmüştür. Depolama alanları içinde bulunan suyun elektrolizi ise aynı şekilde verilen anot ve katot yapısına doğru elektrik bağlantısı yapılarak reaksiyon odasında gerçekleşmektedir.



**Şekil 5.9:** Elektroliz uygulama yapısı.

Yine belirtilen sistem içerisinde bulunan yakıt hücreleri toplamda 2 adettir ve elektroliz işleminden elde edilen oksijen ve hidrojenin yakıt olarak kullanılması bu hücreler tarafından sağlanmakta ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 5.10’da kullanılan yakıt hücresi yapısı aktarılmıştır.



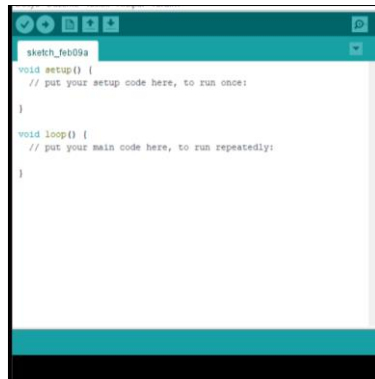
**Şekil 5.10:** Yakıt hücreleri yapısı.

## 5.2 Yazılım Yapısı

Sensörlerden alınan ölçümlerin anlamlandırılması ve bu ölçümlere göre sistem üzerinde otomasyonların oluşturulması ile bulut bilişim tarafına gönderilmesinde farklı yazılım platformları kullanılmıştır.

### 5.2.1.1 Arduino IDE

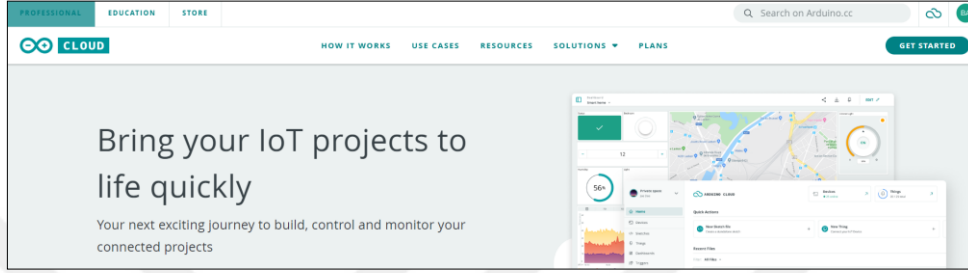
Arduino geliştirme kartına bağlı olan sensörlerden veri almak ve değerlendirmek için, açık kaynak kodlu Arduino IDE yazılımı tercih edilmiştir. Proje içinde sunulan yapı için, Arduino yazılım platformunun sunmuş olduğu bulut tabanlı derleyici kullanımı da mümkündür. Bulut yapısına uzaktan erişim yapılarak herhangi bir bilgisayarda Arduino IDE yazılımı kullanılmıyor olsa dahi bulut sistemi üzerinden derleme ve program yükleme işlemleri yapılabilmektedir.



**Şekil 5.11:** Arduino için program yazılımı.

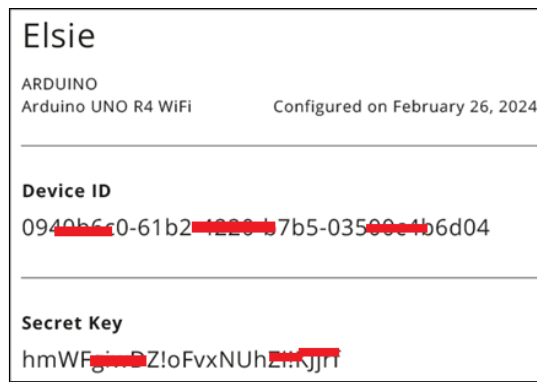
### 5.2.1.2 Arduino Bulut Platformu

Hidrojen üretici sistemindeki verilerin dış ortama aktarılması ve çalışmanın ana odak noktası olan Nesnelerin İnterneti yapısı için veri güvenliği başta olmak üzere görselleştirme ve çeşitli otomasyon sistemlerinin kullanımının sunulduğu Arduino Cloud yapısı kullanılmış durumdadır [81]. Sisteme ilk giriş ekranında karşılaşılan görsel Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12: Arduino IoT yazılım platformu giriş ekranı.

Sisteme giriş ekranından sonra kullanıcının tarafından uygun geliştirme kartını sisteme tanımlaması gerekmektedir. Bu kapsamda ilk olarak Arduino Wi-Fi 4 kartı bulut bilişim sistemine “Elsie” adıyla kaydedilmiştir. Ayrıca sistem tarafından Arduino kartına “DeviceID” ve “Secret Key” tanımlamaları otomatik olarak aktarılmıştır. Şekil 5.13’de ilgili tanımlama bilgilerini içeren bir görsel verilmiştir.



Şekil 5.13: IoT platformu için arduino tanımlaması.

Arduinio kartının sisteme tanımlama işlemleri yapıldıktan sonra Arduino içerisinde çalışan yazılım ile bulut bilişim yazılımı arasında haberleşme sağlanması için bulut bilişim sistemi



içerisinde “Cloud Variables” adında bulut bilişim değişkenlerinin tanımlanması gerekmektedir. Sistemde kullanılan değişkenleri içeren görsel Şekil 5.14’de aktarılmıştır.

Name ↓	Last Value
<input type="checkbox"/> <b>c_battery_current</b> CloudElectricCurrent c_battery_curre...	0.25
<input type="checkbox"/> <b>c_battery_voltage</b> CloudElectricPotential c_battery_vol...	3.84
<input type="checkbox"/> <b>c_humidity</b> CloudRelativeHumidity c_humidity;	60.2
<input type="checkbox"/> <b>c_relay</b> bool c_relay;	false
<input type="checkbox"/> <b>c_temperature</b> CloudTemperatureSensor c_temperature;	22.6

**Şekil 5.14:** IoT platformunda bulut değişkenlerinin tanımlanması.

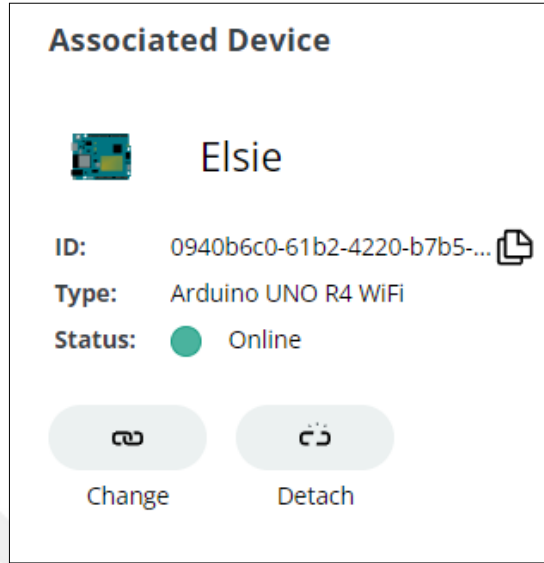
Bulut bilişim sistemine Arduino kart bilgileri aktarıldıktan sonra Arduino geliştirme kartı doğrudan internet erişimini sağlayabilmektedir. Bu kapsamda Arduino kartında bulunan ESP8266 Wi-Fi kartı aracılığı ile sisteme erişim sağlamak adına internet bağlantısı yapılabilmektedir.

