

# Hidrokinonun Asidik Ortamda Hidrojen Verimine Etkisinin Araştırılması

Gülşen Avcı, Birgül Yazıcı\*, Mehmet Erbil\*  
Mersin Üniversitesi  
Eğitim Fakültesi OFMA  
Yenişehir Kampusu, Mersin  
[gulsen@mersin.edu.tr](mailto:gulsen@mersin.edu.tr),

\*Çukurova Üniversitesi  
Kimya Bölümü  
Balcalı, Adana  
[byazici@cu.edu.tr](mailto:byazici@cu.edu.tr), [merbil@cu.edu.tr](mailto:merbil@cu.edu.tr)

**Özet:** Hidrokinon içeren (0,1, 0,05, 0,025, 0,0125 M) ve içermeyen 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinin Pt elektrotların anot ve katot olarak kullanıldığı durumda hidrojen verimine etkisi çalışılmıştır. Bu sistemlerin teorik ve deneysel olarak ayrışma gerilimleri belirlenmiştir. Sabit bir potansiyel sisteme uygulanmış ve elde edilen hidrojen gaz hacmi hesaplanmıştır. Hidrokinon içeren ortamlarda hidrojen daha düşük potansiyellerde elde edilirken, sabit potansiyel altında katotta 1 saatlik süre sonunda elde edilen hidrojen hacmi de hidrokinon konsantrasyonunun artması ile birlikte artmıştır.

## 1. Giriş

Enerjinin toplumsal ve ekonomik gelişim için en önemli gereksinimdir. Kullanılan enerji doğada bir çok olayın değişmesine neden olmaktadır. Bunların başında asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, global ısınma gibi olaylar gelmektedir. Doğadaki bu değişimler ve çevre kirliliği zamanla artmakta ve ekosistemin bozulmasına neden olmaktadır. Bu değişikliklerin insan hayatı üzerine olumsuz etkileri de yadırganamaz. Hidrojenin yakıt olarak kullanılması düşüncesi yeni bir fikir olmamasına rağmen son yıllarda giderek artan bir ilgiye sahip olmuştur. Hidrojenin gelecekte en önemli enerji kaynağı olmasının başlıca sebebi de etkili bir şekilde kullanılabilirdiği takdirde çok düşük bir kirlenici etkisinin bulunmasıdır. Hidrojen yakıt hücrelerinde elektrik üretmek amacıyla kullanıldığı zaman oluşan ürünler su ve çok az miktarda azot oksitlerdir. Hidrojen 21. yüzyılın temiz enerji kaynağı olabilir.

Hidrojen bulunduğu su, fosil yakıtlar, katı atıklar bir çok kaynaktan elde edilebilir [1]. Hidrojen eldesinde kullanılan bir çok yöntemden biride suyun elektrolizidir. Hidrojen üretimi için bilinen en basit yöntemlerden biridir. İlke olarak, bir elektroliz hücresi içinde genelde düzlem bir metal veya karbon plakalar olan iki elektrot ve bunların içine daldırıldığı elektrolit olarak adlandırılan iletken bir sıvı bulunmaktadır. Doğru akım kaynağı ile bu elektrotlar arasında potansiyel uygulandığı zaman katotta hidrojen ayrışacaktır. Ayrışan hidrojenin miktarı elektrolite, ortamın pH'sına, kullanılan elektrodun cinsine [2], sıcaklığa [3] göre değişmektedir. Ancak elektroliz yöntemiyle hidrojen elde ederken yüksek miktarda enerji gerekmektedir. Bu enerjinin yani aşırı gerilimin azaltılması için bir çok bilim adamı çalışmalar yapmıştır [4-10]. Bu amaçla, ortama depolarizatörler ve aşırı gerilimi azaltıcı maddeler eklenebilir [11-12].

Platin elektrokimyasal reaksiyonlarda en fazla kullanılan elektrottur. Elektrokatalitik aktivitesi en yüksek olan metaldir. Platinin katot hidrojen çıkışı üzerinde elektrokatalitik etkisi olmasına rağmen anotta oksijen çıkışında aşırı gerilim yaratır [10,13]. Bu yüzden hidrojen üretiminde enerji anodik aşırı gerilimi yenmek için kullanılır. Anodik aşırı gerilim azaltılırsa hidrojen gazı da daha yüksek bir verimle elde edilebilir.

