

## **PEM YAKIT HÜCRESİNİN KATOD TARAFI PERFORMANSININ GELİŞTİRİLMESİ**

Kevser DİNCER<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, 42031,  
Konya, Türkiye

### **Özet**

Bu çalışmada, PEM yakıt hücresinin katod tarafı yitriya stabilize edilmiş zirkonya (YSZ) ile kaplanmış ve PEM yakıt hücresinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. 2 gr YSZ+10 mL metanolden oluşan bir karışım hazırlanmıştır. PEM yakıt hücresinin katod tarafı spin metodu ile YSZ kaplanmıştır. Kaplamadan sonra membran 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Deneylerde, kaplama öncesi ve kaplama sonrası akım yoğunluğu, gerilim yoğunluğu ve güç yoğunluğu performansları tespit edilerek birbiri ile mukayese edilmiştir. PEM yakıt hücresinin katod tarafı YSZ ile kaplandığında, çalışma süresinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yitriya stabilize edilmiş zirkonya (YSZ); Yakıt hücresi; Polimer Elektrolit Membran (PEM); Membran.

## **IMPROVEMENT OF PERFORMANCE OF CATHODE SIDE OF PEM FUEL CELL**

### **Abstract**

In this study, performance of PEM was experimentally investigated coating on the cathode side of the PEM fuel cell was accomplished with the spinning method by using yttria-stabilized zirconia (YSZ). A solution having 2 gr YSZ+10 mL methanol was prepared. Then the cathode side of PEM fuel cell was cladded with YSZ by using spinning method. After coating, the membrane was left out to dry for 24 hours. In the experimental study, current density, voltage density and power density performances before and after coating have been recorded and then are compared to each other. The cathode side of PEM fuel cells coated with YSZ, the run-time was found to be increased.

**Keywords:** Yttria-stabilized zirconia (YSZ); Fuel cell; Polymer Electrolyte Membrane (PEM); Membrane.

## **1. Giriş**

Yakıt hücresi, hidrojeni elektrik enerjisine çeviren sistemdir. Yakıt hücresinde, hidrojen oksijen ile elektrokimyasal işlemler ile birleştirilerek elektrik akımı elde edilir. Yanma olmadığı için egzoz gazı oluşmaz. Dolayısıyla yakıt pilleri çevreyi kirletmeyen bir enerji üretim kaynağıdır [1].

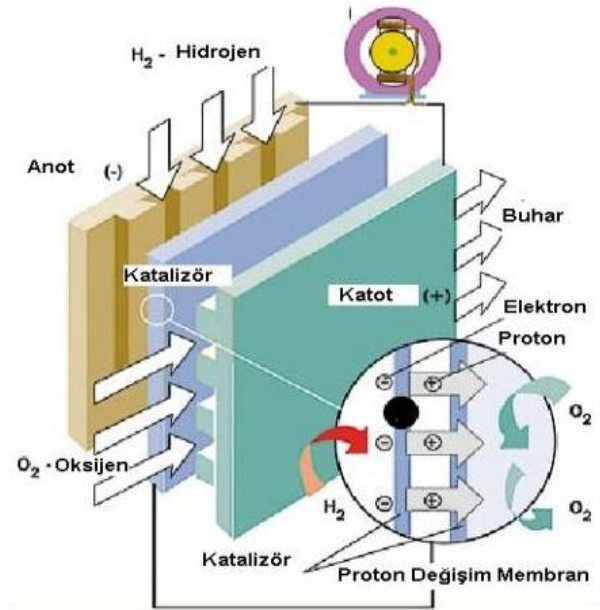
Yakıt hücresi çeşitleri; geliştirilmekte olan birçok yakıt hücresi çeşidi vardır. Bunlar kullandığı yakıt ve oksitleyici türü, yakıtın yakıt hücresinin dışında (external reforming) veya içinde (internal reforming) işlenişi, elektrolit tipi, işletim sıcaklığı, yakıtın besleme biçimi vb. gibi çok değişik şekilde sınıflandırılabilir. Yakıt hücrelerinin en yaygın sınıflandırması hücrenin içinde kullanılan elektrolitin tipine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre 6 tür yakıt hücresi bulunmaktadır. Bunlar;

1. Polimer Elektrolit Membranlı (PEM) Yakıt hücresi
2. Doğrudan Metanol Yakıt hücresi (DMYP)
3. Alkali Yakıt hücresi (AYP)
4. Fosforik Asit Yakıt hücresi (FAYP)
5. Erimiş Karbonat Yakıt hücresi (EKYP)
6. Katı Oksitli Yakıt hücresi (KOYP) [2].

