



Received / Makale Geliş Tarihi 10.11.2024
Published / Yayınlanma Tarihi 31.12.2024
Volume (Issue) Cilt (Sayı) 8 (49)
pp / ss 1780-1788

Research Article / Araştırma Makalesi
10.5281/zenodo.14616559
Mail: editor@pejoss.com

Zeynel Abidin Aksoy

<https://orcid.org/0009-0000-1854-2869>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Mehmet Tezeren

<https://orcid.org/0000-0002-7180-5397>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Gülfizar Parmaksız

<https://orcid.org/0009-0001-2095-9759>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Mehmet Turan Konca

<https://orcid.org/0009-0009-8761-7241>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

İnci Taşkın

<https://orcid.org/0009-0008-9520-4589>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Sinan Gökçeoğlu

<https://orcid.org/0009-0007-5712-6279>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Deniz Suyu, Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfat Tuz Çözeltilerinin Elektroliz Yöntemiyle Hidrojen Gazı Üretim Performanslarının İncelenmesi

Investigation Of Hydrogen Gas Production Performances Of Sea Water, Sodium Sulfate And Magnesium Sulfate Salt Solutions By Electrolysis Method

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, çevreyi kirleten fosil yakıtların yerine daha çevreci ve geleceğin enerji taşıyıcısı olarak düşünülen hidrojen hakkında farkındalık oluşturmak ve bu doğrultuda, filtrelenmemiş ve filtrelenmiş deniz suları ile sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuz çözeltilerinin elektroliz yöntemiyle hidrojen üretim performanslarını inceleyerek hidrojen üretimi için öneriler geliştirmektir. Çalışmada, geleceğin enerji kaynağı olarak öne çıkan hidrojenin, elektroliz yöntemi ile üretimi deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kurulan elektroliz deney düzeneklerinde deniz suyu, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinin hidrojen üretim performansları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Araştırma sonucunda, filtrelenmemiş deniz suyundan, diğer çözeltilere göre daha yüksek miktarda hidrojen üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu bulgudan hareketle, deniz yüzeyinde kurulacak platformlar üzerine yerleştirilecek sistemlerle deniz suyundan elektroliz yoluyla hidrojen üretiminin gerçekleştirilebileceği ve bu üretim için gerekli olan elektrik enerjisinin de deniz dalgalarından, fotovoltaiik panellerden ve rüzgar türbinlerinden sağlanabileceği önerilmektedir.

Günümüzde hidrojenin yoğun bir şekilde kullanılmaması ve depolama sorunları yaşanmasına rağmen, çevre dostu bir enerji kaynağı olması nedeniyle üzerinde yapılan araştırmaların, üretim metotlarının, depolama ve taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygın kullanımının sağlanması, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Bu çalışma, hidrojenin geleceğin enerji taşıyıcısı olarak potansiyelini ortaya koymakta ve bu konuda farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, hidrojen, elektroliz, deniz suyu.

ABSTRACT

The aim of this study is to raise awareness about hydrogen as an eco-friendly energy carrier considered as an alternative to environmentally harmful fossil fuels and to develop recommendations for hydrogen production by examining the performance of unfiltered and filtered seawater as well as sodium sulfate and magnesium sulfate salt solutions in hydrogen production through the electrolysis method. In this study, hydrogen, which stands out as a future energy source, was experimentally produced using the electrolysis method. For this purpose, the hydrogen production performance of seawater, sodium sulfate, and magnesium sulfate solutions was thoroughly examined in the established electrolysis setups. The results of the research revealed that higher amounts of hydrogen could be produced from unfiltered seawater compared to the other solutions. Based on this finding, it is proposed that hydrogen production from seawater via electrolysis can be achieved using systems placed on platforms established on the sea surface. Furthermore, the required electrical energy for these systems could be generated from wave energy, photovoltaic panels, and wind turbines.

Although hydrogen is not widely utilized today and storage challenges persist, it is undeniable that its eco-friendly nature warrants further research to develop production methods, storage, and transportation systems, ensuring its widespread adoption. This study highlights the potential of hydrogen as an energy carrier for the future and aims to raise awareness of its significance.

Keywords: Energy, hydrogen, electrolysis, sea water.

1. GİRİŞ

Enerji üretimi ve kullanımı, ülkelerin gelişmişlik düzeyini ve toplumsal refahını belirleyen önemli göstergelerdendir. Tarih boyunca insanoğlu, çeşitli dönemlerde farklı enerji kaynaklarına yönelmiştir. Ancak, günümüzde fosil yakıtların yoğun kullanımı sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlar, daha temiz ve sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasını ve kullanımını zorunlu kılmıştır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve daha yaşanabilir bir dünya oluşturulması, günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, yanma sonucu sadece su oluşturan hidrojen, çevreci özellikleri nedeniyle gelecekte enerji ihtiyacını karşılayabilecek en güçlü adaylardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretim yöntemlerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.

