

**GÜRÜLTÜDEN HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

KEMAL DERE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

HAZİRAN - 2006

**A RESEARCH ON
HYDROGEN ENERGY PRODUCTION FROM NOISE**

KEMAL DERE

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of MECHANICAL ENGINEERING

JUNE - 2006

**GÜRÜLTÜDEN HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

KEMAL DERE

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman: Yard. Doç. Dr. ALİ MALKOÇ

HAZİRAN - 2006

KEMAL DERE'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı 'GÜRÜLTÜDEN HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI' başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Yard. Doç. Dr. ALİ MALKOÇ

Üye: Prof. Dr. SONER ALANYALI

Üye: Yard. Doç. Dr. NEDRET AYDINBEYLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

GÜRÜLTÜDEN HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

KEMAL DERE

ÖZET

Gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin hidrojen enerjisine dönüştürülerek biriktirilmesi ve değerlendirilmesi düşünülmüştür. Günümüzde, güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının hidrojen enerjisi üretiminde kullanılması için yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, gürültüden elde edilebilecek hidrojen enerjisi miktarı daha azdır. Ancak, faydalanılmayan bir enerjinin hidrojen enerjisine dönüştürülerek değerlendirilmesi ve insanlığın hizmetine sunulması, önemli bir tasarruf imkanı sağlayacaktır.

Laboratuvar şartlarında, gürültüden elektrik elde edilmiş ve bu elektrik ile bir ampul takımının yakılması gerçekleştirilmiştir. Böylece, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin başka enerji türlerine dönüştürülebileceği ve gürültüden faydalanılabileceği ortaya konmuştur.

Yapay bir gürültüden elde edilen elektrik enerjisi; bir elektrolizörde, suyun elektrolizi için kullanılmış ve sudan hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece, gürültünün; temiz, yenilenebilir, ekonomik, güvenli, taşınabilen, depolanabilen ve enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilen hidrojen enerjisine dönüştürülmesi sağlanmıştır.

Bazı motor ve makineler için gürültü düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Bu gürültü kaynaklarından elde edilebilecek elektrik ve hidrojen enerjisi miktarlarını belirlemek üzere çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu çalışmalar başlangıç düzeyinde olup kendisini izleyecek birçok araştırma konusunu çağrıştıracığı ümidini uyandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, hidrojen enerjisi, elektrik, elektroliz

A RESEARCH ON HYDROGEN ENERGY PRODUCTION FROM NOISE

KEMAL DERE

SUMMARY

It has been thought that accumulation and utilization of energy being lost by noise may be achieved by converting it into hydrogen energy. Today, many studies are being carried out for hydrogen production from the renewable energy sources as sun, wind, hydraulic, geothermal, etc. Amount of hydrogen energy that can be obtained from noise is less compared to renewable energy sources. However, utilization of an energy which is not benefited from and putting that energy into service for humanity will provide an opportunity for saving.

Electricity has been produced from noise and a bulb set has been turned on by that electricity under laboratory conditions. Thus, it has been put forward that energy obtained from noise may be converted into other types of energy and there is possibility to benefit from noise.

Electrical energy obtained from an artificial noise has been used for the electrolysis of water in an electrolyzer and hydrogen production from water has been achieved. Thus, conversion of noise into hydrogen energy, which is clean, renewable, economic, safe and can be transported, stored and used as an energy carrier, has been realized.

Noise level measurements have been done for some engine and machine noises. Studies have been made in order to determine the amounts of electrical and hydrogen energies that can be obtained from those noise sources. However, these studies are at the beginning level and arouse expectation of calling many successive researches.

Key Words: Noise, hydrogen energy, electricity, electrolysis,

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tez çalışmasının her aşamasında bana destek olan, danışmanım ve hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Ali MALKOÇ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamda yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Soner ALANYALI'ya, Mak. Müh. Berna AYZAZ'a, Takım Tezgahları Laboratuvar Görevlisi Tekniker İlhami ALTINSÖZ'e, Elektrik-Elektronik Teknisyeni Armağan UYSAL'a çok teşekkür ederim.

Saygılarımla ...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SES VE GÜRÜLTÜ.....	3
2.1. Ses Dalgalarının Özellikleri.....	3
2.1.1. Sesin Ortam İle İlgili Özellikleri.....	4
2.1.1.1. Sesin Yayılma Hızı.....	4
2.1.1.2. Ses Dalgalarının Emilmesi, Yansıtılması ve İletilmesi...5	
2.1.2. Sesin Titreşim İle İlgili Özellikleri.....	6
2.1.2.1 Titreşim.....	6
2.1.2.2. Frekans.....	6
2.1.2.3. Periyot.....	6
2.1.2.4. Genlik.....	7
2.1.2.5. Dalga Boyu.....	7
2.1.2.6. Ses Basıncı.....	7
2.1.2.7. Ses Gücü.....	7
2.1.2.8. Ses Yoğunluğu.....	7

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.1.2.9. Ses Düzeyleri (Desibel Ölçeği).....	8
2.1.2.10. A Filtreli Ses Ölçümü	10
2.1.2.11. Eşdeğer Gürültü Düzeyi.....	10
2.1.2.12. Gürültünün Ölçülmesi.....	11
2.1.2.13. Ters Kare Kuralı.....	12
2.2. Gürültü Kaynakları.....	12
2.2.1. Endüstri Kaynaklı Gürültüler.....	13
2.2.2. Ulaşım Kaynaklı Gürültüler.....	15
2.2.3. Diğer Gürültüler.....	17
2.3. Sesin Elektriğe Dönüştürülmesi Örnekleri.....	18
2.3.1. İnsan İşitme Sistemi.....	19
2.3.2. Telefon.....	21
2.3.3. Mikrofon.....	23
3. GÜRÜLTÜDEN ENERJİ ELDE EDİLMESİ.....	25
3.1. Gürültüden Elektrik Elde Edilmesi İçin Deney Düzenine Kurulması....	25
3.2. Deney Düzenine Çalıştırılması ve Ölçümlerin Gerçekleştirilmesi.....	26
4. GÜRÜLTÜDEN ELDE EDİLEN ELEKTRİK İLE HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİ.....	33
4.1. Hidrojen Enerjisi.....	33
4.1.1. Hidrojen	36
4.1.2. Hidrojen Üretim Yöntemleri.....	36
4.1.3. Suyun Elektrolizi İle Hidrojen Üretimi.....	38
4.1.4. Hidrojen Depolama Yöntemleri.....	44

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.5. Hidrojen İletim Yöntemleri.....	45
4.1.6. Hidrojenin Kullanım Alanları.....	45
4.1.6.1 Yakıt Pilleri.....	46
4.1.6.2. Konut, İşyeri ve Sanayi Tesislerinde Hidrojen Enerjisi Kullanımı.....	49
4.1.6.3. Ulaşım ve Taşımacılıkta Hidrojen Enerjisi Kullanımı.....	53
4.2. Gürültüden Elde Edilen Elektrik İle Hidrojen Enerjisi Üretilmesi İçin Gerçekleştirilen Deney Çalışmaları.....	56
4.2.1. Gürültüden Elde Edilen Elektrik Suyun Elektrolizi Yoluyla Hidrojen Üretiminde Kullanılması ve Muhtemel Uygulama Alanları.....	58
4.2.2. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Düşünülen Gürültü Emme Yüzeyleri ve Elektrolizörler İle Elde Edilebilecek Muhtemel Enerji Değerlerinin Hesaplanması.....	65
5. SONUÇ	74
6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tek Frekansa Sahip Bir Ses Dalgasının Hava İçerisindeki Hareketi.....	4
2.2. Ses Dalgalarının Emilmesi, Yansıtılması ve İletilmesi.....	6
2.3. Ters Kare Kuralı.....	12
2.4. Renklerle İfade Edilen Gürültüler İçin Basınç Farkı-Zaman Grafiği.....	18
2.5. İnsan Kulağının Kısımları.....	19
2.6. Orta Kulakta Titreşimlerin Aktarılması.....	20
2.7. Bell Telefonu.....	21
2.8. Fiziksel Yapılarına Göre Mikrofon Çeşitleri.....	24
3.1. Gürültüden Elektrik Elde Edilmesi İçin Kurulan Deney Düzeneginin Genel Görünümü.....	26
3.2. Gürültüden Elde Edilen Elektrik İle Ampul Takımının Yakılması.....	27
4.1. Enerji Taşıyıcı Hidrojen Çevrimi.....	34
4.2. Fosil Kaynaklı Enerjilerden Hidrojen Enerjisine Geçiş Grafiği.....	35
4.3. Basit Bir Su Elektroliz Düzenegi.....	39
4.4. PEM Elektrolizörün Çalışma Prensibi.....	40
4.5. Her Biri 2.000 kW Güce Sahip Norsk Hydro Alkalın Elektrolizörleri.....	41
4.6. PEM Yakıt Pili Çalışma Prensibi.....	49
4.7. Seri Bağlı PEM Yakıt Pili Grubu.....	49
4.8. Tokyo'ya Bağlı Goi Bölgesi'nde da Kurulu 11 MW'lık Yakıt Pili Elektrik Santrali.....	50
4.9. Konutlara Uygulanan Hidrojen Enerji Sisteminin Yapı Şeması.....	51
4.10. Kaliforniya'da Kurulu 220 kW Kapasiteli Gaz Türbinli ve Katı Oksit Yakıt Pili Kojenerasyon Enerji Santrali.....	52
4.11. H-tec 2010 'JuniorBasic' Hidrojen Deney Setinin Kısımları.....	56
4.12. Gürültüden Elde Edilen Elektrik İle Çalıştırılan Hidrojen Enerjisi Deney Setinin Genel Görünümü.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.13. PEM Elektrolizör Vasıtasıyla Üretilen Hidrojen ve Oksijen Gazlarının Tüplerde Biriktirilmesi.....	61
4.14. PEM Yakıt Pilinde Hidrojen ve Oksijen Gazlarından Üretilen Elektrik İle Vantilatörün Çalıştırılması.....	62
4.15. Şahmerdan ve Pres Gürültülerinin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot.....	63
4.16. Kompresör ve Pompa Odalarındaki Gürültülerin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot.....	63
4.17. Çeşitli Taşıt Motorları Test Odalarındaki Gürültülerin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot.....	64
4.18. Hava Alanlarındaki Uçak Gürültülerinin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sesin Bazı Ortamlardaki Ortalama Yayılma Hızları.....	5
2.2. Bazı Gürültülere Ait Ses Basınç Düzeyleri ve Bunlara Karşılık Gelen Ses Basıncı ve Yoğunlukları.....	9
2.3. Tipik Gürültü Düzeyleri.....	10
2.4. Örnek Gürültü Ölçüm Çalışması.....	11
2.5. Genel Gürültü Seviyeleri Sınır Değerleri.....	13
2.6. Demiryolu, Havayolu, Endüstri ve Şantiye Gürültüleri İçin En Yüksek Gürültü Düzeyleri.....	16
2.7. Taşıtların Üst Gürültü Düzeyleri.....	16
3.1. Gürültü Kaynağından Belli Uzaklıklardaki Gürültü Düzeyi Ölçüm Değerleri.....	28
3.2. Yük (Ampul Takımı) Bağlanmadan Elde Edilen Gerilim (AC) Ölçüm Değerleri..	29
3.3. Yük (Ampul Takımı) Bağlanmadan Elde Edilen Gerilim (DC) Ölçüm Değerleri.	29
3.4. Yük (Ampul Takımı) Bağlandıktan Sonra Elde Edilen Gerilim (DC) Ölçüm Değerleri.....	30
3.5. Yük (Ampul Takımı) Bağlandıktan Sonra Elde Edilen Akım Ölçüm Değerleri.....	31
3.6. Yük (Ampul Takımı) Üzerinde Elde Edilen Elektrik Gücü Değerleri.....	31
4.1. Hidrojen Üretim Yöntemleri.....	37
4.2. Hidrokarbon Kökenli Hidrojen Üretim Maliyetlerinin; Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Suyun Elektrolizinde Kullanılması Kökenli Hidrojen Üretim Maliyeti İle Karşılaştırılması.....	38
4.3. Ticari Olarak Bulunabilen Elektrolizör Modelleri ve Üreticileri.....	41
4.4. Elektrolizör Çeşitlerinin Karşılaştırılması.....	42
4.5. Hidrojen Depolama Yöntemleri.....	44
4.6. Yakıt Pili Çeşitleri ve Özellikleri.....	48
4.7. H-tec 2010 ‘JuniorBasic’ Hidrojen Deney Seti Teknik Özellikleri.....	57
4.8. Deney Düzeneği ile Oluşturulan 110 dB ve 115 dB Gürültü Düzeylerinde Elde Edilen ve Ölçülen Elektrik Gücü Değerleri.....	59
4.9. PEM Elektrolizör İçin Ölçüm Değerleri.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**Çizelge****Sayfa**

4.10. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Muhtemel Enerji Değerleri (Hidrojen Gazı Üretim Hızı Temel Alınarak).....	69
4.11. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Muhtemel Enerji Değerleri (Elektrolizörün Çektiği Elektrik Akımını Temel Alan Faraday Elektroliz Kanunu Kullanılarak).....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
c	: Ses Hızı (m/s, ft/s)
f	: Frekans (Hz)
I	: Ses Yoğunluğu (W/m ²)
I ₀	: Referans Ses Yoğunluğu (W/m ²)
I _L	: Logaritmik Cetvelde Ses Yoğunluğu (dB)
KOH	: Potasyum Hidroksit
L _{eq}	: Eşdeğer Gürültü Seviyesi (dBA)
P	: Ses Basıncı (Pa)
P ₀	: Referans Ses Basıncı (Pa)
P _L	: Logaritmik Cetvelde Ses Basıncı (dB)
r	: Ses kaynağından uzaklık
r	: Mikrofon duyarlılığı (yarıçap)
T	: Periyot (s)
t	: Zaman (s)
V _H	: Elektrolizörde Biriken Hidrojen Hacmi (cm ³)
W	: Ses Gücü (W)
W ₀	: Referans Ses Gücü (W)
W _L	: Logaritmik Cetvelde Ses Gücü (dB)
Ω	: Direnç (Ohm)
%	: Yüzde
\$: ABD Doları
°C	: Derece Santigrat
α	: Malzeme Ses Emme Katsayısı
λ	: Dalga Boyu (m)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
A	: Amper
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
cal	: Kalori
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
cm ³	: Santimetreküp
cm ³ /dak	: Santimetreküp/dakika
dB	: Desibel
dBA	: Desibel A
DC	: Doğru Akım
dev/dak	: Devir/Dakika
et al	: Ve diğerleri
ft/s	: Feet/Saniye
g	: Gram
hp	: Beygir Gücü
Hz	: Hertz
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
kg/m ³	: Kilogram/Metreküp
km	: Kilometre
km/s	: Kilometre/Saniye
kJ/mol	: Kilo Joule/mol
kW	: Kilo Watt
log	: Logaritma
m	: Metre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
m/s	: Metre/Saniye
m^3/s	: Metreküp/Saniye
mA	: Mili Amper
mm	: Milimetre
mm Hg	: Milimetre Cıva
ms	: Mili Saniye
MJ/kg	: Mega Joule/Kilogram
MJ/m^3	: Mega Joule/Metreküp
mV/Pa	: Milivolt/Pascal
MW	: Mega Watt
mW	: Mili Watt
N/m^2	: Newton/Metrekare
$Nm^3/saat$: Normal Metreküp/Saat
PEM	: Proton Exchange Membrane (Proton Değişirme Zarı)
RMS	: Root Mean Square (Elektrikte Etkin Değer)
s	: Saniye
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
U.S.	: United States (Birleşik Devletler)
V	: Volt
vb.	: Ve benzeri
vd.	: Ve diğerleri
W	: Watt
Wsaat	: Watt Saat
W/m^2	: Watt/Metrekare
WE-NET	: World Energy Network (Dünya Enerji Ağı)
ZES	: Zero Emission Scooter (Sıfır Emisyonlu Küçük Motosiklet)

1. GİRİŞ

Günümüzde, enerji üretimi ve tüketimi büyük bir hızla artmaya, buna karşılık özellikle fosil temelli kaynaklar hızla tükenmeye başlamıştır. Bu nedenle, yeni, ucuz, temiz, ekonomik, güvenli enerji kaynakları bulmak, bunları devreye almak ve kolay kullanılabilir, taşınabilir şekillerde depolayabilmek büyük önem kazanmıştır.

Birçok ülke, güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma konusunda çok çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Söz konusu çevre dostu enerjiler; mekanik, elektrik, ısı, vb. enerjilere dönüştürülerek tüketilebilmektedir. Ayrıca, bu akıp giden enerjilerin, geleceğin enerji taşıyıcısı olarak da adlandırılan hidrojen üretiminde kullanılması ve bu şekilde biriktirilerek istenilen zaman ve yerde kullanılması için çalışmalar sürdürülmektedir.

Yenilenebilir enerjilere benzer şekilde, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin hidrojen enerjisine dönüştürülerek biriktirilmesi ve değerlendirilmesi, bu çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Gürültüden elde edilebilecek hidrojen miktarı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha azdır. Ancak, faydalanılmayan bir enerjinin hidrojen üretiminde kullanılmasıyla önemli bir tasarruf imkanının elde edileceği düşünülmektedir.

Rahatsız edici ses olarak tanımlanan gürültü, ses dalgalarından meydana gelmektedir. Ses dalgaları; hava ve benzeri ortamlarda bulunan parçacıkların, bir dış faktör tarafından mekanik olarak titreştirilmesi ile oluşur ve komşu parçacıklara iletilerek yayılır. Titreşim sonucu oluşan ses dalgaları, buldukları ortamda basınç değişiklikleri meydana getirirler. Bu açıdan, sesin bir mekanik enerji türü olduğu tespiti de yapılabilir. Ses dalgaları, minimum ve maksimum basınçlar arasında, sürekli olarak değişen basınçlara sahiptir. Bu salınım hareketi özelliği, ses dalgalarının; elektrikteki alternatif akıma benzer bir karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Gürültü ve ses dalgaları ile ilgili terminoloji, Bölüm 2'de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Ses dalgaları ve alternatif akım arasındaki benzerlikten hareket edilerek, laboratuvar şartlarında, gürültüden elektrik elde edilmiş ve bu elektrik ile bir ampul takımının yakılması gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin başka enerjilere dönüştürülebileceği ve gürültüden faydalanılabileceği ortaya konmuştur. Bu çalışmanın ayrıntıları Bölüm 3'te ele alınmıştır.

Daha sonra, gürültüden elde edilen elektrik enerjisi, bir elektrolizörde suyun elektrolizi için kullanılmış ve sudan hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece, gürültüden hidrojen enerjisi üretilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın ayrıntılarının yer aldığı Bölüm 4'te, ayrıca, çalışmaya temel oluşturması açısından, hidrojen enerjisi üzerinde de kapsamlı olarak durulmuştur.

Depolanabilir, taşınabilir, yenilenebilir, temiz, ekonomik, güvenilir ve yakıt şeklinde kullanılabilir olan hidrojen; geleceğin en önemli enerji taşıyıcısı ve yakıtı olarak adlandırılmaktadır.

Hava alanları, yoğun şehir trafikleri ve fabrikalar, gürültülü ortamlardan sadece bir kaçıdır. Bu ortamlardaki gürültüleri oluşturan bazı motor ve makineler için gürültü düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Bu gürültü kaynaklarından elde edilebilecek elektrik ve hidrojen enerjisi miktarlarını belirlemek üzere başlangıç düzeyinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

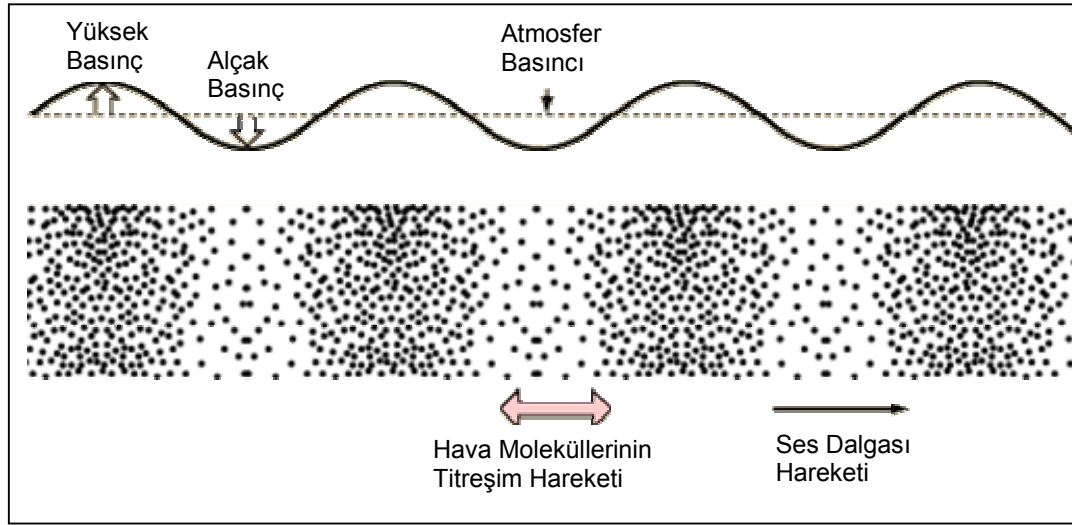
Bir otomobil motorunun kendi gürültüsü ile aküsünü şarj etmesi, bir cep telefonunun bir televizyon gürültüsü ile şarj olması, otobanlardaki gürültü bariyerlerinden elde edilecek elektriğin bölgesel ihtiyaçlarda değerlendirilmesi, vb. konularda araştırmalar beklenmelidir. Bu çalışmanın, beklediğimiz bu araştırmaları tetikleyeceğine inanıyoruz.

2. SES VE GÜRÜLTÜ

Ses; hava ve benzeri ortamlarda titreşim sonucu oluşan basınç değişiklikleridir (Basrur, 2000). Ses, ortamda bulunan parçacıkların bir dış faktör tarafından mekanik olarak titreştirilmesi ile oluşur ve komşu parçacıklara iletilerek yayılır. Bu noktada, sesin bir mekanik enerji türü olduğu tespiti de yapılabilir. Titreşim sonucu oluşan ses dalgaları, buldukları ortamda basınç değişiklikleri meydana getirirler. Bu basınç değişiklikleri, kulak veya alıcı tarafından algılanır, elektrik sinyallerine dönüştürülür. Elektrik sinyalleri, duyma sinirleri vasıtasıyla beyine ulaştırılır ve beyinde 'ses' olarak algılanır. Ancak insan kulağı bazı sesleri algılayamaz. İnsan kulağının duyabildiği ses frekans değerleri 20 Hz ile 20.000 Hz arasındadır. 20 Hz'in altında frekansa sahip ses dalgalarına ses altı, 20.000 Hz'in üzerindeki frekansa sahip ses dalgalarına ise ses üstü ses dalgaları denilmektedir. Ses, nesnel bir kavramdır, ölçülebilir ve varlığı kişiye göre değişmez.

2.1. Ses Dalgalarının Özellikleri

Ses dalgaları, hava içerisinde boyuna dalgalar halinde hareket ederler. Bir başka ifade ile, hava moleküllerinin titreşim hareketi ile ses dalgası hareketi aynı doğrultudadır. Şekil 2.1.'de, tek frekansa sahip bir ses dalgasının hava ortamı içerisindeki hareketi ve sinüs eğrisi şeklinde oluşturduğu basınç farklılıkları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tek Frekansa Sahip Bir Ses Dalgasının Hava İçerisindeki Hareketi

(Nave, 2005)

Bu noktada, sesin ortam ve titreşim ile ilgili özellikleri üzerinde durulmasında fayda bulunmaktadır:

2.1.1. Sesin Ortam İle İlgili Özellikleri

2.1.1.1. Sesin Yayılma Hızı

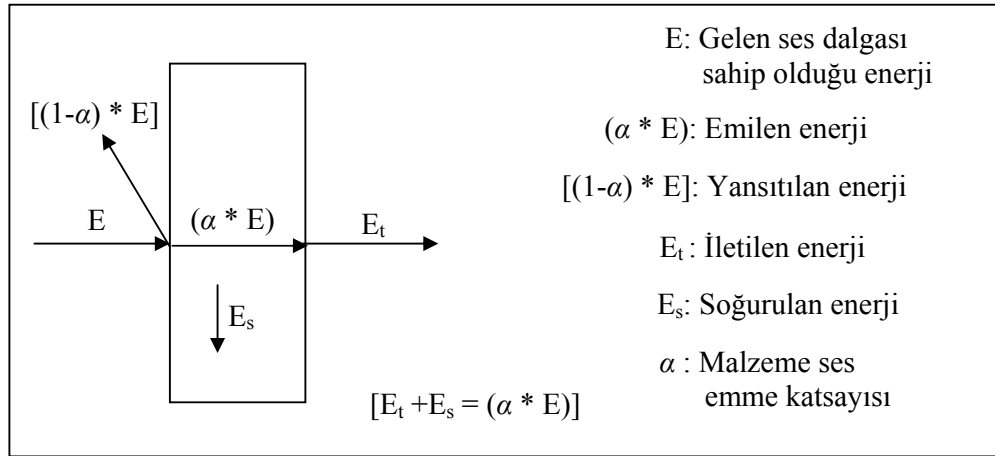
Katı, sıvı ve gazların pek çoğu sesin yayılmasına elverişli bir ortam oluştururlar. Bir ortam içinde hareket eden bir ses dalgasının yayılma hızı; ortamı oluşturan maddenin yoğunluğuna ve denge basıncına, özgül ısısına (gazlar için), esnekliğine (katı ve sıvılar için), sıcaklığa ve dalganın frekansına bağlıdır. Çizelge 2.1.'de, sesin bazı ortamlardaki ortalama yayılma hızları verilmiştir. Sesin yayılma hızı 'c' ile gösterilir.