Bu çalışmada anodik aşırı gerilimi azaltmak için asidik ortamda hidrokinon kullanılmıştır. İyi bilindiği gibi hidrokinon oksijenden çok daha düşük potansiyellerde anodik olarak oksidasyona uğrar. Bu durumda anot reaksiyonu için gerekli olan enerji azaltılacağı için daha yüksek bir verimle hidrojen elde edilebilir. Bu çalışmada farklı derişimlerde hidrokinon asidik ortamda eklenerek hidrojen çıkışına olan etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada elektrot olarak anot ve katot olarak 1 cm<sup>2</sup> alana sahip Pt elektrotlar kullanılmıştır. Pt elektrotlar pt telle tutturularak cam içine gömülerek hazırlanmıştır. Çalışmada hidrokinon içeren (0, 0,1, 0,05, 0,025, 0,0125 M) ve içermeyen 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi elektrolit olarak kullanılmıştır.

Elektrokimyasal olarak yapılan deneyler üç aşamada gerçekleştirildi. Bu aşamaların birincisinde elektrotların , organik madde içeren ve içermeyen ortamlardaki anodik ve katodik akım – potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Deneylerin ikinci aşamasında ise deneysel ayrışma gerilimini belirlemek amacıyla doğru akım kaynağında elektroliz sistemine potansiyel 0 tan başlanarak 3 V ta kadar artırılmış ve belirli potansiyellere karşılık gelen akım değerleri hazırlanan elektrotlarda hidrojenin ayrışma gerilimi deneysel olarak belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise aynı elektrolit ortamlarında sabit 3V potansiyel uygulanmış ve 10 dakika aralıklarla katotta oluşan gaz hacmi çözelti ile doldurulmuş büret ters çevrilerek belirlenmiştir. Ortam sıcaklığında oluşan hidrojen gazının hacmi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. ve 1 saat sonunda katotta toplanan hidrojen hacmi belirlenmiştir.

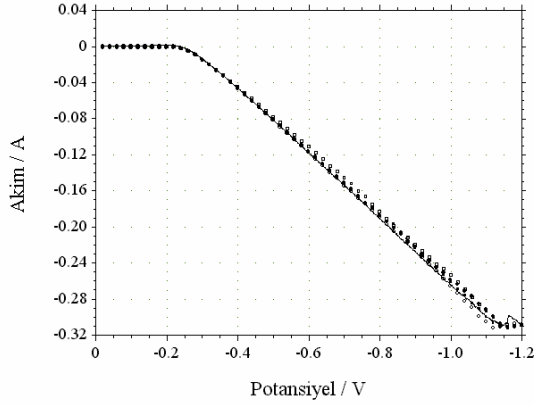
$$\text{Hidrojen gaz hacmi} = \frac{P_{H_2}}{P_T} \times V_T \quad (1)$$

Burada

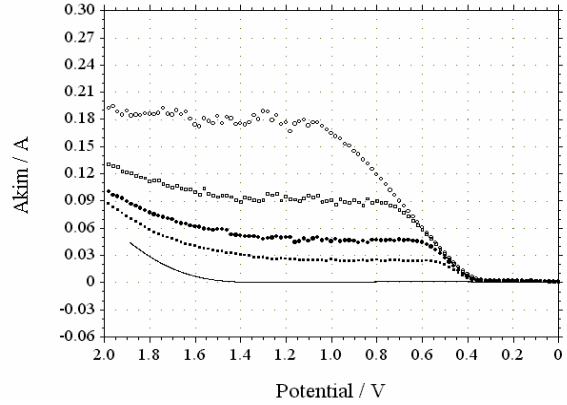
Pt: toplam basınç  
P<sub>H<sub>2</sub></sub> :Hidrojenin basıncı  
Vt: Toplam hacim

## 3. Tartışma ve Sonuç

Çalışılan Pt elektrotta ve ortamda hidrokinonun hidrojen çıkışı üzerine nasıl bir etki yaptığını belirlemek için katodik ve anodik akım-potansiyel eğrileri, üç elektrot tekniği kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 1 ve 2 de gösterilmiştir.