Alternatif enerji kaynakları arasında hidrojen, geleceğin yakıtı olarak dikkat çekmektedir. Artan dünya nüfusu ve enerji talebi göz önüne alındığında, çevreye zarar vermeden enerji sağlama potansiyeli olan hidrojen enerji sistemi, bilim çevrelerince en ileri teknoloji olarak kabul edilmektedir. Hidrojen, doğada serbest halde bulunmamakta ve birincil enerji kaynakları kullanılarak elde edildiğinden, daha çok bir enerji taşıyıcısı olarak bilinmektedir (Döner, 2008). Fosil yakıtların tükenme riski ve çevresel zararları dikkate alındığında, güneş enerjisi kullanarak hidrojen üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve verimli bir şekilde kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Güneş-hidrojen enerji sistemi başarıldığında, insanlık uzun bir süre enerji sıkıntısı çekmeyecektir. Hidrojen, kolayca ve güvenli bir şekilde taşınabilmekte; ulaşım araçlarında, sanayide, ısınmada ve birçok alanda kullanılabilir. En hafif element olan hidrojen, kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahiptir. Sıvı hidrojenin birim kütle başına düşen ısı değeri 141,9 MJ/kg olup, petrolden 3,2 kat daha fazladır (Solmaz, 2009).

Hidrojen üretimi için en basit yöntem, suyun elektrolizidir. Bu işlemde, elektrolit içindeki su, katottan hidrojen ve anottan oksijene ayrışır. Faraday yasalarına göre, her bir amper-saatte 0,037 gram H₂ gazı ve 0,298 gram O₂ gazı açığa çıkar. Normal basınç ve sıcaklık koşullarında suyun elektrolizi için 1,23 volt yeterliyken, gerçek koşullarda sistem bileşenlerindeki enerji kayıpları nedeniyle daha büyük potansiyeller uygulanması gerekmektedir (Abdel-Aal vd., 2010; Karcı, 2010; Badea vd., 2007).

Gelişen teknolojiyle birlikte, elektroliz sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre uygulamalar, hidrojen üretiminde umut verici bir çözüm sunmaktadır. Fotovoltaik sistemler aracılığıyla elde edilen elektrikle suyun elektrolizi sonucunda hidrojen üretimi, düşük karbon ayak izi ve yenilenebilir enerji ile entegre edilebilirliği sayesinde büyük bir potansiyele sahiptir (Balat ve Kırtay, 2010). Hidrojenin enerji sektöründe yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için üretim yöntemlerinin yanı sıra depolama ve taşıma teknolojilerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Hidrojenin yüksek enerji yoğunluğu (141,9 MJ/kg) ve fosil yakıtlara kıyasla daha çevreci olması, ulaşım, sanayi ve konut ısıtma gibi birçok sektörde kullanımını mümkün kılmaktadır (Dincer ve Acar, 2015). Ancak, sıvı hidrojenin düşük sıcaklıklarda depolama gerekliliği ve hidrojen boru hatlarının kurulumu gibi teknik zorluklar, bu alanlarda yenilikçi çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Hidrojen enerjisi, küresel enerji dönüşümünün önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Hidrojen üretiminde güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, sürdürülebilir enerji sistemleri için temel bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle, hidrojen üretim yöntemlerinin ve ilgili teknolojilerin geliştirilmesi, insanlığın gelecekteki enerji ihtiyaçlarını çevresel sürdürülebilirlik ile karşılaması açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, filtrelenmemiş ve filtrelenerek arıtılmış deniz suları ile sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuz çözeltilerinin elektroliz yöntemiyle hidrojen üretim verimliliklerinin incelenmesi ve hidrojen üretimi için stratejik önerilerin geliştirilmesidir. Ayrıca, bu çalışma, fosil yakıtların çevresel etkilerini azaltarak daha sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak hidrojenin potansiyelini vurgulamayı ve hidrojenin gelecekteki enerji taşıyıcıları arasındaki rolü hakkında farkındalık yaratmayı hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

DeneySEL çalışmada, 50 ml hacmindeki iki adet büret, beher kap, kağıt filtre, cam huni, kronometre, SF-400 marka, 1 g hassasiyetine sahip dijital terazi, 2 cm² yüzey alanına sahip iki adet çelik elektrot, UNI-T marka, 30 volt ve 5 amper ayarlanabilir DC güç kaynağı ve bağlantı kabloları kullanılmıştır. Filtrelenmemiş ve filtrelenerek arıtılmış deniz suları ile 0,3 M konsantrasyonunda sodyum sülfat ve

magnezyum sülfat tuz çözeltilerinden birer litre hazırlanmış ve her bir elektrolit çözeltisi için ölçümler, her 10 dakikada bir kaydedilmiştir. Deney, oda sıcaklığında (25°C) toplam bir saat süresince gerçekleştirilmiştir.