Çizelge 2.1. Sesin Bazı Ortamlardaki Ortalama Yayılma Hızları (CCOHS, 1999)

Ortam	Ses Hızı (c) [m/s]	Ses Hızı (c) [ft/s]
Hava, Kuru (0°C ve 0.76 mm Hg)	330	1.100
Tahta	3.400	11.100
Su (15°C)	1.400	4.700
Beton	3.100	10.200
Çelik	5.000	16.000
Kurşun	1.200	3.700
Cam	5.500	18.500
Hidrojen (0°C ve 0.76 mm Hg)	1.260	4.100

2.1.1.2. Ses Dalgalarının Emilmesi, Yansıtılması ve İletilmesi

Bilindiği üzere, sesin iletilmesi için genel ortam atmosferdir. Ses dalgalarının önüne bir engel çıktığında; emilme, yansıma, soğurulma ve iletilme olaylarının görülmesi kaçınılmazdır. Buna göre, Şekil 2.2.'de gösterildiği üzere, herhangi bir E enerjisine sahip bir ses dalgası atmosferde ilerlerken herhangi bir malzeme yüzeyine çarptığında, $(\alpha * E)$ enerjisi, malzeme tarafından tutulmakta ve emilmektedir. Bu malzemeden yansıyan enerji miktarı ise $[(1-\alpha) * E]$ büyüklüğünde olacaktır. Emilen enerjinin bir kısmı, malzemenin türüne bağlı olarak kinetik ve ısı enerjilerine dönüşüp soğurulacak, geri kalan kısım da malzemenin diğer tarafına iletilecektir (E_t). Malzemelerin ses emme katsayısı olan (α) , daima 1'den küçüktür.



Şekil 2.2. Ses Dalgalarının Emilmesi, Yansıtılması ve İletilmesi

2.1.2. Sesin Titreşim İle İlgili Özellikleri

2.1.2.1 Titreşim

Bir noktadan veya düzeyden, ileri geri veya aşağı yukarı gibi iki zıt yönde gerçekleşen gidip gelme hareketine titreşim denir.

2.1.2.2. Frekans

Birim zamandaki tekrar sayısıdır. Birimi ‘Hertz’ tir. 1 Hertz, saniyede bir titreşim demektir. Frekans; ‘f’ ile gösterilir.

2.1.2.3. Periyot

Bir titreşimin süresidir. Birimi ‘Saniye’ dir. Periyot; ‘T’ ile gösterilir ve frekans ile aralarında ‘ $T = 1/f$ ’ bağıntısı vardır.

2.1.2.4. Genlik

Bir titreşimde, denge noktasına veya düzeyine göre ulaşılan en büyük yerdeğiştirmeye genlik denir. Birimi 'Metre' dir.

2.1.2.5. Dalga Boyu

Ses dalgasının iki ardışık tepe veya çukur noktaları arasındaki mesafedir. Diğer bir ifade ile, bir titreşim boyunca kat edilen yoldur. Birimi 'Metre' dir. Sesin dalga boyu ' λ ' ile gösterilir ve sesin yayılma hızı ve frekans ile aralarında ' $\lambda = c/f$ ' bağıntısı vardır.

2.1.2.6. Ses Basıncı

Ses basıncı, ses kaynağının çevrede oluşturduğu basınç değişikliklerinin miktarıdır. Birimi 'Pascal' dır. Ses basıncı; 'P' ile gösterilir.

2.1.2.7. Ses Gücü

Ses kaynağının birim zamanda yaydığı enerji miktarıdır. Birimi 'Watt' tır. Ses gücü; 'W' ile gösterilir.

2.1.2.8. Ses Yoğunluğu

Birim alandan geçen ses gücüne ses yoğunluğu denir. 'I' ile gösterilir. Küresel bir ses kaynağından r uzaklıktaki bir noktada, ses yoğunluğu ile ses gücü arasında ' $I = W / (4.\pi.r^2)$ ' eşitliği mevcuttur. Bu eşitlikten de anlaşıldığı üzere, kaynaktan uzaklık 2 katına çıkarıldığında, ses yoğunluğu dörtte bir değerine düşmektedir.

2.1.2.9. Ses Düzeyleri (Desibel Ölçeği)

Ses basınç, güç ve yoğunlukları çok geniş aralıklarda değerler alabildiği için, bu özelliklerin logaritmik ölçeklerde ifade edilmesi uygun görülmüştür. Buradan hareketle, ses basınç düzeyi, ses güç düzeyi ve ses yoğunluk düzeyi ifadeleri ortaya çıkmıştır. Bu düzeyler için, ‘Desibel’ birimi kullanılmaktadır. Desibel [dB] , bir oranı veya göreceli bir değeri gösterir. Logaritmik düzleme aktarırken, insanın duyabildiği en düşük ses için bulunan basınç, güç ve yoğunluk değerleri referans değerler olarak alınır ve aşağıda belirtilen şekillerde desibel ölçeğine aktarım gerçekleştirilir:

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$P_L = 20 \cdot \log (P/P_0)$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

$$W_L = 10 \cdot \log (W/W_0)$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$I_L = 10 \cdot \log (I/I_0)$$

Ses basınç düzeyi ve ses yoğunluk düzeyi değerleri, 21°C’de hava içerisinde, yaklaşık olarak birbirine eşittir: ‘ $P_L \approx I_L$ ’

Yine 21°C’de hava için, ses yoğunluğu ve ses gücü düzeyleri arasında da şu bağıntı mevcuttur: ‘ $I_L \approx W_L - 20 \cdot \log (r) - 11$ ’ (The SafetyLine Institute, 1998)

Gürültülerin tespit ve ölçümlerinde, yaygın olarak, ses basınç düzeyleri kullanılmaktadır. Bazı gürültülere ait ses basınç düzeyleri ve bunlara karşılık gelen ses basınçlarını ve yoğunluklarını gösteren bir karşılaştırma, Çizelge 2.2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı Gürültülere Ait Ses Basınç Düzeyleri ve Bunlara Karşılık Gelen Ses Basıncı ve Yoğunlukları (The SafetyLine Institute, 1998)

Örnekler	Ses basınç düzeyi [dB]	Ses basıncı [Pa]	Ses Yoğunluğu [W/m ²]
Jet uçaktan 30m uzaklıkta	140	200	100
Duyma üst sınırı (Ağrı duyma eşiği)	130		10
	120	20	1
Motorlu el testeresi	110		0,1
Diskoda	100	2	0,01
	90		0,001
Yoğun trafiğe yakın yaya kaldırımında	80	0,2	0,0001
	70		0,00001
Konuşma 1m uzaklıkta	60	0,02	0,000001
	50		0,0000001
	40	0,002	0,00000001
Gece sessiz bir yatak odasında	30		0,000000001
	20	0,0002	0,0000000001
	10		0,00000000001
Duyma alt sınırı (Duyma Eşiği)	0	0,00002	0,000000000001

2.1.2.10. A Filtreli Ses Ölçümü

Gürültü ile ilgili çalışmalarda, sıklıkla A filtreli ses ölçümü ve [dBA] birimi kullanılır. A filtreli ses ölçümü; insan kulağının farklı frekanslardaki sesleri eşit şekilde algılayamamasını dikkate alan, diğer bir ifade ile kulağın daha az duyarlı olduğu frekanslara daha az ağırlık vererek kulağa benzer şekilde çalışan ses ölçüm ekipmanlarında kullanılır. Çizelge 2.3.'te, tipik gürültü düzeyleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Tipik Gürültü Düzeyleri (Final Environmental Impact Statement, 1996)

Örnekler	Ses basınç düzeyi [dBA]	Örnekler	Ses basınç düzeyi [dBA]
Askeri Uçak, Hava Saldırısı İkaz Sireni	130	Gürültülü bir restoranda	70
Yüksek Rock müzik	110	Hafif araç trafiğinden 15m uzakta	60
Uçak kalkışından 500m uzakta	100	Sessiz bir ofiste	50
Yolcu treninden 15m uzakta	95	Mutfakta/Banyoda	40
Ağır bir kamyonun 15m uzakta	90	Kütüphanede, Oturma odasında	30
Çok yoğun trafik kavşağında	80	Kısıklı bir ışıktan 5m uzakta	10
Trafiğe yakın yaya kaldırımında	70	Duyuma Eşiği	0

2.1.2.11. Eşdeğer Gürültü Düzeyi

Verilmiş bir süre içerisinde, düzenli veya düzensiz olarak süreklilik gösteren ses basınç düzeylerinin ortalama değerini veren [dBA] biriminde bir gürültü ölçüğüdür ve 'L_{eq}' ile gösterilir.

2.1.2.12. Gürültünün Ölçülmesi

Gürültü, genellikle eşdeğer gürültü düzeyi, 'L_{eq}' ile ifade edilir. 'L_{eq}', belirli bir zaman aralığı içerisindeki ses basınçlarının ortalaması olarak tespit edilir. Gürültü ölçümlerinde, yaygın olarak, A filtreleme ile [dBA] birimiyle çalışan ölçüm cihazları kullanılır.

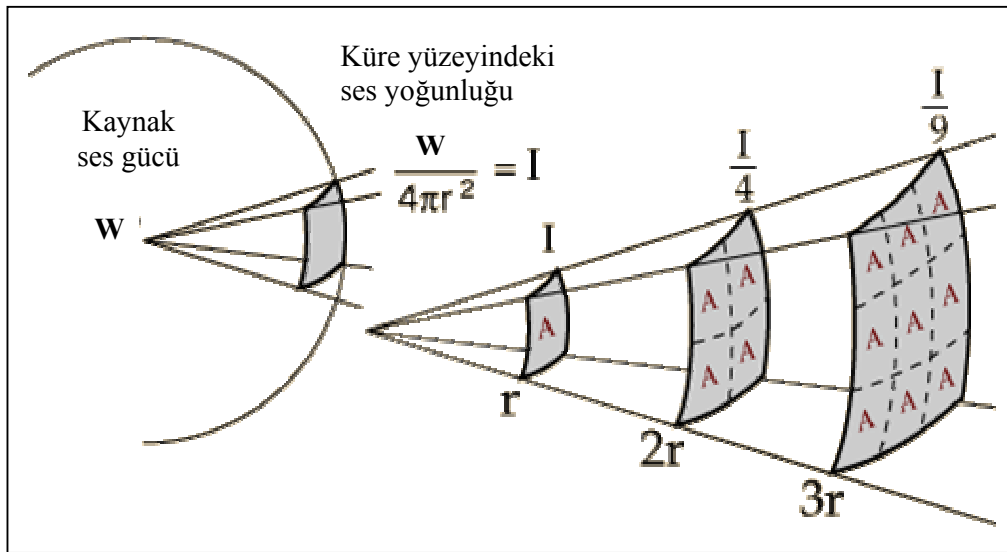
Trafik gürültüsünün ölçülmesiyle ilgili yöntemler her ülkede yaklaşık olarak aynıdır. TS 10713/1993 'Şehir içi Yollar – Trafik Gürültüsü Tespit ve Önlemleri' adlı standart referans alınarak, Nisan 1999'da, İstanbul/Beşiktaş Barbaros Bulvarında, 10 ayrı noktada gerçekleştirilen bir gürültü ölçüm çalışması örneği, Çizelge 2.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Örnek Gürültü Ölçüm Çalışması (Avşar vd., 1999)

Ölçüm Noktaları	Sabah (8.00-9.30)		Öğle (12.00-13.15)		Akşam (18.00-19.10)		Günlük Ortalama L _{eq} [dBA]
	L _{eq} [dBA]	Nem (%)	L _{eq} [dBA]	Nem (%)	L _{eq} [dBA]	Nem (%)	
1.Nokta	76,9	61	77,7	41	78,7	30	77,8
2.Nokta	76,2	62	78,1	41	78,6	32	77,6
3.Nokta	78,1	62	80,0	43	80,5	33	79,5
4.Nokta	76,9	60	74,9	36	76,6	33	76,1
5.Nokta	77,9	63	79,9	37	76,9	38	78,2
6.Nokta	80,7	64	81,2	38	78,4	40	80,1
7.Nokta	76,2	58	75,1	40	75,7	40	75,6
8.Nokta	74,7	54	76,9	37	73,1	42	74,9
9.Nokta	77,5	54	76,5	40	75,5	46	76,5
10.Nokta	75,5	55	75,8	37	76,8	40	76,0

2.1.2.13. Ters Kare Kuralı

Noktasal bir ses kaynağından çevreye yayılan bir 'W' ses gücünün bulunduğu kabul edilirse, bu ses kaynağından belli bir mesafedeki ses yoğunluğu; bu mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişir. Bu durum, 'Ters Kare Kuralı' olarak adlandırılmıştır ve Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ters Kare Kuralı (Nave, 2005)

2.2. Gürültü Kaynakları

Gürültü kaynakları şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Endüstri kaynaklı gürültüler
- Ulaşım kaynaklı gürültüler
- Diğer gürültüler

2.2.1. Endüstri Kaynaklı Gürültüler

Endüstride çok çeşitli makine ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Fanlar, elektrik motorları, pompalar, dişliler, yol ve yapı çalışmalarında kullanılan özel makineler, vb. birçok makine, taşıt, araç ve ekipmanlar kullanılırken, arzu edilmediği halde, çevrelerinde gürültüler oluşturmaktadırlar. Çizelge 2.5.'te gösterildiği üzere, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre, söz konusu endüstri kaynaklı gürültülerin de dahil olduğu genel gürültü düzeyleri sınır değerleri tanımlanmıştır.

Çizelge 2.5. Genel Gürültü Düzeyleri Sınır Değerleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986)

GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI	Gürültü Düzeyi L_{eq} [dBA]
Yük araçları (7,5 m.de)	85
Yolcu taşıtları (7,5 m.de)	85
Motosiklet (7,5 m.de)	80
Lokomotifler (30 m.de)	90
Dizel motorlu skreypler ve buldozer (100-450 kW)	120
Dizel motorlu paletli kepçeler (40-60 kW)	110
Dizel motorlu ekskavatör (45-80 kW)	105
Havalı beton kırıcı (36 kg)	110
Dizel motorlu paletli vinç	105
Dizel motorlu damperler (1,2-2,5 ton)	100
Dizel motorlu titreşimli silindir (2-75 kW)	110
Beton karıştırıcısı	115
Beton pompası	115
Grayder	120
Kaya delgi tabancası	125
Kompresör (sabit)	115
Traktör	120
Yükleyici	115
Dişliler	95
Elektrik motorları (300 hp hız 1200 dev/dak)	105
Pompalar (300 hp hız > 1600 dev/dak)	120

Çizelge 2.5. (Devam) Genel Gürültü Düzeyleri Sınır Değerleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986)

Fanlar (eksenel ve radyal, 1 m ³ /s 4 cm H ₂ O)	85
(Kanal Profili, 1 m ³ /s 4 cm H ₂ O)	70
Otomatik korna	85
Ark kaynağı	85
Delik işleme tezgahı	95
Havalı matkap	95
Tahta planya makinesi	95
Torna tezgahı	95
Çelik levha düzleyicisi	95
Ham demir veya çelik şerit çekicisi	95
Freze tezgahı	95
Perçin açma makinesi	95
Oluk açma makinesi	95
Ahşap perdahlama makinesi	95
Otomatik diş açma tezgahı	95
Çelik levha kesicisi	95
Elektrikli düz kaynak	95
Boru kaynak makinesi	95
Elektrikli gazlı fırın veya yağlı fırın	105
Dövme çekici	105
Havalı çekiç	105
Çelik tel çemberleme makinesi	105
Sarsıntılı sıkıştırma makinesi	105
Havalı pres	105
Hava perçinleme tabancası	105
Perçinleme çekici	105
Metal veya ahşap kesmek için dairesel testere	105
Havalı anahtar	105
Dökümler için havalı çapak alıcı	115
Otomatik vurmali çekiç	115
İçten yanmalı motor testi	115
Çivileme makinesi	115
Mekikli dokuma tezgahı	95

2.2.2. Ulaşım Kaynaklı Gürültüler

Karayolu, havayolu ve demiryolu taşıtlarının oluşturduğu gürültüler bu kapsamda yer alır. Ulaşım kaynaklı gürültüler için, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nce belirlenen üst limitler; daha önce verilen Çizelge 2.5.'teki değerlere ek olarak, Çizelge 2.6. ve Çizelge 2.7.'de gösterilmektedir.

Karayolu trafiğindeki gürültünün nedenleri; taşıtların motor aksamları, taşıtların kendi hızlarında oluşan gürültüsü, yolun niteliği ve trafiğin yoğunluğu biçiminde sıralanabilir. Araçların dizel motorlu olan türleri, benzinli olanlara nazaran daha fazla gürültü çıkarırlar. Esasen bir motor gürültüsünün kaynağı olarak; eksoz, soğutma fanı ve hava emme manifoldu elemanları gösterilebilir.

Trenler genelde düşük frekanslı gürültüler meydana getirirler. Kullanılan motor tipi, makine elemanları ve demiryolu şartları, oluşacak gürültüler için belirleyici faktörlerdir.

Uçakların uçuşları ve hava alanlarındaki iniş ve kalkışları esnasında çok yüksek gürültü değerleri söz konusu olabilmektedir. Uçağın tipi, çalıştırılma tekniği ve uçuş tipi gürültünün düzeyini doğrudan etkiler. Örneğin, yolcu uçakları ile savaş uçaklarının oluşturdukları gürültüler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Çizelge 2.6. Demiryolu, Havayolu, Endüstri ve Şantiye Gürültüleri İçin En Yüksek Gürültü Düzeyleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986)

Gürültü Kaynağı	L _{eq} [dBA]	
	Gündüz (06.00-22.00)	Gece (22.00-06.00)
Demiryolu gürültüleri	65	55
Endüstri gürültüleri		
- Sürekli	65	55
- Ani	70	60
Şantiye gürültüleri		
- Bina yapımı (sürekli)	70	-
- Yol yapımı (geçici)	75	-
- Darbe gürültüleri	100	-
Havaalanları	70	60

Çizelge 2.7. Taşıtların Üst Gürültü Düzeyleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986)

Taşıt türü	Üst Gürültü Seviyesi [dBA]
Otomobil	75
Otobüs (Kent içi)	85
Otobüs (Kent dışı)	80
Ağır mütaharrık araç (sürücü kabininde) ve kamyonlar	85
Lokomotif içi (dizel motorlu tam güçte ve yüke çalışırken hız 80 km/h ve pencereler kapalı iken)	85
Elektrikli tren lokomotiflerinde	80
Vagonların içinde	70

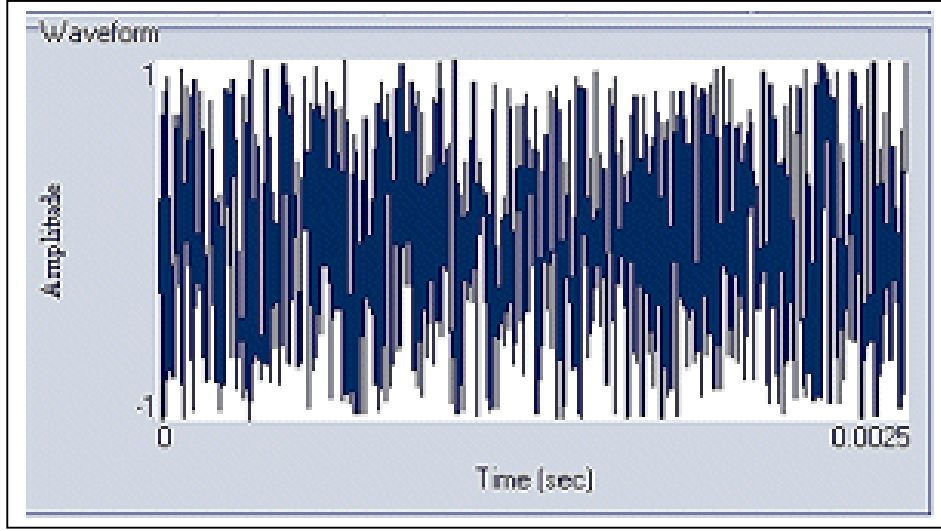
2.2.3. Diğer Gürültüler

Yapı içi gürültüler, doğa gürültüleri, silah ve bomba gürültüleri, vb. bu kapsamda ele alınabilir. Yapı içi gürültülere su, ısıtma, havalandırma vb. sistemlerin gürültüleri, elektrik ile çalışan ev aletlerinin gürültüleri örnek verilebilir. Şelaleler, yıldırımlar, rüzgarlar, ormanlar, doğal afetler, vb. kaynaklı gürültüler de doğa gürültülerine örnektir.

Bu noktada, doğa gürültüleri üzerinde daha ayrıntılı olarak durulmasında fayda görülmektedir. Doğadaki yağmur, rüzgar, fırtına, okyanus dalgaları, şelale, vb. gürültüler; beyaz, pembe, kahverengi, mavi, mor, gri gibi renklerle isimlendirilmektedir. Bunlardan bazılarının frekans karakteristikleri belli aşamalara kadar tanımlanabilmiş olmasına rağmen, bazılarının ise hala tanımlanamamıştır. Bu gürültüler, belirli frekanslardan çok bant aralıklarıyla incelenmektedir.

Beyaz gürültü, doğrusal ölçekte düz bir frekans spektrumuna sahiptir. Diğer bir ifade ile, bir merkez frekansının etrafındaki doğrusal bantlarda eşit güçlere sahiptir. 40 Hz ile 60 Hz arasındaki 20 Hz'lik frekans aralığının sahip olduğu güç ile 4000 Hz ile 4020 Hz arasındaki 20 Hz'lik frekans aralığının sahip olduğu güçler eşittir. Güç yoğunluğu her frekans için sabittir.

Pembe gürültü ise, logaritmik ölçekte düz bir frekans spektrumuna sahiptir. Diğer bir ifade ile, bir merkez frekansının etrafındaki logaritmik bantlarda eşit güçlere sahiptir. 4000 Hz ile 6000 Hz arasındaki 2000 Hz'lik frekans aralığının sahip olduğu güç ile 40 Hz ile 60 Hz arasındaki 20 Hz'lik frekans aralığının sahip olduğu güçler eşittir. Güç yoğunluğu frekans ile ters orantılı olarak değişir, $1/f$ ile doğru orantılıdır. Kahverengi gürültüde ise güç yoğunluğu $1/f^2$ ile doğru orantılı olarak değişir. Renkler ile ifade edilen gürültüler için Basınç Farkı-Zaman grafikleri benzer nitelikte olup bir örneği Şekil 2.4.'te gösterilmiştir (Wikipedia The Free Encyclopedia, 2006).