Şekil 1: Hidrokinon içeren ve içermeyen ortamlarda katodik yönde alınan akım-potansiyel eğrisi



Şekil 2: Hidrokinon içeren ve içermeyen ortamlarda anodik yönde alınan akım-potansiyel eğrisi

Şekil 1e bakıldığında tüm ortamlarda alınan eğrilere bakıldığında birbirine oldukça benzediği görülmektedir. Hidrokinon içermeyen ve içeren ortamlarda potansiyellere karşılık gelen akım değerleri yaklaşık aynıdır. Buradan da görüldüğü gibi asidik ortama eklenen hidrokinon katodik reaksiyon üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Şekil 2 de verilen anodik yönde alınan akım – potansiyel eğrilerinde ise durum oldukça farklıdır. Eğrilerden görüldüğü gibi hidrokinon içermeyen ortamda anodik reaksiyon 1,2 V tan sonra başlarken, hidrokinon içeren ortamlarda bu değer 0,4V dolaylarındadır. Çalışılan sistem için mümkün olan anodik ve katodik reaksiyonlar ve tersinir elektrot potansiyelleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 1).

Reaksiyonlar	Tersinir elektrot potansiyelleri	
Katot (Pt)		
$2H^+_{(aq)} + 2e \rightarrow H_{2(g)}$	$E_{H^+/H_2} = -0,059 pH (PH_2 \cong 1atm)$	(2)
Anot (Pt)		
Hidrokinon içermeyen ortamda		
$2H_2O \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+ + 4e$	$E_{O_2/H_2O} = 1,23 - 0,059 pH (PH_2 \cong 1atm)$	(3)
Hidrokinon içeren ortamda		
$2H_2O \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+ + 4e$	$E_{O_2/H_2O} = 1,23 - 0,059 pH (PH_2 \cong 1atm)$	
$H_2Q \rightarrow Q + 2H^+ + 2e$	$E_{H_2Q/Q} = 0,069 - 0,059 pH (PH_2 \cong 1atm)$	

Çizelge 1: Çalışılan ortamlarda ki olası reaksiyonlar ve tersinir elektrot potansiyelleri (4)

Çalışılan sistemler için tersinir ayrışma gerilimleri ( $E_{ter} = E_a - E_k$ ) aşağıda verilmiştir. Hidrokinon içermeyen ortam için tersinir ayrışma gerilimi:

$$E_{ter} = E_{O_2/H_2O} - E_{H^+/H_2}, E_{ter} = 1,23V \quad (5)$$

Ayrıca Pt Katot reaksiyonunu yani hidrojen çıkışını katalizlerken, anot reaksiyonu (oksijen çıkışı) üzerinde 0,44V kadar bir aşırı gerilim yaratmaktadır. Bu durumda yukarıdaki reaksiyon için tersinir ayrışma gerilimi ( $E_{ter} \cong 1,23 + 0,44 = 1,67V$ ) daha yüksek potansiyellere kaymaktadır.

Hidrokinon içeren ortamlarda ise iki farklı reaksiyon olabilir. Birincisi katot da hidrojen indirgenirken anotta oksijen yükseltgenebilir. Bu reaksiyon için tersinir ayrışma gerilimi 5 numaralı denklemde verildiği gibidir. İkinci reaksiyonda ise katot reaksiyonu yine hidrojen indirgenmesi, anot reaksiyonu ise hidrokinonun yükseltgenmesidir. Bu reaksiyon için tersinir ayrışma gerimi aşağıda hesaplanmıştır.

