

ALKALİ YAKIT PİLİNDE BİLEŞEN-BAŞARIM İLİŞKİSİ

Zafer SARI¹

Ahmet ÇAPOĞLU²

Alp Er Şevki KONUKMAN³

^{1,3}Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
²Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze 41400, Kocaeli

¹e-posta: zafersari@gyte.edu.tr ²e-posta: capoglu@gyte.edu.tr

³e-posta: konukman@gyte.edu.tr

Anahtar sözcükler: Alkali Yakıt Pili, Hidrojen Enerjisi Sistemleri, Elektrik Üretimi

ABSTRACT

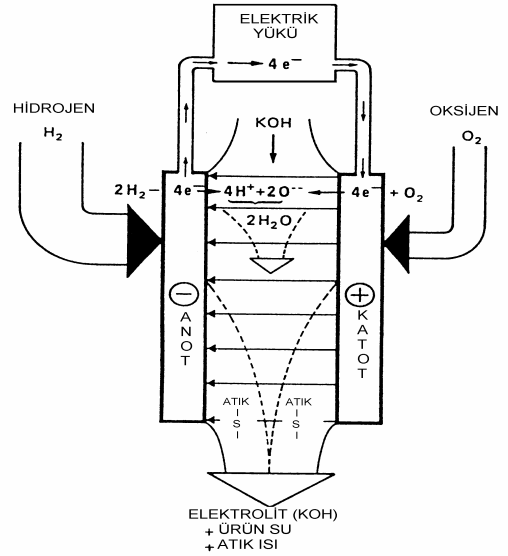
In this study, an alkaline fuel cell experimental setup which generates electrical current from hydrogen and oxygen gasses is constructed to test the performance of electrodes. All the electrodes tested in this study are double layered, teflon bonded, gas diffusion type and prepared by using wet rolling method. The performance characteristics (voltage-current) of the fuel cell electrodes are measured at temperatures varying between 25-80 °C at steady state conditions. During the work, the thicknesses of the electrodes having 5 cm² active area with different compositions are changed between 0.96-1.70 mm. The best performing fuel cell exhibited a current density of 62 mA/cm² at a cell voltage of 0.6 V with the electrodes containing 1.50 mg/cm² platinum, 21 % PTFE, 79 % carbon and 25 % ammonium bicarbonate in the catalyst layer. It is observed that the voltage-current characteristics are affected by the properties and the amount of materials used and the manufacturing method, especially the PTFE amount and sintering conditions is found to be critical parameters in obtaining high performance electrodes.

1. GİRİŞ

Uygulamaya başlanan ve yaygınlaştırılması planlanan yeni enerji çevrim yöntemlerinin başında yakıt pilleri gelmektedir. Yakıt olarak hidrojen kullanan yakıt pilleri, atık olarak sadece su çıkarmaları ve yüksek verimleri nedeniyle, gelecekte enerji temininde önemli bir potansiyele sahip olacaklardır. Yakıt pilleri girdi yakıtın kimyasal enerjisini yüksek bir verimle elektrik ve ısı formunda kullanılabilir enerjiye çeviren güç elemanlarıdır. Yakıtta kimyasal biçimde depolanmış olan enerji elektrokimyasal bir işlem sonucu doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Alkali yakıt pili diğer düşük sıcaklık yakıt pilleri ile karşılaştırıldığında yüksek elektriksel verime ve yüksek yük yoğunluğuna sahiptir. Değişken ve ani yüklere mükemmel uyum sağlamanın yanı sıra oldukça yüksek başarılıdır. Alkali yakıt pili 60'lı

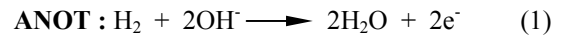
yılların başında geliştirilmiş ilk modern yakıt pildir ve ilk kez Apollo uzay mekiğinin elektrik ihtiyacını karşılayarak uygulama alanı bulmuştur [1,2].

Bir alkali yakıt pili hücresi, genellikle potasyum hidroksit (KOH) gibi bazik bir çözeltilerden meydana gelen elektrolit bölmesinin iki yanına yerleştirilen bir anot ve bir de katot olmak üzere iki ince elektrottan meydana gelir. Alkali yakıt pilinde elektrik enerjisinin elde edilme süreci kısaca şöyle özetlenebilir:

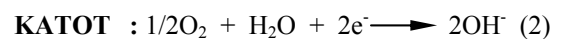


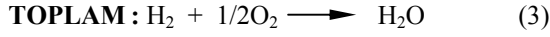
Şekil 1. Alkali yakıt pilinin çalışma prensibi [3].