Key <b>SECRET_DEVICE_KEY</b>	Value .....
Key <b>SECRET_OPTIONAL_PASS</b>	Value .....
Key <b>SECRET_SSID</b>	Value .....

**Şekil 5.15:** Arduino wi-fi kart için kablosuz ağ tanımları ve güvenlik yapısı.

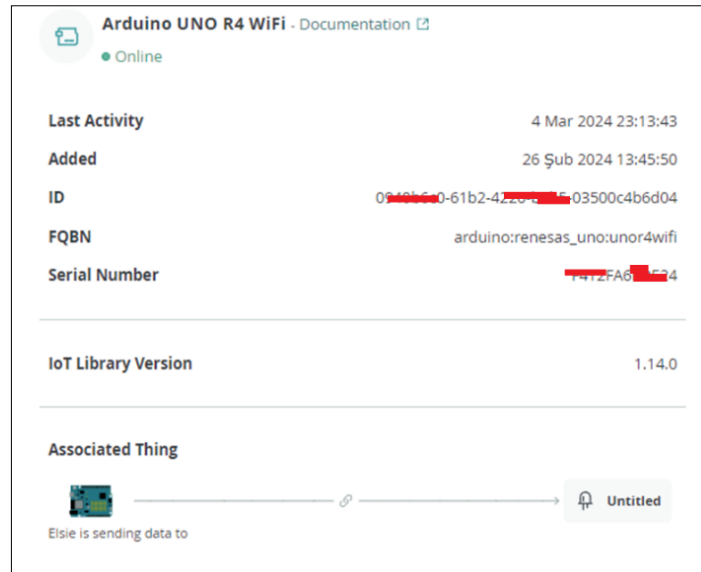
İnternet bağlantısına erişim için gereken “Kablosuz ağ adı” ve “Kablosuz Ağ Şifresi” bilgileri, erişim sağlanacak olan internet bilgileriyle birlikte kullanıcı tarafından belirlenmiştir. Kullanıcı bilgilerini içeren bulut bilişim ekranı Şekil 5.15’te verilmiştir. Ayrıca Arduino kart sisteminin internet bağlantısı yoluyla kablosuz olarak bağlantısının

sağlanmasının ardından Şekil 5.15’de verilen görsel içerisinde “Elsie” kartı çevrim içi konuma geçmiş bulunmaktadır.



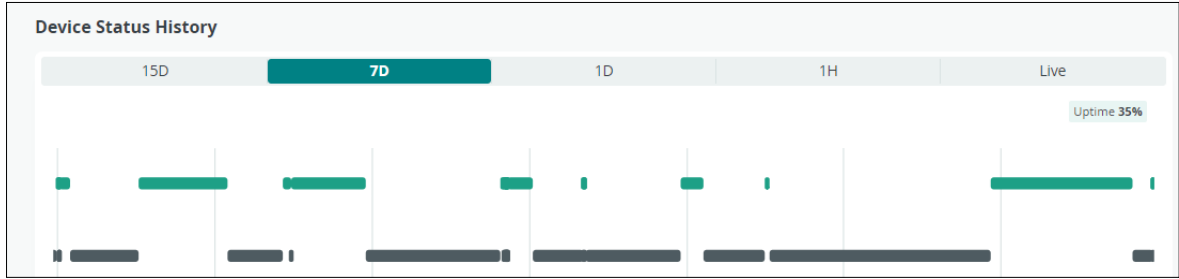
Şekil 5.16: IoT platformunda arduino wi-fi tanımlamalarının yapılması.

Tüm bu işlemlerin ardından sistemde bulunan Arduino kartına ait bilgiler, bulut bilişim sisteminde görselleştirilmektedir. İlgili bulut bilişim sistemi için görsel Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.17: Arduino IoT platformu ve wi-fi r4 kart entegrasyonu.

Şekil 5.18’de ise Arduino kartın sisteme bağlantı geçmişi görüntülenmektedir. Arduino kartı için sunulan canlı görüntüleme ve 15 günlük geçmiş görüntüleme bilgileri yer almaktadır.



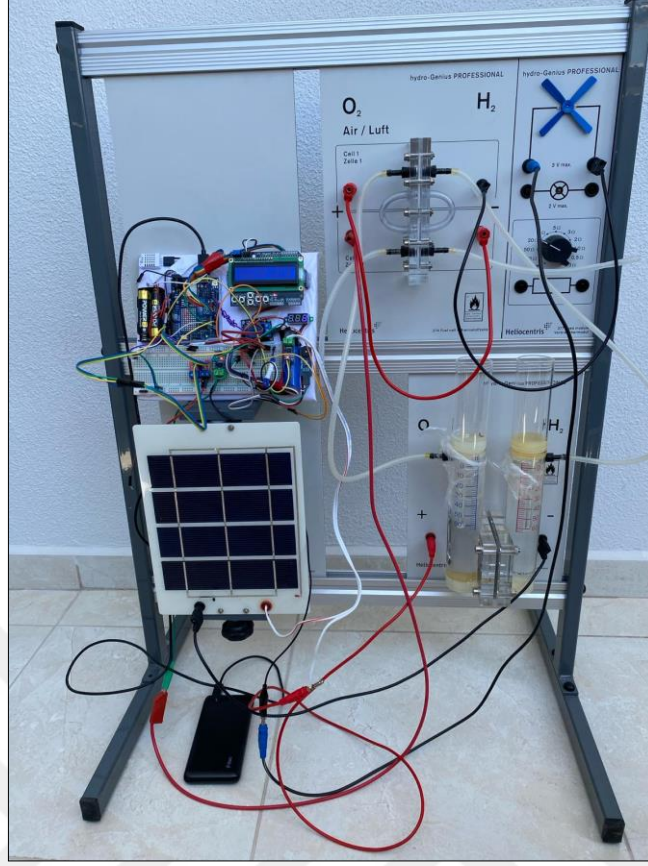
**Şekil 5.18:** Arduino IoT platformu ve wi-fi r4 kart aktivite bilgisi ekranı.

Arduino geliştirme kartıyla birlikte kullanıcı tarafından bölgesel olarak bilgilerin görüntülenmesi için oluşturulan devre yapısı Şekil 5.19’da verilmiştir.