Sodyum Sülfat Çözeltisi Hazırlama:

Kimyasal formül: Na₂SO₄

Mol kütlesi hesaplaması:

Na: 22,99 g/mol

S: 32,07 g/mol

O: 16,00 g/mol

$(22,99 \times 2) + 32,07 + (16,00 \times 4) = 142,05 \text{ g/mol}$

Bir litrelik 0,3 M çözelti için gerekli olan sodyum sülfat miktarı: 42,62 g'dır.

Magnezyum Sülfat Çözeltisi Hazırlama:

Kimyasal formül: MgSO₄·7H₂O

Mol kütlesi hesaplaması:

Mg: 24,31 g/mol

S: 32,07 g/mol

O: 16,00 g/mol

H: 1,01 g/mol

$24,31 + 32,07 + (16,00 \times 4) + 7(1,01 \times 2 + 16,00) = 246,52 \text{ g/mol}$

Bir litrelik 0,3 M çözelti için gerekli olan magnezyum sülfat miktarı: 74,84 g'dır.

Çözeltiler, 1 g duyarlılığa sahip dijital terazi ile ± 1 g hata payı ile yaklaşık olarak hazırlanmıştır.

Deniz Suyu Deneyi:

Deniz suyu, Adana'nın Karataş ilçesinden alınmış ve iki farklı şekilde kullanılmıştır: birincisi herhangi bir filtreleme işlemine tabi tutulmadan, diğeri ise bir cam huniye yerleştirilen kağıt filtre ile arıtılarak. Her iki deniz suyu, elektroliz deneyinde kullanılmak üzere birer litre olarak hazırlanmıştır.

Deniz suyu, çeşitli iyonların karışımından oluşan ve yaklaşık %3,5 tuzluluk oranına sahip doğal bir elektrolittir. Bir litrelik deniz suyunda ortalama 35 g tuz bulunmaktadır. Denizde çözülmüş 6 iyon, toplam kütlelerin %99'undan fazlasını oluşturmaktadır: %55,04 klorür (Cl⁻), %30,61 sodyum (Na⁺), %7,68 sülfat (SO₄²⁻), %3,69 magnezyum (Mg²⁺), %1,16 kalsiyum (Ca²⁺) ve %1,10 potasyum (K⁺) (Kaynak: [4]).

Çözeltiler, büretlere yerleştirildikten sonra geri kalan çözelti beher kaba dökülüp, büretlerin uçları kaptaki çözeltiye daldırılmış ve sabitlenmiştir. Elektrotlar, büretlerin içine yerleştirilmiş ve dışarıda kalan uçları güç kaynağının kablolarına bağlanmıştır. Güç kaynağı, ayarlanan voltaj değerine göre çalıştırıldığında, kronometre başlatılarak her 10 dakikada bir büretlerde toplanan gaz hacimleri kaydedilmiştir. Bu işlem, her elektrolit için sırasıyla 10 volt, 20 volt ve 30 volt uygulanarak üçer kez tekrarlanmıştır.

3. BULGULAR

Sülfürik asidin sodyum tuzu olan beyaz toz formundaki sodyum sülfat, hassas teraziyle gerekli miktarda tartıldıktan sonra suda kolayca çözünerek deney için gerekli çözelti hazırlandı. Deney sürecinde, gaz kabarcıkları büretlerin iç duvarlarında birikerek yükseldi ve büretin üst kısmındaki sıvıyı aşağı doğru itti. Elektrotun negatif kutbuna bağlı olduğu bürette, gaz kabarcıkları sayıca diğer bürete göre daha fazla ancak boyut olarak daha küçüktü. Su molekülü yapısında oksijene kıyasla iki kat daha fazla hidrojen atomu bulunması nedeniyle, gaz kabarcıklarının sayısında ve akış hızında önemli bir fark gözlemlendi. Ayrıca, elektrotlar üzerinde belirgin bir kalıntı oluşmadığı tespit edildi.

Epsom tuzu olarak bilinen magnezyum sülfat, iri taneli yapısına sahip olup, hassas terazi ile tartıldıktan sonra deney için gerekli çözelti hazırlandı. Sodyum sülfatın kolayca çözünmesi sağlanırken, magnezyum sülfatın çözünmesinin aynı hızda gerçekleşmediği gözlemlendi. Deney sırasında, hidrojen gazının biriktiği bürette beyaz bir madde birikimi gözlemlendi ve bu birikimin gaz akışını kısıtladığı fark edildi. Bunun

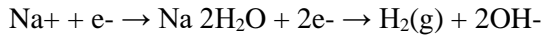
sonucunda, gaz çıkışı bir miktar engellendi. Ayrıca, voltaj arttıkça kalıntı birikiminin de arttığı dikkat çekici bir bulgu olarak kaydedildi.

