DOI 10.7603/s40690-014-0014-0

HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ
TEMMUZ 2014 CİLT 7 SAYI 2 (45-53)

EĞİLME DAYANIMI İYİLEŞTİRİLMİŞ ANOT DESTEKLİ KATI OKSİT YAKIT PİLİ GELİŞTİRİLMESİ

Safa KOÇ* **Bora TİMURKUTLUK** **Selahattin ÇELİK**

K.K. Balıkesir Astsb. MYO Komutanlığı
skoc.hytem@gmail.com

Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
bora.timurkutluk@nigde.edu.tr

Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
scelik@nigde.edu.tr

Geliş Tarihi: *30 Mayıs 2014,* ***Kabul Tarihi:*** *30 Haziran 2014*
© The Author(s) 2014. This article is published with open access by Aeronautics and Space Technologies Institute

ÖZET
Yakıt pilleri, yakıtın kimyasal enerjisini elektrokimyasal olarak doğrudan elektrik enerjine dönüştüren cihazlardır. Bu cihazlar bu dönüşümü herhangi bir mekanik adım olmadan gerçekleştirmektedir. Mevcut yakıt pilleri arasında Katı Oksit Yakıt Pili (KOYP) yüksek enerji dönüşüm verimi, farklı yakıt seçenekleri, temiz ve sessiz çalışma gibi avantajlarından dolayı son zamanlarda büyük ilgi çekmektedir. KOYP'leri diğer yakıt pillerinden ayıran ve farklı bir kategoriye yerleştiren en önemli özelliği ise yüksek çalışma sıcaklıklarıdır (600-1000°C). Ayrıca Carnot çevrim sınırlandırmalarına bağlı olmaması teorik verimlerinin ısıl motor verimlerinden daha yüksek olması ile sonuçlanır.

Bu çalışmada endüstriyel boyutlarda anot destekli katı oksit yakıt pili üretiminde ortaya çıkan eğilme, çatlama problemleri deneysel olarak incelenmiş yüksek mukavemetli anot destekli KOYP hücresi üretimi için koşulları belirlenmiştir. Deneysel çalışmada anot destek tabaka (ADT) ve anot işlevsel tabaka (AİT) karışım oranları, toz boyutları, tabaka kalınlıkları değiştirilerek, tabakaların uzama miktarları, çekme hızları ve eğrilik miktarları belirlenmiştir. Dilatometre yardımı ile elde edilen çekme hızları ince elektrolit tabakanın çekme hızına yaklaştırılmış ve böylece hücrede sinterleme sonrasında meydana gelen eğilmeler azaltılarak mekanik dayanım iyileştirilmiştir. Optimize edilmiş üretim parameterleri kullanılarak 100 cm^2 boyutlarında KOYP hücreleri imal ve test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Anot destekli KOYP, mekanik dayanım, eğrilik.*

DEVELOPMENT OF ANODE SUPPORTED SOLID OXIDE FUEL CELL WITH IMPROVED WARPAGE BEHAVIOR

ABSTRACT
Fuel cells are the devices that convert chemical energy of a fuel directly into electrical energy by electrochemical methods without any intermediate mechanical steps. Among the existing fuel cells technologies, Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) have been attracting great interest because of the advantages including high energy conversion efficiency, different fuel options, clean and quiet operation. The most important feature that distinguishes SOFC from other fuel cell and place it in a different category is the high operating temperatures (600-1000 °C). In addition, they do not depend on the limitation of the Carnot cycle thus their efficiency is higher than those of the internal combustion engines.

In this study, the problems of warpage and cracking which occur during the fabricating of an industrial size anode supported solid oxide fuel cell (SOFC) have been experimentally investigated and the fabrication parameters which enable to obtain anode supported SOFC with high strength has been determined. In the experimental study, the effects of composition, the powder size and the thickness of both anode support and anode functional layers on the shrinkage rate and warpage behavior have been studied. The shrinkage rates of

* Sorumlu Yazar

Published online: 14 August 2014

these two layers have been modified such that they are close to that of a thin electrolyte layer via dilatometry tests and as a result the mechanical strength is improved by reducing the warpage behavior during sintering. The cells having 100 cm^2 with the optimized fabrication parameters are manufactured and tested.