**Şekil 5.19:** Uygulama yapısı ana elektronik kontrol sistemi.

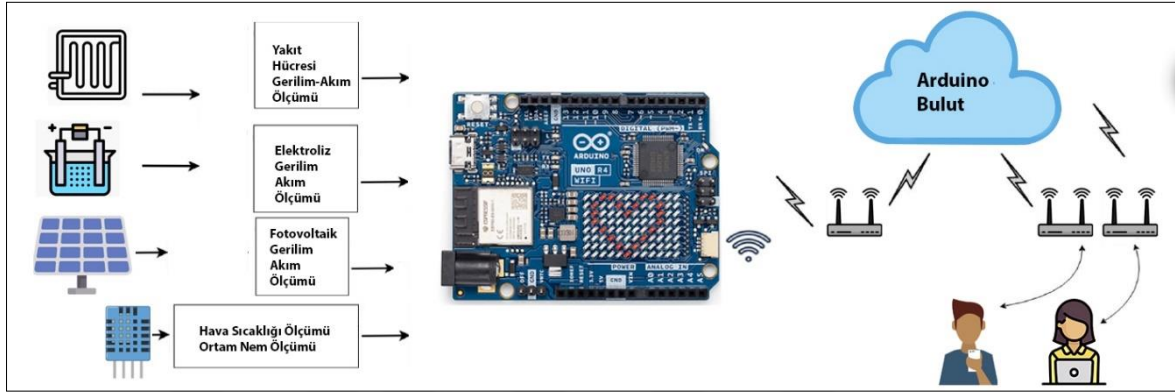
Çalışmanın gerçekleştirileceği ana sistem ve ana elektronik kontrol yapısının entegre edilmiş hali Şekil 5.20’de verilmiştir.



**Şekil 5.20:** Elektronik uygulama yapısı, fotovoltaik panel, elektroliz ve yakıt hücresi sistemi.

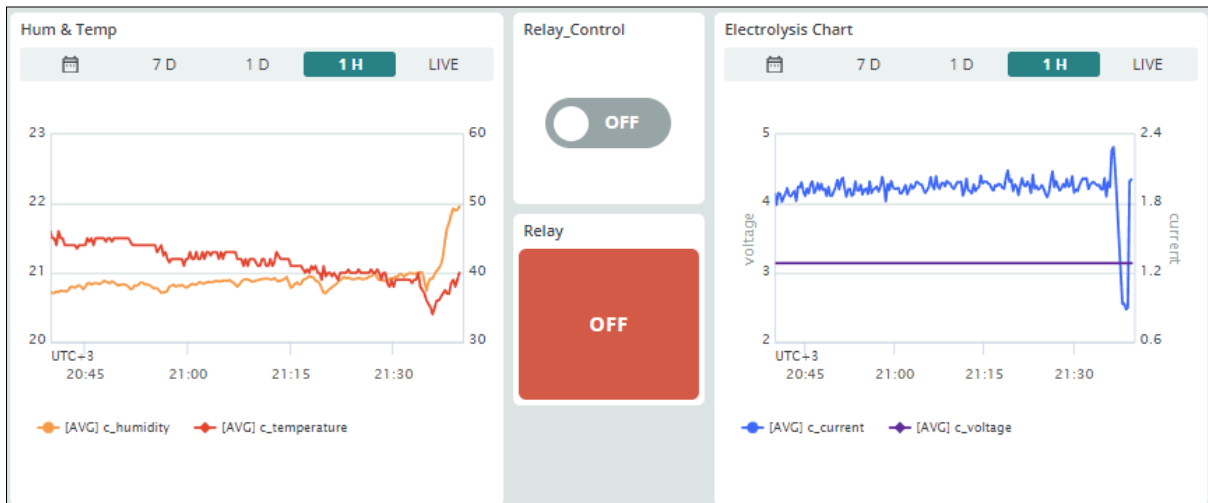
## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında birden fazla enerji dönüşüm sistemi ana uygulama yapısında kullanılmıştır. İlk olarak fotovoltaik panelden güneş ışınımı yoluyla elde edilen elektrik enerjisine ait gerilim ve akım parametreleri ölçümlenmiştir. Şekil 6.1’de ölçüm sisteminin ölçüm noktaları aktarılmıştır.



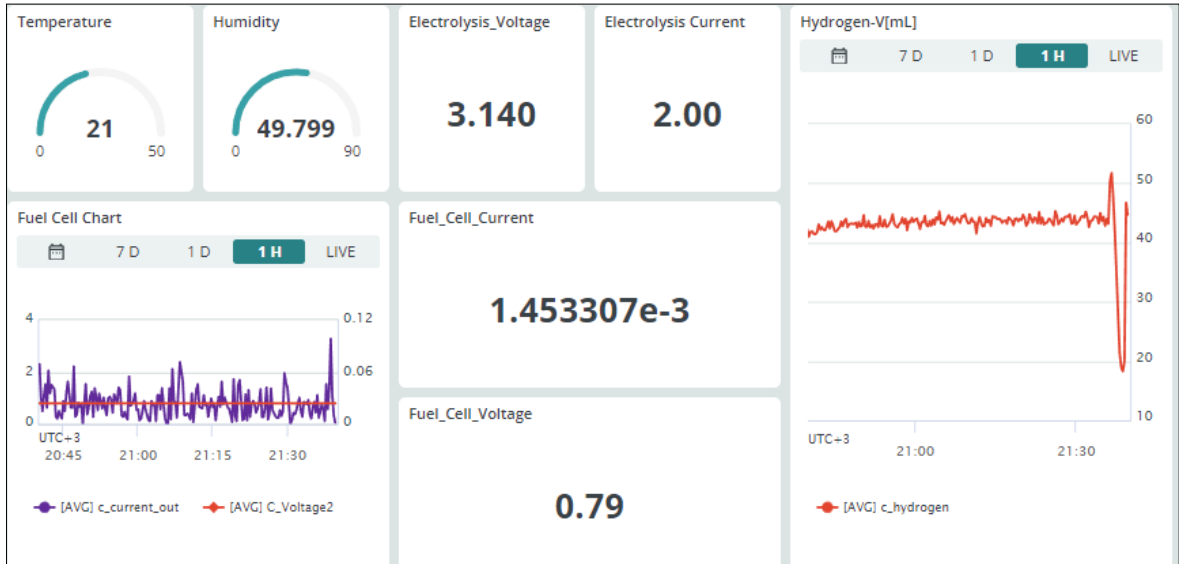
Şekil 6.1: Sisteme dair ölçüm noktaları.

“Arduino Cloud” tarafında kullanıcı için oluşturulan arayüzde, elektroliz için akım-gerilim değeri, ortam sıcaklığı ve ortam nem miktarı yüzde olarak alınan ölçüm değerleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Bu ekran üzerinde ayrıca bölgesel olarak kontrolü mümkün olan röle yapısı kullanılmıştır.