Bu çalışmada Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt hücresi kullanılmıştır. Proton değişim membran yakıt hücresi şematik diyagramı Şekil 1’de sunulmuştur.

PEM yakıt hücreleri hareketli parça içermemektedir ve bu sebeple aşınmazlar. Oldukça sessiz çalışmakta ve herhangi bir atık ortaya çıkarmamaktadır. Verimlilikleri yaklaşık % 50'dir. Hassas çalışma koşullarında (90°C’ye ve 600 kPa’a kadar) çalışırlar. PEM yakıt hücreleri düşük güç seviyelerinde maksimum verimliliğe ulaşabilmektedirler ve verimlilik gücün artırılmasıyla lineer olarak azalmaktadır. Proton değişim membran yakıt hücreleri, özellikle yüksek performanslı polimerlerin bulunmasından sonra; uzay çalışmalarında ve özel askeri sistemlerde uygulanmak amacıyla geliştirilmiştir. Proton değişim membran yakıt hücreleri düşük çalışma sıcaklığında yüksek verim elde edilmesi, sessiz çalışması ve saf suyun dışında herhangi bir atık ortaya çıkarmamasından dolayı en çok ilgi çeken yakıt hücresi türüdür. Proton değişim membran yakıt hücrelerinin en önemli elemanı proton iletim özelliğine sahip polimerik membrandır. Yakıt hücreleriyle ilgili yapılan çalışmaların başında polimerik membranların geliştirilmesi ile ilgili olan çalışmalar yer almaktadır. Günümüzde ticari

olarak kullanılan membranların çeşitliliğinin az ve fiyatlarının yüksek olmasından dolayı alternatif membranların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar oldukça hızlanmıştır.



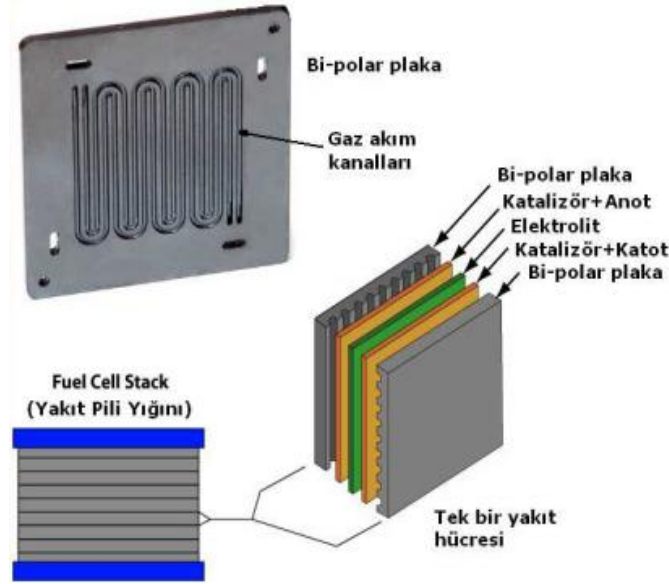
Şekil 1. Proton değişim membran yakıt hücresi şematik diyagramı

Proton değişim membran yakıt hücrelerinde kullanılan membranların;