Keywords: *Anode supported SOFC, mechanical strength, warpage.*

1. GİRİŞ

Katı oksit yakıt pilli (KOYP) yüksek verimlilik ve düşük kirlilik emisyonunu bir arada sunan elektrokimyasal bir enerji dönüşüm sistemidir. KOYP'nin kilit elamanı olan ve membran elektrot gurubu olarak adlandırılan seramik yapı genellikle anot (Nikel/YSZ: 8 mol Y_2O_3 veya Sc ile stabilize edilmiş ZrO_2), katot (LSM: $La_{1-x}Sr_xMnO_3$) ve elektrolit (YSZ) olmak üzere 3 ana bileşenden meydana gelmektedir.

Katı oksit yakıt pilleri yüksek verimlilik, düşük CO_2 emisyonu gibi özelliklerinin yanında sessiz çalışma özelliğinden dolayı askeri araçlar için yardımcı güç ünitesi olarak da kullanılmaktadır. ABD Ordusu ve Elektronik Araştırma Geliştirme ve Mühendislik Merkezi (CERDEC) askeri uygulamalar için kullandıkları taşınabilir yakıt hücresi sistemlerini kullanıldığı alanlara göre şu şekilde sınıflandırmışlardır: asker için güç üreten sistemler (<500 W), sensör güç (0-100 W) ve yardımcı güç ünitesi (APU 0.5-10 kW) [1].

Yardımcı güç ünitesi uygulamalarında daha sık kullanılan anot destekli KOYP, ince elektrolit yapısına sahip olduğu için hücre ohmik kayıpları azalmakta ve daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Fakat üretim aşamasında anot destekli KOYP'yi oluşturan bileşenler arasındaki ısıl genleşme katsayıları farklılığından ötürü bileşenler arasında farklı çekme hızları meydana gelmekte ve bazı problemler oluşmaktadır. Bu problemlerden en önemlisini şekilsel bozukluklar (eğrilik, yamukluk) oluşturmaktadır [2].

Bu çalışma kapsamında anot destekli KOYP'de meydana gelen eğrilik (warpage) problemi giderilmeye çalışılmış ve mekaniksel iyileştirmede önemli bir ölçüt olan hücre bileşenlerinin çekme davranışları belirlenerek bu davranışlar; hücre bileşenlerinin birbiri ile uyumlu bir şekilde birlikte-sinterlenebilmesi ve düzgün bir form oluşturabilmesi için optimize edilmiştir. Sonuç olarak hücre eğriliğinde etkili olan sinterlenme hızı ve içerik oranları değiştirilerek aynı sıcaklık aralığında yakın çekme davranışları elde edilmiş ve eğrisellik azaltılmıştır.

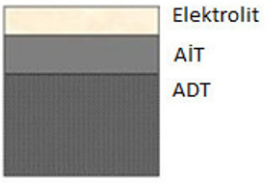
2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde optimizasyon işlemleri ScSZ (skandiyum ile stabilize edilmiş zirkonyum oksit) elektrolit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm anot destekli hücreler şerit döküm (tape-casting), birlikte-sinterleme (co-sintering) ve ipek baskı yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Şerit döküm yöntemi ucuz ve büyük ölçekli KOYP üretimi için en uygun teknik olarak kabul edilmektedir [3,4].

Birlikte-sinterleme işlemi ise ucuz ve seri üretim kolaylığının yanında iyi bir mekaniksel dayanım sağlaması ve yüksek performans için elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği üçlü faz bölgelerinin sayısını arttırmasından ötürü literatürde sıkça kullanılmaktadır [4-10]. Bu avantajlarının yanında birlikte-sinterleme işlemi sırasında hücreyi oluşturan bileşenler arasındaki farklı çekme davranışlarından ötürü şekilsel bozukluklar meydana gelmekte ve mekanik dayanım azalmaktadır [8,11].