Şekil 2.4. Renklerle İfade Edilen Gürültüler İçin Basınç Farkı - Zaman Grafiği
(Future Publishing, 2006)

2.3. Sesin Elektriğe Dönüştürülmesi Örnekleri

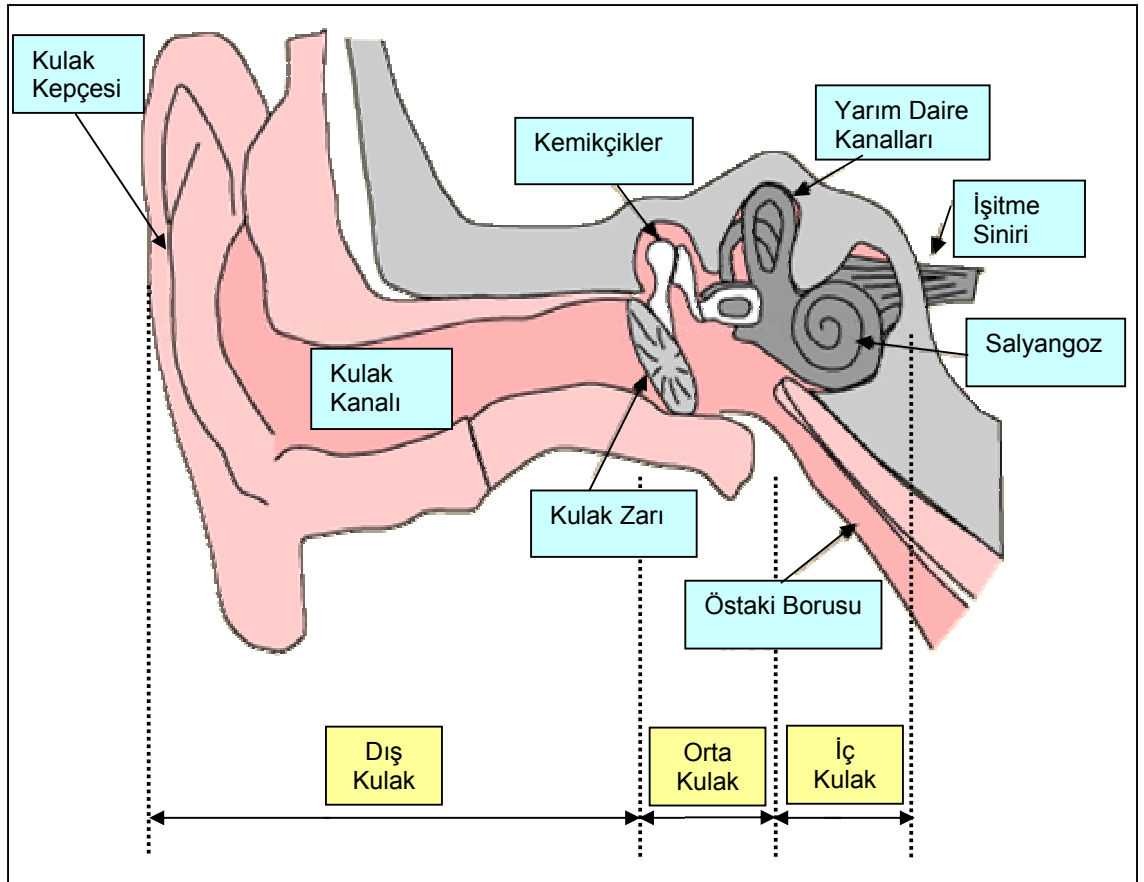
Ses enerjisi, mekanik titreşimlerle oluştuğundan dolayı bir mekanik enerji çeşididir. Ses enerjisinin elektrik sinyallerine dönüşmesi, diğer bir ifade ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi; ilk defa 1876'da Bell'in telefonu bulması ile tarihteki yerini almıştır. Aslında, ses ile elektrik arasındaki dönüşüm; insan vücudunda bulunan işitme sistemi ile, çok önceden, insanlığın hizmetine sunulmuştur. İnsanoğlu, kendi işitme sistemini gözlemledikten sonra, telefon, mikrofon, vb. birçok buluş ile ses enerjisini elektrik enerjisine çevirmeyi başarabilmiştir. Artık günümüzde, çok çeşitli endüstriyel ve doğal sesler yapay olarak üretilebilmekte ve analiz edilebilmektedir.

Bu noktada, sırasıyla, insanın işitme sisteminin, telefonların ve mikrofonların çalışma prensipleri incelenerek, bu örneklerde sesin elektriğe nasıl dönüştürülebildiği konusu üzerinde durulacaktır.

2.3.1. İnsan İşitme Sistemi

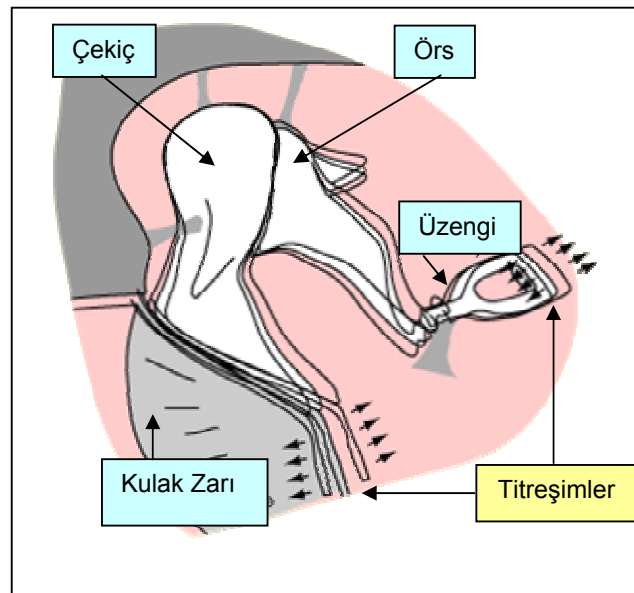
İnsan işitme sistemi, 20 Hz ile 20.000 Hz frekanslar arasındaki ses dalgalarını algılama kapasitesine sahiptir. İşitme sistemi içerisinde, kulaklar ve beynin işitmeden sorumlu bölgeleri yer alır.

İnsan kulağı 3 temel kısımdan oluşur: Dış kulakta; kulak kepçesi, kulak kanalı ve kulak zarı yer alır. Şekil 2.5.'te insan kulağının kısımları gösterilmektedir. Orta kulakta; birbiri ile temas halinde üç kemikçik (çekiç, örs, üzengi) bulunur. İç kulakta ise içi sıvı dolu olan salyangoz (koklea), yarım daire kanalları ile işitmeden sorumlu sinir hücreleri bulunur (Doğuş Medikal, 2000).



Şekil 2.5. İnsan Kulağının Kısımları (Nave, 2005)

Ses, bir kaynaktan çevreye yayılırken, Ters Kare Kuralı'na göre yayılır. Belirli bir ses yoğunluğu ve mesafe için, kulak kepçesi ne kadar büyük olursa, alan büyüdüğünden dolayı, o oranda fazla ses dalgası ve dolayısıyla ses enerjisi yakalanabilecektir. Kulak kepçesi ve ardından kulak kanalı sayesinde, yakalanan ses dalgalarının yoğunluğu yaklaşık 2 kat yükseltilir ve ses dalgaları kulak zarına iletilir. Kulak zarı, kulak kanalından gelen ses dalgalarını, kemikçikler vasıtasıyla, yaklaşık 15'te biri kadar alana sahip olan oval pencereye iletir ki, bu sayede 15 katlık yine bir yükseltme sağlanmış olur. Orta kulaktaki kemikçikler (çekiç, örs ve üzengi) vücuttaki en küçük kemikler olmalarının yanında, manivela şeklinde çalışarak yine ses dalgalarının 3 kat yükseltilmesini sağlarlar. Şekil 2.6.'da, titreşimlerin orta kulaktaki kemikçikler vasıtasıyla aktarılması gösterilmektedir. İç kulakta, yarım daire kanalları içindeki sıvı vasıtasıyla, vücudun ivmelenmesi 3 eksende tespit edilir ve vücudun dengesi sağlanır. Salyangoz ise üç kısımdan meydana gelmektedir. 2 kısım yarım daire kanalları ile koordineli çalışırken, 3. kısım, içerisindeki korti organı vasıtasıyla basınç farklılıkları şeklinde tespit ettiği ses dalgası titreşimlerini elektrik sinyallerine çevirir ve bunları işitme siniri aracılığı ile beyine ulaştırır. Beyinde ise bu sinyaller işlenerek, sesin algılanması gerçekleştirilmiş olur (Nave, 2005).

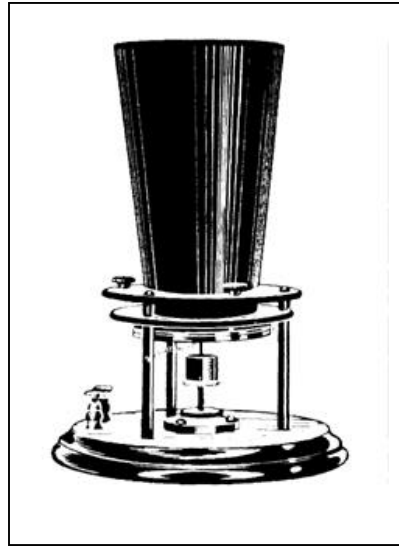


Şekil 2.6. Orta Kulakta Titreşimlerin Aktarılması (Nave, 2005)

2.3.2. Telefon

Birbirinden uzak yerlerde bulunan kişiler ve sistemler arasında bilgi alışverişini sağlayan elektrikli ses alıp verme cihazı olan telefonun çalışmasında ana prensip ağızdan çıkan ses dalgalarının önce elektrik sinyallerine çevrilmesi, bu sinyallerin muhtelif gönderme metotlarıyla uzağa iletilmesinden sonra, bu defa elektrik sinyallerinin tekrar kulakla duyulabilecek ses dalgalarına çevrilmesidir. Şekil 2.7.'de gösterilen Bell'in 1876'da bulduğu telefonun çalışma ilkeleri ile günümüzde kullanılan telefonların çalışma ilkeleri arasında çok önemli bir fark yoktur. Bu çalışma ilkeleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Ses dalgalarının (enerjisinin) mekanik enerjiye dönüşmesi
 2. Mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi
 3. Elektrik enerjisinin nakledilmesi
 4. Karşı tarafta elektrik enerjisinin manyetik enerjiye dönüşmesi
 5. Manyetik enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi
 6. Mekanik enerjinin ses dalgalarına (enerjisine) dönüşmesi
- (Yeni Rehber Ansiklopedisi, 1994)



Şekil 2.7. Bell Telefonu (Farley, 2001)

Elektrik titreşimlerinin iletkenlerdeki yayılma hızı, ses titreşimlerinin havadaki yayılma hızından bir kaç yüz bin kere daha fazla olduğundan (200.000 – 300.000 km/s mertebesinde) telefon ile konuşanlar, aradaki uzaklığa rağmen, karşı karşıya bulunuyorlarmış hissine sahiptirler.

Telefon, ağızlık bölümüne yerleştirilmiş bir verici mikrofon ile kulaklık bölümüne yerleştirilmiş bir alıcıdan oluşur. Telefonlar arasında, bir elektrik akımı kaynağına bağlanmış kablo hattı bulunur. Telefonla konuşan kişinin ses dalgaları vericideki bir diyaframı titreştirir. Diyafram ince, esnek bir plastikten yapılmıştır ve içi karbon tanecikleriyle dolu, ilaç kapsülüne benzeyen küçük bir kabın ağzına yerleştirilmiştir. Karbon iyi bir elektrik iletkenidir. Herhangi bir konuşma olmadığında, aygıtta bağlı olan elektrik akımı karbon taneciklerinin arasından düzgün bir biçimde akar. Ama konuşma başladığında, konuşan kişinin sesi, diyaframı kabın içine ve dışına doğru titreştirmeye başlar. Diyaframın içeri doğru her hareketinde karbon taneciklerinin elektrik akımının geçişine karşı direnci azalır. Böylece vericiden daha çok elektrik geçer. Diyaframın her dışarı doğru hareketinde ise karbon tanecikleri gevşer ve aralarındaki uzaklık artar. Bunun sonucunda da karbon taneciklerinin elektrik akımına geçişine karşı direnci artar ve vericinin gönderdiği akım azalır. Böylece telefonla konuşan kişi, kablolar aracılığı ile uzaktaki birine değişen şiddetlerde elektrik akımı gönderir. Kulaklık bölümünde bulunan alıcıda ise bir elektromıknatıs ile yine ince, esnek bir diyafram bulunur. Elektromıknatısın uçları, karşı taraftaki telefonun vericisinden gönderilen mesajı taşıyan kabloya bağlıdır. Elektromıknatısın arkasında kalıcı bir çelik mıknatıs vardır ve bu mıknatıs, yumuşak demirden yapılmış diyaframı sürekli olarak sabit bir güçle çeker. Konuşma başladığında, elektromıknatısın bobininden geçen elektrik akımı artar, elektromıknatıs, kalıcı mıknatısın etkisini güçlendirir ve diyaframı içe doğru daha çok çekmesini sağlar. Bobinden geçen akım zayıfladığında ise alıcının diyaframı üzerindeki çekme etkisi de zayıflar ve diyafram dışa doğru hareket eder. Alıcının diyaframındaki bu titreşimler, karşı tarafta konuşanın ses titreşimlerinin aynısıdır. Diyaframın bu titreşimleri, çevresindeki havayı da titreştirerek telefon edenin sesinin kulağımıza kadar ulaşmasını sağlar (Öztürk, 2002).

2.3.3. Mikrofon

Ses dalgalarını elektrik sinyallerine çeviren elemanlara mikrofon denir. Mikrofonlar ayrıca, ses enerjisini elektrik enerjisine çeviren algılayıcılar olarak da adlandırılırlar. Duyarlılık, mikrofonlar için önemli bir özelliktir. Bir mikrofonun duyarlılığı, diyaframına uygulanan basınca karşılık olarak üretilen gerilim olarak tanımlanır ve $[mV/Pa]$ birimi ile ifade edilir. Mikrofonların fiziksel yapısı veya çalışma ilkesi nasıl olursa olsun, en önemli elemanları diyafram adı verilen esnek zar kısmıdır. Çünkü hava ortamında ilerleyen ses dalgalarının oluşturduğu basınç, ilk önce mikrofonun diyaframını titreştirmektedir.

Mikrofonlar, fiziksel yapılarına göre dinamik, şeritli, kapasitif, kristalli ve yarı iletken kapsüllü gibi çeşitlere ayrılmaktadır. Şekil 2.8.'de fiziksel yapılarına göre mikrofon çeşitleri gösterilmiştir (Nave, 2005).

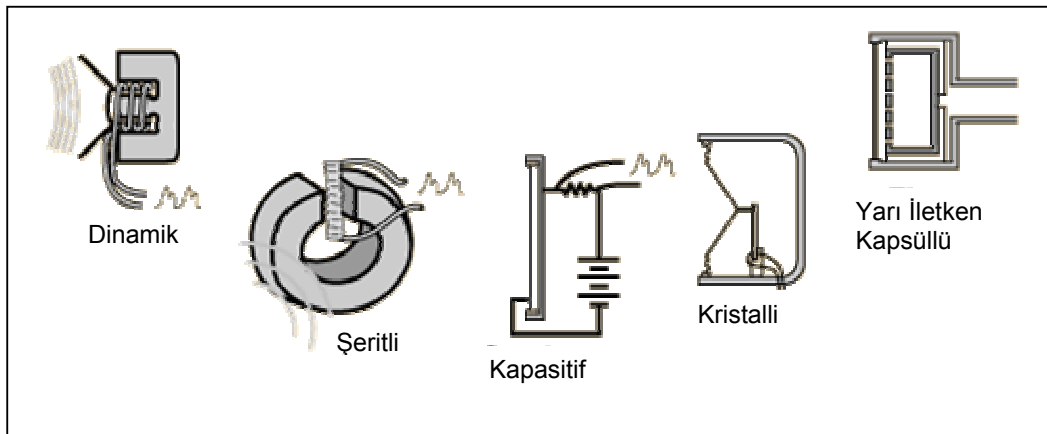
Dinamik mikrofonlarda, ses dalgaları ile titreşen diyafram, kendisine tutturulmuş olan çok hafif, hareketli bir bobini titreştirir. Silindirik yapılı bir doğal mıknatısın içine yerleştirilmiş olan bobin ise elektrik sinyalleri üretir, gerilim farkı oluşur ve bu da bir elektrik akımının doğmasını sağlar.

Şeritli mikrofonlarda ise, ses dalgaları, manyetik alan içerisine yerleştirilmiş ince bir alüminyum ya da kalay şerite çarpınca, manyetik alan içinde hareket eden bu şeritte elektrik akımı oluşturur.

Ses dalgalarının oluşturduğu basınç neticesinde titreşen bir diyaframa bağlı bir plakanın, diğer sabit bir plakaya göre hareket ettirilmesi, bu plakaların arasındaki mesafenin ve buna bağlı olarak düzeneğin kapasitesinin değişmesi, bir gerilim farkını doğurur. Bu şekilde elektrik sinyalleri üreten mikrofonlar da kapasitif mikrofonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu tip mikrofonların çalıştırılabilmesi için, harici bir DC güç kaynağına ihtiyaç vardır.

Kuartz, roşel tuzu, baryum, turmalin gibi kristal yapılı piezoelektrik özelliğe sahip maddelere basınç uygulandığında üzerlerinde elektrik akımı oluşur. Bu akım, basıncın kuvvetine ve frekansına göre değişir. ‘Piezo’ kelimesi de aslında ‘sıkıştırma’ anlamına gelmektedir. İşte bu esastan yararlanarak kristalli mikrofonlar yapılmıştır. Kristalli mikrofonlarda, kristal madde çok ince iki metal arasına yerleştirilmiş ve küçük bir çubuk vasıtasıyla diyaframa tutturulmuştur.

Yarı iletken kapsüllü mikrofonlarda ise, halka biçimindeki ince bir yarı iletken maddenin iki yüzü, üretim aşamasında, artı (+) ve eksi (-) olarak yüklenir. Bu elektrik yükü, yarı iletken maddenin özelliğinden dolayı yıllarca aynı değerde kalır. Yarı iletken kapsül, kristalli mikrofonlarda olduğu gibi diyaframa bağlanmıştır. Diyafram titreştiğinde, kapsül de hareket eder. Bu da kapsülün moleküler yapısını değiştirerek elektrotlar arasında bir gerilimin oluşmasını sağlar.



Şekil 2.8. Fiziksel Yapılarına Göre Mikrofon Çeşitleri (Nave, 2005)

3. GÜRÜLTÜDEN ENERJİ ELDE EDİLMESİ

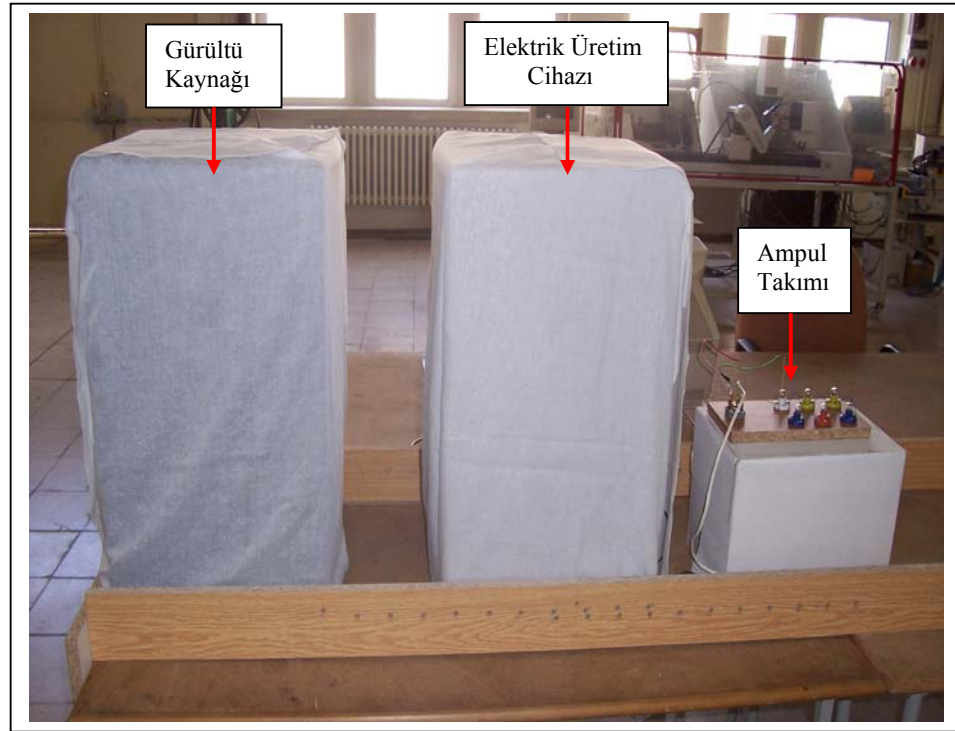
Gürültü; insanları rahatsız eden, hava molekülleri arasındaki basınç farklılıklarından dolayı hareket eden ses dalgaları şeklinde tanımlanmaktadır. Ses dalgaları hava molekülleri tarafından iletilirken, periyodik olarak, hava moleküllerinin birbirlerine yaklaşması ve birbirinden uzaklaşması hareketleri neticesinde, minimum ve maksimum değerler arasında değişen basınçlar oluşur. Basınç farkı ve mekanik bir dalga hareketi söz konusu olduğundan dolayı, ses enerjisi için, bir mekanik enerji çeşididir de denebilir.

İnsanoğlu, ses enerjisinin başka enerjilere çevrilmesini, ilk önce kendi kulağında gözlemledikten sonra, telefon ve mikrofon başta olmak üzere çok çeşitli uygulamalar ile günlük yaşantısında kullanmaya başlamıştır. Ama tüm bu uygulamalar, ses enerjisi düzeyinde kalmış ve gürültüden faydalanma boyutuna taşınmamıştır. Gürültü; endüstride, ulaşımda, evlerimizde, doğada daha doğrusu her yerde, değişen düzeylerde, bizim ile birlikte bulunmaktadır, ancak bu enerjiden hiçbir şekilde faydalanılmamaktadır.

Buradan hareketle, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin değerlendirilmesi için, öncelikle, bu enerjinin başka bir enerji türüne dönüştürülmesi düşünülmüştür. Ses dalgaları hareketlerinin elektrikteki alternatif akım karakterine olan benzerliğinden yola çıkarak, gürültüden elektrik elde edilmesi üzerinde çalışılmış ve bu amaçla bir deney düzeneği kurulmuştur.

3.1. Gürültüden Elektrik Elde Edilmesi İçin Deney Düzeneğinin Kurulması

Bu deney düzeneği ile gürültüden elektrik elde edilmesi, üretilen bu elektrik ile altı adet ampulden oluşan bir ampul takımının yakılması ve farklı gürültü düzeylerinde elde edilecek elektrik gücü özelliklerinin (akım, gerilim, güç) incelenmesi hedeflenmiştir. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



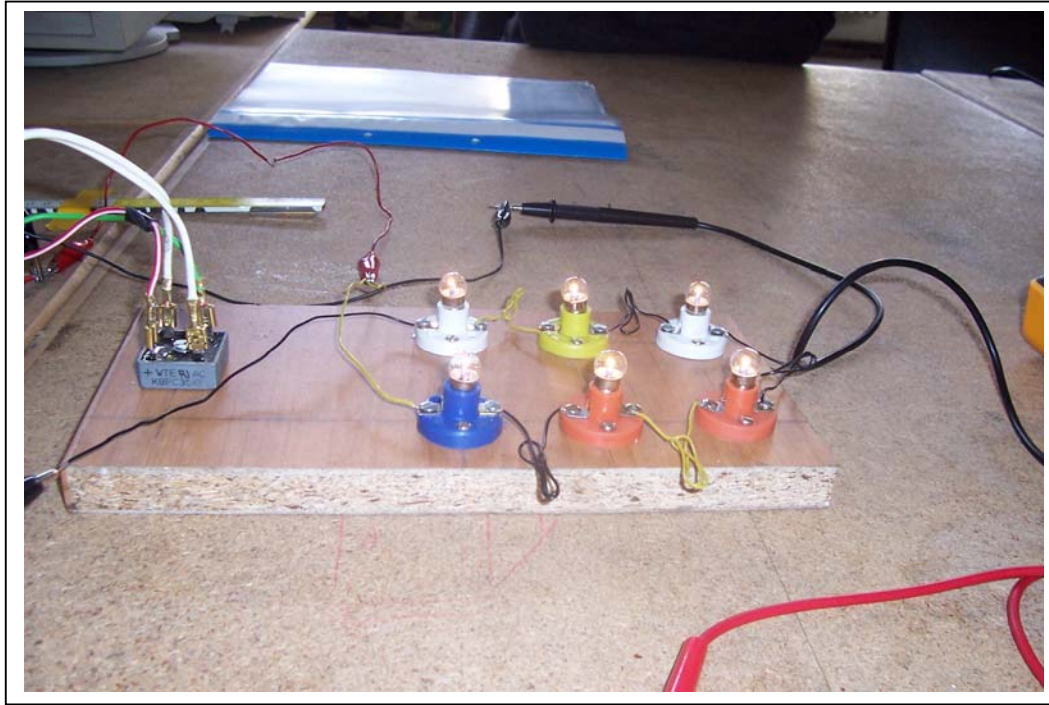
Şekil 3.1. Gürültüden Elektrik Elde Edilmesi İçin Kurulan Deney Düzenine Genel Görünümü

3.2. Deney Düzenine Çalıştırılması ve Ölçümlerin Gerçekleştirilmesi

Yapay gürültülerin üretildiği bir gürültü kaynağının karşısına, hiçbir harici güç kaynağına bağlanmamış bir elektrik üretim cihazı yerleştirilmiştir. Elektrik üretim cihazı ile gürültü kaynağından yayılan yapay gürültüden elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece, gürültü ile yayılmakta ve akıp gitmekte olan enerji elektrik enerjisine dönüştürülmüştür.