Hidrojen ve oksijen gazları Şekil 1'de görülen gözenekli gaz difüzyon elektrotlarına beslenir. Anotta, hidrojen gazının, OH⁻ iyonları ile reaksiyona girerek;



tepkimesi uyarınca yükseltgenmesi sonucu açığa çıkan elektronlar bir dış devre yolu ile katoda taşınır, katotta ise O₂ elektron alarak ve su ile reaksiyona girerek elektrolite indirgenmiş OH⁻ iyonlarını bırakır.



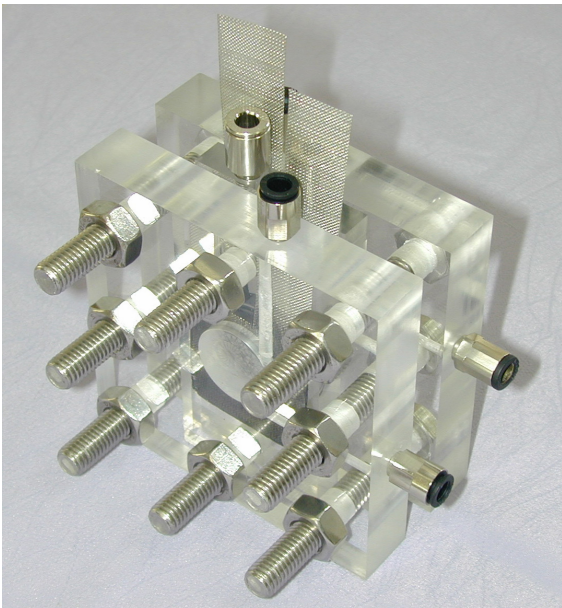


İyonların elektrolit boyunca göçü ile elektrik devresi tamamlanmış olur. Böylece alkali yakıt pili gibi bir galvanik hücrede, kendiliğinden yürüyen redoks tepkimeleri sırasında alınıp verilen elektronların bir metalik iletken üzerinden, bir elektrottan diğerine aktarılması sonucu yakıtın kimyasal enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüşmüş olur [1-5].

Bu çalışmada, yakın gelecekte evlerimizden işyerlerine, taşıtlardan elektrik santrallerine kadar bir çok alanda söz sahibi olacak yakıt pillerinin bir çeşidi olan, bir alkali elektrolitli yakıt pili deney düzeneği laboratuvar boyutunda kurulmuş ve gücünü etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu çalışmada test edilen bütün elektrotlar çift katlı, teflon katkılı, gaz geçirgen tipte olacak şekilde ve yaş açma yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır [6,7]. Çok katlı elektrotlarda bir metal ağ üzerine yerleştirilmiş bir gaz difüzyon tabakası ve en üstte elektrolitle temas halinde, katalizör ihtiva eden bir aktif tabaka bulunmaktadır. Hücrede kullanılan elektrotlar, nikel elek teli üzerine, karbon ve teflon karışımı gaz geçirgen tabaka ve platin emdirilmiş karbon ve teflon karışımı ile hazırlanmış aktif tabakalardan meydana gelmiştir [1,2,8]. Bu çalışma ile elektrot bileşimi ve üretim yöntemi değiştirilerek yakıt hücresinin başarımının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Hazırlanan elektrotlarla kurulan yakıt hücresinin voltaj-akım özellikleri, 25-80 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve % 30 KOH çözeltisi ortamında, yatışkın halde ölçülmüştür.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada sıvı elektrolitli bir H₂-O₂ alkali yakıt pili tasarlanmış (Şekil 2) ve elektrotların hazırlanmasında kullanılan malzemelerin miktar ve