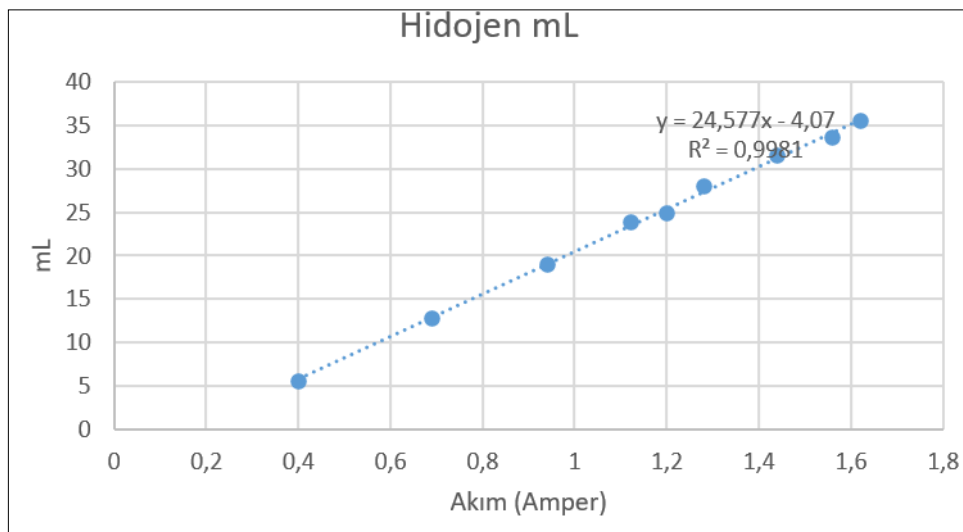
Şekil 6.2: Arduino IoT hizmeti kullanıcı için web arayüzü ölçüm sonuçları – 1.

Elektroliz tarafında çekilen akım ve bu akıma bağı olarak üretilen hidrojen miktarı “mL/dk” birimi olarak hesaplanmış ve yine kullanıcı ekranında paylaşılmıştır. Grafıksel gösterimin yanında anlık olarak ölçümlerin görüntülenmesi için 5-15 saniye zaman aralığında tazelenme hızına sahip olan ve programcı tarafından ayarlanabilen göstergeler eklenmiştir. Şekil 6.3’te detaylı kullanıcı ekranı verilmiştir.



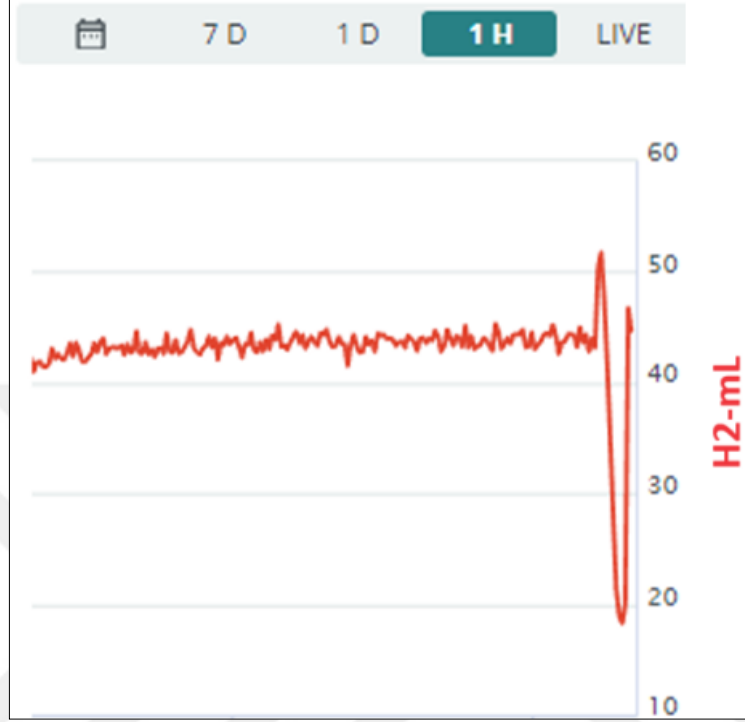
Şekil 6.3: Arduino IoT hizmeti kullanıcı için web arayüzü ölçüm sonuçları – 2.

Elektroliz ünitesi tarafından çekilen akıma bağı olarak hesaplanan hidrojen miktarının 6.5 mL/dk ile 35.78 mL/dk aralığında olduğu Şekil 6.4’te verilen grafikte aktarılmıştır.



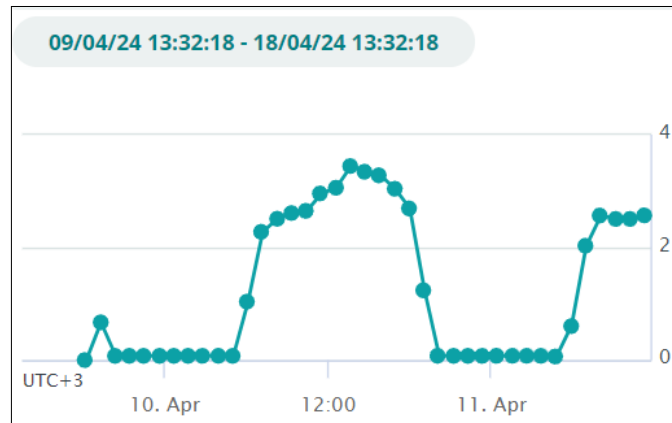
Şekil 6.4: Çekilen akım ve elektrolizden üretilen hidrojen miktarı (mL).

Sistemden alınan ölçümlerin saatlik bazda görselleştirilmesi için kullanılan kullanıcı ekranı Şekil 6.5'te verilmiştir. Grafikteki ani düşüş, sistemde üretilen akımın değişimine bağlı olarak 50 mL olan ölçümün 20 mL olarak değiştiğini göstermektedir.



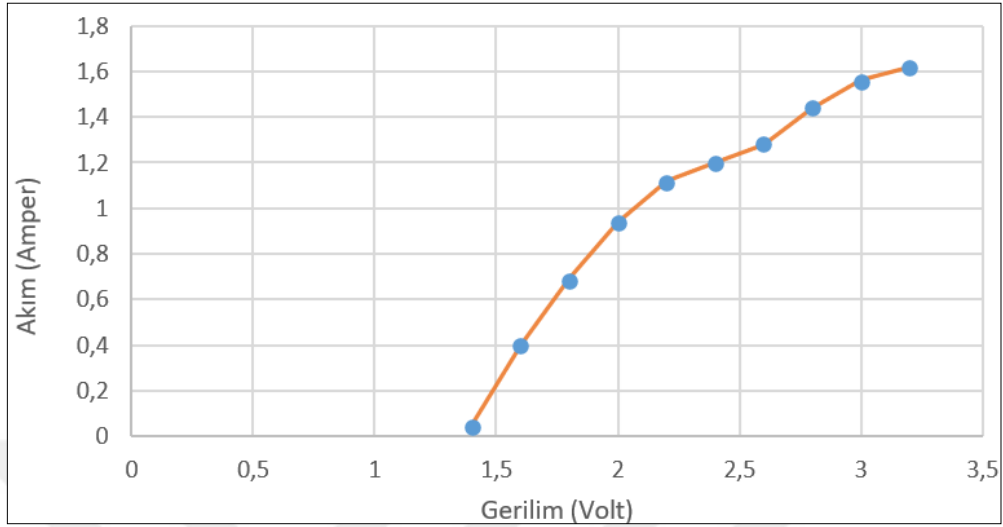
Şekil 6.5: Üretilen hidrojen miktarının saatlik değişim grafiği.

Fotovoltaik panelden günün farklı zaman aralıklarında elde edilen yüksüz gerilim ölçüm sonuçları, Şekil 6.6'da verilmiştir. En yüksek ölçüm değeri olarak 3.448Vdc ölçülmüştür.