Deney düzeninde kullanılan elektrik üretim cihazı, $0,1 \text{ m}^2$ 'lik bir gürültü emme yüzeyine sahiptir. Tasarlanacak yeni cihazlar ile, mevcut deney düzeni içerisinde kullanılan enerji üretim cihazının sahip olduğu gürültü emme ve elektrik üretme özelliklerinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Altı adet küçük gece lambası ampulü, duylar vasıtasıyla bir tabla üzerine yerleştirilmiş ve kendi aralarında seri olarak bağlanmıştır. Elektrik üretim cihazı ile elde edilen gerilimi doğrultan bir köprü elemanı da bu tabla üzerine sabitlenmiştir. Daha sonra, doğrultulan bu gerilim, lamba takımına uygulanmış ve ampullerin yakılması sağlanmıştır. Gürültü kaynağı ile ses dalgalarını alıp elektriğe çeviren elektrik üretim cihazı arasındaki mesafe değiştirilerek çeşitli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ampul takımının yakılmasını gösteren fotoğraf Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Gürültüden Elde Edilen Elektrik İle Ampul Takımının Yakılması

İlk olarak, gürültü kaynağından belli uzaklıklardaki gürültü düzeyi değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Gürültü Kaynağından Belli Uzaklıklardaki Gürültü Düzeyi Ölçüm Değerleri

		GÜRÜLTÜ DÜZEYİ
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	115 dB
	5 cm	113 dB
	10 cm	112 dB
	15 cm	111 dB
	20 cm	111 dB
	25 cm	110 dB
	30 cm	109 dB
	35 cm	109 dB
	40 cm	108 dB
	45 cm	108 dB
	50 cm	106 dB

İkinci olarak, ses dalgalarını üreten gürültü kaynağına belli uzaklıklarda yerleştirilen, ses dalgalarındaki enerjiyi alarak elektriğe çeviren elektrik üretim cihazının ürettiği AC gerilim değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Bunu takiben, elektrik üretim cihazının çıkışına bağlanan bir köprü elemanı vasıtasıyla, bu AC gerilim DC gerilim haline dönüştürülmüş, söz konusu DC gerilim değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir. Her iki gerilim (AC ve DC) ölçümleri sırasında, elektrik üretim cihazına, herhangi bir yük (örneğin; ampul takımı) bağlanmamıştır.

Çizelge 3.2. Yük (Ampul Takımı) Bağlanmadan Elde Edilen Gerilim (AC) Ölçüm Değerleri

		GERİLİM (AC)
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	15,8 V
	5 cm	15,8 V
	10 cm	14,7 V
	15 cm	12,6 V
	20 cm	10,8 V
	25 cm	9,1 V
	30 cm	8,0 V
	35 cm	6,9 V
	40 cm	5,9 V
	45 cm	5,2 V
	50 cm	4,6 V

Çizelge 3.3. Yük (Ampul Takımı) Bağlanmadan Elde Edilen Gerilim (DC) Ölçüm Değerleri

		GERİLİM (DC)
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	14,0 V
	5 cm	13,9 V
	10 cm	12,7 V
	15 cm	11,1 V
	20 cm	9,5 V
	25 cm	8,1 V
	30 cm	7,0 V
	35 cm	6,0 V
	40 cm	5,2 V
	45 cm	4,5 V
	50 cm	3,9 V

Bir sonraki aşamada, kendi aralarında seri olarak bağlı olan altı adet küçük gece lambasından oluşan ampul takımına; elektrik üretim cihazından elde edilen DC gerilim uygulanmış ve devreden akım geçmesi sağlanarak ampullerin yakılması sağlanmıştır. Bu şekilde düzenlenen deney seti için, gerilim ve akım ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, sırasıyla Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.'te verilmiştir. Ayrıca gerilim ve akım değerlerinden hareket edilerek, Çizelge 3.6.'da gösterildiği üzere, elde edilen elektrik gücü değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Yük (Ampul Takımı) Bağlandıktan Sonra Elde Edilen Gerilim (DC) Ölçüm Değerleri

		GERİLİM (DC)
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	9,4 V
	5 cm	9,4 V
	10 cm	7,8 V
	15 cm	6,3 V
	20 cm	5,0 V
	25 cm	3,7 V
	30 cm	3,0 V
	35 cm	2,4 V
	40 cm	1,6 V
	45 cm	1,3 V
	50 cm	1,0 V

Çizelge 3.5. Yük (Ampul Takımı) Bağlandıktan Sonra Elde Edilen Akım Ölçüm Değerleri

		AKIM
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	0,26 A
	5 cm	0,26 A
	10 cm	0,24 A
	15 cm	0,22 A
	20 cm	0,20 A
	25 cm	0,18 A
	30 cm	0,17 A
	35 cm	0,16 A
	40 cm	0,14 A
	45 cm	0,14 A
	50 cm	0,12 A

Çizelge 3.6. Yük (Ampul Takımı) Üzerinde Elde Edilen Elektrik Gücü Değerleri

		GÜÇ
GÜRÜLTÜ KAYNAĞINDAN UZAKLIK	3 cm	2,44 W
	5 cm	2,44 W
	10 cm	1,87 W
	15 cm	1,39 W
	20 cm	1,00 W
	25 cm	0,67 W
	30 cm	0,51 W
	35 cm	0,38 W
	40 cm	0,22 W
	45 cm	0,18 W
	50 cm	0,12 W

Gürültüden elde edilen elektrik gücü ölçümleri neticesinde, mevcut deney düzeneğinde, 300 Wsaat elektrik enerjisi harcanarak üretilmiş bir gürültüden, tekrar, yaklaşık 3 Wsaat'lik bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Düzenekte kullanılan elektrik üretim cihazı ile doğadaki yağmur, rüzgar, fırtına, okyanus dalgaları, şelale, vb. gürültü kaynaklarından elektrik elde edilebilmesi konusu, bu gürültülerin; endüstriyel ve ulaşım gürültülerine göre çok daha düşük gürültü düzeylerine sahip olması, frekans özelliklerinin elverişli olmaması hatta belirlenememesi, vb. sebeplerden dolayı, bu çalışma içerisinde ele alınmamıştır.

Eldeki deney düzeneği kullanılarak çeşitli endüstriyel ve ulaşım gürültülerinden enerji elde etmek için yapılan denemelerden ise olumlu sonuç alınamamıştır. Ancak, hem yeni cihazların tasarlanması hem de söz konusu gürültülerin ayrıntılı analizlerinin gerçekleştirilmesi neticesinde, bu gürültülerden elektrik üretilebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma içerisinde, yapay gürültülerden elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra, hem doğa kaynaklı hem de endüstriyel ve ulaşım kaynaklı gürültülerden istifade edilmesine olanak sağlayacak her adım için, çok kapsamlı çalışma ve araştırmalar gerektiği açıktır.

4. GÜRÜLTÜDEN ELDE EDİLEN ELEKTRİK İLE HİDROJEN ENERJİSİ ÜRETİLMESİ

Dünyanın giderek artan enerji ihtiyacını; kesintisiz, güvenli, ucuz ve ekolojik dengeyi bozmadan karşılayabilecek en ileri teknolojinin hidrojen enerjisi sistemi olduğu, bilim çevreleri tarafından büyük bir çoğunlukla kabul edilmektedir. Günümüzde, fosil temelli enerji kaynakları hızla tükenmekte ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmalar ivme kazanmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının; kesintili, tüketim merkezlerinden uzakta olmaları ve yakıt formunda bulunmamaları, yeni bir bağlayıcı veya taşıyıcı, ikincil bir enerji kaynağı gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Bu ikincil enerji kaynağı ise hidrojendir.

Bu kısımda, öncelikli olarak hidrojen enerjisi üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır. Ardından, gürültüden elde edilen elektrik ile hidrojen enerjisi üretilmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilecektir.

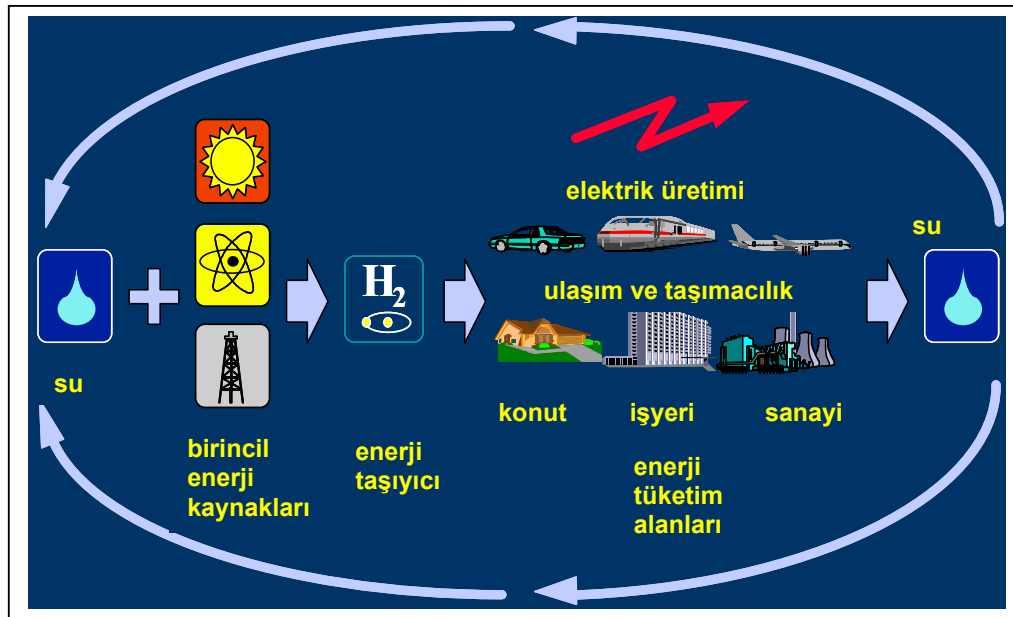
4.1. Hidrojen Enerjisi

Depolanabilir, taşınabilir, yenilenebilir, temiz, ekonomik, güvenilir, yakıt şeklinde kullanılabilir olan hidrojenin, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları, bunun yanında nükleer ve fosil temelli birincil enerji kaynaklarının tamamı ile elde edilebilmesi ve başka enerjilere kolaylıkla dönüştürülebilmesi, bu enerjiyi, geleceğin en önemli enerji taşıyıcısı ve dolayısıyla yakıtı konumuna getirmektedir.

Araştırmalar, mevcut koşullarda, hidrojenin diğer yakıtlardan en az iki kat daha pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının, maliyeti azaltacak teknolojik gelişmelere bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Peavey, 2002). Ayrıca, pazar bölgesinin konumu ve büyüklüğü vb. değişkenlere bağlı olarak, hidrojenin kg başına üretim maliyeti, 2,35 \$ ile 6,97 \$ arasında değişmektedir (Momirlan and Veziroğlu, 2002). Ancak, özellikle fosil temelli kaynakların tüketiminin sonucu olarak, büyük bir

hızla artan insanlığın sağlık harcamaları, gelecek nesillerin de sahibi olduğu dünyamıza verilen zararlar, vb. dikkate alındığında, süratle hidrojen enerjisi kullanımına geçilmesi gerekmektedir.

Hidrojenin; doğada oluşturduğu bileşiklerin en önemlisi olan sudan, birincil enerji kaynakları kullanılarak elde edilmesi, ulaşımdan, sanayiye, konuttan elektrik üretimine kadar birçok enerji tüketim sektöründe kullanılması ve sonunda tekrar suya dönüşmesi, insanlık tarihinin en mükemmel çevrimlerinden birisini teşkil etmektedir ve bu durum Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

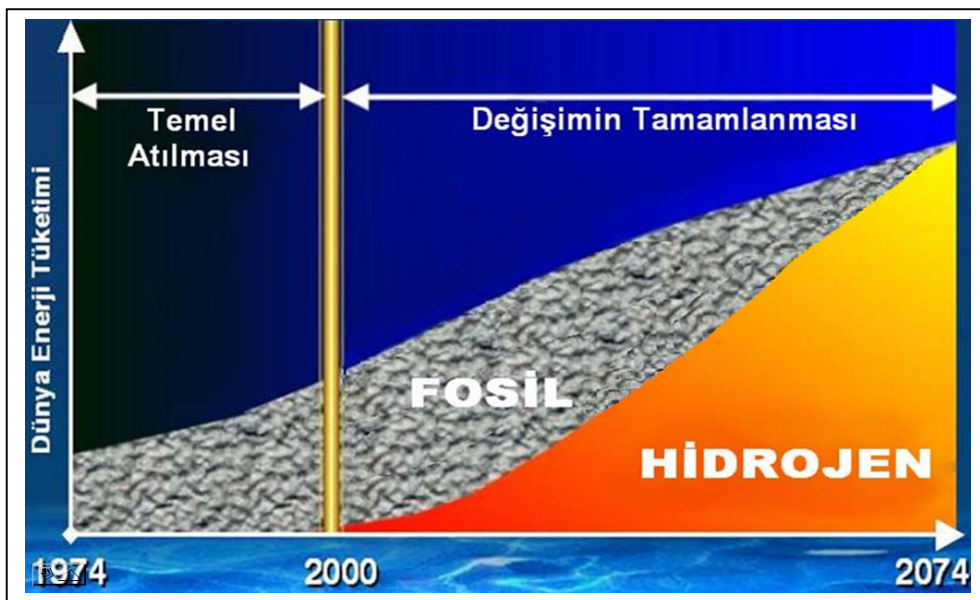


Şekil 4.1. Enerji Taşıyıcı Hidrojen Çevrimi (Barbir, 2004)

Hidrojen enerjisinin dünya genelinde yaygınlaşmasıyla elde edilecek kazanımlardan bazıları; küresel ısınmanın durdurulması ve iklimlerin normale dönmesi, havanın temizlenmesi, asit yağmurlarının ortadan kalkması, ozon tabakasını delen kimyevi maddelerin üretilmemesi, çevrenin kirlenmemesi, petrol krizlerinin ve savaşlarının sona ermesi, güç çevrim cihazlarının daha sessiz hale gelmesi, elektrik dağıtım hatlarının kullanılmayarak enerjinin yeraltından borularla taşınması, her

ülkenin kendi yakıtını üretebilmesi, hayat seviyesinin yükselmesi şeklinde sıralayabiliriz (Hidrener Hidrojentürk, 2002).

Yaklaşık her yüz yılda, hidrojen ile ilgili çok önemli bir gelişme olmaktadır. 1766 yılında, ünlü İngiliz bilim adamı Henry Cavendish, çinko metali ile hidroklorik asitin reaksiyonundan hidrojen gazının açığa çıktığını tespit etmiş ve daha sonra da suyun hidrojen ve oksijenden oluştuğunu kanıtlamıştır. 1874 yılında ise, ünlü İngiliz yazar Jules Verne tarafından kaleme alınan ‘The Mysterious Island’ adlı eserde, ‘İnanıyorum ki, bir gün hidrojen ve oksijenden oluşan su, yakıt olarak kullanılacak ve tükenmez bir ısı ve ışık kaynağı olacak’ ifadesine rastlanmaktadır (New York State Energy Research and Development Authority, 2005). Ünlü Türk bilim adamı Prof. Dr. Nejat Veziroğlu, 1974 yılında Miami Enerji Konferansı’nda ilk kez hidrojen enerjisi fikrini ortaya atmış, hidrojenin petrolün yerine geçecek bir enerji olacağını dünyada ilk defa dile getirmiştir. 2074 yılına gelindiğinde, dünyada fosil enerji tüketiminin sona ererek tam olarak hidrojen enerjisi kullanımına geçilmesi, diğer bir ifade ile hidrojen devriminin tamamlanması beklenmektedir. Şekil 4.2.’de, fosil kaynaklı enerjilerden hidrojen enerjisine geçiş grafiği gösterilmektedir (UNIDO-ICHET, 2004).



Şekil 4.2. Fosil Kaynaklı Enerjilerden Hidrojen Enerjisine Geçiş Grafiği
(UNIDO-ICHET, 2004)

4.1.1. Hidrojen

Yunanca'da 'su doğuran' manasına gelen hidrojen ismi; 1788 yılında, ünlü Fransız bilim adamı Antoine Lavoisier tarafından verilmiştir (New York State Energy Research and Development Authority, 2005).

Kokusuz, renksiz, tatsız, iki atomdan oluşan bir gaz olan hidrojenin yoğunluğu, standart sıcaklık ve basınç altında, $0,08376 \text{ kg/m}^3$ olup havanın yoğunluğundan 14 kat küçüktür. Hidrojen, $2,016 \text{ g/mol}$ molekül ağırlığı ile cisimlerin en hafifidir ve atmosferik basınçta, $20,28 \text{ K}$ 'in altındaki sıcaklıklarda sıvı haldedir. Hidrojen; $120,1 \text{ MJ/kg}$ alt ve $141,9 \text{ MJ/kg}$ üst ısı değerleri ile birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve benzinin üst ısı değerinden 3 kat fazladır (Barbir, 2003).

Hidrojen, evrende en bol bulunan element görünümündedir. Bütün yıldızlar, Güneş, Jüpiter başta olmak üzere gezegenlerin tamamına yakını hidrojenden oluşur. Hidrojenin yalnız 21. yüzyılın değil, güneşin ömrü olarak kestirilen gelecek 5 milyar yılın yakıtı olduğu söylenmektedir. Evrende büyük oranda bulunmasına rağmen, yeryüzünde az miktarda bulunur. Hidrojen kimyasal olarak oldukça aktiftir ve tabiatta genellikle diğer elementlerle yaptığı bileşikler halinde bulunur. Suda oksijenle ve metanda karbon ile bileşikler oluşturmuştur. Buradan hareketle, hidrojenin bir yakıt olarak kullanılabilmesi için diğer elementlerle yaptığı bileşiklerin koparılması gerekir.

4.1.2. Hidrojen Üretim Yöntemleri

Hidrojen çok çeşitli kaynaklardan üretilebilmesine rağmen, yaygın olarak hidrokarbonlardan ve sudan üretilmektedir (U.S. Department of Energy, 2006). Günümüzde hidrojen üretimi, büyük oranda hidrokarbon içeren fosil yakıtlardan sağlanmaktadır, ancak üretim sonucunda açığa çıkan karbondioksit bağı olarak, atmosferde sera etkisinin ortaya çıkması, çok büyük iklimsel ve çevresel olumsuzluklar oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceği gerçeğine dayanarak,

Üretim teknolojileri, artık, hidrojenin sudan elde edilmesi üzerine tasarlanmaktadır ve teknolojiler bu yönde geliştirilmeye çalışılmaktadır. Hidrojen retim yöntemleri; ticari yöntemler ve diğer yöntemler olarak iki grupta toplanabilir (Baykara, 2002). Bu yöntemler izelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Hidrojen retim Yöntemleri (Baykara, 2002)

<p>Ticari Yöntemler:</p> <p>Hidrokarbonların Buharla Katalitik Bozunumu</p> <p>Hidrokarbonların Basınç Altında Kısmi Oksitlenmesi</p> <p>Kömürün Gazlaştırılması</p> <p>Suyun Elektrolizi</p> <p>Diğer Yöntemler:</p> <p>Hidrokarbon Kaynaklı Yöntemler</p> <p> şehir Gazı retimi</p> <p> Hidrokarbonların Buhar ve Oksijenle Oksitlenmesi</p> <p> Hidrokarbonların ve Doğalgazın Isıl Dekompozisyonu</p> <p> Metanın İçten Patlamalı Motorlarda Oksitlenmesi</p> <p>Suyun Kimyasal Dekompozisyonu</p> <p> Termokimyasal Dönüřümler</p> <p> Fotokimyasal Dönüřümler</p> <p>H₂S Dekompozisyonu</p> <p>Biyokttleden retim</p>

Elektroliz ile, diğer bir ifade ile elektrik kullanılarak sudan hidrojen elde edilmesi, hem gerekli altyapının sadeliği hem de çevreye zarar verilmemesi açılarından diğer metotlara göre daha avantajlıdır. Ancak maliyet olarak, günümüzde daha pahalıdır. Ancak bu durum her geçen gün, yapılan iyileştirmelerle daha olumlu bir seviyeye çekilmeye çalışılmaktadır. Özellikle hiçbir ücret ödemeksizin insanlıkla

birlikte olan güneş, rüzgar, hidrolik, vb. kaynaklardan elde edilen elektrik ile elektroliz, bu maliyet dezavantajını mutlaka avantaja dönüştürecektir. Çizelge 4.2.'de, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin suyun elektrolizinde kullanılmasıyla gerçekleştirilen hidrojen üretimi maliyetine göre hidrokarbon kökenli hidrojen üretim maliyetlerinin oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Hidrokarbon Kökenli Hidrojen Üretim Maliyetlerinin; Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Suyun Elektrolizinde Kullanılması Kökenli Hidrojen Üretim Maliyeti İle Karşılaştırılması (Baykara, 2002)

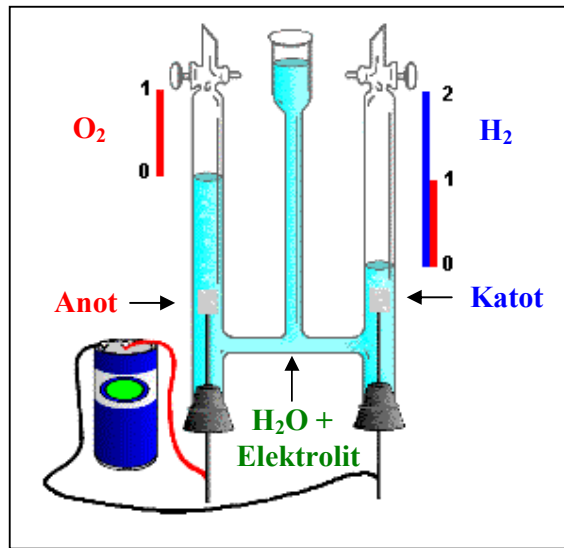
Üretim Teknolojisi	Maliyet Oranı	Üretim Kapasitesi (Nm ³ /saat)
Suyun Elektrolizi	1,00	500
Metanolün Bozunumu	0,83	500
Doğalgazın Buharla Bozunumu	1,17	500
Hidrokarbonların Kısmi Oksidasyonu	0,58	>500

4.1.3. Suyun Elektrolizi ile Hidrojen Üretimi

Suyun elektrolizi, ilk defa 1800 yılında, İngiliz bilim adamları William Nicholson ve Sir Anthony Carlisle tarafından gerçekleştirilmiş ve sudan, elektrik akımı yardımıyla, hidrojen ve oksijen gazları elde edilmiştir. (New York State Energy Research and Development Authority, 2005).

Bir bileşiğin elektrik ile bileşenlerine ayrılmasına 'elektroliz' denir. Herhangi bir bileşiğin elektrolizinde bileşiğin anyonu anottan, katyonu ise katottan açığa çıkar. Elektroliz düzeneklerinde pozitif ve negatif kutuplara 'elektrot' denir. Güç kaynağının, pozitif kutbuna bağlanan elektrot 'anot', negatif kutbuna bağlanan ise 'katottur'. İki kutup arasında elektriğin taşınmasını sağlayan çözeltiye de 'elektrolit' denir.