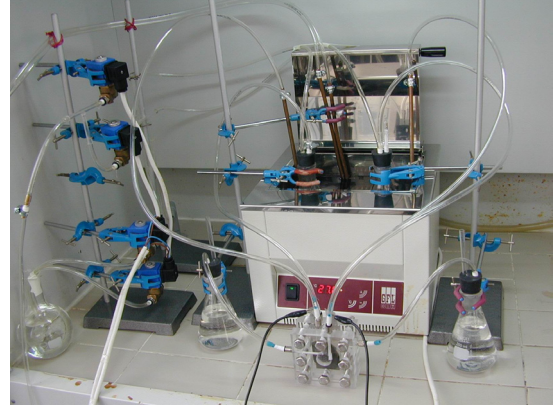


Şekil 2. Alkali yakıt pili test hücresi

özelliklerinin, katalizör miktarının, çalışma sıcaklığının, elektrot hazırlama yönteminde yapılan iyileştirmelerin, yakıt pilinin başarımına olan etkileri incelenmiştir.

Şekil 2'de görülen sıvı elektrolit tipli alkali yakıt pili, aynı zamanda koruma görevi gören hidrojen ve oksijen gazlarının geçtiği bölümler, hidrojen ve oksijen elektrotları ile elektrolit bölmesinden oluşmaktadır.

Şekil 3'de alkali yakıt pili elektrotlarını test etmek için hazırlanan deney ve kontrol düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneğinin görünüşü (Elektrolit sirkülasyon sistemi ve yakıt hücresi)

Elektrotların hazırlanmasında, elektron toplayıcı ve elektrot desteği olarak kullanılmak üzere 0,18 mm kalınlığında ve 297 µ göz açıklığında nikel-krom elek teli seçilmiştir. Elektrot tabakalarında sıvı geçirgenliğini ayarlamak ve gerekli dayanımı sağlamak için bağlayıcı olarak PTFE (Algoflon D60A-Ausimont) çözeltisi kullanılmıştır. Tabakalarda aktif karbon (Charcoal activated pure-Merck 102183) ve karbon siyahı (Vulcan Carbon XC-72R Cabot) olmak üzere iki tür karbon malzeme kullanılmıştır. Gaz difüzyonu için gerekli gözenekliliği sağlamak üzere dolgu malzemesi olarak Ammonium bicarbonate (Merck 101131) ve malzeme karışımını homojenize etmek için ise çözücü olarak Heptane (Merck 104365) kullanılmıştır. Hem hidrojen hem de oksijen elektrotlarında, karbona emdirilmiş Pt katalizör (% 10 Pt/Charcoal Activated-Merck 807339) kullanılmıştır.

Çalışma süresince, elektrot üretim yönteminde önemli değişiklikler yapılarak uygun bir proses geliştirilmiştir. Hazırlanan elektrotlar 0.96-1.70 mm kalınlığında olup 1.25 ile 2.00 mg/cm² arasında değişen miktarlarda platin içermektedir. Üretilen elektrotlar yakıt pilinin açık devre voltajı ile voltaj-akım özellikleri ölçülerek incelenmiştir. Bir alkali yakıt pili hücresi, aynı bileşimde ve aynı üretim yöntemi ile hazırlanan, hidrojen ve oksijen elektrotlarının kullanılması ile kurulmuş ve test edilmiştir.

3. ELEKTROTLARIN BAŞARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma boyunca 16 çift elektrot hazırlanmış ve bu elektrotların hazırlanış karakteristikleri Tablo 1’de verilmiştir. (Katalizör tabakadaki karbon yüzdesi vulcan ve charcoal ticari karbonlarının karışımından oluşmaktadır. Difüzyon tabakasında ise sadece vulcan karbon kullanılmıştır.)

Çalışmanın ilk aşamasında aktif tabakadaki katalizör miktarı sabit tutulmuş ve karbon, bağlayıcı (PTFE) ile dolgu maddesi (NH_4HCO_3) gibi malzemelerin elektrot içindeki yüzdeleri değiştirilerek en yüksek başarıyı verecek elektrot yapısı araştırılmıştır. İkinci aşamada, yatışkın hal voltaj-akım değerleri incelenerek yapılan değerlendirme sonucu, en yüksek başarıyı gösteren 17 nolu elektrot değerleri için katalizör miktarı artırılmış (2 mg/cm^2), karışımdaki diğer malzemelerin yüzdeleri ise sabit tutulmuştur. Bununla beraber bu bölümde hazırlanan elektrotlar (24, 25, 26, 27, 30) sinterlenme aşamasında yanmıştır. Daha önce literatürde böyle bir problem bildirilmemiştir. Bu problem ancak artan katalizör miktarına karşılık diğer malzemelerin de yüzdesinin değiştirilmesi ile çözülmüştür. Ne var ki bu şekilde hazırlanan 29 nolu elektrot ile, içerdiği yüksek katalizör miktarına rağmen daha az katalizör içeren