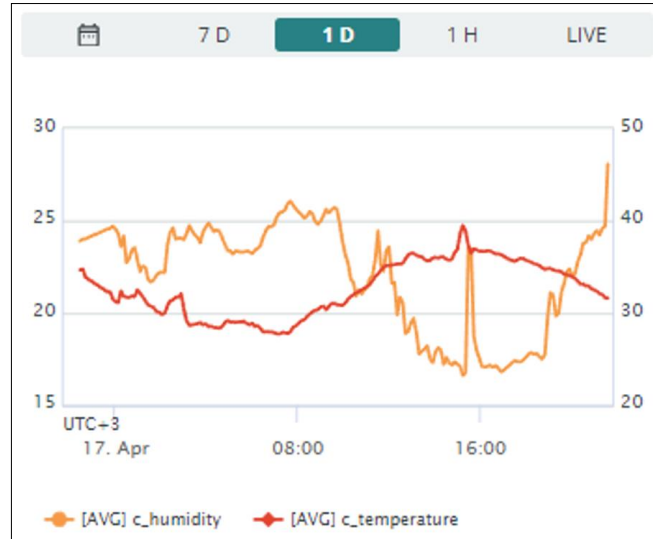
Şekil 6.6: Fotovoltaik panel üretilen gerilim miktarı.

Fotovoltaik panel tarafından üretilen gerilim değeri ve fotovoltaik panel tarafından çekilen akım ölçümleri Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7: Fotovoltaik panelden çekilen akım ve gerilim değeri.

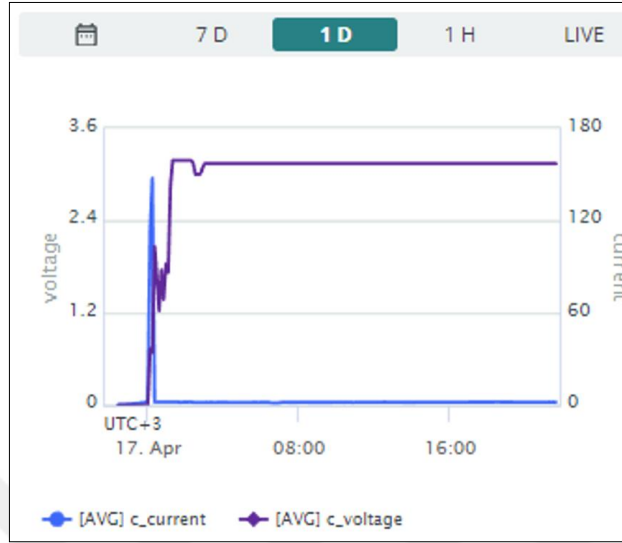
Ortamın hava sıcaklığı ve nem miktarının günlük bazdaki değişimini içeren ölçüm sonuçları ise Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Hava sıcaklığı ve nem miktarı günlük ölçüm sonuçları.



Günlük olarak elektroliz tarafındaki ölçüm sonuçlarını içeren kullanıcı ekranı Şekil 6.9'da verilmiştir.



**Şekil 6.9:** Elektrolizden çekilen akım ve besleme gerilimiyle ilgili ölçüm sonuçları.

Fotovoltaik panel tarafındaki gerilim değeri 1.4 Volt altına düştüğünde, elektroliz tarafında herhangi bir üretim yapılmadığı ölçülmüştür. Çalışma sırasında 1.4 Volt ve 3.2 Volt gerilim aralığında 0.2 Volt artış aralığı ile fotovoltaik panelden çekilen akım incelendiğinde, 0.05 Amper ile 1.62 Amper aralığında ölçümler alınmıştır.

İkinci kısımda fotovoltaik panelden elde edilen elektrik enerjisi, elektroliz için kullanılmış ve burada elektrik enerjisi elektroliz yardımıyla hidrojen ve oksijene ayrılmıştır. Elektroliz yapısında elde edilen hidrojen miktarı mL/dk cinsinden hesaplanmıştır.

Üçüncü kısımda ise elde edilen hidrojen ve oksijenler yakıt hücreleri kullanılarak tekrar elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve buradan elektrik yükü olarak kullanılan dc motor beslenmiştir. Bu kısımda üretilen elektrik enerjisi için gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür.

Dördüncü kısımda gerçekleştirilen tüm ölçüm verileri sistemin bulunduğu çevresel şartlar olan hava sıcaklığı ve nem miktarı yüzdesi ile ölçüm alınarak Arduino Uno Wifi4 kontrol kartı üzerinden bölgesel kullanıcı için yerleştirilen ekranda görselleştirilmiştir.

Beşinci ve son kısımda ise ölçüm verilerinin tümü Arduino firmasının sağlamış olduğu bulut tabanlı Nesnelerin İnterneti platformu olan Arduino Cloud yapısına aktarılmıştır. Burada hem web tabanlı hem de mobil cihaz tabanlı olarak kullanıcı için görselleştirme yapılmıştır. Ek olarak ileride doğabilecek ihtiyaçlar için ölçümlerin alındığı sisteme bir adet röle çıkışı eklenmiş ve bu rölenin kullanıcı tarafından uzaktan kontrol edilmesi sağlanmıştır.

Bulut tabanlı ve Nesnelerin İnterneti uygulaması olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, bir sisteme ait ölçüm verileri canlı, saatlik, günlük, haftalık, aylık ve belirlenen tarih aralıklarında görüntülenebilmektedir. Tüm veriler bulut ortamında kayıt altına alınmış durumdadır.

Oluşturulan sistem yapısı, gelecek çalışmalarda farklı uygulama sistemleri için doğrudan kullanılabilir durumdadır. İhtiyaç duyulması halinde, farklı düzenlemeler ile Nesnelerin İnterneti tabanlı olarak uygulamalar yine bulut bilişim sistemi tarafında sunulan farklı algoritmaların kullanımı ile gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] C. K. Rao, S. K. Sahoo, and F. F. Yanine, “A literature review on an IoT-based intelligent smart energy management systems for PV power generation,” *Hybrid Advances*, vol. 5, p. 100136, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.HYBADV.2023.100136.
- [2] N. H. Motlagh, M. Mohammadrezaei, J. Hunt, and B. Zakeri, “Internet of Things (IoT) and the Energy Sector,” *Energies 2020, Vol. 13, Page 494*, vol. 13, no. 2, p. 494, Jan. 2020, doi: 10.3390/EN13020494.
- [3] I. Maltseva and K. Tkachuk, “The Role of the Internet of Things (IoT) in Energy Management of a Smart City,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/972/1/012018.
- [4] F. Shrouf and G. Miragliotta, “Energy management based on Internet of Things: Practices and framework for adoption in production management,” *J Clean Prod*, vol. 100, pp. 235–246, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.055.
- [5] B. Shakerighadi, A. Anvari-Moghaddam, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, “Internet of things for modern energy systems: State-of-the-art, challenges, and open issues,” *Energies (Basel)*, vol. 11, no. 5, 2018, doi: 10.3390/en11051252.
- [6] F. J. Folgado, I. González, and A. J. Calderón, “Data acquisition and monitoring system framed in Industrial Internet of Things for PEM hydrogen generators,” *Internet of Things*, vol. 22, p. 100795, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.IOT.2023.100795.
- [7] A. Mazza, A. Estebansari, G. Morandi, E. Bompard, and H. Lok, “Remote Hardware-In-the-Loop Measurement System for Electrolyser Characterization,” *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC/I and CPS Europe 2019*, Jun. 2019, doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783587.
- [8] B. Mühendisliği, A. Dalı Bilgisayar, and M. Programı, “yüksek lisans tezi nesnelerin interneti ekosisteminde bir keşif robotu tasarımı fatih kayrancı istanbul üniversitesi-cerrahpaşa lisansüstü eğitim enstitüsü.”
- [9] C. Fadil KUMRU *et al.*, “design and application of iot based weather station for high voltage laboratories yüksek gerilim laboratuvarları için iot tabanlı hava istasyonu tasarımı ve uygulaması,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 11, no. 3, pp. 1190–1201, 2023, doi: 10.21923/jesd.1288951.
- [10] “Fotovoltaik Panellerde Güç Üretiminin Nesnelerin İnterneti Tabanlı Gerçek Zamanlı.”
- [11] J. Yang, C. Wang, Q. Zhao, B. Jiang, Z. Lv, and A. K. Sangaiah, “Marine surveying and mapping system based on Cloud Computing and Internet of