Suyun elektrolizinde katotta (-) hidrojen, anotta (+) ise oksijen gazı toplanır. Ortaya çıkan hidrojen gazı, hacim olarak oksijen gazının iki katı olur. Ayrıştırılan hidrojen ve oksijen gazlarını tespit etmek için küçük bir kibrit alevi kullanılabilir. Kibrit alevi yaklaştırıldığında patlayarak yanan gaz hidrojen (yanıcı gaz), alevi daha parlak yakan gaz ise oksijen (yakıcı gaz) gazıdır. Basit bir su elektroliz düzeneği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



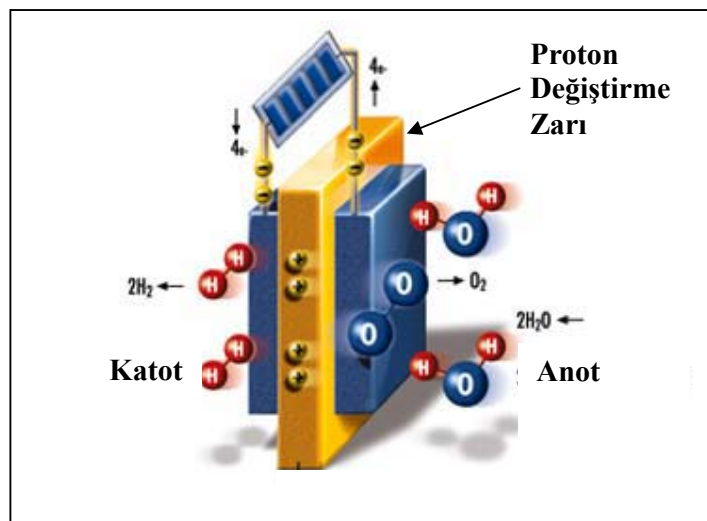
Şekil 4.3. Basit Bir Su Elektroliz Düzeneği

Su elektroliz devresinden 1 saniyede 1 amperlik akım geçtiği takdirde, diğer bir deyişle devreden 1 Coulomb'luk yük geçtiği ve platin elektrotlar kullanıldığı takdirde, tam olarak $0,12 \text{ cm}^3$ hidrojen ve $0,06 \text{ cm}^3$ oksijen gazının açığa çıktığı görülür. Nikel veya bakır elektrotlar kullanıldığında ise, hacimsel 2/1 oranına yakın değerler elde edilir. Elektrolit olarak ise çok çeşitli asidik veya bazik malzemeler kullanılmaktadır.

Termodinamik bilgiler ışığında, 1 atmosfer basınçta ve 298 K sıcaklıkta, suyun elektrolizi için gerekli olan minimum enerji 237 kJ/mol ve buna bağlı olarak minimum gerilim 1,23 V olarak belirlenmiştir. Bilim adamları, geliştirdikleri deney düzenekleri ile eşik gerilim değerini 1,0 V'a kadar indirmeyi başarmıştır (Viswanath, 2004).

Suyun elektrolizi için gerekli minimum akım değeri de deneysel çalışmalarla tespit edilebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, 1,5-2,0 V gerilim ve minimum 0,02 A akım ile elektroliz gerçekleştirilebilmiştir (Kanarev, 2003).

Günümüzde, su elektroliz tesislerinde, yeni metotlar araştırılmakla birlikte, alkalin elektrolizörler ve PEM (Proton Exchange Membrane - Proton Değişirme Zarı) elektrolizörler olmak üzere iki tip sistem yaygın olarak kullanılmaktadır ve bunların verimlilikleri %50-%90 arasında değişmektedir. Alkalin elektrolizörlerde sıvı elektrolit olarak %25'lik oranda KOH çözeltisi kullanılmaktadır ve sabit elektrik enerjilerinin sağlandığı büyük tesislerde tercih edilmektedir. PEM teknolojisi ise daha yeni olmakla birlikte, daha çok küçük tesislerde kullanılmaktadır. PEM teknolojisinin ana noktası, merkezde kullanılan polimer bir zardır. Platin, rutenyum, nikel temelli olabilen bu zarın her iki tarafı katalizör malzeme ile kaplanmış olup, bu katmanlar hücrenin katot ve anodunu oluştururlar. PEM elektrolizör teknolojisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen değişken enerji miktarları dikkate alındığında daha avantajlıdır ve gelişmekte olan PEM yakıt pili teknolojisine paralel bir şekilde, ilerlemesi büyük bir ivme kazanmaktadır (Kruse, et al., 2002). Şekil 4.4'te PEM elektrolizörün çalışma prensibi ve Şekil 4.5.'te alkalin elektrolizörler için bir örnek verilmiştir. Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.'te de sırasıyla, ticari olarak temin edilebilen elektrolizörler ve elektrolizör çeşitlerinin karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 4.4. PEM Elektrolizörün Çalışma Prensibi (H-Tec, 2005)



Şekil 4.5. Her Biri 2.000 kW Güce Sahip Norsk Hydro Alkalın Elektrolizörleri (Leighty, 2003)

Çizelge 4.3. Ticari Olarak Bulunabilen Elektrolizör Modelleri ve Üreticileri
(National Renewable Energy Laboratory, 2004)

ÜRETİCİ	TEKNOLOJİ	Mevcut Durumda Uygulanan Çalışma Aralıkları				
		SİSTEM İÇİN GEREKLİ ENERJİ İHTİYACI (kWsaat/kg)	HİDROJEN ÜRETİM MİKTARI (kg/yıl)	MAKSİMUM HİDROJEN ÜRETİMİ İÇİN GEREKLİ GÜÇ (kW)	HİDROJEN BASINCI (psig)	VERİM (%)
Avalence Hydrofiller	ALKALİN	56,4 - 60,5	320-3.600	2 - 25	10.000' e kadar	64
Proton HOGEN	PEM	62,3 - 70,1	400 - 7.900	3 - 63	~200	56
Teledyne HM	ALKALİN	59,0 - 67,9	2.200 - 33.000	17 - 240	60 - 115	63
Stuart IMET	ALKALİN	53,4 - 54,5	2.400 - 71.000	15 - 360	360	73
Norsk Hydro HPE and Atmospheric	ALKALİN (yüksek basınçta)	53,4	7.900 - 47.000	48 - 290	~230	73
	ALKALİN (atmosfer basıncında)	53,4	39.000 - 380.000	240 - 2.300	0,3	73

Çizelge 4.4. Elektrolizör Çeşitlerinin Karşılaştırılması (Smith and Newborough, 2004)

Tip	Alkalin Elektrolizör	PEM Elektrolizör
Elektrolit	Hidroksit çözeltileri (genellikle KOH)	Katı Polimer Zar
Taşıyıcı Mekanizması	Hidroksit iyonu OH ⁻	Hidrojen iyonu H ⁺
Çalışma Hızı	Yavaş (10 – 10 ³ s) Girdi olarak sabit özellikte elektrik kullanılmasını gerektirir. Değişkenlik olduğu takdirde, %20'ye varan kayıplar söz konusu olabilir.	Hızlı (~1 s) Girdi olarak değişken özellikte elektrik kullanılmasına olumlu yanıt verir.
Üretilen Birim H ₂ miktarına Göre Göreceli Maliyet	Orta – Yüksek Arası (Uygulamanın Büyüklüğüne Göre)	Çok Yüksek
Ticarileşme	1920'lerden beri kullanılmaktadır.	1980'lerden beri kullanılmaktadır.
Avantajlar	Mevcut durumda en düşük maliyete ve en yüksek verime sahiptirler. Kullanılan teknoloji, detayları ile bilinmektedir.	Katı elektrolit kullanımı (Hareketli parça bulunmaması ve aşındırıcı, paslandırıcı sıvı kullanılmaması) Yüksek akım yoğunlukları (1 A/cm ²) ile çalıştırılabilir. Yüksek basınçlı gaz çıktısı oluşturabilir. Değişken basınçlarda çalıştırılabilir. Kullanılan teknoloji detayları ile bilinmektedir.
Olumsuzluklar	Düşük akım yoğunlukları (0,4 A/cm ²) kullanılmaktadır. Sıvı elektrolit, çalışma hızını olumsuz etkilemekte, bakım problemleri oluşturmaktadır. Düşük basınçlı gaz çıktısı oluşturulabilmekte, bu sebeple yardımcı basınç üniteleri gerektirmektedir. Yeterli saflıkta gaz elde edilmesi için ilave sıvı saflaştırma aşamaları gerektirmektedir.	Yapısında kullanılan malzemeler yönüyle maliyeti yüksektir. Daha komplike üretim prosesine sahiptir. Kullanılacak suyun saflık derecesinin çok yüksek olması gerekmektedir. MW ölçeğinde henüz kullanılmamaktadır.

Yenilenebilir enerjilerden hidrojen üretilmesi ve biriktirilmesi; güneş enerjisinden fotovoltaik hücreler, rüzgar enerjisinden rüzgar türbinleri, hidrolik enerjiden hidrolik türbinler ve jeotermal enerjiden buhar türbinleri ile elde edilen elektriğin, çeşitli elektrik – elektronik düzenler ile uygun şekillerde işlendikten sonra elektrolizörlere verilmesi metoduyla gerçekleştirilebilmektedir.

Elektrolizörler; girdi olarak kullanılan enerji miktarlarına göre aşağıda belirtilen ölçeklerde sınıflandırılmaktadırlar:

Küçük ölçek	< 250 kW
Orta ölçek	0,25....100 MW
Büyük ölçek	> 100 MW

Örneğin, hidrolik kaynaklar için (barajlar, okyanuslar, denizler, akarsular, şelaleler, vb.) özel olarak tasarlanmış türbinler ve bu türbinlerin çevirdiği jeneratörlerden elektrik sağlayarak hidrojen üretiminin gerçekleştirildiği elektrolizör destekli sistemler bulunmaktadır. Mısır ve Kongo’da, 100 MW’ın üzerinde bir hidrolik güçle çalıştırılan elektrolizörler kullanılmaktadır. Özellikle Mısır’da Amerikalı bilim adamı Gorlov, Aswan Barajı’nda, kendi tasarladığı ve çalışmalarına da devam ettiği ‘Gorlov türbinleri’ ile ve bunlara ek sistemlerle, doğrudan hidrojen üretilebilecek projeler üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Benzer bir çalışma için, Kanada’daki Niagara Şelalesi’nde de çalışmalar planlanmaktadır (Smith and Newborough, 2004).

Nükleer enerjiden de, suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretilmesi konusunda çalışmalar başlamıştır. Prosesler esnasında, özellikle reaktörde ortaya çıkan yüksek ısının elektrolizde doğrudan kullanılması düşünülmektedir. Buna paralel olarak ‘Katı Oksit Elektrolizör’ denilen yeni bir elektrolizör tipi üzerinde de çalışmalar sürmektedir. Nükleer enerjide ortaya çıkan ısıdan faydalanarak suyun elektrolizi yoluyla hidrojen elde edilmesinin gerçekleştirilmesi için öngörülen tarih 2015 yılı olmakla birlikte, özellikle ABD Enerji Bakanlığı, konu üzerinde AR-GE ve bütçe planlamalarına başlamıştır (U.S. Department of Energy, 2003).

4.1.4. Hidrojen Depolama Yöntemleri

Hidrojen, yakıtlar arasında; 142 MJ/kg ile birim kütle miktarına göre en büyük enerjiye sahip olduğu için, uzay araçlarında ilk tercih edilen yakıt türü olmuştur. Ancak, 12,7 MJ/m³ ile birim hacim miktarına göre en küçük enerjiye sahiptir ve bu sebeple, hidrojenin, özellikle ulaşım ve taşımacılık sektörüne girebilmesi için, depolama büyüklüğünün azaltılması çalışmaları devam etmektedir (Bossel and Eliasson, 2003).

Hidrojen, kompozit malzemeden yapılmış tanklar içerisinde 350 bar basınç altında gaz olarak ve 20 K sıcaklıkta, özel yalıtımlı tanklarda sıvı olarak, büyük hacimlerde depolanabilmektedir (Kruse, et al., 2002). Sıvılaştırarak depolamanın maliyeti gaz olarak depolama maliyetinin yaklaşık on katıdır. Hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak kullanıldığı durumda, büyük miktarlarda depolama ihtiyacının, yeraltındaki gözenekli rezervuarlarda karşılanması düşünülmüştür. Yüksek basınçlı depolar içerisinde hidrojen depolama maliyeti, yeraltında depolama maliyetinin yaklaşık 50 katına kadar çıkabilmektedir. Yeraltında depolamanın da, hidrojenin saflık derecesinin bir miktar düşmesi ve kaçakların meydana gelmesi gibi bazı dezavantajları vardır (Baykara, 2002). Hidrojen depolama yöntemleri, Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Hidrojen Depolama Yöntemleri (Baykara, 2002)

Yerüstünde Depolama:

- 1) Yüksek Basınçlı Gaz ve Düşük Sıcaklıkta Sıvı (Özel Tanklar , vb.)
- 2) Boru Hatları
- 3) Metal Hidrürler, Metal Nanoyapılar, Karbon Nanoyapılar, Cam Mikrokürecikler

Yeraltında Depolama:

- 1) Gözenekli Rezervuarlar (Su, Doğalgaz, Petrol Yatakları)
- 2) Mağaralar (Tuz Yatakları, Eski Madenler, vb.)

4.1.5. Hidrojen İletim Yöntemleri

Hidrojen gazı, 10-20 bar basınç altında, çelik veya kompozit tanklar içerisinde, değişken hacimlerde karayolu tankerleriyle ticari olarak taşınabilmektedir.

Hidrojen gazı için kurulan boru hatları 10-20 bar basınç altında çalıştırılmaktadır. Hidrojen gazı transferinde kullanılan en uzun boru hattı, 400 km uzunlukta olup Fransa-Belçika arasında çalışmaktadır. Hidrojenin büyük ölçeklerdeki sevkiyatı için, mevcut doğal gaz hatlarının kullanılması da mümkün gözükmektedir. Hidrojenin doğal gaz hatlarına, karışımın enerji içeriğini belli bir düzeyin altına düşürmeyecek bir yüzde ile (%10 gibi) katılması veya mevcut hatlarla yüksek miktarlarda ortaya çıkabilecek hidrojen kaçaklarının önlenmesine de yardımcı olacak benzer bir dağıtım şebekesi döşenmesi uygun görülmektedir (Kruse, et al., 2002).

Sıvı hidrojen iletimi ise, iç sıcaklığı 20 K'de sabitlenmiş, özel yalıtılmış demiryolu, karayolu ve deniz yolu tankerleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Havayolu ile taşıma ile ilgili çalışmalar ise halen devam etmektedir.

4.1.6. Hidrojenin Kullanım Alanları

Hidrojen gazının ilk kullanımı, 1783'te balonlarda başlatılmıştır ve benzer uygulamalar, II. Dünya Savaşı'na kadar sürdürülmüştür. Hidrojen, daha sonra, yine askeri çalışmalarda, bomba üretiminde kullanılmıştır. İlerleyen zaman içerisinde, çok değişik sektörler hidrojeni keşfetmiş ve birçok kullanım alanları oluşmuştur. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

Hidrojen; petrol arıtımında; kükürt giderilmesi ve bazı rafineri yan ürünlerinden uçucu, kararlı ürünler elde edilmesi işlemlerinde, petrol rafinerilerinde doymamış petrol ürünlerinin hidrojenleştirilmesinde kullanılır.

Kimyasal endüstrilerde; amonyak ve metanol üretimlerinde, organik bileşiklerin hidrojenlenmesiyle çeşitli sanayi ürünlerinin ve çözücülerin üretilmesinde, örneğin; benzenden sikloheksan elde etmede kullanılmaktadır.

Gıda sektöründe; hayvansal ve bitkisel yağlardan kahvaltılık ve yemeklik gibi yağların elde edilmesinde, hidrojenasyon işlemlerinde kullanılır.

Metalürjide; hidrojen, klor ve brom ile tepkimeye sokularak hidrojen klorür ve hidrojen bromür oluşturulur. Özellikle tungsten ve molibden gibi bazı metaller, oksitlerinin ya da tuzlarının hidrojenle işlenmesi yoluyla elde edilir.

Hidrojen ayrıca, oksijen hidrojen ve atomik hidrojen temelli gaz altı kaynak uygulamalarında, cam ve kuvars imalatında oksijen hidrojen alevi oluşturmada, plastik ve sentetik iplik (elyaf) sanayinde, elektronik sanayinde, döteryum ve trityum izotopları nükleer fisyon ve füzyon işlemlerinde, enerji santrallerinde ısı ve elektrik elde edilmesinde, uzay çalışmalarında yakıt olarak ve şu an çalışmaları sürdürülmekte olan, çok çeşitli yakıt pili teknolojileri ile birlikte kara, hava ve su taşıtlarında yakıt olarak kullanılmaktadır. Yakın gelecekte, günümüzde konutlarımızda yakıt olarak kullanılan doğal gazın yerini hidrojenin alması beklenmektedir.

Hidrojen; yakıt pilleri ile doğrudan yakıt olarak kullanılabilmesinin yanında ikincil enerji olarak, değişik enerjilerin hidrojen şeklinde depolanmasına, iletilmesine ve tekrar kullanılmasına olanak sağlaması yönleri ile de yakın gelecekte toplum hayatımıza büyük ölçüde şekil verecektir. Bu noktada, yakıt pillerinden bahsetmekte fayda vardır.

4.1.6.1. Yakıt Pilleri

1839 yılında, İngiliz bilim adamı Sir William Grove ilk kez bir yakıt pili uygulaması gerçekleştirmiştir ve 'yakıt pilinin babası' olarak adlandırılmıştır (Kruse, et al., 2002).

Aslında, elektrolizde ne oluyorsa, yakıt pilinde de bunun tam tersinin olduğu söylenebilir. Diğer bir ifade ile, yakıt pillerinde, hidrojenle oksijenin tepkimeye girmesiyle elektrik, su ve ısının açığa çıktığı bir elektro kimyasal yanma reaksiyonu gerçekleşir.

Bu reaksiyon temel olarak bir elektrolitle ayrılmış iki elektrottan (anot ve katot) oluşan bir yapı içinde gerçekleşir. Reaksiyon 70 °C ile 1000 °C arasında, çok geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşebilir.

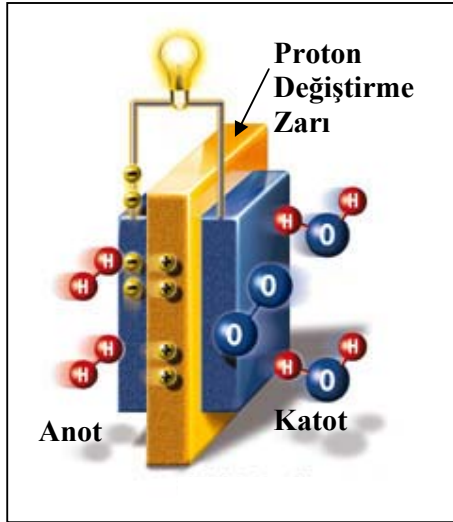
Yakıt pillerinin temiz, çevreye zarar vermeme gibi özelliklerinin yanında yüksek verime sahip enerji dönüşüm teknolojilerine sahip olmaları da bir diğer olumlu noktadır. Atık olarak su ve ısı elde edilmesi, atık ısıların kullanılabilir olması, boyutlarının küçük olabilmesi, sessiz çalışmaları, katı atık probleminin olmaması gibi daha birçok avantajları bulunmaktadır.

Sadece elektro-kimyasal reaksiyon ile elektrik enerjisi üreten ve toplam verimlilikleri %80'lere kadar ulaşan yakıt pilleri, bünyelerinde kullanılan elektrolitin cinsine göre çeşitli isimler alırlar. Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006).

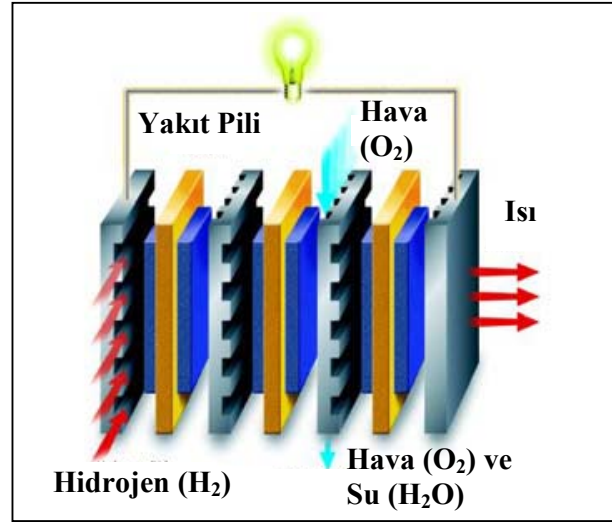
Çizelge 4.6. Yakıt Pili Çeşitleri ve Özellikleri (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006)

	Fosforik Asit Yakıt Pili	Katı Oksit Yakıt Pili	Erimiş Karbonat Yakıt Pili	Polimer Elektrot Yakıt Pili (PEM)	Alkali Yakıt Pili
Elektrolit	Fosforik Asit	Çinko Üzerine Tutturulmuş Yittria (YSZ)	Karbonat	Polimer İyon Değişim Filmi	Potasyum Hidroksit
Elektrolitteki Taşıyıcı	H ⁺	O ₂ ⁺	CO ₃ ⁻²	H ⁺	OH ⁻
Hücre Materyali	Karbon	Seramik, vb.	Ni, Paslanmaz Çelik, vb.	Karbon	Karbon
Güç Yoğunluğu (W/kg)	120-180	15-20	30-40	350-1500	35-105
Yakıt Türü	H ₂ , Hidrokarbonlar, Fosil Yakıtlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂
Sıcaklık	200 °C	1000 °C	600-700 °C	80 °C	80 °C
Güç Üretim Verimi	%37-42	%60-70	%45-60	%60	%42-73
Uygulama Alanları	Ticari Uyg. (Oteller, Hastaneler vb.)	Ticari Uyg., Sanayi Uyg., Elektrik Santralleri	Elektrik Santralleri	Ulaşım Araçları, Askeri Sistemler	Uzay Çalışmaları

Şekil 4.6.'da PEM (Proton Exchange Membrane - Proton Değişirme Zarı) yakıt pilinin çalışma prensibi ve Şekil 4.7.'de seri olarak bağlanmış bir PEM yakıt pili grubu gösterilmektedir.



Şekil 4.6. PEM Yakıt Pili'nin Çalışma Prensibi (H-Tec, 2005)



Şekil 4.7. Seri Bağlı PEM Yakıt Pili Grubu (H-Tec, 2005)

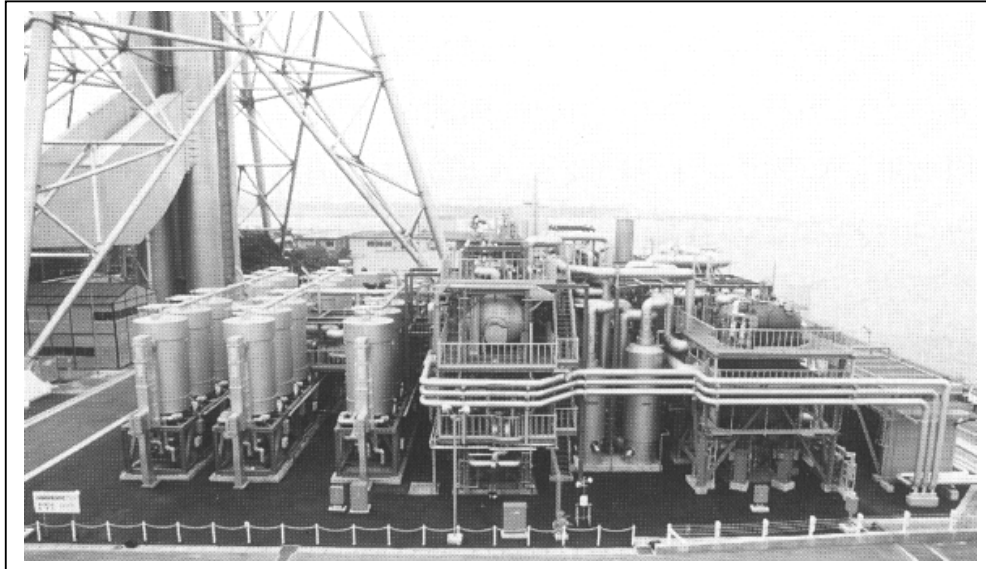
Diz üstü bilgisayarlardan dev elektrik santrallerine, otomobillerden denizaltılara, cep telefonlarından uzay çalışmalarına kadar yakıt pillerinin çok geniş uygulama alanları mevcuttur ve bu alanlar büyük bir hızla artmaktadır.

Ayrıca, güneş, rüzgar, hidrolik, vb. yenilenebilir enerjilerden, her biri için ayrı veya bunların bir koalisyonu şeklinde kurulmuş sistemler ile elde edilen, kapasite fazlası, yani tüketilmeyen elektriğin, suyun elektroliz edilmesinde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yolla üretilen hidrojenin, yakıt pilleri ile istenilen yer ve zamanda kullanılması, gerektiğinde gaz şebekesine veya tekrar elektriğe dönüştürülerek elektrik şebekesine verilmesi büyük tasarruf imkanları ortaya çıkaracaktır.