diğer elektrotlara göre daha düşük voltaj-akım değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle üçüncü aşamada ilk deneyler sonrasında elde edilen en yüksek başarıya sahip 17 nolu elektrot bileşiminde yeni elektrotlar (31 ve 32) hazırlanmış ve bu elektrotların katalizör miktarı sırasıyla 1.50 ile 1.75 mg/cm^2 arasında değiştirilerek, yeni deneyler yapılmıştır.

3.1. Yakıt Pili Açık Devre Voltajı

Elektrotların aynı koşullar altında ölçülmüş açık devre voltajları Tablo 2’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür değerleri ile oldukça benzerdir [1,2,8,9].

Tablo 2. Elektrotların farklı sıcaklıklarda ölçülmüş açık devre voltajları

No	Açık Devre Voltajı (mV)					
	25 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
16	1048	1030	1024	1019	1006	984
17	1048	1030	1024	1010	999	975
18	1043	1024	1019	1009	994	967
19	1048	1029	1024	1012	998	971
20	1045	1027	1019	1012	998	974
21	1041	1024	1017	1009	995	971
22	1045	1027	1023	1011	997	970
29	1046	1022	1015	1009	1001	984
31	1042	1024	1017	1005	996	977
32	1046	1030	1026	1015	1005	988

Tablo 1. Çift katlı, teflon bağlı karbon gaz difüzyon elektrotlarının hazırlanış karakteristikleri

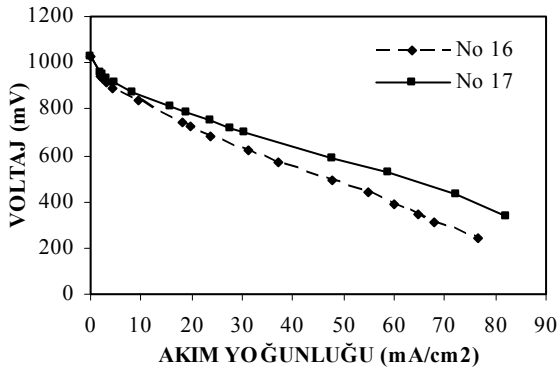
ELEKTROT NO	KARBON (%)		PTFE (%)	NH_4HCO_3 (%)	Pt (mg/cm^2)	KALINLIK (mm)	
	D.T.	K.T.				A	K
16*	D.T.	65	35	25	1.25	1.12	1.22
	K.T.	79	21	25			
17	D.T.	65	35	25	1.25	1.18	1.26
	K.T.	79	21	25			
18*	D.T.	65	35	25	1.25	1.06	1.05
	K.T.	87	13	10			
19	D.T.	65	35	25	1.25	1.08	1.13
	K.T.	87	13	10			
20	D.T.	65	35	25	1.25	1.16	1.25
	K.T.	87	13	40			
21	D.T.	65	35	25	1.25	0.96	1.01
	K.T.	71	29	10			
22	D.T.	65	35	25	1.25	0.98	0.92
	K.T.	71	29	40			
23	D.T.	65	35	25	2.50	-	-
	K.T.	79	21	25			
24	D.T.	65	35	25	2.00	-	-
	K.T.	79	21	25			
25	D.T.	65	35	25	2.00	-	-
	K.T.	79	21	25			
26	D.T.	65	35	25	2.00	-	-
	K.T.	79	21	25			
27*	D.T.	65	35	25	2.00	-	-
	K.T.	79	21	25			
29	D.T.	65	35	25	2.00	1.70	1.60
	K.T.	85	15	25			
30	D.T.	65	35	25	2.00	-	-
	K.T.	82	18	25			
31	D.T.	65	35	25	1.50	1.35	1.32
	K.T.	79	21	25			
32	D.T.	65	35	25	1.75	1.37	1.54
	K.T.	79	21	25			

D.T: Difüzyon Tabaka-A.T: Aktif Tabaka-A: Anot - K: Katot - NH_4HCO_3 : Amonyum bikarbonat -- PTFE: Polytetrafluoroetilen
*Elektrotların hazırlanmasında ksilen kullanılmamıştır.