Bu çalışma kapsamında, uygulanan metot ve elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiş olup detaylar aşağıda açıklanmıştır.

İlk olarak anot destekli elektrolit yapısını meydana getiren toz oranları belirlenerek hücre bileşenleri (anot destek tabaka (ADT), anot işlevsel tabaka (AİT) ve elektrolit) hazırlanmıştır. Hücreyi meydana getiren bileşenler Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Anot destekli KOYP hücresini meydana getiren bileşenler.

Anot destekli KOYP imal edilebilmesi için gerekli olan malzemeler önceki çalışmalarda optimize edilmiş miktarları ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir. Homojen bir karışım elde edebilmek için tabloda verilen malzemeler bilyalı değirmende 36 saat boyunca karıştırılmıştır.

Tablo 1. Anot destekli KOYP imal etmek gerekli malzemeler ve miktarları.

	Anot 20 gr. için (NiO)	**Elektrolit 20 gr. için (YSZ veya ScSZ)**
Çözücü (ethanol+toluen)	20 gr	15 gr
Bağlayıcı	2.5 gr	2 gr
Plastikleştirici	2 gr	2 gr
Gözenek yapıcı (nişasta)	Yok	Yok
Gözenek yapıcı (karbon)	2 gr	Yok

Hazırlanan karışımların istenilen kalınlıklarda şeritler halinde elde edilebilmesi için şerit döküm cihazı kullanılmıştır.

Tablo 1'de verilen malzemeler homojen bir biçimde karıştırıldıktan sonra mylar şerit film (polyethylene terephthalate: PET) üzerine dökülerek anot, anot işlevsel tabaka ve elektrolit şeritleri elde edilmiştir. Şekil 2'de elde edilen şerit filmler gösterilmiştir.



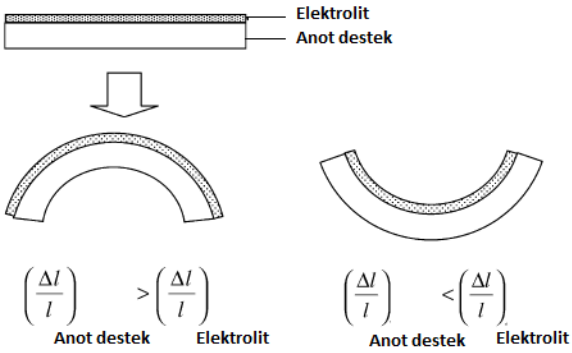
a b

Şekil 2. (a) Elektrolit şerit film (b) anot şerit film.

Elde edilen şeritler üst üste konularak hücreyi oluşturan farklı katmanlar (ADT ve AİT) bu yöntemle elde edilmiştir.

Hücreyi oluşturan katmanlar ADT, AİT ve elektrolit izostatik olarak birlikte preslendikten sonra yüksek sıcaklık sinterleme fırınlarında 1400 ^{0}C de 3 saat süresince sinnterlenmiştir. Bu işlem sonunda Şekil 3'te sembolize edilmiş problem 'warpage' eğilme meydana gelmektedir. Δl

Hücrede meydana gelen eğilmenin giderilmesi hususunda farklı çekme hızlarına sahip tabakaların çekme hızlarının birbirlerine yaklaştırılması düşünülmüştür.



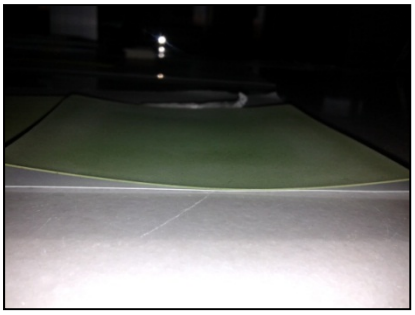
Şekil 3. Birlikte-sinterleme süresince oluşan eğilme.