4.1.6.2. Konut, İşyeri ve Sanayi Tesislerinde Hidrojen Enerjisi Kullanımı

Hidrojenden öncelikle, yakıt pili teknolojisi ile elektrik ve ısı elde edilmesi hedeflenmektedir. Günümüzde taşkömürü ve linyit ile çalışan termik santrallerin ve nükleer santrallerin yanlarına inşa edilecek hidrojen tesisleri ile hidrojen elde edilmesi

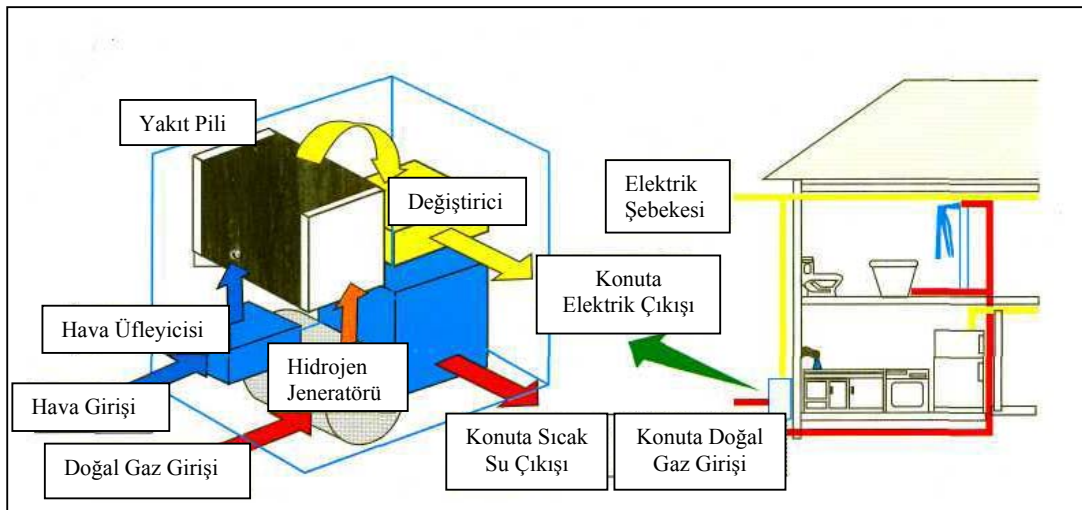
ve hidrojenin, doğrudan boru hatlarıyla konut, işyeri, sanayi tesisleri ve hidrojen pili tesislerine ulaştırılabilmesi olanağı bulunmaktadır. Bunun yanında, yerleşim bölgelerine yakın bölgelerde inşa edilecek hidrojen pili tesislerinde elde edilecek elektriğin yine kullanıcılara ulaştırılabilmesi de mümkün gözükmemektedir. Bu şekilde daha fazla elektrik enerjisi elde edilebilecek, nakliye masrafları azalacak, temiz çevre ile halkın memnuniyeti sağlanabilecektir. Örneğin, Şekil 4.8’de bir fotoğrafı verilen, Tokyo Electric Power Company tarafından işletilen, Toshiba ve IFC (International Fuel Cells) tarafından Japonya’nın Tokyo’ya bağlı Goi bölgesinde kurulmuş 11 MW’lık yakıt pili elektrik santrali, 4000 eve elektrik sağlayabilmektedir. Ayrıca burada çıkan artık ısı da, 300 evin klima veya 1300 evin ısınma ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılabilir. Bu tesis, fosforik asit yakıt pillerinden elektrik üretmekte olup, şu anda dünyadaki en büyük yakıt pili ünitesidir ve hemen yakınındaki Goi Termik Santrali ile birlikte çalışmaktadır (Dayton, 2001).



Şekil 4.8. Tokyo’ya Bağlı Goi Bölgesinde Kurulu 11 MW’lık Yakıt Pili Elektrik Santrali (Ikeda, et al., 2006)

Japonya’da sadece Tokyo’da, şehrin elektrik ihtiyacının 40.000 kW’lık bölümü hidrojen enerji sistemleri yoluyla karşılanmaktadır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006).

Ayrıca, günümüzde doğal gaz ile çalışabilen ama ileride yenilenebilir enerjilerle de çalışabilecek, her ailenin konutunda gereksinim duyduğu ısı ve elektrik enerjisini kendisinin üretebileceği hidrojen üniteleri (hidrojen jeneratörü ve hidrojen yakıt pilleri) de üretilmeye başlanmıştır. Şekil 4.9.'da, konutlara uygulanan hidrojen enerji sisteminin yapı şemasında gösterildiği üzere, bu sistemlerde, doğalgaz şebekesinden alınan doğalgazdan hidrojen üretilerek yakıt piline gönderilir. Hava üfleyicisi vasıtasıyla açık havadaki oksijen yakıt piline gönderilerek hidrojenle oksijenin yakıt pili içerisinde birleşmesi sağlanır. Bu reaksiyon neticesinde, elektrik enerjisi, su ve ısı açığa çıkar. Elektrik enerjisi konutun elektrik ihtiyacını karşıladığı gibi yakıt pilindeki ısı da, su ısıtmada veya konutun ısıtılmasında kullanılır. Yakıt pili gücünün üzerinde enerji talebi olduğu takdirde, aradaki fark elektrik enerjisi şebekesinden karşılanır. Sistemin en büyük avantajı, ulusal şebekelerde meydana gelen elektrik kesintisinden ve dalgalanmalardan etkilenmemesidir. Konutlar için tasarlanan hidrojen enerji üniteleri daha çok 1, 2, 5 ve 10 kW olarak üretilmektedir. Sanayi için ise, üst limit bulunmamakla birlikte, daha çok 250 - 500 kW'lık enerji üniteleri üretilmektedir (Hidrener Hidrojentürk, 2002).



Şekil 4.9. Konutlara Uygulanan Hidrojen Enerji Sisteminin Yapı Şeması

(Hidrener Hidrojentürk, 2002)

Siemens Westinghouse, Kaliforniya’da 200 konutun elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamak üzere 220 kW’lık, dünyadaki ilk gaz türbinli, katı oksit yakıt pilli bir kojenerasyon enerji santralini kurmuştur ve bu sistem Şekil 4.10.’da gösterilmiştir (Fuel Cell Today, 2006).



Şekil 4.10. Kaliforniya’da Kurulu 220 kW Kapasiteli Gaz Türbinli ve Katı Oksit Yakıt Pili Kojenerasyon Enerji Santrali (Fuel Cell Today, 2006)

İzlanda’da hükümet, üniversiteler, taşıma şirketleri, balıkçılar, fabrikalar ve çok uluslu otomobil ve petrol şirketlerinden oluşan bir konsorsiyum oluşturulmuş ve 2030 yılına kadar, İzlanda’nın tamamen hidrojen enerjisine geçmesi yolunda çalışmalara başlanmıştır (Goltsov and Veziroğlu, 2001).

Avrupa ve Kanada arasındaki ortak bir proje olan Euro-Quebec ile, Kanada’da kapasite fazlası olan 100 MW’lık hidroelektrik gücün sıvı hidrojene çevrilmesi, bu sıvı hidrojenin Avrupa’ya deniz aşırı olarak taşınması, depolanması için çalışmalar sürdürülmekte ve bütün bu aşamalar için maliyet azaltma olasılıkları araştırılmaktadır (Goltsov and Veziroğlu, 2001).

Almanya'da Neurenburg yakınlarında mini bir hidrojen enerji sisteminin kurulduğu bir program yürütülmektedir. Solar-Wasserstoff-Bayern, burada güneş hidrojen tesisi, hidrojen depolama sistemi ve hidrojen kullanma sistemleri kurmuştur. Almanya, ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar programı çerçevesinde, Suudi Arabistan'ın Riyad şehri yakınlarında güneş enerjisi ile hidrojen üretimi için bir tesis kurmuştur. Dünyanın en büyük petrol üreticisi olan Suudi Arabistan, dünyanın en büyük hidrojen üreticisi olma yolunda da ilerleyerek, üreteceği hidrojeni ihraç etmeyi planlamaktadır (Goltsov and Veziroğlu, 2001).

Japonya'da, WE-NET (World Energy Network - Dünya Enerji Ağı) projesi ile Tokyo şehri civarında, hidrojen kullanımı ile sağlanabilecek azot oksit emisyonundaki azalma potansiyeli araştırılmaktadır. WE-NET Programı, Japonya'nın Uluslar Arası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı'nca desteklenmektedir. Bu program çerçevesinde, Japonya, hidrojen enerji sistemini geliştirmek üzere 2020 yılına kadar 4 milyar dolarlık bir bütçe ayırmıştır. Bu programın en önemli noktalarından birisini de, yakın gelecekte Pasifik Okyanusu'nun ekvator bölgelerinde oluşturulacak yapay adalarda, solar radyasyon yoluyla deniz suyundan elektrolizle hidrojen üretme çalışma ve planlamaları teşkil etmektedir (Goltsov and Veziroğlu, 2001).

4.1.6.3. Ulaşım ve Taşımacılıkta Hidrojen Enerjisi Kullanımı

Ulaşım ve taşımacılık sektörlerinde, hidrojen yakıt pili ile çalışan araçların geliştirilmesi petrol tüketimini azaltacağı gibi, araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini ve gürültüleri de minimum düzeylere indirecektir. Yakın gelecekte, söz konusu sektörlerdeki araçların tamamının hidrojen yakıt pilleri ile çalışacağı öngörüsü çok gerçekçi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

Hidrojen enerjisinin, özellikle karayollarındaki ulaşım ve taşımacılık araçlarında en kısa sürede uygulamaya geçirilmesi için, gelişmiş ülkelerde kamu kuruluşlarının ve otomotiv şirketlerinin yoğun faaliyetleri devam etmektedir. ABD, Avrupa Birliği

üyeleri ve Japonya'da, bu çalışmalara ayrılan kaynaklar her geçen gün arttırılmaktadır.

Yakıt pilli otobüs ve otomobil üretimi konusunda, bu sektörün devleri olan General Motors, Ford, Chrysler, Mercedes-Benz, Toyota, Honda, BMW, Renault, Nissan, Hyundai ve diğerleri, 1993'ten bu yana çok sayıda prototip araç üretmekte ve maliyetlerini düşürme çalışmalarını sürdürmektedirler.

General Motors; hidrojen enerjisi teknolojisinin kullanıldığı, 28 cm kalınlığında bir şasi ile dört tekerden oluşan, 'Hy-Wire Yakıt Pili Konsepti' ile çalışan otomobil üretimini projelendirmiştir. Projeye göre bu platforma sahip olan kişi, istediği kaportayı takarak otomobilini kullanabilecektir. Bu otomobillerde içten yanmalı motor, piston, krank ve şanzıman bulunmadığı için, her tekerleğin göbeğinde 20 kW'lık müstakil elektrik motorları arabaya gerekli hareketi sağlayıp, yüksek emniyet içinde sistemin süper kompakt bir yapıya kavuşmasına olanak sağlamaktadır (Hidrener Hidrojentürk, 2003).

11 milyon küçük motosikletin bulunduğu ve bu sayının toplam araç sayısının %65'ine karşılık geldiği Tayvan'da, yakıt hücreli küçük motosiklet kullanımı desteklenmekte ve ZES (sıfır emisyonlu küçük motosiklet) tipi motosikletlerin, Asya Pasifik Yakıt Pili Teknolojisi Ltd. ve Kwang-Yang Motor Co. işbirliği ile üretimi gerçekleştirilmektedir (Tso and Chang, 2002).

Son yıllarda petrol şirketlerinin, hidrojene bakış açıları değişmektedir. Dünyanın ilk hidrojen dolum istasyonu, Shell tarafından İzlanda'da açılmıştır. Japonya, ABD, Almanya, İsveç başta olmak üzere dünyanın birçok yerinde hidrojen dolum istasyonları açılmaya devam etmektedir.

Su yollarında (göl, nehir, deniz, okyanus, vb.), demiryollarında ve havayollarında gerçekleştirilen ulaşım ve taşımacılık da, hidrojen sisteminden önemli derecede etkilenmeye başlamış ve prototip araçlar üretilmiştir.

Yakın gelecekte, nehirlerde, kanal ve boğazlarda, ulaşımın su üzerinde yapıldığı birçok yerde taksi görevini görecek, yakıt pilli botlar kullanılmaya başlanacaktır. Yakıt pilleri, denizaltılar gibi askeri deniz araçlarında da kullanılmaktadır.

Yakıt pilleri ile çalışan lokomotifler birçok ülkede üretilmeye başlanmıştır. Yakıt pillerinin, demiryollarında ulaşım ve taşımacılık için kullanılmasının; özellikle askeri çalışmalar ve uzun mesafeler için büyük avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

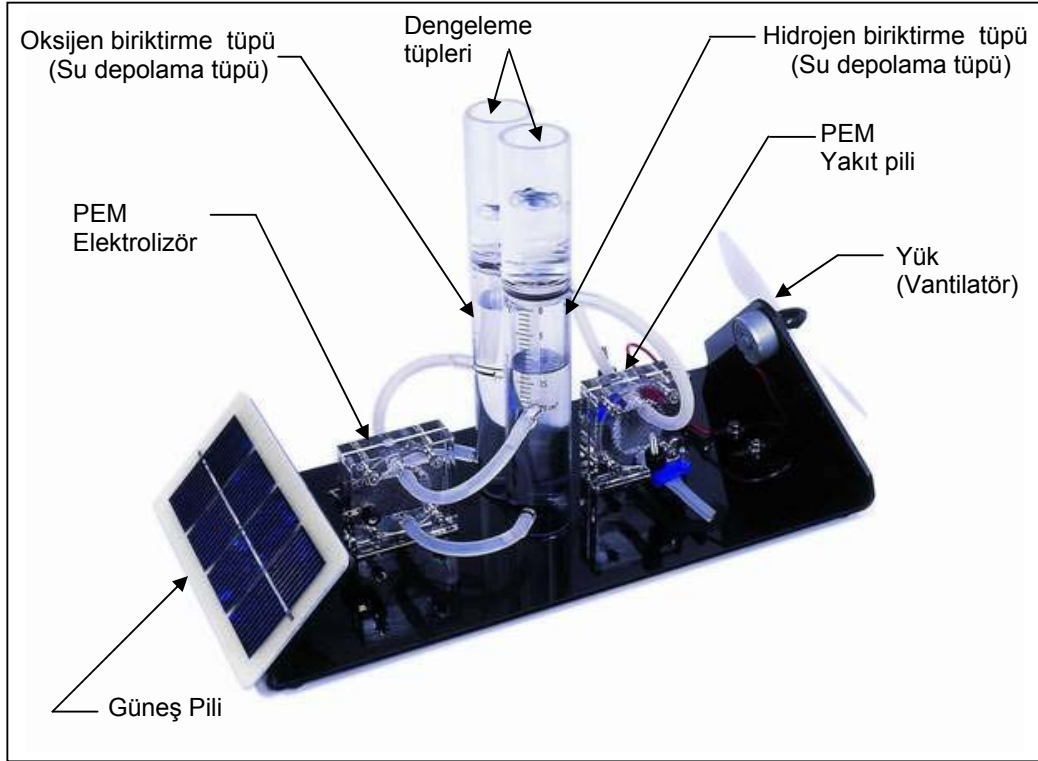
Hidrojenin uçaklarda ilk kullanımı, 1956 yılında, Amerikan B-57 bombardıman uçağında gerçekleştirilmiştir. Ruslar ise 1988 yılında Tupolev TU-154 deneme uçağında yakıt olarak sıvı hidrojen kullanmıştır. Dünya Enerji Ajansı Hidrojen Programı çerçevesinde yürütülen çalışmalarda, Airbus tipi uçaklarda, yakıt olarak hidrojen kullanılmasına, 2007 yılında başlanması planlanmaktadır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006).

Ancak, hidrojenin uçaklarda kullanımının bir sakıncası bulunmaktadır. Hidrojenin kullanımı neticesinde oluşacak su buharı emisyonlarının, ortalama yükseklik ve enleme bağlı olarak buz bulutları oluşturmasına ve bu bulutlarda sera etkisiyle ozon tüketimi gerçekleştirmesine sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu konu dikkate alınarak motor tasarımları üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir (Ün, 2003).

Hidrojen, uzun yıllardır uzay mekiği ve diğer tüm roketlerde rakipsiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Bugüne kadar, yakıt pillerini çeşitli yönleriyle inceleyen 200'den fazla araştırma, NASA tarafından desteklenmiştir. Yakıt pilleri, güvenli olarak elektrik ve su sağlamış olmaları nedeniyle, uzay çalışmalarındaki rollerini ispatlamış bulunmaktadır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006).

4.2. Gürültüden Elde Edilen Elektrik ile Hidrojen Enerjisi Üretilmesi İçin Gerçekleştirilen Deney Çalışmaları

Çeşitli enerjilerin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, ardından bu elektriğin biriktirilebilen, taşınabilen ve yakıt olarak kullanılabilen hidrojene çevrilmesi ve bu hidrojenin de gereken yer ve zamanda, ya doğrudan yakıt olarak ya da yakıt pillerinde elektriğe dönüştürülerek kullanılması, yakın gelecekte büyük bir önem kazanacaktır ve yaygın kullanım alanları bulacaktır.



Şekil 4.11. H-tec 2010 'JuniorBasic' Hidrojen Deney Setinin Kısımları (H-tec, 2005)

Bu bölümde, deney düzeneği içerisinde, kısımları Şekil 4.11.'de ve teknik özellikleri Çizelge 4.7.'de gösterilen H-tec Hidrojen Enerji Sistemleri firmasının 2010 no'lu 'JuniorBasic' ürünü kullanılmıştır. Bu ürün içerisinde bulunan ve elektriğin

üretildiği güneş pili kullanım dışı bırakılmıştır. Güneş pilinden elde edilecek elektrik yerine, önceki kısımda detayları ile incelenmiş olan, gürültüden elektrik elde etme deney düzeneğinde üretilen elektrik kullanılmıştır. Gürültüden elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak, bir PEM elektrolizör içerisinde suyun elektrolizi gerçekleştirilmiştir. Elektroliz neticesinde ortaya çıkan hidrojen ve oksijen gazları bir PEM yakıt pilinde birleştirilerek tekrar elektrik elde edilmiştir. Son olarak, üretilen bu elektrik; küçük bir vantilatörün çalıştırılmasında kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. H-tec 2010 ‘JuniorBasic’ Hidrojen Deney Seti Teknik Özellikleri (H-tec, 2005)

Komple Sistem	
Yükseklik	200 mm
Genişlik	300 mm
Derinlik	150 mm
Ağırlık	600 g
Elektrolizör	
Elektrot alanı	4 cm ²
Güç	1 W
Uygulanabilir voltaj	0 - 2 V DC arasında
Uygulanabilir akım	0 - 2 A DC arasında
H ₂ üretimi	4,3 cm ³ /dak
O ₂ üretimi	2,15 cm ³ /dak
Gaz Tüpleri (2 adet)	
Kapasite	20 cm ³
Yakıt Pili	
Elektrot alanı	4 cm ²
Güç	500 mW
Üretilen voltaj	0,4 – 0,96 V DC arasında
Güneş Pili	
Alan	90 cm ²
Yüksüz voltaj	2 V DC
Akım	350 mA DC
Güç (MPP)	500 mW
Vantilatör	
Güç	10 mW

4.2.1. Gürültüden Elde Edilen Elektriğin Suyun Elektrolizi Yoluyla Hidrojen Üretiminde Kullanılması ve Muhtemel Uygulama Alanları

Gürültüden elde edilen elektriğin suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretiminde kullanılması ve bu hidrojenin biriktirilmesi amacına yönelik olarak ve önceki kısımda elde edilen deney sonuçlarından yola çıkarak, en az 110 dB gürültü düzeyine sahip olan gürültü kaynaklarından faydalanılabileceği düşünülmüştür.

Yapay olarak oluşturulan gürültü düzeyleri temel alındığında, özellikle 110 dB ve 115 dB gürültü düzeylerine sahip olabilecek, muhtemel ortamlar olarak; şahmerdan ve presler, özel makine ve tezgahlar (Daire testere, çivileme, çapak alma, perçinleme makineleri, vb.), kompresör ve pompalar ve çok çeşitli taşıt motorlarının testlerinde kullanılan motor test odaları tespit edilmiştir. Bu tespitler yapılırken, bu çalışmanın 13. ve 14. sayfalarında verilen T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Gürültü Kontrol Yönetmeliği Genel Gürültü Seviyeleri Sınır Değerleri ve gerçekleştirilen bazı gürültü düzeyi ölçümleri referans alınmıştır. Sanayi tesislerinde, en basit ifade ile basınçlı hava ihtiyacını karşılayan kompresörler ve taşıt motoru üretimi yapan fabrikalardaki motor test odaları için, Eskişehir'de, Tülomsaş Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş.'de gürültü düzeyi ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Kompresörlerin 25 cm uzaklığa kadar olan çevrelerinde, 110 dB - 115 dB değerleri ölçülmüştür. Lokomotif Motorları Test Odası'nda yapılan gürültü düzeyi ölçümlerinde ise, yaklaşık olarak, 4 m (en) x 6 m (boy) x 4 m (yükseklik) ölçülerine sahip test odasının her yerinde, değişken test şartları da dikkate alınarak 110 dB - 115 dB ve üzeri değerler ölçülmüştür. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Motor Laboratuvarı'nda bulunan dizel otomobil motorlarının, 25 cm uzaklığa kadar olan çevrelerinde gerçekleştirilen gürültü düzeyi ölçümlerinde de 110 dB - 115 dB ve üzeri değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlardan hareket ederek, çok çeşitli taşıt motorlarının (kara, hava ve su taşıtları) da muhtemel uygulama alanları olabileceği düşüncesine varılmıştır. Ayrıca, yine bu çalışmanın 9. ve 10. sayfalarında uçaklar için verilen gürültü düzeyi bilgilerine dayanarak, birçok uçağın çok kısa zaman dilimleri içerisinde inip kalktığı yoğun hava alanlarının da muhtemel gürültülü ortamlar olabileceği düşünülmüştür.

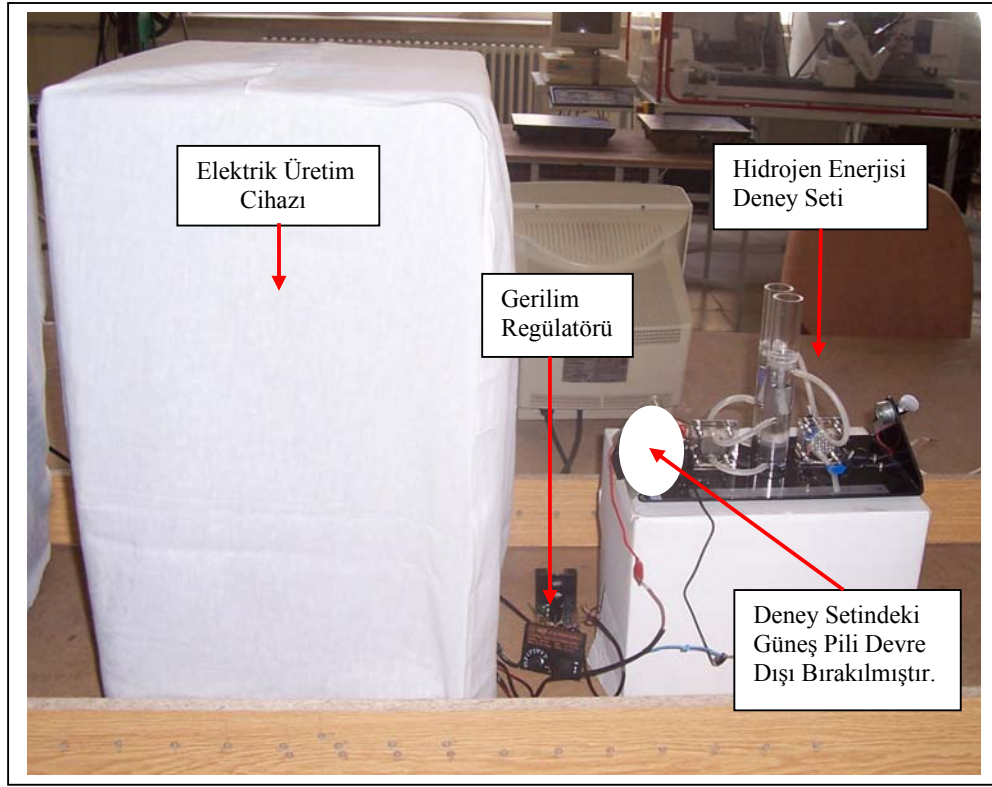
Öncelikli olarak, düşünülen muhtemel uygulama alanları için söz konusu olan 110 dB ve 115 dB gürültü düzeyleri, laboratuvar ortamında, ayrıntıları önceki kısımlarda belirtilen, gürültüden elektrik elde etme deney düzeneği ile oluşturulmuştur. Bu düzenekte, üretilen gürültülerin karşısına, 0,1 m²'lik gürültü emme yüzeyine sahip bir elektrik üretim cihazı yerleştirilmiştir. Bu yerleşim sonrası, 110 dB ve 115 dB gürültü düzeylerinde elde edilen ve ölçülen elektrik gücü değerleri Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Deney Düzeneği ile oluşturulan 110 dB ve 115 dB Gürültü Düzeylerinde Elde Edilen ve Ölçülen Elektrik Gücü Değerleri

GÜRÜLTÜ DÜZEYİ	ELEKTRİK ÜRETİM CİHAZI GÜRÜLTÜ EMME YÜZEYİ	GERİLİM	AKIM	GÜÇ
110 dB	0,1 m ²	3,7 V	0,18 A	0,67 W
115 dB	0,1 m ²	9,4 V	0,26 A	2,44 W

Çizelge 4.8.'de elde edilen değerlere ek olarak, gürültüden elektrik elde etmede kullanılan düzenek; bir gerilim regülatörü vasıtasıyla, hidrojen deney seti içerisindeki PEM elektrolizöre, 1,8 V'luk gerilim sağlayacak şekilde ayarlanarak monte edilmiş ve bu haldeki deney setinin genel görünümü Şekil 4.12.'de verilmiştir. Bu gerilim değerinin, PEM elektrolizör çalışırken 1,6 V değerine düştüğü gözlenmiştir.