Bu çalışmada yakıt pilinin açık devre voltajı 1041 ile 1048 mV arasında değişmiştir. Bir yakıt pilinde sabit yük altındaki voltaj değeri, açık devre voltajı ile bağıntılıdır ve ideal olarak akım değerine karşılık gelen voltajın yüksek olması istenir. Bu nedenle açık devre voltajının mümkün olduğunca teorik voltaja (1,229 V) yakın olması istenir.

3.2. Yatışkın Hal Voltaj-Akım Sonuçları

Deneyler süresince elektrotların hazırlanmasında kullanılan üretim yönteminde, literatürde daha önce uygulaması olmayan ve elektrot hamurunun nikel tel üzerine açılmadan önce ksilen gibi bir organik çözücü ile yoğrulmasını öngören bir değişiklik yapılmıştır. Şekil 4'te aynı bileşimde hazırlanmış 16 ve 17 nolu elektrotların, 50 °C'deki başarımları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. Üretim yönteminde yapılan iyileştirmenin etkisi

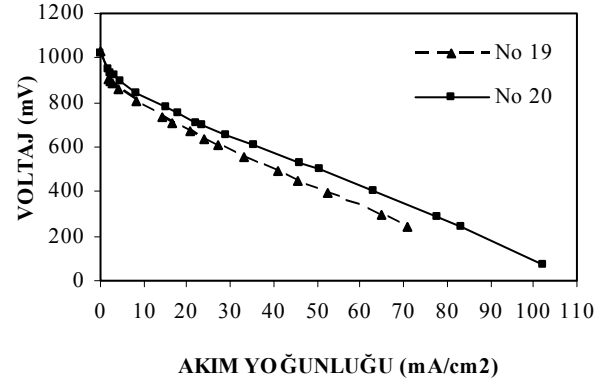
16 ve 17 nolu elektrotların bileşimi tamamen aynıdır. 17 nolu elektrot hamuru farklı olarak, alüminyum merdane ile nikel-krom tel üzerine açılmadan önce doyurulana kadar ksilen ile yoğrulmuştur. Şekil 4'te görüldüğü gibi 17 nolu elektrodun başarımı aynı koşullar altında çok daha yüksektir. Özellikle yüksek akım yoğunluklarına çıkıldıkça belli bir akım yoğunluğuna karşılık gelen voltaj değerleri daha da fazla artmıştır. Ksilen elektrot hamurunun işlenebilirliğini artırarak düzgün yapıli elektrotların hazırlanmasına olanak sağlamıştır.

Benzer şekilde ksilen kullanılarak hazırlanan 19 nolu elektrodun başarımı ksileniz olarak hazırlanan 18 nolu elektrottan yüksektir. Yapılan deneyler sonucunda ksilenin elektrotların başarımına önemli bir katkısının olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle bu aşamadan sonra hazırlanan elektrotlar ksilen kullanılarak hazırlanmıştır.

Üretim yönteminin yanı sıra, elektrotların hazırlanmasında kullanılan malzemelerin miktar ve özellikleri de, pilin başarımını etkilemektedir. Malzemelerin elektrot yapısında en uygun miktarlarda kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle 17, 19, 20, 21 ve 22 nolu elektrotlarda üretim yöntemi ve katalizör miktarı sabit tutularak,

aktif tabakadaki bağlayıcı, karbon ve dolgu maddesi miktarları sistematik olarak değiştirilmiş ve en yüksek başarımları verecek elektrot yapısı araştırılmıştır.

Dolgu maddesinin ve gözenekliliğinin etkisini incelemek üzere 19 ve 20 nolu elektrotlar test edilmiştir. Her iki elektrotta 1.25 mg/cm² katalizör içermektedir. 20 nolu elektrotta diğerinden farklı olarak amonyum bikarbonatın toplam ağırlık içindeki yüzdesi % 10'dan % 40'a çıkarılmıştır. Bu elektrotların 50 °C'de voltaj-akım yoğunluğu grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.