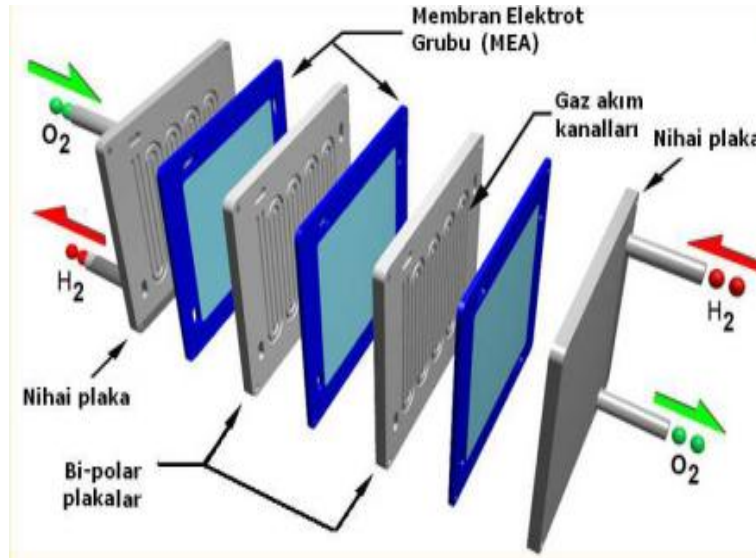
- Proton geçirgen özellikte olması,
- Su, yakıt (hidrojen veya metanol), oksijen ve havadaki diğer gazları geçirmemesi,
- Mekanik dayanımının yüksek olması,
- Uzun süreli kullanımda ısıl ve kimyasal direncinin yüksek olması,
- Teknolojik olarak yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için emniyetli ve ucuz olması gerekmektedir [3].

Yakıt hücresi performansında, işletme şartları önemli olsa da, bu performansta temel faktörler olarak yakıt hücresinin, her bir biriminde kullanılan elemanların yapısı, malzemesi ve bunlara bağlı olarak performansları sayılabilir. Bu nedenle, yakıt hücresinde, kullanılan malzemeler ve ekipmanlarla ilgili olarak yapılan çalışmalar da büyük önem taşımaktadır. Yakıt hücresi, çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesiyle “yakıt hücresi yığını-fuel cell stack” denilen yapılar oluşturulmaktadır. Yakıt hücresi yığınları ile istenilen oranda voltaj üretebilecek bir sistem geliştirilerek değişik amaçlar

için kullanılmaktadır. Bir yakıt hücresi yığını ve elemanlarının detaylı görünümü Şekil 2 ve 3’de sunulmuştur [4].



Şekil 2. Bir yakıt hücresi yığını ve bi-polar plakalarının detaylı görünümü [4]



Şekil 3. Bir yakıt hücresi yığını ve elemanlarının detaylı görünümü [4]

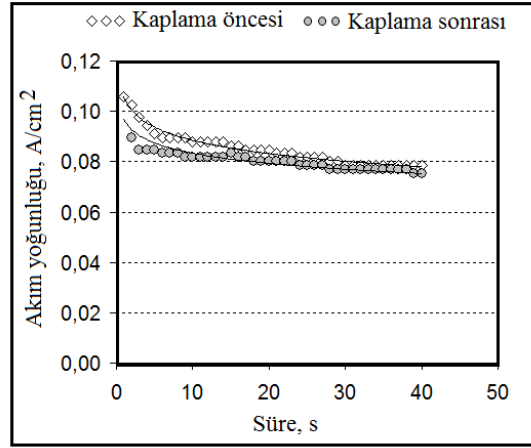
PEM yakıt hücreleri, üzerinde yapılmış olan farklı çalışmalar bulunmaktadır [5-11]. Bu çalışmada ise, PEM yakıt hücresinin katot tarafı, YSZ ile kaplanarak elektron ve proton geçirgenliğinin PEM yakıt hücresi performansını nasıl etkilediği deneysel olarak incelenmiştir.