Deniz suyu ile yapılan elektroliz sırasında etrafa güçlü bir klor kokusu yayılmaya başladı. Voltajın artırılmasıyla birlikte, klor kokusunun yoğunluğunun arttığı ve bununla paralel olarak hidrojen gazı üretiminin ve kalıntı birikiminin arttığı gözlemlendi. Filtrelenmiş deniz suyu elektrolizinde, gaz kabarcıklarıyla birlikte hafif kum taneciklerinin de büret içinde yükseldiği ve dip kısmında kum tanecikleriyle beyaz bir kalıntının oluştuğu tespit edildi. Ayrıca, filtrelenmemiş deniz suyu elektrolizinde diğer elektrolitlere kıyasla daha fazla kalıntı birikimi gözlemlendi. Kağıt filtreden geçirilen deniz suyu ise daha şeffaf bir görünüme sahip olup, elektroliz sırasında filtrelenmemiş deniz suyunda gözlemlenen aşırı kalıntı birikimini oluşturmadı.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sodyum sülfat kristalleri suda çözündüğünde Na^+ ve SO_4^{2-} iyonlarına ayrışır. Elektroliz işleminde katot ve anot tarafında beklenen reaksiyonlar;

Katot tarafında:



Anot tarafında:

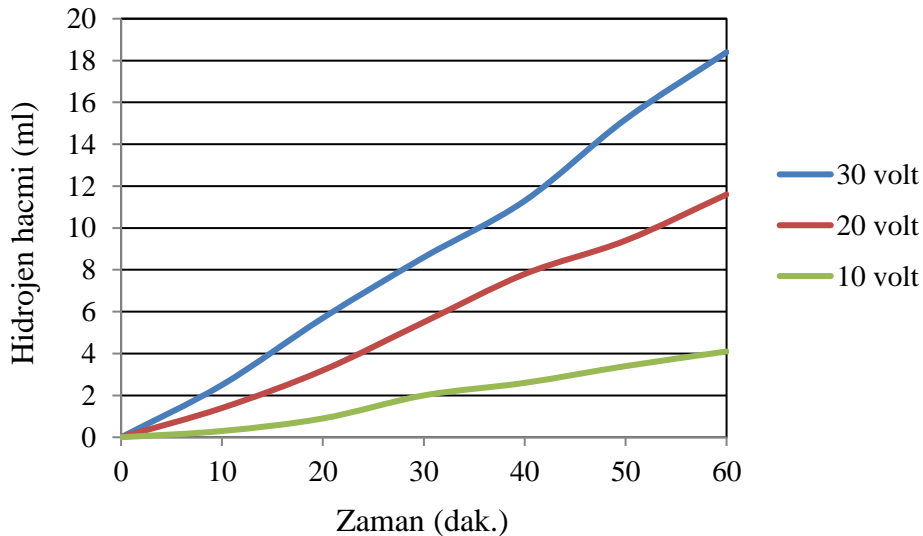


Hazırlanan 3 ayrı birer litrelik 0,3M sodyum sülfat çözeltisi ile 10, 20 ve 30 volt gerilim uygulanarak yapılan elektroliz deneylerinde elde edilen hidrojen miktarları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo.1: Sodyum Sülfat Çözeltisinin Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacmi (ml)

Zaman (dak.)	Uygulanan Voltaj		
	10 volt	20 volt	30 volt
10	0,3	1,4	2,2
20	0,9	3,2	5,7
30	2	5,5	8,6
40	2,6	7,8	11,3
50	3,4	9,4	15,2
60	4,1	11,6	18,8

Tablo 1'de sunulan verilere göre, uygulanan voltajın artırılmasıyla birlikte üretilen hidrojen hacminin de belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Voltajın yükselmesi, elektroliz sürecindeki kalıntı oluşumunu minimumda tutarak hidrojen üretim verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bu bulgu, elektroliz işleminde daha yüksek voltajların daha fazla hidrojen üretimine yol açtığını göstermektedir. Tablo 1'deki verilere dayanarak, hidrojen üretiminin zamana bağlı değişimi, Grafik 1'de gösterildiği gibi artan bir eğilim sergilemektedir.