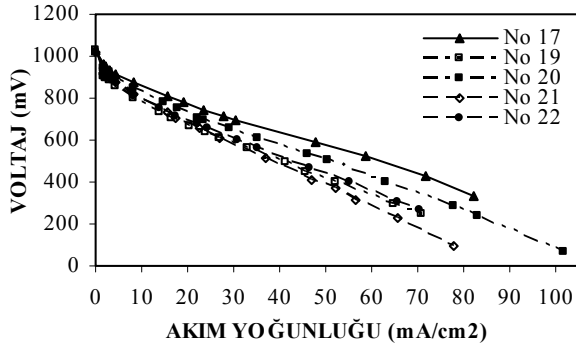
Şekil 5. Dolgu maddesinin elektrotların başarımına etkisi

20 nolu elektrodun başarımı belirgin bir şekilde yüksektir. Aynı şekilde amonyum bikarbonat miktarının artırılmasına bağlı olarak, benzer bir başarımların artışı 21 ve 22 nolu elektrotlarla yapılan deneylerde de görülmüştür. Heptan ve amonyum bikarbonat kurutma süreci esnasında buharlaşarak geride gözenekli bir yapı bırakmıştır. Amonyum bikarbonat miktarının artırılması gözenekliliği önemli ölçüde artırmıştır. Elektrokimyasal tepkimeler bu gözeneklerde; gaz fazındaki reaktanlar ile sıvı fazdaki elektrolitin, katı fazdaki katalizör yüzeyinde teması ile gerçekleşmektedir. Gözenek miktarının artması elektrot yüzeyinin ve tepkime bölgelerini önemli ölçüde artırarak başarımın artmasını sağlamıştır.

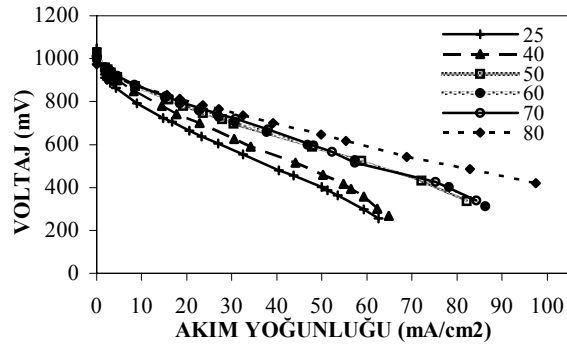
17, 19, 20, 21 ve 22 nolu elektrotlar için 50 °C'de ölçülmüş voltaj-akım yoğunluğu grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Tüm elektrotların bileşimleri farklıdır. Bununla beraber elektrotların tümü 1.25 mg/cm² platin içermektedir ve ksilen ile hazırlanmışlardır. Bu elektrotlarla yapılan deneylerde katalizör miktarı sabit tutularak en uygun bağlayıcı - karbon oranı saptanmaya çalışılmıştır.

17 nolu elektrot ile kurulan düzenekte, 1.25 mg/cm² platin içeren elektrotlar arasında, yapısındaki karbon ve teflon oranlarının uygun dağılımı sonucu en yüksek voltaj-akım değerleri elde edilmiştir. En düşük voltaj-akım yoğunluğu değerleri ise 21 nolu elektrot ile elde edilmiştir. Şekil 7'de 17 nolu

elektrot için yatışkın hal voltaj-akım yoğunluğu eğrisinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 6. Elektrot bileşiminin voltaj-akım yoğunluğu üzerine etkisi