$$E_{ter} = E_{Q_2/H_2Q} - E_{H^+/H_2}, E_{ter} = 0,69V \quad (6)$$

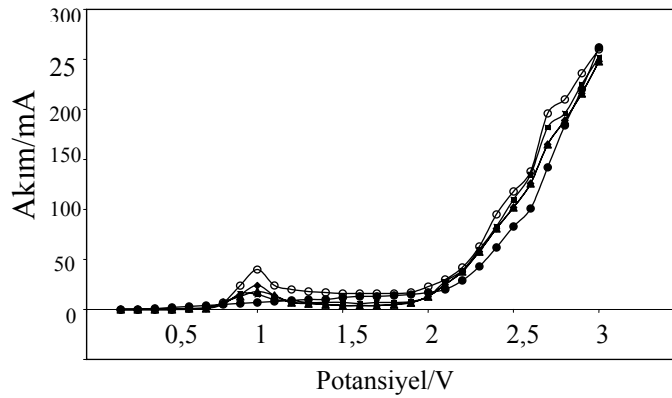
Tersinir ayrışma gerilimlerinden de görüldüğü gibi çalışılan sistemde 6 numaralı reaksiyon daha düşük potansiyelerde gerçekleştiği için bu reaksiyon 5 numaralı reaksiyona göre daha az bir enerji gerektirir.

Deneysel çalışmanın bu kısmında çalışılan her ortamdaki ayrışma gerilimini belirlemek amacıyla doğru akım kaynağı ile potansiyel 0V tan başlanarak 3 V ta kadar yavaş yavaş artırılarak sistemden geçen akım değerleri belirlenmiştir. Elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden (Şekil 1) deneysel ayrışma gerilimleri belirlenmiş ve Çizelge 2 de gösterilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi hidrokinon içermeyen ortamda 2,2 V dolayında bir tane ayrışma görülürken hidrokinon içeren ortamda iki tane ayrışma görülmektedir. Hidrokinon içermeyen ortamda anotta oksijen yükseltgenirken, katotta hidrojen indirgenmektedir. Hidrokinon içeren ortamlarda düşük potansiyelerde (0,8V) görülen 1.ayrışmada katotta hidrojen indirgenirken anotta hidrokinon yükseltgenmektedir. 2,2 V dolayında görülen ikinci ayrışmada ise anot reaksiyonuna oksijen indirgenmesi de katılmaktadır. Tersinir ayrışma gerilimleri ile deneysel olarak belirlenen ayrışma gerilimleri yani aşırı gerilimler ( $\eta$ ) Çizelge 2 de gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi hidrokinon içeren ortamda hidrojen gazının katotta ayrışması içermeyen ortama göre çok daha düşük potansiyelerde başlamaktadır. Böylece hidrojeni elektroliz yöntemiyle elde etmek için daha az bir enerji gerekmektedir.

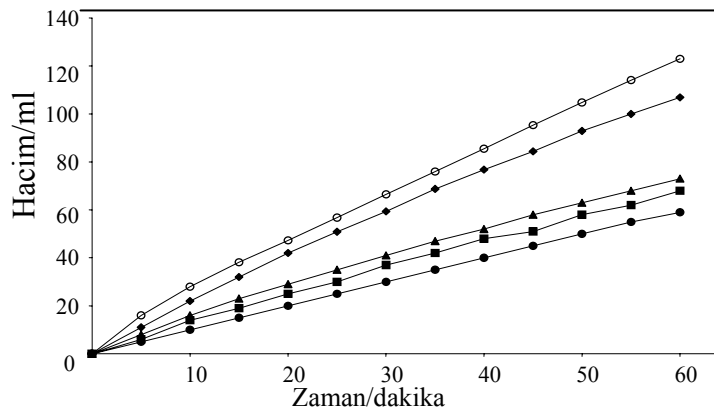
Şekil 2de, 3V sabit potansiyel altında sistem elektroliz edilmiş ve 1 saat boyunca elde edilen hidrojen gaz hacmi 10 ar dakikalık aralıklarla ölçülerek zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Katot bölgesinde toplanan gaz hacmi zamanla artmıştır. En az hidrojen organik madde içermeyen sistemde elde edilmiştir. Ortama hidrokinon eklenmesi toplanan gaz hacmini artırmıştır. Bunun nedeni anotta daha az bir enerji gerektiren reaksiyonun meydana gelmesi (hidrokinonun yükseltgenmesi) ile hidrojen daha erken potansiyellerde ayrışmaya başlamış ve aynı potansiyel uygulanmasına karşın toplanan gaz hacminin artmasına neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre hidrokinon içeren ortamda, içermeyen ortama göre daha fazla miktarda hidrojen gazı elde edilmiştir. Elde edilen hidrojen gazı hidrokinon derişiminin artmasıyla birlikte artmıştır.