Grafik 1. Sodyum Sülfat Çözeltisinin Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacminin Zamana göre Değişimi

Magnezyum sülfat kristalleri suya çözüldüğünde, Mg^{2+} ve SO_4^{2-} iyonlarına ayrılmaktadır. Elektroliz sürecinde, katot ve anot taraflarında gerçekleşmesi beklenen reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir:

Katot tarafında:

- $Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$
- $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-$

Anot tarafında:

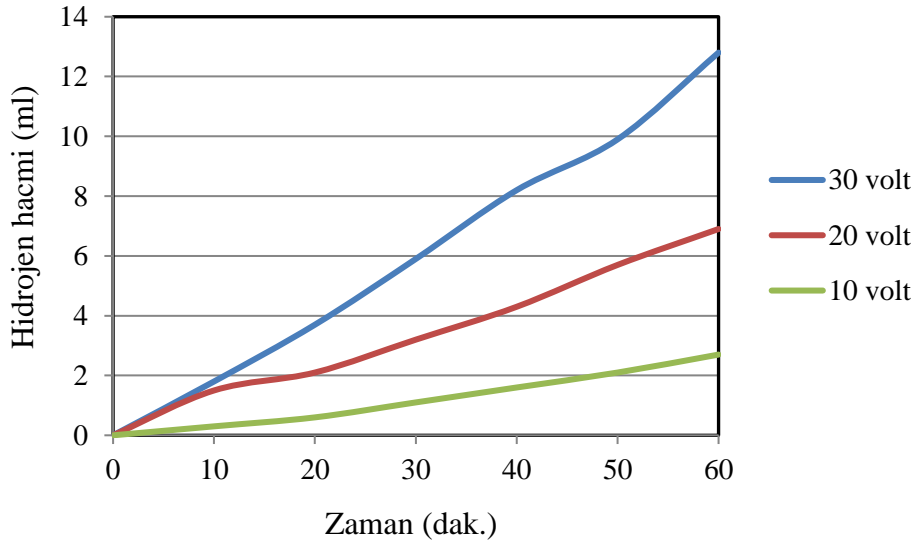
- $2SO_4^{2-} \rightarrow S_2O_8^{2-} + 2e^-$
- $2H_2O \rightarrow O_2(g) + 4H^+ + 4e^-$

Bu çalışmada, 0,3 M konsantrasyonunda üç farklı litre magnezyum sülfat çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltilere sırasıyla 10, 20 ve 30 volt gerilim uygulanarak elektroliz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hidrojen miktarları, Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo.2: 0,3M Magnezyum Sülfat Çözeltisinin Elektrolizi İle Elde Edilen Hidrojen Hacmi (ml)

Zaman (dak.)	Uygulanan Voltaj		
	10 volt	20 volt	30 volt
10	0,3	1,5	1,8
20	0,6	2,1	3,7
30	1,1	3,2	5,9
40	1,6	4,3	8,2
50	2,1	5,7	9,9
60	2,7	6,9	12,8

Tablo 2'de elde edilen sonuçlar, Tablo 1'deki sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan elektroliz deneylerinin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, magnezyum sülfat çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilen elektroliz ile elde edilen hidrojen üretim performansının daha düşük olduğunu açıkça göstermektedir. Bu farkın, magnezyum sülfat çözeltisinin elektrolizi sırasında meydana gelen beyaz kalıntı birikiminin elektroliz verimini olumsuz yönde etkileyerek hidrojen üretimini sınırlamasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Tablo 2'deki verilere dayalı olarak, üretilen hidrojen hacminin zamana bağlı değişimi, Grafik 2'de gösterildiği gibi izlenmiştir.



Grafik 2. Magnezyum Sülfat Çözeltisinin Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacminin Zamana göre Değişimi

Deniz suyu ile gerçekleştirilen elektroliz deneylerinde, katot ve anot taraflarında beklenen reaksiyonlar aşağıda sıralanmıştır:

Katot tarafında:

- $Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$
- $Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$
- $K^+ + e^- \rightarrow K$
- $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-$

Anot tarafında:

- $2Cl^- \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$
- $2H_2O \rightarrow O_2(g) + 4H^+ + 4e^-$

Deniz suyu ile yapılan elektroliz deneyleri üç farklı ürün grubu ile sonuçlanabilmektedir. Bu gruplar şunlardır:

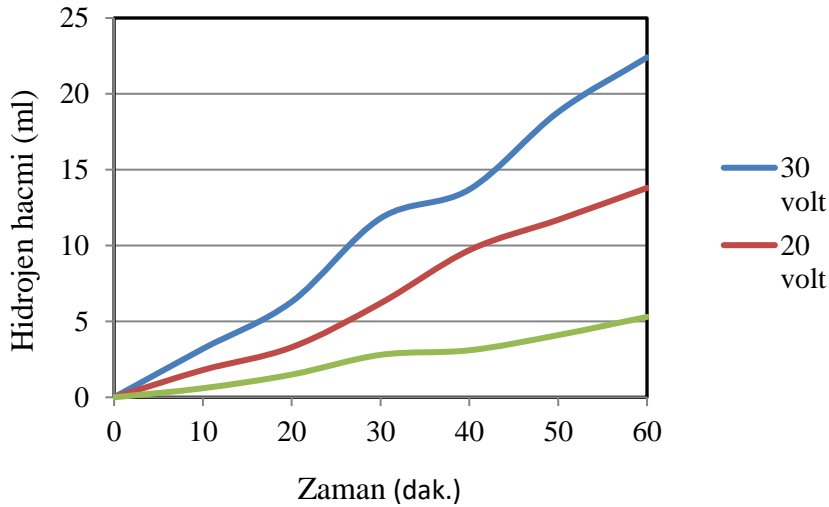
1. Hidrojen, oksijen ve bir alkali bileşik.
2. Hidrojen, oksijen, klor ve bir alkali bileşik.
3. Hidrojen ve sodyum hipoklorit.