Şekil 7. Sıcaklığın voltaj-akım yoğunluğu üzerine etkisi

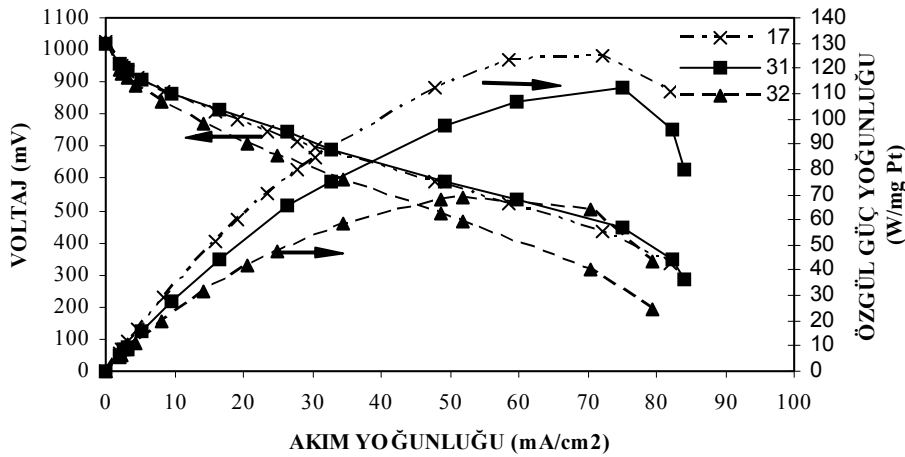
Görüldüğü gibi yakıt pilinde sıcaklık arttıkça özellikle katotta, aktivasyon aşırı geriliminin düşmesi nedeniyle belli bir akım yoğunluğuna karşılık gelen voltaj değeri artmıştır. Bu durum test edilmiş olan diğer tüm elektrotlar için de geçerlidir.

Literatürde 60 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sıcaklığı artırmanın her bir hücre gerilimini 4 mV/°C kadar artırdığı bildirilmiştir [2]. Bu

çalışmada 17 nolu elektrot için 220 mA akım değerine karşılık 25 ve 60 °C sıcaklıklarında sırasıyla 454.9 mV ve 608.5 mV voltaj değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç hücre voltajının derece başına 4.4 mV arttığını göstermekte literatürde bildirilen değerlerle uyumaktadır. Ayrıca alkali yakıt pili için karakteristik çalışma özellikleri; 60-80 °C sıcaklıkları arasında, 0.6-0.8 V voltaja karşılık 10-150 mA/cm² akım yoğunluğu değerleri ile tanımlanmıştır [10]. Bu çalışmada elde edilen başarımlar değerleri literatürdeki bu değerler ile uyumaktadır. 17 nolu elektrot ile 80 °C sıcaklıkta % 30 potasyum hidroksit çözeltisi ortamında, 0.6 V-58.2 mA/cm² voltaj-akım yoğunluğu değerleri elde edilmiştir.

Hazırlanan elektrotların voltaj-akım değerlerinin artırılabilmesi için 17 nolu elektrot ile aynı karbon, PTFE ve NH₄HCO₃ yüzdesine sahip, sırasıyla 1.50 ve 1.75 mg/cm² platin içeren 31 ve 32 nolu elektrotlar hazırlanmıştır. Elektrotlar katalizör miktarının etkisini incelemek üzere aynı koşullar altında test edilmiştir. 31 nolu elektrodun içerdiği platin miktarı, 32 nolu elektrottan daha az olmasına rağmen, tüm deneyler arasında en yüksek sonuçlar bu elektrot ile elde edilmiştir. 32 nolu elektrot ise daha önce sinterleme aşamasında yanan 24, 25, 26 ve 27 nolu elektrotlar ile aynı bileşimde ve katalizör miktarı 2 mg/cm²'ye oldukça yakındır.

Şekil 8'de voltaj ve özgül güç yoğunluğunun, 50 °C sıcaklıkta akım yoğunluğu ile değişimi gösterilmiştir. Yakıt pilinin diğer teknolojilerle rekabet edebilirliği, enerji dönüşüm veriminin yüksek olmasının yanı sıra yatırım maliyetinin düşük olmasına ve işletme ekonomisinin sağlanmasına bağlıdır. Araştırma ve geliştirme çalışmalarının temel amacı, belli bir akım yoğunluğuna karşılık gelen voltajı mümkün olduğunca artırmak ve katalizör miktarını azaltarak yüksek özgül güç yoğunluğu (mW/mg Pt) elde etmektir. Bu çalışmada, en yüksek özgül güç yoğunluğu 17 nolu elektrot ile elde edilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü



Şekil 8. Katalizör miktarı ve özgül güç yoğunluğu arasındaki ilişki

gibi 31 ve 32 nolu elektrotların özgül güç yoğunlukları, içerdikleri yüksek platin miktarına karşılık, 17 nolu elektrottan daha düşüktür. Bununla beraber yukarıda anlatılan kriterlere ek olarak, en uygun elektrodun seçiminde özgül güç yoğunluğunun yüksek olmasının yanı sıra uygulamanın tipi ve gereksinimleri de önemli rol oynamaktadır. Özellikle mobil, uzay, denizaltı ve askeri amaçlı bazı uygulamalarda yüksek akım ve güç yoğunluğunun elde edilmesi daha önemlidir. Bu açıdan bakıldığında Tablo 3'te görüldüğü gibi, 31 nolu elektrodun akım ve güç yoğunluğu değerleri, 500 mV voltaj değerinde ve aynı sıcaklıklarda, 17 nolu elektrottan daha yüksektir. Bununla beraber 17 nolu elektrodun özgül güç yoğunluğu her iki sıcaklıkta da 31 nolu elektrottan daha yüksektir.