## **2. Deneysel Çalışma**

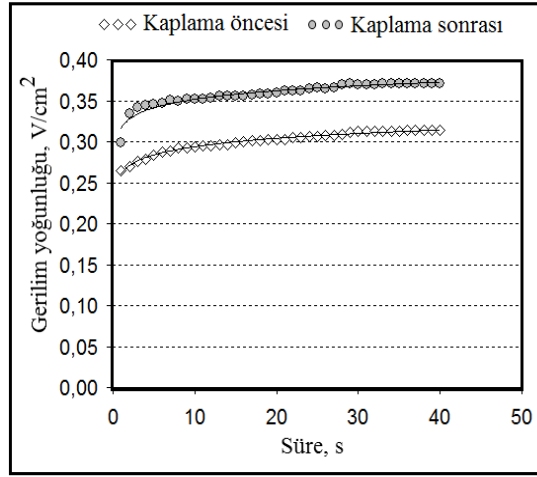
Bu çalışmada spin yöntemi ile PEM yakıt hücresinin katod tarafı YSZ ile kaplanmış ve PEM yakıt hücresinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Spin metodu ile kaplama yapmak için, 10 mL etanole 2 gr YSZ ilave edilmiş ve ultrasonik karıştırıcıda kaplama yapmak için yeterli homojenliğe erişinceye kadar karıştırılmıştır. Membran kaplamadan önce ve kaplandıktan sonra hassas terazide tartılarak membrana ne kadar kaplanma yapıldığı tespit edilmiştir. Deneysel sistemin O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> tankları 10 mL'ye kadar saf su ile doldurulmuş ve membranın gerilimleri reaksiyon başlamadan önce digital multimeter ile ölçülmüştür. Bu çalışmada 2x2 cm<sup>2</sup>'lik membranlı olan PEM yakıt hücresi ile 2 farklı deney yapılmıştır. Bunlardan birincisi elektroliz deneyi, diğeri ise PEM yakıt hücresi ile elektrik üretme deneyidir. Her iki deneyde, akım yoğunluğu, gerilim yoğunluğu ve güç yoğunluğunun zamana göre değişimleri incelenmiştir. Bu çalışmada, elektroliz süreleri 40 dakikadır. Bunun nedeni, daha önce yapılan test deneylerinde elde edilen veriler değerlendirilerek bu sonuca varılmıştır.

## **3. Bulgular ve Tartışma**

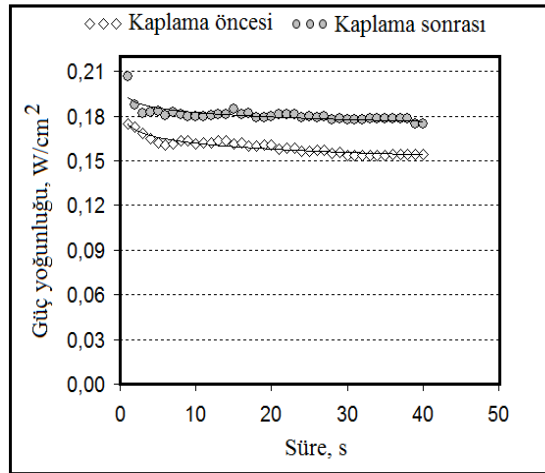
Bu çalışmada, PEM yakıt hücresinin katod tarafı, YSZ ile kaplanarak, PEM yakıt hücresinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Performans parametreleri, akım yoğunluğu, gerilim yoğunluğun ve güç yoğunluğunun zamana göre değişimleridir. Bu amaçla tersiniz 2x2 cm<sup>2</sup>'lik PEM yakıt hücresi ile ilgili iki farklı grupta deneysel çalışma yapılmıştır. Bunlar, elektroliz ve elektrik üretme deneyleridir. Bu çalışmadaki elektroliz performansı için yapılan deneysel verilerden elde edilen performans verilerine yönelik akım yoğunluğunun zamana göre değişimi Şekil 4'de, gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi Şekil 5'de, güç yoğunluğunun zamana göre değişimi Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. Akım yoğunluğunun zaman göre değişimi (elektroliz için)



Şekil 5. Gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi (elektroliz için)

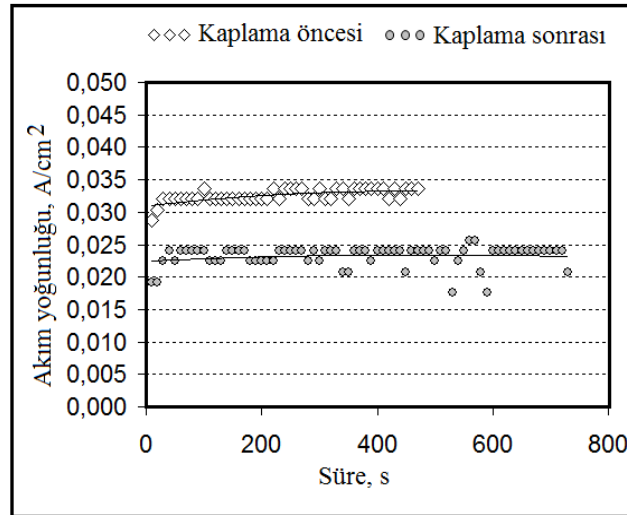


Şekil 6. Güç yoğunluğunun zamana göre değişimi (elektroliz için)