- Things,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 85, pp. 39–50, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.FUTURE.2018.02.032.
- [12] A. Iqbal *et al.*, “Interoperable Internet-of-Things platform for smart home system using Web-of-Objects and cloud,” *Sustain Cities Soc*, vol. 38, pp. 636–646, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.SCS.2018.01.044.
- [13] Ahmet, “Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nesnelerin İnterneti Kullanılarak Sera Uygulaması Geliştirilmesi.”
- [14] İ. Alaçakal, H. Doğan, B. M. Akif, E. Üniversitesi, G. Uygulamalı, and B. Yüksekokulu, “Türk Bilim ve Mühendislik Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Kapı Uygulaması makale bilgisi özet,” vol. 5, no. 1, pp. 21–28, 2023, doi: 10.55979/tjse.1308123.
- [15] V. Lakshmikantha, A. Hiriyannagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, and A. A. Anthony, “IoT based smart water quality monitoring system,” *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, no. 2, pp. 181–186, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.GLTP.2021.08.062.
- [16] A. Kavurur *et al.*, “İot Tabanlı Lpg İzleme, Uyarı Ve Kapatma Sistemi,” no. 7, pp. 98–104, 2023.
- [17] K. Chooruang and K. Meekul, “Design of an IoT Energy Monitoring System,” *International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, vol. 2018-November, pp. 48–51, Jan. 2019, doi: 10.1109/ICTKE.2018.8612412.
- [18] D. Shyamala, D. Swathi, J. L. Prasanna, and A. Ajitha, “IoT platform for condition monitoring of industrial motors,” *Proceedings of the 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2017*, vol. 2018-January, pp. 260–265, Jul. 2017, doi: 10.1109/CESYS.2017.8321278.
- [19] C. L. Kwong, C. Y. Tim, L. C. Kit, and K. Y. Yan, “From great to excellence - Approaching to total condition based management of power transformer under smart grid operations,” *IET Seminar Digest*, vol. 2015, no. 8, 2015, doi: 10.1049/IC.2015.0270.
- [20] M. Loske, A. Oeder, and M. Klatt, “IoT-Bus for micro-grid control and local energy management based on the IEEE Std. 802.15.4,” *Electrical Engineering*, vol. 98, no. 4, pp. 363–368, Dec. 2016, doi: 10.1007/S00202-016-0426-X/METRICS.
- [21] N. ArulJothi, K *et al.*, “Smart Healthcare Monitoring System Using Raspberry Pi,” *IJSR - International Journal of Scientific Research*, vol. Volume 7 Issue 2, no. 2, pp. 63–65, 2018, doi: 10.36106/IJSR.
- [22] A. Zouinkhi, H. Ayadi, T. Val, B. Boussaid, and M. N. Abdelkrim, “Auto-management of energy in IoT networks,” *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, no. 1, p. e4168, Jan. 2020, doi: 10.1002/DAC.4168.

- [23] “The Internet of Things in the Power Sector: Opportunities in Asia and the Pacific | Asian Development Bank.” Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.adb.org/publications/internet-of-things-power-sector-opportunities>
- [24] M. Jia, A. Komeily, Y. Wang, and R. S. Srinivasan, “Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications,” *Autom Constr*, vol. 101, pp. 111–126, May 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.01.023.
- [25] M. Zarei, A. Jamalian, and R. Ghasemi, “Industrial Guidelines for Stimulating Entrepreneurship With the Internet of Things,” *Social Entrepreneurship*, pp. 284–303, Mar. 2019, doi: 10.4018/978-1-5225-8182-6.CH015.
- [26] Y. Turak, “Nesnelerin İnterneti Ve Güvenliği,” 2015.
- [27] M. Zekeriya GÜNDÜZ *et al.*, “Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 24, no. 2. Pamukkale Üniversitesi, pp. 327–335, Apr. 30, 2018. doi: 10.5505/pajes.2017.89106.
- [28] “IEEE Xplore Full-Text PDF:” Accessed: Feb. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8232533>
- [29] “Pan, Lan, Man, Wan Karşılaştırması.” Accessed: Feb. 28, 2024. [Online]. Available: <https://bidb.itu.edu.tr/seyir-defteri/blog/2013/09/07/pan-lan-man-wan-kar%C5%9F%C4%B1la%C5%9Ft%C4%B1lmas%C4%B1>
- [30] K. Pahlavan and P. Krishnamurthy, “Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective,” *Int J Wirel Inf Netw*, vol. 28, no. 1, pp. 3–19, Mar. 2021, doi: 10.1007/S10776-020-00501-8/FIGURES/7.
- [31] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba, “Cloud computing: State-of-the-art and research challenges,” *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 7–18, May 2010, doi: 10.1007/S13174-010-0007-6/METRICS.
- [32] F. Ferraz, F. Ribeiro, W. Lima, and C. Sampaio, “A Disturbing Question: What is the Economical Impact of Cloud Computing? A Systematic Mapping,” *IEEE International Conference on Cloud Computing, CLOUD*, vol. 2018-July, pp. 853–856, Sep. 2018, doi: 10.1109/CLOUD.2018.00120.
- [33] M. G. Avram, “Advantages and Challenges of Adopting Cloud Computing from an Enterprise Perspective,” *Procedia Technology*, vol. 12, pp. 529–534, 2014, doi: 10.1016/J.PROTCY.2013.12.525.
- [34] K. Hashizume, D. G. Rosado, E. Fernández-Medina, and E. B. Fernandez, “An analysis of security issues for cloud computing,” *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 1–13, Feb. 2013, doi: 10.1186/1869-0238-4-5/TABLES/4.