Çalışmada, her biri 1 litre olan üç ayrı filtrelenmemiş deniz suyu örneği kullanılarak 10, 20 ve 30 volt gerilim uygulandı ve elde edilen hidrojen miktarları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo.3: Filtrelenmemiş Deniz Suyunun Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacmi (ml)

Zaman (dak.)	Uygulanan Voltaj		
	10 volt	20 volt	30 volt
10	0,6	1,9	3,2
20	1,5	4,2	6,9
30	2,4	6,5	10,8
40	3,3	8,9	14,7
50	4,1	11,2	18,8
60	5	13,8	22,4

Tablo 3'te sunulan verilere göre, filtrelenmemiş deniz suyu, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerine kıyasla daha yüksek miktarda hidrojen üretimi sağlamıştır. Bu durum, deniz suyunun içerdiği daha çeşitli iyon türlerinin elektroliz reaksiyonlarına katkı sağladığı düşüncesiyle açıklanabilir. İyon çeşitliliği, elektroliz sırasında daha fazla reaktif iyonun mevcut olmasına ve dolayısıyla daha fazla hidrojen gazı üretimine yol açmaktadır. Tablo 3'teki verilere dayanan hidrojen hacminin zamana bağlı değişimi, Grafik 3'te görsel olarak sunulmaktadır.



Grafik 3. Filtrelenmemiş Deniz Suyunun Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacminin Zamana göre Değişimi

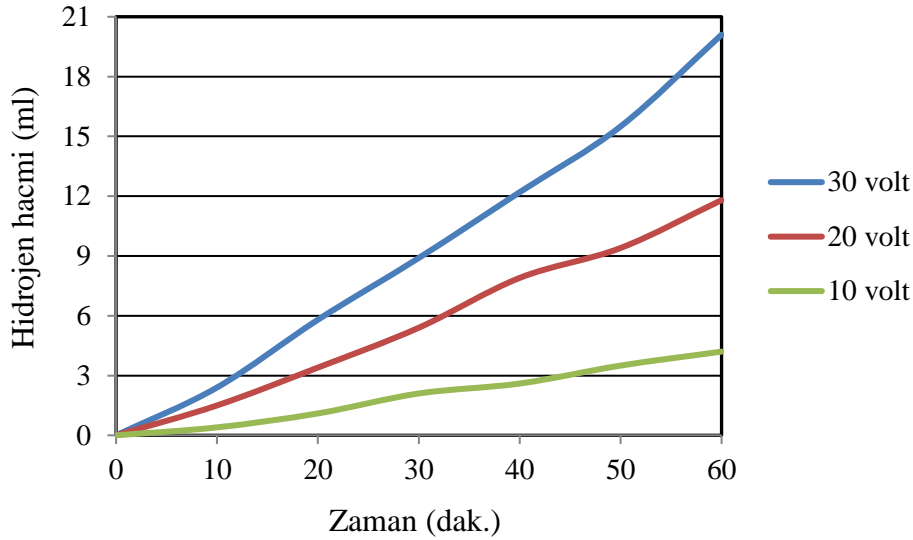
Grafik 3'te yer alan verilere göre, uygulanan voltajın artışıyla birlikte üretilen hidrojen miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, her üç voltaj seviyesinde de hidrojen üretimi zaman içerisinde dalgalanma göstermektedir. Bu dalgalanmanın, deniz suyunun filtrelenmemiş olmasından kaynaklanan kalıntıların, elektroliz süreci sırasında sistemde kirliliğe yol açarak verimliliği etkilediği düşünülmektedir.

Buna ek olarak, filtrelenerek arıtılmış deniz suyu kullanılarak yapılan elektroliz deneylerinde elde edilen hidrojen miktarları, Tablo 4'te sunulmuştur. Bu deneylerde, farklı voltaj seviyelerinin hidrojen üretimi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde gözlemlenmiştir.