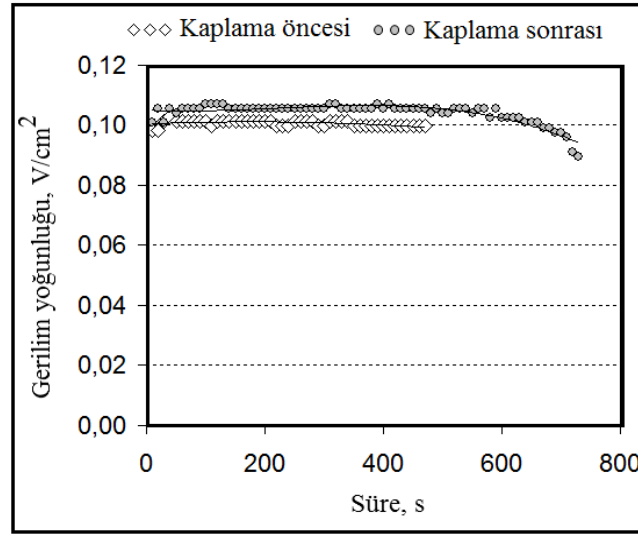
PEM yakıt hücresinin elektroliz deneylerinde kaplama öncesi ve sonrası akım ve güç yoğunluğu zaman ilerledikçe düşmüştür. Gerilim yoğunluğunun performansı, zaman

ilerledikçe artmıştır. Güç yoğunluğu ve gerilim yoğunluğunun performansı kaplama sonrası, kaplama öncesine göre artmıştır. Maksimum akım yoğunluğu performansı, kaplama öncesi  $0,1056 \text{ A/cm}^2$ , maksimum gerilim yoğunluğu performansı kaplama sonrası  $0,3712 \text{ V/cm}^2$ , maksimum güç yoğunluğu performansı kaplama sonrası  $0,206448 \text{ W/cm}^2$  olarak tespit edilmiştir.

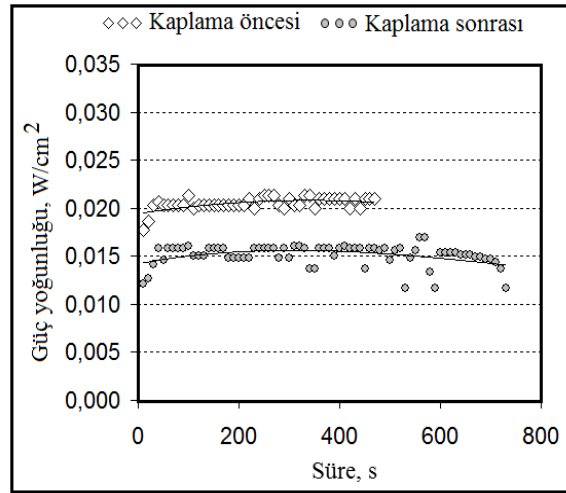
Bu çalışmanın ikinci bölümünde, PEM yakıt hücresinin elektrik üretim performansı kaplama öncesi ve sonrası deneysel olarak incelenmiştir. Test edilen katod için üç farklı analiz yapılmıştır. Bunlar elektrik üretimine yönelik performans deneylerine ait veriler, Şekil 7'de akım yoğunluğunun zamana göre değişimi, Şekil 8'de gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi, Şekil 9'da güç yoğunluğunun zamana göre değişimleri sunulmuştur.



Şekil 7. Akım yoğunluğunun zamana göre değişimi (elektrik üretimi için)



Şekil 8. Gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi (elektrik üretimi için)



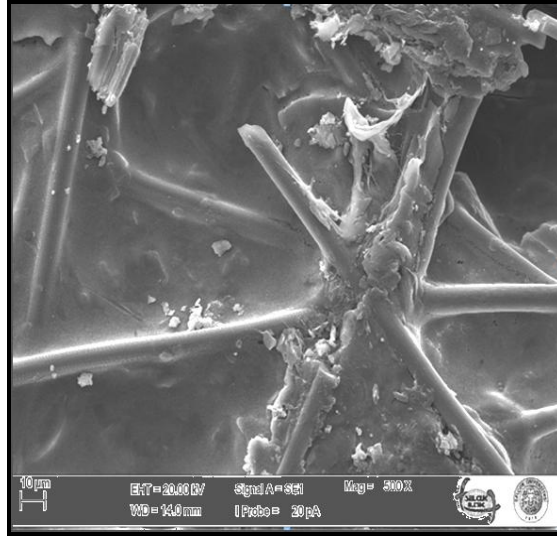
Şekil 9. Güç yoğunluğunun zamana göre değişimi (elektrik üretimi için)