- [35] S. Ahmad, S. Mehfuz, and J. Beg, “Securely work from home with CASB policies under covid-19 pandemic: A short review,” *Proceedings of the 2020 9th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, SMART 2020*, pp. 109–114, Dec. 2020, doi: 10.1109/SMART50582.2020.9337121.
- [36] Q. Wang, “Strategy of enterprise network security protection based on cloud computing,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 750, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/750/1/012234.
- [37] A. Al-Lawati and A. H. Al-Badi, “The impact of cloud computing IT departments: A case study of Oman’s financial institutions,” *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City, ICBDS 2016*, pp. 62–71, Apr. 2016, doi: 10.1109/ICBDSC.2016.7460344.
- [38] J. W. Brook, V. Felkamp, and M. van der Meer, “Cloud enabled business model innovation: Gaining strategic competitive advantage as the market emerges,” *International Journal of Technology Marketing*, vol. 9, no. 2, pp. 211–229, 2014, doi: 10.1504/IJTMKT.2014.060095.
- [39] A. Al-Lawati and A. H. Al-Badi, “The impact of cloud computing IT departments: A case study of Oman’s financial institutions,” *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City, ICBDS 2016*, pp. 62–71, Apr. 2016, doi: 10.1109/ICBDSC.2016.7460344.
- [40] “ISO/IEC 27018 Code of Practice for Protecting Personal Data in the Cloud - Microsoft Compliance | Microsoft Learn.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/tr-tr/compliance/regulatory/offering-ISO-27018>
- [41] Ö. Aslan, “Hidrojen Ekonomisine Doğru,” pp. 283–298.
- [42] H. B. Görgün and Sezen. Alagöz, “III. ulusal hidrojen enerjisi kongresi : bildiri kitabı,” p. 215, 2006, Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.com/books/about/III\\_ulusal\\_hidrojen\\_enerjisi\\_kongresi.html?hl=tr&id=wqxPAAAACAAJ](https://books.google.com/books/about/III_ulusal_hidrojen_enerjisi_kongresi.html?hl=tr&id=wqxPAAAACAAJ)
- [43] “Ültanır, M.Ö., Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanımı... - Google Akademik.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: [https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as\\_sdt=0%2C5&q=%C3%9Cltan%C4%B1r%2C+M.%C3%96.%2C+Hidrojenin+Yak%C4%B1t+Olarak+Kullan%C4%B1m%C4%B1+Ve+%C3%96zellikleri%2C+%C3%87evre+ve+Enerji+Kongresi%2C+%281997%29.&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=%C3%9Cltan%C4%B1r%2C+M.%C3%96.%2C+Hidrojenin+Yak%C4%B1t+Olarak+Kullan%C4%B1m%C4%B1+Ve+%C3%96zellikleri%2C+%C3%87evre+ve+Enerji+Kongresi%2C+%281997%29.&btnG=)
- [44] “Dünyada yılda 4 milyon ton yeşil hidrojen üretimi yapılıyor.” Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://yesilhaber.net/dunyada-yilda-4-milyon-ton-yesil-hidrojen-uretimi-yapiliyor/>
- [45] “Prof.Dr. BİLSEN BEŞERGİL - e-makaleleri.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: [http://besergil.cbu.edu.tr/e\\_makaleleri.html](http://besergil.cbu.edu.tr/e_makaleleri.html)

- [46] E. Şengül, S. Erkan, H. Erdener, N. Baç, E. Erođlu, and N. Gül, “Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen,” *Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncılık*, 2013, Accessed: Mar. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.seckin.com.tr/kitap/947646153>
- [47] C. Koşar, “Hydrogen Storage Methods,” *Open Journal of Nano-Cihan KOSAR Open Journal of Nano*, pp. 6–7, 2021.
- [48] J. Bellosta von Colbe *et al.*, “Application of hydrides in hydrogen storage and compression: Achievements, outlook and perspectives,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 15, pp. 7780–7808, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2019.01.104.
- [49] C. Liu, F. Li, M. Lai-Peng, and H. M. Cheng, “Advanced materials for energy storage,” *Adv Mater*, vol. 22, no. 8, Feb. 2010, doi: 10.1002/ADMA.200903328.
- [50] D. Chandra, J. J. Reilly, and R. Chellappa, “Metal hydrides for vehicular applications: The state of the art,” *JOM*, vol. 58, no. 2, pp. 26–32, Feb. 2006, doi: 10.1007/S11837-006-0005-0.
- [51] T. Noritake *et al.*, “Chemical bonding of hydrogen in MgH<sub>2</sub>,” *Appl Phys Lett*, vol. 81, no. 11, pp. 2008–2010, Sep. 2002, doi: 10.1063/1.1506007.
- [52] A. Sarı Arş Gör Sümran Bilgin Mart, “Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü Elektroliz Yöntemi İle Metal Saflaştırma Ve Geri Kazanımı”.
- [53] W. Kreuter and H. Hofmann, “Electrolysis: The important energy transformer in a world of sustainable energy,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 23, no. 8, pp. 661–666, Aug. 1998, doi: 10.1016/S0360-3199(97)00109-2.
- [54] “Suyun Elektrolizi Suyun Ayrışması| Elektrik Rehberiniz.” Accessed: Apr. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/suyun-elektrolizi-5764/>
- [55] C. Spiegel, “PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab,” *PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab*, pp. 1–443, Jan. 2008, doi: 10.1016/B978-0-12-374259-9.X5001-0.
- [56] L. Bertuccioli, A. Chan, D. Hart, F. Lehner, B. Madden, and E. Standen, “Study on development of water electrolysis in the EU Final Report E4tech Sàrl with Element Energy Ltd for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking,” 2014. [Online]. Available: [www.e4tech.com](http://www.e4tech.com)
- [57] I. Lazkano, L. Nøstbakken, and M. Pelli, “From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage,” *Eur Econ Rev*, vol. 99, pp. 113–129, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.EUROECOREV.2017.03.013.
- [58] “A comprehensive review on PEM water electrolysis.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available:

<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-e8497d07-b949-3ebf-a0db-c62e956a255b>

- [59] “Yeşil Hidrojen Üretiminde Elektroliz Yöntemleri - Yeşeren Enerji Dergisi.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://yeserenerji.com/yesil-hidrojen-uretiminde-elektroliz-yontemleri/>
- [60] M. A. Laguna-Bercero, “Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: A review,” *J Power Sources*, vol. 203, pp. 4–16, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2011.12.019.
- [61] M. Hermesmann, K. Grübel, L. Scherotzki, and T. E. Müller, “Promising pathways: The geographic and energetic potential of power-to-x technologies based on regeneratively obtained hydrogen,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, p. 110644, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110644.
- [62] S. A. Grigoriev, V. I. Poremsky, and V. N. Fateev, “Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 171–175, Feb. 2006, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2005.04.038.
- [63] M. Sankir and N. D. Sankir, *Hydrogen production technologies*. John Wiley & Sons, 2017.
- [64] Ö. F. Selamet, M. C. Acar, M. D. Mat, and Y. Kaplan, “Effects of operating parameters on the performance of a high-pressure proton exchange membrane electrolyzer,” *Int J Energy Res*, vol. 37, no. 5, pp. 457–467, 2013.
- [65] S. Srinivasan, R. Mosdale, P. Stevens, and C. Yang, “Fuel cells: Reaching the era of clean and efficient power generation in the twenty-first century,” *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 24, no. Volume 24, 1999, pp. 281–328, Nov. 1999, doi: 10.1146/annurev.energy.24.1.281/cite/refworks.
- [66] A. Veziroglu and R. MacArio, “Fuel cell vehicles: State of the art with economic and environmental concerns,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 25–43, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2010.08.145.
- [67] O. Yamamoto, “Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects,” *Electrochim Acta*, vol. 45, no. 15–16, pp. 2423–2435, May 2000, doi: 10.1016/S0013-4686(00)00330-3.
- [68] G. J. K. Acres, “Recent advances in fuel cell technology and its applications,” *J Power Sources*, vol. 100, no. 1–2, pp. 60–66, Nov. 2001, doi: 10.1016/S0378-7753(01)00883-7.
- [69] A. Veziroglu and R. MacArio, “Fuel cell vehicles: State of the art with economic and environmental concerns,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 25–43, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2010.08.145.
- [70] S. Srinivasan, R. Mosdale, P. Stevens, and C. Yang, “Fuel cells: Reaching the era of clean and efficient power generation in the twenty-first century,” *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 24, no. Volume 24, 1999, pp. 281–