Çizelge 2. Farklı hidrokinon derişiminde belirlenen ayrışma gerilimleri ve aşırı gerilim ( $\eta$ )

DeneySEL Ortam		$E_{a,1}/V$	$E_{a,2}/V$	$\eta_1/V$	$\eta_2/V$
0,5M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Pt elektrot	0 M Hidrokinon	-----	2,28	-----	1,05
	0,0125M Hidrokinon	0,83	2,13	0,131	0,90
	0,025M Hidrokinon	0,82	2,12	0,130	0,89
	0,05M Hidrokinon	0,82	1,96	0,130	0,73
	0,1M Hidrokinon	0,81	1,94	0,129	0,71



Şekil 1. Pt elektrotla, farklı hidrokinon derişiminde (●0, ■0,0125, ▲0,025, ◆0,05, ○0,1 M) +0,5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içeren ortamda elde edilen ayrışma gerilimi



Şekil 2. Pt elektrotla, farklı hidrokinon derişiminde (●0, ■0,0125, ▲0,025, ◆0,05, ○0,1 M) asidik ortamda (0,5M) 3V sabit potansiyel altında elde edilen hidrojen gaz hacminin zamanla değişimi

Sonuç olarak, hidrokinonun derişimi artıkça anot aşırı gerilimi azaltmakta bu da katotta üretilen hidrojen gazı verimini artırmaktadır.

#### 4. Kaynaklar

- [1]. Midilli, A., Ay, M., Dinçer, I., Rosen, M.A.. On hydrogen and hydrogen energy strategies II. Future projections affecting global stability and unrest. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2005, 9, 273.
- [2]. Ultanir, M.O. Hidrojenin yakıt olarak kullanımı ve özellikleri. Çevre Enerji Kongresi TMMOB, 1997, 295-315.
- [3]. Rosen, M.A., Scott, D.S. Comparative efficiency assessments for a range of hydrogen production processes. *Int J Hydrogen Energy* . 1998, 23, 8, 653.
- [4]. Veziroglu, T. N. ve Barbir, F., Energy and environment. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1992, 17, 391.
- [5]. Krisman P., Yang T.H., Lee Y.W., Kim S.C., PtRu-LiCoO<sub>2</sub>- an efficient catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride solutions *J. Power Sources*, 2005.
- [6]. Kato Y., Kubota M., Kobayashi N., Suzuoki Y., Effective utilization of by-product oxygen from electrolysis hydrogen production *Energy*, 2005 30, 14, 2580
- [7]. Tzimas E., and Peteves D., The impact of carbon sequestration on the production cost of electricity and hydrogen from coal and natural-gas technologies in Europe in the medium term *Energy*, 2005, 30, 14, 2672
- [8]. Wang Y.H. and Zhang J.C. Hydrogen production on Ni-Pd-Ce/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst by partial oxidation and steam reforming of hydrocarbons for potential application in fuel cells *Fuel*, 2005, 84, 14-15,
- [9]. Cheekatamarla K., M. Lane Alan Efficient bimetallic catalysts for hydrogen generation from diesel fuel *Int. J. Hydrogen Energy*, 2005, 30, 11, 127
- [10]. Rosen, M. A. ve Scott, D. S., Energy analysis of hydrogen production from heat and water by electrolysis, 1992, 17, 199-204.
- [11]. Yazici, B., Tatli, G., Galip, H. and Erbil, M., Investigation of suitable cathodes for the production of hydrogen gas by electrolysis. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1995, 20, 957-965.
- [12]. Yazici, B., Hydrogen Evolution at aluminum cathodes in citrate solutions. *Chim. Acta Turcica*, 1995, 23, 225-229.
- [13]. Jaksic, M. M., Johansen, B. ve Tunald, R., Electrochemical behaviour of platinum in alkaline and acidic solution of heavy and regular water. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1993, 18, 813-817.