PEM yakıt hücresinin elektrik üretim performans deneylerinde, kaplama sonrası akım yoğunluğu ve güç yoğunluğundaki performans kaplama öncesine göre düşerken, gerilim yoğunluğundaki kaplama sonrasındaki performans kaplama öncesindeki performansa göre artmıştır. PEM yakıt hücresi membranının YSZ ile kaplandığında elektrik üretim deneylerinde, akım yoğunluğu, gerilim yoğunluğu ve güç yoğunluğunun çalışma sürelerinin kaplama öncesine göre arttığı deneysel olarak tespit edilmiştir. PEM yakıt hücresinin elektrik üretim deneylerinde kaplama öncesi, çalışma süresi 470 saniye iken kaplama sonrası performans deneylerinin çalışma süreleri, 730 saniye olarak tespit edilmiştir. Gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi incelendiğinde kaplama öncesine göre kaplama sonrası iyileşme görülmüştür. Gerilim yoğunluğundaki

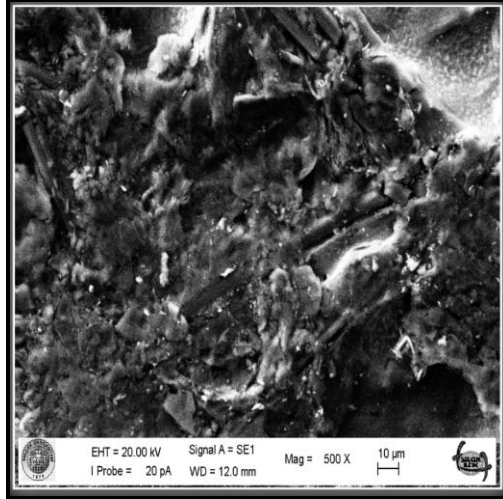


maksimum performans 310. saniyede  $0,1072 \text{ V/cm}^2$  olarak, kaplama öncesi maksimum performans ise 250. saniyede  $0,10144 \text{ V/cm}^2$  olarak gözlemlenmiştir.

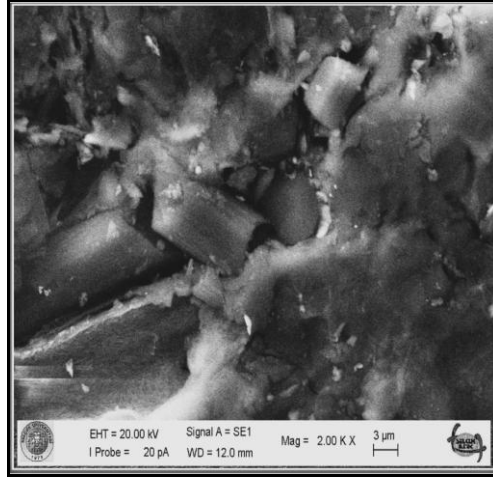
Bu çalışmada, geliştirilen katodun mikro yapısını gözlemlemek için SEM taramalı elektron mikroskopuyla katodun, YSZ ile kaplanmadan önceki membranın  $10 \mu\text{m}$ 'deki görüntüsü Şekil 10'da, membranın kaplandıktan sonra ise  $10 \mu\text{m}$ 'de ve  $3 \mu\text{m}$ 'deki görüntüleri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmuştur. Şekil 11 ve 12'deki beyaz olan yerler membranın YSZ ile kaplanmış bölgeleridir.