Tablo 3. "17" ve "31" nolu elektrotların değişik sıcaklıklarda hesaplanmış güç değerleri.

V=500mV	No 17		No 31	
	50	80	50	80
Akım Yoğunluğu (mA/cm ²)	62.1	79	67.1	85.4
Güç Yoğunluğu (W/cm ²)	30.9	39.3	32.7	42.6
Özgül Güç Yoğunluğu (W/mg Pt)	123.6	157.3	109	142.1

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ölçülen açık devre voltajı ve voltaj karakteristiği literatür değerleri ile benzeşmektedir. Bunun yanı sıra çalışma sıcaklığı 25 °C'den 60 °C'ye çıkarıldığında hücre voltajı derece başına ortalama 4 mV kadar artmıştır.

Çalışma süresince üretilen elektrotların kalınlıkları 0.96 ile 1.70 mm arasında değişmiş olup, elektrot kalınlığının başarımlar üzerinde beklenildiği derecede önemli bir etkisi görülmemiştir. Fakat elektrotların hazırlanmasında kullanılan malzemelerin oranlarının ve üretim yönteminde yapılan iyileştirmelerin etkisi büyük olmuştur. Özellikle, elektrotların hazırlanmasında ksilen kullanılarak voltaj-akım yoğunluğu değerleri artırılabilmiştir.

Elektrotların gözenekliliği amonyum bikarbonat kullanılarak artırılmıştır. Yüksek miktarda amonyum bikarbonat içeren elektrotlarla hazırlanan yakıt hücrelerinde daha yüksek voltaj-akım değerleri ölçülmüştür.

En yüksek başarımın elde edildiği yakıt hücresi ile 0.6 V çalışma voltajında 62 mA/cm² ve 0.4 V çalışma voltajına karşılık ise 102.4 mA/cm² akım yoğunluğu değerleri ölçülmüştür.

Voltaj akım özelliklerinin elektrotta kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerinden ve üretim yönteminden etkilendiği, özellikle bağlayıcı yüzdesinin ve sinterleme şartlarının başarımları

yüksek elektrotların üretilmesinde oldukça kritik parametreler olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 00 B 030803).

KAYNAKLAR

- [1] Blomen L.J.M.J., M.N. Mugerwa (1993). Fuel Cell Systems, Plenum Press, New York.
- [2] Hirschenhofer J.H., D.B. Stauffer, R.R. Engleman, M.G. Klett (1999). Fuel Cell Handbook, U.S. Department of Energy, Parsons Corporation.
- [3] Strasser K. (1990). "The Design of Alkaline Fuel Cells", *Journal of Power Sources*, **29**, 149-166.
- [4] Larminie J., A. Dicks (2001). Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons Ltd., England.
- [5] Sarıkaya Y. (1997). Fizikokimya, Gazi Büro Kitapevi, Ankara.
- [6] Kivisaari J. (1992). Preparation, Characterization and Modeling of Air Electrodes for Alkaline Fuel Cells, Ph.D. Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [7] Lammien J., J. Kivisaari, M.J. Lampinen, M. Viitanen, J. Vuorisalo. (1991). "Preparation of Air Electrodes and Long Run Tests", *Journal of the Electrochemical Society*, **138(4)**, 905-908.
- [8] Han E. (1998). Amelioration of Electrodes in Alkaline Fuel Cells, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [9] Ergül M.T. (1995). Design and Manufacture of a Low Temperature Hydrogen-Oxygen Alkaline Fuel Cell, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [10] Kordesch K., J.C.T. Oliveira (1988). "Fuel Cells: The Present State of the Technology and Future Applications, with Special Consideration of the Alkaline Hydrogen-Oxygen (Air) Systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, **13(7)**, 411-427.