328, Nov. 1999, doi:  
10.1146/ANNUREV.ENERGY.24.1.281/CITE/REFWORKS.

- [71] M. Farooque and H. C. Maru, “Fuel Cells - The Clean and Efficient Power Generators,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, no. 12, pp. 1819–1829, 2001, doi: 10.1109/5.975917.
- [72] “Fuel Cell Basics | Department of Energy.” Accessed: Mar. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-basics>
- [73] O. Z. Sharaf and M. F. Orhan, “An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 810–853, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.01.012.
- [74] O. Z. Sharaf and M. F. Orhan, “An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 810–853, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.01.012.
- [75] K. Sundmacher, “Fuel Cell Engineering: Toward the Design of Efficient Electrochemical Power Plants,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 49, no. 21, pp. 10159–10182, Nov. 2010, doi: 10.1021/IE100902T.
- [76] Shawn Galliers and Building Services Research and Information Association., “Fuel cell technology : the scope for building services applications,” p. 65, 2003, Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.com/books/about/Fuel\\_Cell\\_Technology.html?hl=tr&id=YIqSAAAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Fuel_Cell_Technology.html?hl=tr&id=YIqSAAAACAAJ)
- [77] “Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs - Noriko Hikosaka Behling - Google Kitaplar.” Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=LyD9FqWBg4YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=N.+H.+Behling,+Fuel+cells:+current+technology+challenges+and+future+research+needs.+Newnes,+2012.&ots=Pt7nRJyMql&sig=ReHF\\_x0fPx-Sc4hTOVZ06oxN3H4&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=LyD9FqWBg4YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=N.+H.+Behling,+Fuel+cells:+current+technology+challenges+and+future+research+needs.+Newnes,+2012.&ots=Pt7nRJyMql&sig=ReHF_x0fPx-Sc4hTOVZ06oxN3H4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [78] “Fuel Cell Systems Explained - Andrew L. Dicks, David A. J. Rand - Google Kitaplar.” Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.com.tr/books?id=CuhRDwAAQBAJ>
- [79] “UNO R4 WiFi | Arduino Documentation.” Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4-wifi/>
- [80] “Heliocentis Academia Dr FuelCell® Professional.” Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.heliocentrisacademia.com/dr-fuelcell-r-professional/p1478>
- [81] “Arduino SSO.” Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: <https://login.arduino.cc/login?state=hKFo2SAtVGN6S3FFeF9rY195ZEJKcmIfcTRwVnU2NHVJV0FNN6FupWxvZ2luo3RpZnkgYVNsOXFnaXhCeUtnNlhjLXkzR3duVDZfeUZTa0hoczSjY2lk2SBIOXFpcEEyTjBrOVA4dnZyZTlmZEdjNnU5S2w5ZUhTUA&client=e9qipA2N0k9P8vvre9fdGc6u9K19eHS>

P&protocol=oauth2&scope=openid%20profile%20email&redirect\_uri=https%3A%2F%2Fapp.arduino.cc&loginCoppa=login-selector&response\_type=code&response\_mode=query&nonce=T2RjOThWel dkbjhKT1Njam91b1BwaDdWbXd4SkVfUmFhU2FQdFhMVW5HNQ%3D%3D&code\_challenge=5xmHQs7WmZ17Kh20z39tOcbz2TrYy9BQQbxx8QcAj7s&code\_challenge\_method=S256&auth0Client=eyJuaW1lIjoieYXV0aDAtc3BhLWpzIiwidmVyc2lubiI6IjJMS4zIn0%3D#/sso/login



# EKLER



## EKLER

### EK A: Yazılım Kod Parçacığı

```
#include "ArduinoGraphics.h"
#include "Arduino_LED_Matrix.h"
ArduinoLEDMatrix matrix;
#include <LiquidCrystal.h>
const int rs = 6, en = 7, d4 = 8, d5 = 9, d6 = 10, d7 = 11;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
#include "RTC.h"
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT22
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);

uint32_t delayMS;
float temperature = 0.0, hummidity = 0.0;
int relay = 4;
void setup()
{
  pinMode (relay,OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  matrix.begin();
  matrix.beginDraw();
  matrix.stroke(0xFFFFFFFF);
  kayan_yazi();
  sabit_yazi();
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  sensor_t sensor;
  dht.temperature().getSensor(&sensor);
  dht.humidity().getSensor(&sensor);
  delayMS = sensor.min_delay / 1000;
  RTC.begin();
  RTCTime mytime(6, Month::NOVEMBER, 2023, 18, 12, 00, DayOfWeek::MONDAY,
SaveLight::SAVING_TIME_ACTIVE);
  RTCTime savedTime;
  RTC.getTime(savedTime);
  if (!RTC.isRunning()) {
    // this means the RTC is waking up "as new"
    if (savedTime.getYear() == 2000) {
      RTC.setTime(mytime);
    } else {
      RTC.setTime(savedTime);
    }
  }
}
```

```

    }
  }
}
void loop()
{
  clock_date();
  lcd_write_rtc();
  dht_temp_hum();
  relay_active();
}
void relay_active()
{
  digitalWrite(relay,HIGH);
  delay(3000);
  digitalWrite(relay,LOW);
  delay(3000);
}
void lcd_write_rtc()
{
  RTCTime currenttime;
  RTC.getTime(currenttime);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(currenttime.getDayOfMonth());
  lcd.print("/");
  lcd.print(Month2int(currenttime.getMonth()));
  lcd.print("/");
  lcd.print(currenttime.getYear());
  lcd.print(" ");
  lcd.print(currenttime.getHour());
  lcd.print(":");
  lcd.print(currenttime.getMinutes());
  delay(1000);
}
void clock_date()
{
  RTCTime currenttime;
  RTC.getTime(currenttime);
  Serial.print("Current time: ");
  delay (1000);
}

```

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İlker ÇOBANOĞLU

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y.Lisans	Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2024
Lisans	Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2012
Lise	Muharrem Hasbi Lisesi, Yabancı Dil Ağırlıklı Fen Bölümü	2007