Şekil 10. YSZ ile kaplanmadan önceki membranın görünüşü  $10 \mu\text{m}$ 'deki görüntüsü



Şekil 11. YSZ ile kaplandıktan sonraki membranın  $10 \mu\text{m}$ 'deki görüntüsü



Şekil 12. YSZ ile kaplandıktan sonraki 3 µm' deki görüntüsü

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada spin metodu ile PEM yakıt hücresinin katod tarafı YSZ ile kaplanmış ve PEM yakıt hücresinin performansı kaplama öncesi ve sonrası elektroliz ve elektrik üretme olmak üzere deneysel olarak iki farklı grupta incelenmiştir. Bu deneysel çalışmaya ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Membranın kuru olması proton iletkenliğini düşürmüştür.
- PEM yakıt hücresindeki, nemin fazla olması, elektrotlarda su taşmasına neden olmuştur. Bu durumda gaz difüzyon tabakaları su ile dolmuş ve hidrojen ile oksijenin katalizör tabakasına geçmesine engel olmuştur.
- Elektroliz deneylerinde kaplama öncesi ve sonrası akım ve güç yoğunluğu zaman ilerledikçe performans düşerken gerilim yoğunluğu performansı zaman ilerledikçe artmıştır. Güç yoğunluğu performansı kaplama sonrası kaplama öncesi performansına göre artmıştır.
- Elektroliz deneylerinde, kaplama yapılmadan önceki maksimum akım yoğunluğundaki performans, 0,1056 A/cm<sup>2</sup>, maksimum gerilim yoğunluğundaki performans kaplama sonrası 0,3712 V/cm<sup>2</sup>, güç yoğunluğundaki performans kaplama sonrası 0,206448 W/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.
- PEM yakıt hücresinin membranının YSZ ile kaplandığında elektrik üretim deneylerinde, akım yoğunluğu, gerilim yoğunluğu ve güç yoğunluğunun çalışma sürelerinin kaplama öncesine göre arttığı tespit edilmiştir.

- Elektrik üretim deneylerinde, gerilim yoğunluğunun zamana göre değişimi incelendiğinde kaplama öncesine göre kaplama sonrası iyileşme olduğu görülmüştür. Gerilim yoğunluğundaki maksimum performans  $0,1072 \text{ V/cm}^2$  olarak, kaplama öncesi maksimum performans ise  $0,10144 \text{ V/cm}^2$  olarak gözlemlenmiştir.

**Teşekkür:** Bu çalışma Selçuk Üniversitesi BAP Proje No: 11401130 tarafından desteklenmektedir.

### **Kaynaklar**

- 1.<http://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/6600761.as>, 25.11.2013.
2. [http://yakitpili.com/?page\\_id=11](http://yakitpili.com/?page_id=11), 28.11.2013.
- 3.<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~yilser/protondegisim.htm>, 28.11.2013.
- 4.<http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/yakitpilleri/cev346-yakit-pilleri.pdf>, 25.11.2013.
5. Berg, P., Kimmerle, S., Novruzi, A., 2014, “Modeling, Shape Analysis and Computation of the Equilibrium Pore Shape Near a PEM-PEM Intersection”, Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 410 No: 1, pp. 241-256.
6. Lang, S., Kazdal, T., Kuehl, F., et al., 2014, “Diffusion coefficients and VLE data of aqueous phosphoric acid”, Journal of Chemical Thermodynamics, Vol., 68, pp. 75-81.
7. Chang, T.C., Zhang, J.P., Fuh, Y.K., 2014, “Electrical, Mechanical and Morphological Properties of Compressed Carbon Felt Electrodes In Vanadium Redox Flow Battery”, Journal of Power Sources, Vol. 245, pp. 66-75.
8. Kadakia, K., Datta, M. Kanchan, V., Oleg I., et al. 2014, “High Performance Fluorine Doped (Sn, Ru)O<sub>2</sub> Oxygen Evolution Reaction Electro-Catalysts For Proton Exchange Membrane Based Water Electrolysis”, Journal of Power Sources, Vol. 245, pp. 362-370.
9. Eastcott, J., Easton, I., Bradley, E., 2014, “Sulfonated Silica-Based Fuel Cell Electrode Structures for Low Humidity Applications”, Journal of Power Sources, Vol.: 245 pp. 487-494.

10. Siracusano, S., Baglio, V., Lufrano, F., et al., 2013, "Electrochemical Characterization of a PEM Water Electrolyzer Based on a Sulfonated Polysulfone Membrane", *Journal of Membrane Science*, Vol. 448, pp. 209-214.
11. Higgins, D.C., Chen, Z., 2013, "Recent Progress in Non-Precious Metal Catalysts for Pem Fuel Cell Applications", *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 91, pp. 1881-1895.