Tablo.4: Filtrelenerek Arıtılmış Deniz Suyunun Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacmi (ml)

Zaman (dak.)	Uygulanan Voltaj		
	10 volt	20 volt	30 volt
10	0,4	1,5	2,4
20	0,8	3,4	5,8
30	2,1	5,4	8,9
40	2,4	7,9	12,2
50	3,5	9,2	15,5
60	4,2	11,8	20,1

Tablo 4'te yer alan verilere göre, filtrelenerek arıtılmış deniz suyu ile gerçekleştirilen elektroliz deneylerinde üretilen hidrojen miktarının, filtrelenmemiş deniz suyu ile yapılan deneylere kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalmanın olası nedeni, filtreleme işlemi sırasında kum gibi iri partiküllerin yanı sıra bazı iyonların da ayrıştırılmasıyla deniz suyundaki iyon konsantrasyonunun düşmesidir. Tablo 4'teki verilere dayalı olarak, üretilen hidrojen hacminin zamana bağlı değişimi Grafik 4'te gösterilmektedir.

**Grafik 4.** Filtrelenmiş Deniz Suyunun Elektrolizi ile Elde Edilen Hidrojen Hacminin Zamana göre Değişimi

Grafik 1, 2, 3 ve 4'te yer alan veriler, gerçekleştirilen dört deneyde de üretilen hidrojen miktarının uygulanan voltajla doğru orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir. Bu bulgu, elektroliz sırasında elektrotta oluşan maddelerin ağırlığının, elektrolitten geçen elektrik miktarı ile orantılı olduğunu belirten Faraday Yasası ile uyumludur.

Tablo 1, 2, 3 ve 4'ün incelenmesi sonucunda, en düşük hidrojen miktarının magnezyum sülfat çözeltisinin elektroliziyle elde edildiği, filtrelenerek arıtılmış deniz suyu ve sodyum sülfatın ise birbirine yakın sonuçlar verdiği, en yüksek hidrojen miktarının ise filtrelenmemiş deniz suyundan elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, deniz suyundan doğrudan hidrojen üretiminin potansiyelini ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, dünya yüzeyinin büyük bir kısmının denizler ve okyanuslarla kaplı olması, hidrojen üretimi için ham madde sıkıntısının yaşanmayacağına işaret etmektedir.

Hidrojen, günümüzde sınırlı kullanımına rağmen, doğada bulunan en basit element olmasına rağmen ciddi depolama sorunları yaşansa da temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, hidrojen üretimi, depolanması ve kullanımıyla ilgili araştırmaların yapılması, bu alandaki yeni gelişmelerin keşfedilmesi gerektiği açıktır.

Elde edilen bulgular, mevcut literatürle karşılaştırıldığında, elektroliz sırasında kullanılan çözeltinin bileşimi ve uygulanan voltajın hidrojen üretimi üzerindeki etkilerini doğrulamaktadır. Özellikle deniz suyunun elektrolizi, daha önce yapılan çalışmalarda da hidrojen üretimi için potansiyel bir kaynak olarak öne çıkmıştır (Matsumoto vd., 2019; Wang vd., 2020). Ancak, filtrelenmemiş deniz suyunun içerdiği kirlenmeler ve iyon çeşitliliği, üretim verimliliğini artırmada önemli bir faktör olarak bulunmuştur. Bu sonuç, deniz suyu elektrolizinin büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve geniş çaplı hidrojen üretim sistemlerine yönelik çalışmaların bu yolda şekillenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, magnezyum sülfat çözeltisinin elektroliziyle elde edilen hidrojen miktarının daha düşük olması, literatürde yer alan benzer araştırmalarla paralel bir şekilde, çözeltideki iyon bileşenlerinin elektroliz verimini sınırladığını göstermektedir (Reddy vd., 2018).

Elde edilen sonuçlar, elektroliz sürecinde uygulanan voltajın hidrojen üretimi üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Grafik 1, 2, 3 ve 4'teki verilere göre, hidrojen üretimi uygulanan voltaj ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu bulgu, elektroliz sırasında elektrotta oluşan maddelerin ağırlığının, elektrolitten geçen elektrik miktarı ile orantılı olduğunu belirten Faraday Yasası ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Sodyum sülfat, magnezyum sülfat ve deniz suyu çözeltileri ile yapılan elektroliz deneylerinde, deniz suyunun doğrudan hidrojen üretimi için daha yüksek verim sağladığı gözlemlenmiştir. Filtrelenerek arıtılmış deniz suyu ile yapılan deneylerde ise hidrojen üretimi, filtrelenmemiş deniz suyuna kıyasla daha düşük olmuştur.