Çalıştırılan hidrojen enerjisi deney setinin PEM elektrolizör kısmında, hidrojen ve oksijen gazı biriktirme tüpleri üzerindeki işaretli hacim aralıklarında üretilen hidrojen ve oksijen gazları hacim miktarları için, zaman, gerilim ve akım değerleri ölçülmüş, güç değerleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir.

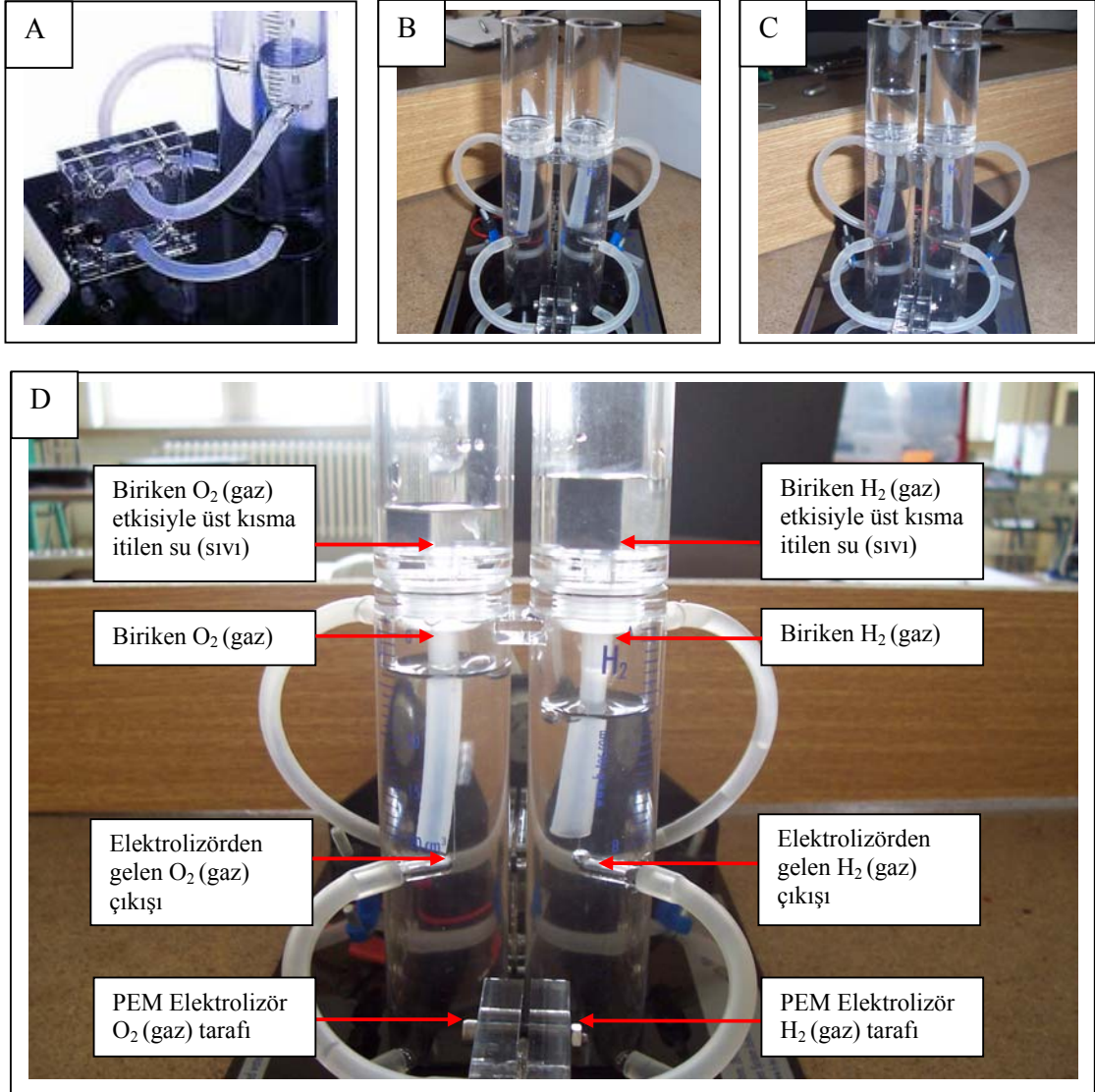


Şekil 4.12. Gürültüden Elde Edilen Elektrik İle Çalıştırılan Hidrojen Enerjisi Deney Seti Genel Görünümü

Çizelge 4.9. PEM Elektrolizör İçin Ölçüm Değerleri

V_H [cm ³]	Zaman (Saniye)	Gerilim (Volt)	Akım (Amper)	Güç (Watt)
0-5	190	1,60	0,23	0,37
5-10	200	1,60	0,21	0,34
0-15	215	1,60	0,19	0,30
15-20	215	1,60	0,19	0,30
Ortalama	205	1,60	0,205	0,33

PEM Elektrolizör vasıtasıyla üretilen hidrojen ve oksijen gazlarının tüplerde biriktirilmesi Şekil 4.13.'te gösterilmiştir.



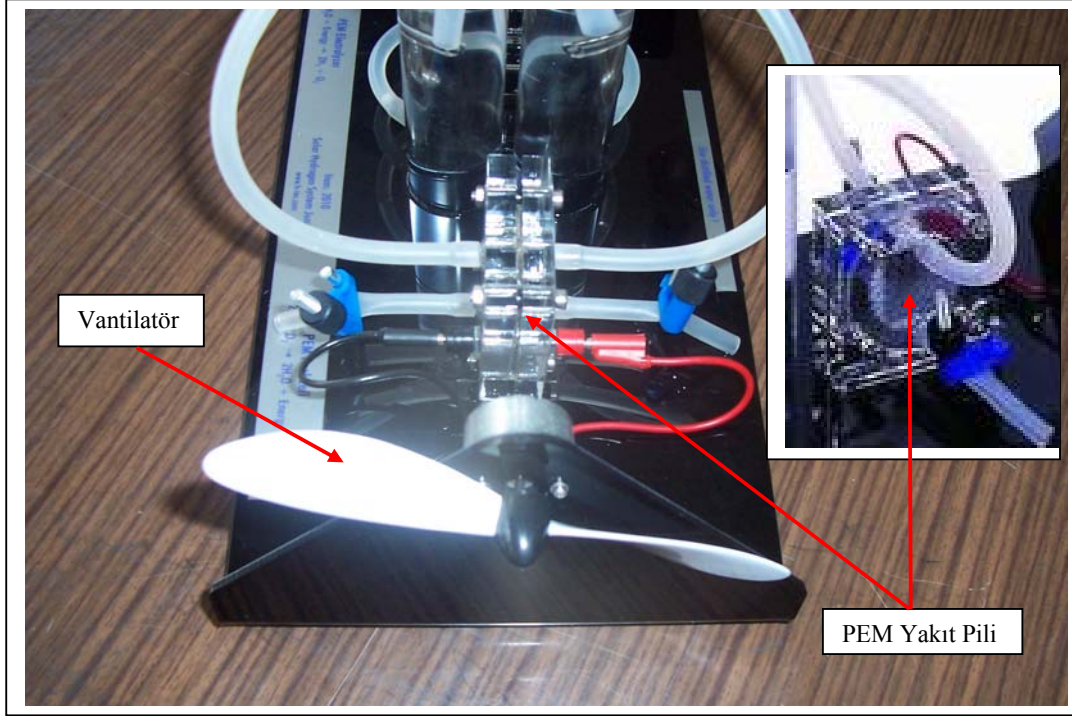
Şekil 4.13. PEM Elektrolizör Vasıtasıyla Üretilen Hidrojen ve Oksijen Gazlarının

Tüplerde Biriktirilmesi

A) Suyu Ayrıştıran PEM Elektrolizör

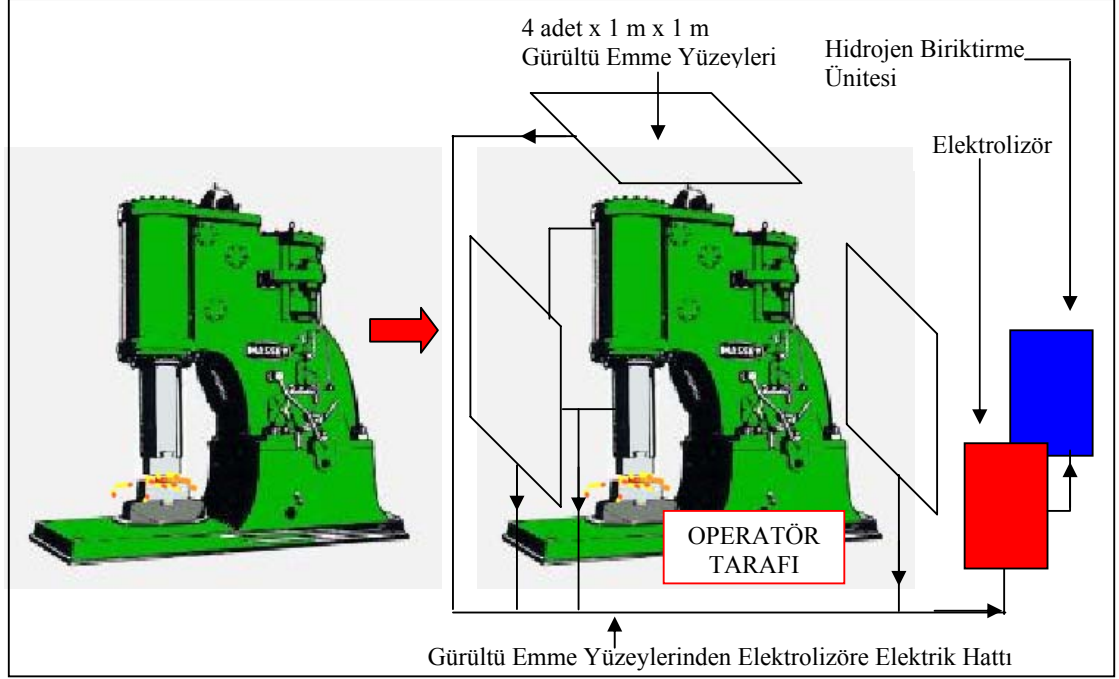
B) Elektroliz Öncesi C) Elektroliz Sonrası D) Elektroliz Esnasında

Üretilen hidrojen ve oksijen gazlarından PEM Yakıt Pili vasıtasıyla elde edilen elektrik ile deney seti içerisindeki vantilatörün çalıştırılması, Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.

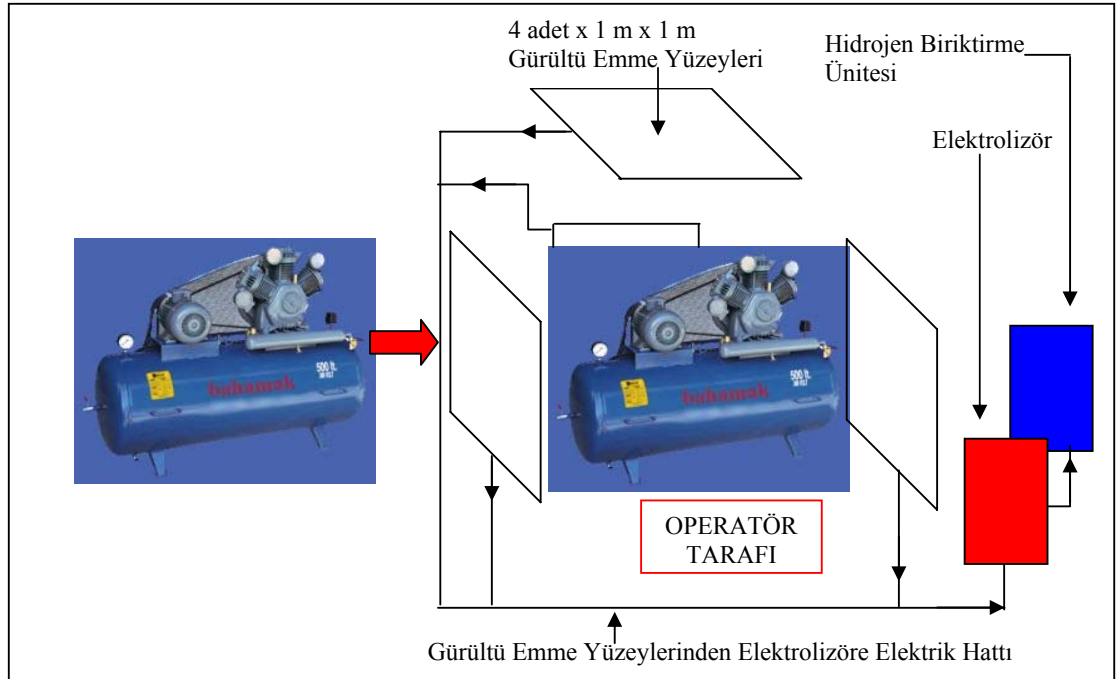


Şekil 4.14. PEM Yakıt Pili Vasıtasıyla Hidrojen ve Oksijen Gazlarından Üretilen Elektrik İle Vantilatörün Çalıştırılması

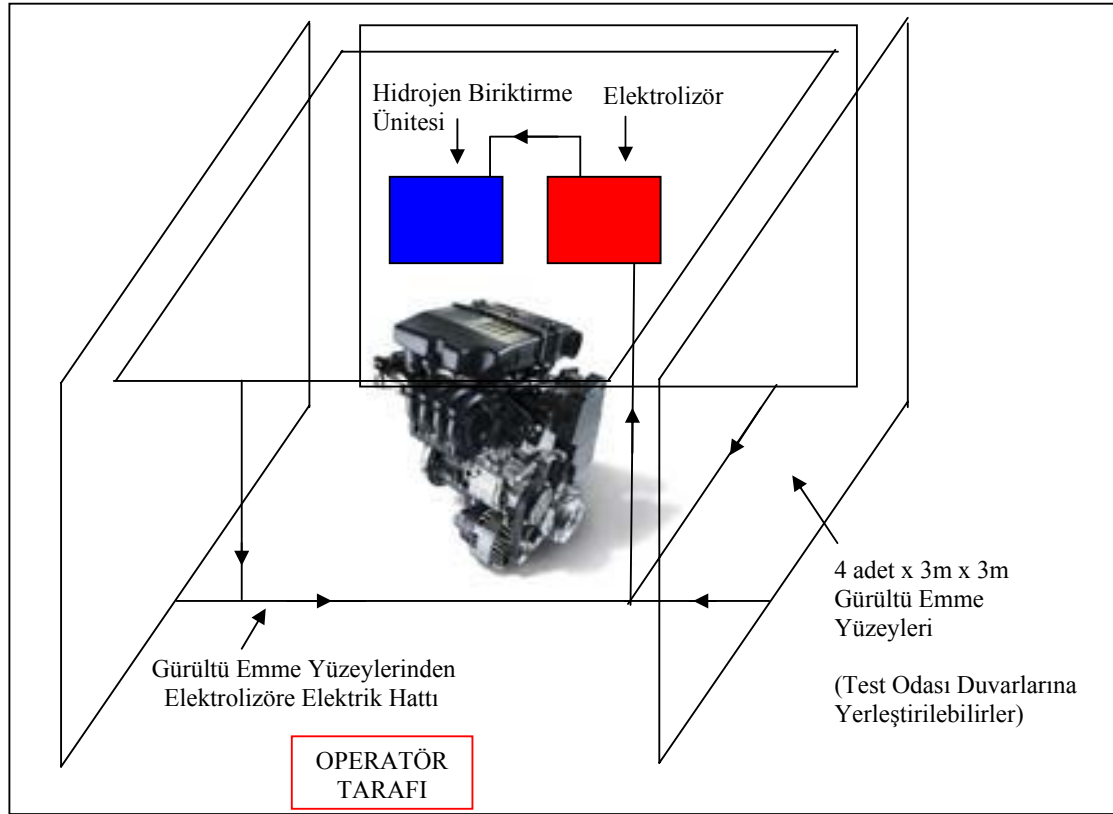
Özellikle 110 dB ve 115 dB gürültü düzeylerine sahip olabileceği düşünülen bazı muhtemel gürültülü ortamlar ve bu ortamlardaki gürültülerin hidrojen enerjisi olarak biriktirilmesi için düşünülen metotlar; Şekil 4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'te gösterilmiştir. Ayrıca, taşıt motorlarında gerçekleştirilen gürültü düzeyi ölçümleri esnasında, motorun çeşitli bölgelerine yerleştirilebilecek, küçük gürültü emme yüzeyleri toplamının en az 0,5 m² olabileceği düşünülmüştür.



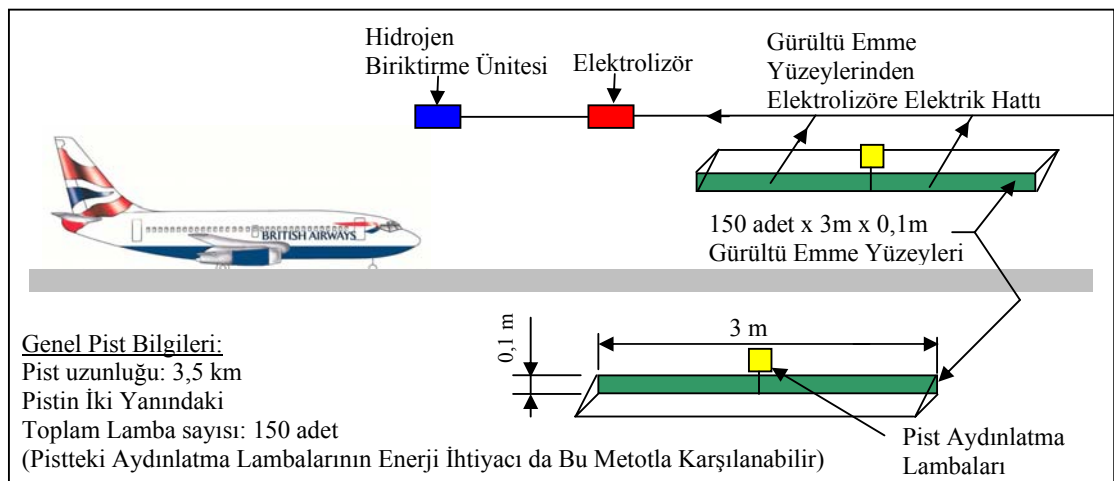
Şekil 4.15. Şahmerdan ve Pres Gürültülerinin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot



Şekil 4.16. Kompresör ve Pompa Odalarındaki Gürültülerin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot



Şekil 4.17. Çeşitli Taşıt Motorları Test Odalarındaki Gürültülerin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot



Şekil 4.18. Hava Alanlarındaki Uçak Gürültülerinin Hidrojen Enerjisi Olarak Biriktirilmesi İçin Düşünülen Metot

4.2.2. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Düşünülen Gürültü Emme Yüzeyleri ve Elektrolizörler ile Elde Edilebilecek Muhtemel Enerji Değerlerinin Hesaplanması

Önceki kısımda, en az 110 dB gürültü düzeyine sahip olabilecek, gürültünün hidrojen enerjisi şeklinde biriktirilerek değerlendirilmesine imkan tanıyacak muhtemel uygulama alanları ve bunlar için düşünülen gürültü emme yüzeyleri belirtilmişti. Bu yüzeylerden üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları, bu elektriğin elektrolizörlerde kullanılması ile elde edilebilecek hidrojen gazı hacmi ve hidrojen enerjisi miktarları ve son olarak, yakıt pili verimini %50 olarak kabul ederek, hidrojen enerjisinden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarları için bazı hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Mevcut deney düzeneğinde kullanılan elektrik üretim cihazının gürültü emme yüzeyi, $0,1 \text{ m}^2$ 'lik bir alana sahiptir.

Muhtemel uygulama alanları için düşünülmüş gürültü emme yüzeyleri ve elektrolizörler vasıtasıyla elde edilebilecek elektrik, hidrojen hacmi ve hidrojen enerjisi miktarları; bu yüzeylerin alanlarının mevcut elektrik üretim cihazının sahip olduğu $0,1 \text{ m}^2$ 'lik alana olan oranının yine mevcut elektrik üretim cihazı ve elektrolizör ile elde edilen elektrik, hidrojen hacmi ve hidrojen enerjisi miktarlarıyla çarpılarak hesaplanmıştır. Örnek vermek gerekirse;

$0,1 \text{ m}^2$ alana sahip mevcut elektrik üretim cihazının gürültü emme yüzeyi için hesaplanan elektrik enerjisi miktarı 'X', hidrojen hacmi miktarı 'Y' ve hidrojen enerjisi miktarı 'Z' ise,

1 m^2 alana sahip bir gürültü emme yüzeyi için elektrik enerjisi miktarı ' $10X$ ', hidrojen hacmi miktarı ' $10Y$ ' ve hidrojen enerjisi miktarı ' $10Z$ ' olarak, doğrudan, orantı kurulurak hesaplanmıştır.

0,1 m² alana sahip mevcut elektrik üretim cihazının gürültü emme yüzeyi için söz konusu hesaplamalar gerçekleştirilirken iki farklı metot takip edilmiştir:

- i) Hidrojen Gazı Üretim Hızı
- ii) Elektrolizörün Çektiği Elektrik Akımını Temel Alan Faraday Elektroliz Kanunu

Çizelge 4.8.'de ve Çizelge 4.9.'da elde edilen değerler beraber incelendiğinde, gürültüden elde edilen elektrik güçleri ile 110 dB gürültü düzeyinde, mevcut deney düzeneğinde kullanılan elektrolizöre özdeş, 2 adet elektrolizörün (0,67 W / 0,33 W \approx 2) ve 115 dB gürültü düzeyinde 7 adet elektrolizörün (2,44 W / 0,33 W \approx 7) çalıştırılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Diğer uygulama alanlarına temel teşkil edecek olan, 0,1 m² gürültü emme yüzeyi için, 110 dB'de 2 adet elektrolizör ve 115 dB'de 7 adet elektrolizör kullanılarak elde edilebilecek muhtemel enerji değerleri için söz konusu iki metot kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar, takip eden sayfalarda gösterilmiştir:

i) Hidrojen gazı üretim hızı metodu kullanılır ise (Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.'dan faydalanılarak),

110 dB Gürültü Düzeyinde - 0,1 m²'lik Gürültü Emme Yüzeyi İçin:

1 saatte Gürültüden Üretilebilecek Muhtemel

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{0,67 \text{ Wsaat}} \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.8.}) \\ &= \mathbf{577 \text{ cal}} \quad (1 \text{ Wsaat} = 860,421 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 adet Elektrolizörde, Gürültüden Üretilen Elektrik İle Elde Edilen

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Gazı Üretim Hızı} &= \mathbf{0,024 \text{ cm}^3/\text{s}} \\ (5 \text{ cm}^3 / 205 \text{ s} &= 0,024 \text{ cm}^3/\text{s}) \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.9.}) \end{aligned}$$

1 saatte 2 adet Elektrolizör Kullanılarak

$$\begin{aligned} \text{Muhtemel Üretilbilir Hidrojen Gazı Hacmi} &= \mathbf{173 \text{ cm}^3} \\ (3600 \text{ s} * 0,024 \text{ cm}^3/\text{s} * 2 \text{ elektrolizör} &= 173 \text{ cm}^3) \end{aligned}$$

1 saatte Muhtemel Üretilbilir

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{443 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{0,51 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Hacimsel Hidrojen Alt Isıl Değeri} &= 2,563 \text{ cal/cm}^3, \\ 173 \text{ cm}^3 * 2,563 \text{ cal/cm}^3 &= 443 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 saatte Hidrojen Enerjisinden Üretilebilecek

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{222 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{0,26 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Yakıt Pili Verimi } \%50 \text{ Kabul Edilerek, } &443 \text{ cal} * \%50 = 222 \text{ cal}) \end{aligned}$$

115 dB Gürültü Düzeyinde - 0,1 m²'lik Gürültü Emme Yüzeyi İçin:

1 saatte Gürültüden Üretilebilecek Muhtemel

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{2,44 \text{ Wsaat}} \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.8.}) \\ &= \mathbf{2.099 \text{ cal}} \quad (1 \text{ Wsaat} = 860,421 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 adet Elektrolizörde, Gürültüden Üretilen Elektrik İle Elde Edilen

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Gazı Üretim Hızı} &= \mathbf{0,024 \text{ cm}^3/\text{s}} \\ (5 \text{ cm}^3 / 205 \text{ s} &= 0,024 \text{ cm}^3/\text{s}) \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.9.}) \end{aligned}$$

1 saatte 7 adet Elektrolizör Kullanılarak

$$\begin{aligned} \text{Muhtemel Üretilbilir Hidrojen Gazı Hacmi} &= \mathbf{605 \text{ cm}^3} \\ (3600 \text{ s} * 0,024 \text{ cm}^3/\text{s} * 7 \text{ elektrolizör} &= 605 \text{ cm}^3) \end{aligned}$$

1 saatte Muhtemel Üretilbilir

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{1.551 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{1,80 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Hacimsel Hidrojen Alt Isıl Değeri} &= 2,563 \text{ cal/cm}^3, \\ 605 \text{ cm}^3 * 2,563 \text{ cal/cm}^3 &= 1.551 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 saatte Hidrojen Enerjisinden Üretilebilecek

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{776 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{0,90 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Yakıt Pili Verimi \%50 Kabul Edilerek, } &1.551 \text{ cal} * \%50 = 776 \text{ cal}) \end{aligned}$$

0,1 m²'lik gürültü emme yüzeyinden elde edilebilecek muhtemel enerji değerleri, hidrojen gazı üretim hızı temel alınarak yukarıda açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Bu değerlerden orantı kurularak, diğer düşünülen gürültü emme yüzeyleri için de muhtemel enerji değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.10.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Muhtemel Enerji Değerleri
(Hidrojen Gazı Üretim Hızı Temel Alınarak)

Muhtemel Uygulama Alanları	Gürültü Düzeyleri	Gürültü Emme Yüzeyleri	Gürültüden Üretililecek Elektrik Enerjisi Miktarları	Üretililecek Hidrojen Hacmi Miktarları (Saatte)	Üretililecek Hidrojen Enerjisi Miktarları (Hidrojen Alt Isıl Değeri Kullanılarak)	Üretililecek Elektrik Enerjisi Miktarları (Yakıt Pili Verimi %50 Kabul Edilerek)
Mevcut Deney Düzeneğindeki Elektrik Üretim Cihazı (Diğer Uygulamalar İçin Referans)	110 dB	0,1 m ²	0,67 Wsaat = 577 cal	173 cm ³	443 cal = 0,51 Wsaat	222 cal = 0,26 Wsaat
	115 dB	0,1 m ²	2,44 Wsaat = 2.099 cal	605 cm ³	1.551 cal = 1,80 Wsaat	776 cal = 0,90 Wsaat
Taşıt Motorları	110 dB	0,5 m ²	3,35 Wsaat = 2.882 cal	865 cm ³	2.215 cal = 2,57 Wsaat	1.108 cal = 1,29 Wsaat
	115 dB	0,5 m ²	12,20 Wsaat = 10.497 cal	3.025 cm ³	7.755 cal = 9,01 Wsaat	3.878 cal = 4,51 Wsaat
Şahmerdan ve Presler	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.920cm ³	17.720 cal =20,59 Wsaat	8.860 cal = 10,30 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.200 cm ³	62.040 cal =72,10 Wsaat	31.020 cal =36,05 Wsaat
Özel Makine ve Tezgahlar (Daire Testereleler, Çivileme, Çapak Alma, Perçinleme Makineleri, vb.)	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.920 cm ³	17.720 cal =20,59 Wsaat	8.860 cal = 10,30 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.200 cm ³	62.040 cal =72,10 Wsaat	31.020 cal =36,05 Wsaat
Kompresör ve Pompalar	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.920cm ³	17.720 cal =20,59 Wsaat	8.860 cal = 10,30 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.200 cm ³	62.040 cal =72,10 Wsaat	31.020 cal =36,05 Wsaat
Motor Test Odaları	110 dB	4x3mx3m = 36 m ²	241,20 Wsaat =207.720 cal	62.280 cm ³	159.480 cal =185,35 Wsaat	79.740 cal =92,68 Wsaat
	115 dB	4x3mx3m = 36 m ²	878,40 Wsaat =755.640 cal	217.800 cm ³	558.360 cal =648,94 Wsaat	279.180 cal =324,47 Wsaat
Hava Alanları (Pist Kenarları, vb.)	110 dB	150x3mx0,1m = 45 m ²	301,50 Wsaat =259.417 cal	77.850 cm ³	199.350 cal =231,69 Wsaat	99.675 cal =115,84 Wsaat
	115 dB	150x3mx0,1m = 45 m ²	1.098,00 Wsaat =944.742 cal	272.250 cm ³	697.950 cal =811,17 Wsaat	348.975 cal =405,59 Wsaat

ii) Elektrolizörün çektiği elektrik akımını temel alan Faraday Elektroliz Kanunu kullanılır ise (Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.'dan faydalanılarak),

Faraday'ın Elektroliz Kanunu'na göre, suyun elektrolizi reaksiyonunda, devreden geçen 96.485 Coulomb'luk elektrik yükünün , diğer bir ifade ile 1 saniyede geçen 96.485 Amper'lik elektrik akımının 11.200 cm³ hidrojen gazı açığa çıkarması beklenir (Plambeck, 1997). Çizelge 4.9.'da gösterilen, elektrolizde elde edilen ortalama elektrik akımı değeri 0,205 Amper'dir. Bu değer ile, 1 saatte 86 cm³ hidrojen gazı elde edilmesi beklenir.

$$(0,205 \text{ A} / 96.485 \text{ A} * 3600 \text{ s} * 11.200 \text{ cm}^3 = 86 \text{ cm}^3)$$

110 dB Gürültü Düzeyinde - 0,1 m²'lik Gürültü Emme Yüzeyi İçin:

1 saatte Gürültüden Üretilebilecek Muhtemel

Elektrik Enerjisi Miktarı = **0,67 Wsaat** (Bkz. Çizelge 4.8.)

$$= \mathbf{577 \text{ cal}} \quad (1 \text{ Wsaat} = 860,421 \text{ cal})$$

1 saatte 2 adet Elektrolizörde, Gürültüden Üretilen Elektrik İle Elde Edilmesi Beklenen

Hidrojen Gazı Hacmi = **172 cm³** (Bkz. Çizelge 4.9.)

$$(86 \text{ cm}^3 * 2 \text{ elektrolizör} = 172 \text{ cm}^3)$$

1 saatte Muhtemel Üretilabilir

Hidrojen Enerjisi Miktarı = **441 cal**

$$= \mathbf{0,51 \text{ Wsaat}}$$

(Hacimsel Hidrojen Alt Isıl Değeri = 2,563 cal/cm³ ,

$$172 \text{ cm}^3 * 2,563 \text{ cal/cm}^3 = 441 \text{ cal})$$

1 saatte Hidrojen Enerjisinden Üretilebilecek

Elektrik Enerjisi Miktarı = **221 cal**

$$= \mathbf{0,26 \text{ Wsaat}}$$

(Yakıt Pili Verimi %50 Kabul Edilerek, 441 cal * %50 = 221 cal)

115 dB Gürültü Düzeyinde - 0,1 m²'lik Gürültü Emme Yüzeyi İçin:

1 saatte Gürültüden Üretilebilecek Muhtemel

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{2,44 \text{ Wsaat}} \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.8.}) \\ &= \mathbf{2.099 \text{ cal}} \quad (1 \text{ Wsaat} = 860,421 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 saatte 7 adet Elektrolizörde, Gürültüden Üretilen Elektrik İle Elde Edilmesi Beklenen

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Gazı Hacmi} &= \mathbf{602 \text{ cm}^3} \quad (\text{Bkz. Çizelge 4.9.}) \\ (86 \text{ cm}^3 * 7 \text{ elektrolizör} &= 602 \text{ cm}^3) \end{aligned}$$

1 saatte Muhtemel Üretilabilir

$$\begin{aligned} \text{Hidrojen Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{1.543 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{1,79 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Hacimsel Hidrojen Alt Isıl Değeri} &= 2,563 \text{ cal/cm}^3, \\ 602 \text{ cm}^3 * 2,563 \text{ cal/cm}^3 &= 1.543 \text{ cal}) \end{aligned}$$

1 saatte Hidrojen Enerjisinden Üretilebilecek

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Enerjisi Miktarı} &= \mathbf{772 \text{ cal}} \\ &= \mathbf{0,90 \text{ Wsaat}} \\ (\text{Yakıt Pili Verimi \%50 Kabul Edilerek,} & 1.543 \text{ cal} * \%50 = 772 \text{ cal}) \end{aligned}$$

0,1 m²'lik gürültü emme yüzeyinden elde edilebilecek muhtemel enerji değerleri, elektrolizörün çektiği elektrik akımını temel alan Faraday Elektroliz Kanunu kullanılarak yukarıda açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Bu değerlerden orantı kurularak, diğer düşünülen gürültü emme yüzeyleri için de muhtemel enerji değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Muhtemel Uygulama Alanları İçin Muhtemel Enerji Değerleri

(Elektrolizörün Çektiği Elektrik Akımını Temel Alan Faraday Elektroliz Kanunu Kullanılarak)

Muhtemel Uygulama Alanları	Gürültü Düzeyleri	Gürültü Emme Yüzeyleri	Gürültüden Üretilebilecek Elektrik Enerjisi Miktarları	Üretilebilecek Hidrojen Hacmi Miktarları (Saatte)	Üretilebilecek Hidrojen Enerjisi Miktarları (Hidrojen Alt Isıl Değeri Kullanılarak)	Üretilebilecek Elektrik Enerjisi Miktarları (Yakıt Pili Verimi %50 Kabul Edilerek)
Mevcut Denei Düzenindeki Elektrik Üretim Cihazı (Diğer Uygulamalar İçin Referans)	110 dB	0,1 m ²	0,67 Wsaat = 577 cal	172 cm ³	441 cal = 0,51 Wsaat	221 cal = 0,26 Wsaat
	115 dB	0,1 m ²	2,44 Wsaat = 2.099 cal	602 cm ³	1.543 cal = 1,79 Wsaat	772 cal = 0,90 Wsaat
Taşıt Motorları	110 dB	0,5 m ²	3,35 Wsaat = 2.882 cal	860 cm ³	2.205 cal = 2,56 Wsaat	1.105 cal = 1,28 Wsaat
	115 dB	0,5 m ²	12,20 Wsaat = 10.497 cal	3.010 cm ³	7.715 cal = 8,97 Wsaat	3.858 cal = 4,48 Wsaat
Şahmerdan ve Presler	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.880 cm ³	17.640 cal =20,50 Wsaat	8.820 cal = 10,25 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.080 cm ³	61.720 cal =71,73 Wsaat	30.860 cal =35,87 Wsaat
Özel Makine ve Tezgahlar (Daire Testere, Çivileme, Çapak Alma, Perçinleme Makineleri, vb.)	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.880 cm ³	17.640 cal =20,50 Wsaat	8.820 cal = 10,25 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.080 cm ³	61.720 cal =71,73 Wsaat	30.860 cal =35,87 Wsaat
Kompresör ve Pompalar	110 dB	4x1mx1m = 4 m ²	26,80 Wsaat = 23.080 cal	6.880 cm ³	17.640 cal =20,50 Wsaat	8.820 cal = 10,25 Wsaat
	115 dB	4x1mx1m = 4 m ²	97,60 Wsaat = 83.960 cal	24.080 cm ³	61.720 cal =71,73 Wsaat	30.860 cal =35,87 Wsaat
Motor Test Odaları	110 dB	4x3mx3m = 36 m ²	241,20 Wsaat =207.720 cal	61.920 cm ³	158.760 cal =184,51 Wsaat	79.380 cal =92,26 Wsaat
	115 dB	4x3mx3m = 36 m ²	878,40 Wsaat =755.640 cal	216.720 cm ³	555.480 cal =645,59 Wsaat	277.740 cal =322,80 Wsaat
Hava Alanları (Pist Kenarları, vb.)	110 dB	150x3mx0,1m = 45 m ²	301,50 Wsaat =259.417 cal	77.400 cm ³	198.450 cal =230,64 Wsaat	99.225 cal =115,32 Wsaat
	115 dB	150x3mx0,1m = 45 m ²	1.098,00 Wsaat =944.742 cal	270.900 cm ³	694.350 cal =806,99 Wsaat	347.175 cal =403,49 Wsaat

Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11.'deki değerler karşılaştırıldığında, hidrojen gazı üretim hızını temel alan metot ile elektrolizörün çektiği elektrik akımını temel alan metodun, birbirine çok yakın sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. İki metot için de, kullanılan elektrolizörün verimi, yaklaşık %76 ($0,51 \text{ Wsaat} / 0,67 \text{ Wsaat} = 0,76$) olarak ortaya çıkmıştır.

Teorik verim olan %100'den, %24'lük bir sapma olmuştur. Bu sapmanın sebepleri olarak; ölçüm hatalarını, elektrolizörün kendi iç direncini, hidrojen gazının yanı sıra açığa çıkan su buharı miktarını ve elektrolizör içerisinde gerçekleşen difüzyon kayıplarını sıralayabiliriz. Elektrolizördeki zardan açığa çıkan hidrojenin bir kısmı ters tepkimeye girerek tekrar su oluşumuna neden olabilmektedir ve bu durum difüzyon kayıpları olarak adlandırılmaktadır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması içerisinde, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin hidrojen enerjisine dönüştürülerek biriktirilmesi ve değerlendirilmesi için, başlangıç düzeyinde deney ve ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde, fosil temelli enerji kaynaklarının birçok olumsuzluklara sahip olması ve hızla tükenmesi nedeniyle, güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar artmaktadır. Bu akıp giden kaynaklardan elde edilen enerjiler doğrudan tüketilebilmektedir. Artık, çalışmalar, bu enerjilerin hidrojen enerjisi şeklinde depolanması ve istenilen zaman ve yerde kullanılması üzerinde odaklanmıştır.

Yenilenebilir enerjilere benzer şekilde, gürültünün de hidrojen üretiminde kullanılması düşünülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, gürültüden elde edilebilecek hidrojen enerjisi miktarı daha azdır. Ancak, faydalanılmayan bir enerjinin hidrojen enerjisine dönüştürülerek değerlendirilmesi önemli bir tasarruf imkanı sağlayacaktır. Bu sebeple, ilk önce, çalışmamızın özünü oluşturan gürültü ve ses enerjisi ile ilgili terminoloji üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur.

Daha sonra, deney ve ölçüm aşamalarına geçilmiştir. İlk aşamada, bir gürültü kaynağı ile yapay gürültüler oluşturulmuştur. Bu gürültüler, gürültü kaynağından belli uzaklıklarda yerleştirilen bir elektrik üretim cihazı vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmiştir. Elde edilen elektrik ile bir ampul takımının yakılması sağlanmıştır. Böylece, gürültü ile kaybedilmekte olan enerjinin başka enerji türlerine çevrilebileceği ve değerlendirilebileceği, laboratuvar ortamında ortaya konmuştur. Ayrıca, gürültü kaynağı ve elektrik üretim cihazı arasındaki değişen mesafelerde ve farklı gürültü düzeylerinde üretilen, gerilim ve akım değerlerinin ölçümleri yapılmıştır.

Deneylerin ikinci aşamasına geçmeden önce, hidrojen enerjisi; kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Bunu takiben, gürültüden elde edilen elektrik enerjisi ile hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, önceki aşamada kullanılan ampul takımının yerine bir elektrolizör bağlanmış ve bu sayede, sudan hidrojen gazı üretilmiştir. Daha sonra, bu hidrojen gazı bir yakıt pilinde kullanılarak, küçük bir vantilatörün çalışması sağlanmıştır. Böylece, gürültü ile akıp giden enerjinin, hidrojen enerjisine çevrilebileceği, laboratuvar şartlarında ortaya konmuştur. Suyun elektrolizi için gerekli olan gerilim ve akım eşik değerleri ve mevcut deney elemanları dikkate alındığında, hidrojen üretiminin gerçekleştirilebilmesi için gürültü düzeyinin en az 110 dB olması zorunluluğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, 110 dB ve 115 dB gürültü düzeylerinde, elektrolizörün çektiği gerilim ve akım değerleri ile üretilen hidrojen miktarları ölçülmüştür.

Gürültüden hidrojen enerjisi üretilmesi için yeterli gürültü düzeyine sahip olan muhtemel uygulama alanlarını tespit etmek amacıyla, çeşitli ortamlarda gürültü düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. En az 110 dB gürültü düzeyine sahip olan muhtemel uygulama alanları olarak; motorlar, şahmerdan ve presler, bazı özel tezgah ve makineler, kompresör ve pompalar, motor test odaları ve hava alanları tespit edilmiştir. Bu muhtemel uygulama alanları için, mevcut deney düzeneğinde kullanılan elektrik üretim cihazı temel alınarak gürültü emme yüzeyleri düşünülmüştür. Bu yüzeylerden elde edilebilecek elektrik enerjisi ve mevcut deney düzeneğinde kullanılan elektrolizör temel alınarak, üretilebilecek hidrojen enerjisi miktarlarının belirlenmesi için, başlangıç düzeyinde çalışmalar yapılmıştır.

Laboratuvar şartlarında üretilen gürültü ile gerçekleştirilen bu çalışmaların, gerçek hayatta fiili olarak uygulanabilmesi için ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekir. Bu çalışmadan sonra, çeşitli gürültülerin ses özelliklerinin araştırılması sürdürülmeli ve gürültüden hidrojen enerjisi üretecek cihazlar tasarlanmalıdır. Daha sonra, hidrojenin biriktirilmesi ile, gürültü kaynağının yakınında veya uzağında ve istenilen zamanda enerji tüketimini kolaylaştıran sistemlerin kurulması amaçlanmalıdır.

Son olarak, işaret etmeliyiz ki; çevremizde birçok şekilde akıp giden enerji türleri önemsenmeli ve bunları yeniden insanlık yararına sunabilecek araştırmalar sürdürülmelidir.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Avşar, Y., Arslankaya, E., Gönüllü, M.T., Barbaros Bulvarı Gürültü Düzeyi Tespit Çalışması, 1999, P. 4.
- Barbir, F., Hydrogen Economy: Real Possibility or Utopia, Conference Notes at Farmingdale State University of New York, 2004, P. 7.
- Barbir, F., Safety Issues of Hydrogen In Vehicles, 2003, P. 1.
- Baykara, S., Sudan Hidrojen Üretimi ve Enerji Sektöründe Hidrojen, I. Ulusal Hidrojen Kongresi, www.hidrojenforumu.com, 2002.
- Bossel, U., Eliasson, B, Energy and the Hydrogen Economy, 2003, P. 5.
- CCOHS, Canadian Centre for Occupational Health & Safety Resource, Noise - Basic Information, www.ccohs.ca, 1999.
- Çokgezer S., Fathalizadeh, A., Gedik, G., Ocak, I., Canan, S., Ses Dalgalarının Özellikleri ve Sesin Algılanması, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi VII. Öğrenci Sempozyumu, 2005.
- Dayton, D. C., Fuel Cell Integration - A Study of the Impacts of Gas Quality and Impurities, Milestone Completion Report, National Renewable Energy Laboratory, 2001, P. 6.
- Doğuş Medikal, İşitme Nasıl Gerçekleşir, www.dogusmedikal.com.tr, 2000.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrojen Enerjisi, www.eie.gov.tr, 2006.
- Farley, T., Telephone History Series, 2001, P. 13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Final Environmental Impact Statement, Hudson River Waterfront Transportation Corridor, www.lsga.com, 1996.

Future Publishing, Computer Music, Analogue Synthesis For Beginners, www.computermusic.co.uk, 2006.

Goltsov, V. A., Veziroğlu, T.N., From Hydrogen to Hydrogen Civilization, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.26, 2001, P. 909-915.

Hidrener Hidrojentürk, Sayı:1, 2002, P. 1-4.

Hidrener Hidrojentürk, Sayı:2, 2003, P. 1-4.

H-tec Hydrogen Energy Systems, JuniorBasic Item 2010 Operating Instructions , 2005, P. 8-13.

H-tec Hydrogen Energy Systems, JuniorBasic Item 2010 Experiments , 2005, P. 9-30.

H-tec Hydrogen Energy Systems, H-tec Education, www.h-tec.com, 2005.

Ikeda, S., Ozono, J., Kimura, T., Prospects for Toshiba Fuel Cell Business, Toshiba Documents Corporation, 2006.

Kanarev, M., Low Current Analysis of Water, The Foundation of Physchemistry of Microworld, 2003.

Kruse, B., Grinna, S., Buch, C., Hydrogen-Status and Possibilities, Bellona Report 6, Bellona Foundation, 2002, P. 20-28.

Leighty, B., Electrolysis Production of Hydrogen from Wind and Hydropower, The Leighty Foundation, 2003, P. 59.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Momirlan, M., Veziroğlu, T. N., Current Status of Hydrogen Energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, 2002, P. 141-149.

Nave, C.R., HyperPhysics, Sound Propagation/Hearing, Sound and Hearing, www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, 2005.

National Renewable Energy Laboratory, Technology Brief: Analysis of Current-Day Commercial Electrolyzers, Report No: NREL/FS-560-36705, 2004, P. 1-2.

New York State Energy Research and Development Authority, History of Hydrogen, 2005, P. 1.

Öztürk, A., Mobil Telekomünikasyon Lisans Rejimi: Dünya Örnekleri ve Türkiye Analizi, 2002, P. 8-9.

Peavey, M. A., Fuel From Water: Energy Independence With Hydrogen, 10th Edition, Merit Products, Inc., 2002, P. 10.

Plambeck, J. A., Faraday's Law of Electrolysis, Moles and Coulombs, www.ualberta.ca/jplambeck/che/p102/p02082.htm, 1997.

Rane Corporation, Pro Audio Reference, Noise Color, www.rane.com, 2006.

Smith, A.F.G., Newborough, M., Low-Cost Polymer Electrolysers And Electrolyser Implementation Scenarios For Carbon Abatement, Report To The Carbon Trust And ITM-Power PLC, Heriot-Watt University, Edinburgh, 2004, P. 1-40.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

The SafetyLine Institute, Basic Acoustics/Analysis of Sound Waves, Noise Assessment and Control, www.safetyline.wa.gov.au, 1998.

Tso, C., Chang, S., A Viable Niche Market - Fuel Cell Scooters in Taiwan, 2002, P. 1-6.

UNIDO-ICHET, Message From The Director / Transition To The Hydrogen Economy, www.unido-ichet.org, 2004.

U.S. Department of Energy, Hydrogen Topics, www.eere.energy.gov, 2006.

U. S. Department of Energy, Nuclear Energy Initiative, Office of Nuclear Energy, Science and Technology, 2003, P. 1-2.

Ün, Ü.T., Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu, Mühendis ve Makine, Sayı: 525, 2003

Viswanath, R. P., Breakthrough in Electrolysis of Water, Science & Technology, 2004.

Wikipedia The Free Encyclopedia, Colors of Noise, en.wikipedia.org, 2006.

Yeni Rehber Ansiklopedisi, Cilt No:19, 1994, P. 21.