Bu çalışmada, üç farklı elektroliz çözeltisi (sodyum sülfat, magnezyum sülfat, deniz suyu) kullanılarak yapılan deneyler, hidrojen üretimi için en verimli çözeltinin deniz suyu olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, deniz suyunun hidrojen üretimi için geniş bir potansiyel sunduğunu ve deniz kaynaklarının bu tür enerji üretim sistemlerinde kullanılmasının ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak, elektroliz sırasında deniz suyu ve magnezyum sülfat gibi çözeltilerde zamanla kalıntı birikimi ve iyon değişimleri, üretim verimliliğini etkilemiştir. Bu durum, elektroliz verimliliğini artırmaya yönelik sistem tasarımı ve çözeltinin iyileştirilmesine yönelik yeni araştırmalara olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, hidrojen üretiminin gelecekteki enerji üretimi ve depolama sistemlerinde önemli bir yer tutacağı düşünülmektedir. Deniz suyu gibi geniş çapta bulunan doğal kaynakların kullanımı, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji üretimi için umut verici bir alternatiftir. Bu bulgular, hidrojen üretiminin potansiyelini anlamak ve daha verimli elektroliz süreçleri geliştirmek için yapılacak ileri düzey araştırmaların gerekliliğini vurgulamaktadır.

5. ÖNERİLER

Elektroliz süreçlerinin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir hidrojen üretimi sağlamak amacıyla, birkaç temel araştırma alanında ilerleme kaydedilmesi önerilmektedir. İlk olarak, deniz suyu elektrolizine yönelik yapılan deneylerde çözeltinin filtrasyonu ve iyon bileşenlerinin düzenlenmesinin hidrojen üretim verimliliğini artırma potansiyeli gösterdiği gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalarda, çözeltinin daha etkili bir şekilde filtrelenmesi ve iyon konsantrasyonlarının optimize edilmesi gereklidir. İkinci olarak, uygulanan voltajın etkileri üzerine yapılan araştırmalar, ideal voltaj seviyelerinin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Voltajın artırılmasıyla elde edilen hidrojen miktarındaki artış, özellikle büyük ölçekli sistemlerde enerji verimliliğinin iyileştirilmesi açısından daha derinlemesine incelenmelidir. Üçüncü olarak, deniz suyu elektrolizinin endüstriyel uygulamaları büyük bir potansiyele sahiptir, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde. Bu alanda yapılacak daha fazla araştırma, endüstriyel ölçekte hidrojen üretimine yönelik uygun yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Dördüncü olarak, elektroliz sırasında oluşan yan ürünlerin yönetimi önemli bir çevresel mesele teşkil etmektedir. Özellikle deniz suyu elektrolizinde klor gibi maddelerin ortaya çıkması, çevresel etkiler açısından yönetilmesi gereken bir sorun oluşturur. Bu yan ürünlerin güvenli bir şekilde yönetilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi, elektroliz süreçlerinin çevresel etkilerini minimize edecektir. Ek olarak, filtrelenmemiş deniz suyundan elde edilen yüksek hidrojen üretimi, açık denizlerde yüzer platformlar üzerine kurulacak sistemlerle hidrojen üretimi için bir çözüm önerisi sunmaktadır. Bu platformlar üzerinde deniz suyunun elektrolizi yapılarak bol miktarda hidrojen üretilebilir. Elektroliz için gerekli elektrik enerjisi ise yenilenebilir enerji kaynakları, örneğin deniz dalgalarından elektrik üreten sistemler, fotovoltaiik paneller ya da rüzgâr enerjisi ile sağlanabilir. Bu öneriler, hidrojen üretim süreçlerini daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik hale getirmek için atılacak potansiyel adımları ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Aal, H. K., Zohdy, K. M., & Abdel Kareem, M. (2010). Hydrogen production using sea water electrolysis. *The Open Fuel Cells Journal*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.2174/1875932701003010001>
- Badea, G. E., Caraban, A., Cret, P., & Corbu, I. (2007). Hydrogen generation by electrolysis of seawater. *Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering*, 6(16).
- Balat, M., & Kırtay, E. (2010). Hydrogen from biomass–present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(14), 7416–7428. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.137>
- Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11094–11111. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.12.035>
- Döner, A. (2008). *Nikel-bakır ve nikel-kobalt kaplı bakır elektrotlarda hidrojen eldesi* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karcı, İ. (2010). *Karbon keçe üzerine Ni ve Nico çöktürülerek hidrojen gazı çıkışına etkilerinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Matsumoto, Y., Sato, K., & Tanaka, H. (2019). Hydrogen production from seawater electrolysis: A review of catalysts and efficiency improvements. *Journal of Clean Energy Technologies*, 7(4), 215–223.
- Reddy, P. R., Kumar, S., & Gupta, A. (2018). Electrolysis of magnesium sulfate solution for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(15), 7205–7213.
- Solmaz, R. (2009). *Hidrojen gazı eldesi ve metanol elektrooksidasyonu için katalitik elektrot geliştirilmesi* [Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, L., Zhang, X., & Li, J. (2020). Seawater electrolysis for hydrogen generation: Challenges and opportunities. *Renewable Energy Materials and Photonics*, 12(1), 45–58.