Birlikte sinterleme sırasında en önemli problem tabakalar arasında ki ısıl genleşme farkıdır [11-13]. Bu nedenle hücreyi meydana getiren tüm tabakaların hangi sıcaklıklarda nasıl davranış sergilediğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Karışım optimizasyon deneyleri yapılmadan önce standart üretilen 100 cm^2 alanlı hücre incelenmiş ve hücreyi oluşturan katmanların çekme hızları dilatometre yardımı ile belirlenmiştir. Tablo 2' de yapılan deneyler ve test edilen malzemelerin karışım oranları gösterilmiştir.

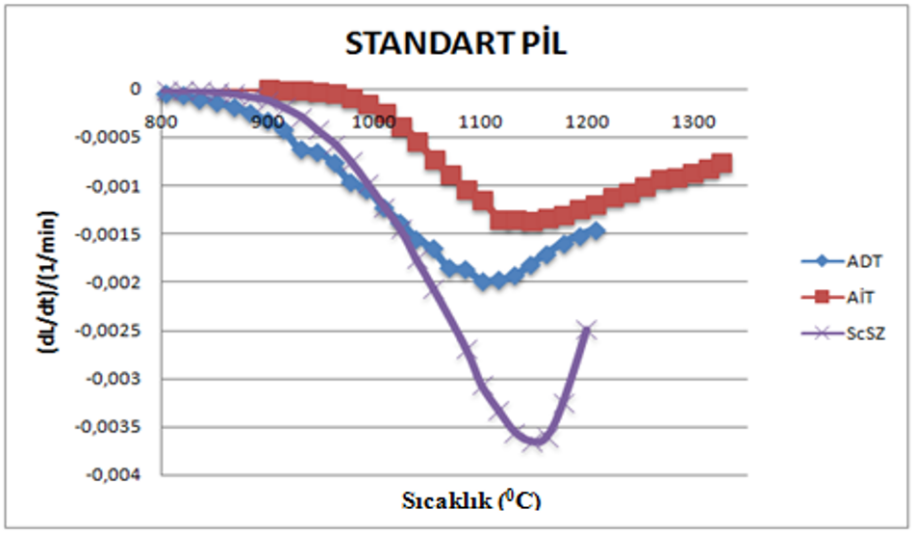
Tablo 2. ADT ile AİT karışım oranları ve elektrolit kalsine deneyleri.

	Anot Destek	**Anot İşlevsel**	**Tabaka Elektrolit**
Deney 1	**%30-70 NiOA-ScSZ**		
Deney 2	**%40-60 NiOA-ScSZ**		
Deney 3	**%50-50 NiOA-ScSZ**	**%50-50 NiOF-ScSZ**	
Deney 4	**%60-40 NiOA-ScSZ**	**%60-40 NiOA-ScSZ**	
Deney 5	**%70-30 NiOA-ScSZ**	**%70-30 NiOA-ScSZ**	
Deney 6			**ScSZ kalsine**

Tablo 2'de bulunan NiOA iri tanecik boyutuna (BET 3) sahip anot tozunu ve NiOF ince tanecik boyutuna (BET 12) sahip anot tozunu ifade etmektedir.
Standart elektrolit destekli KOYP hücresi karışım oranları kullanılarak hazırlanmış anot destekli KOYP hücresi ve bileşenlerinin sıcaklıkla değişen çekme davranışları sırası ile Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 4'te birlikte-sinterleme işlemi sonrası yarı hücrenin elektrolit ve anot tabakaları arasındaki farklı sinterlenme özelliklerinden dolayı oluşmuş eğilme net bir şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Birlikte sinterleme işlemi sonrası oluşturulmuş 100 cm^2 alana sahip anot destekli elektrolit.

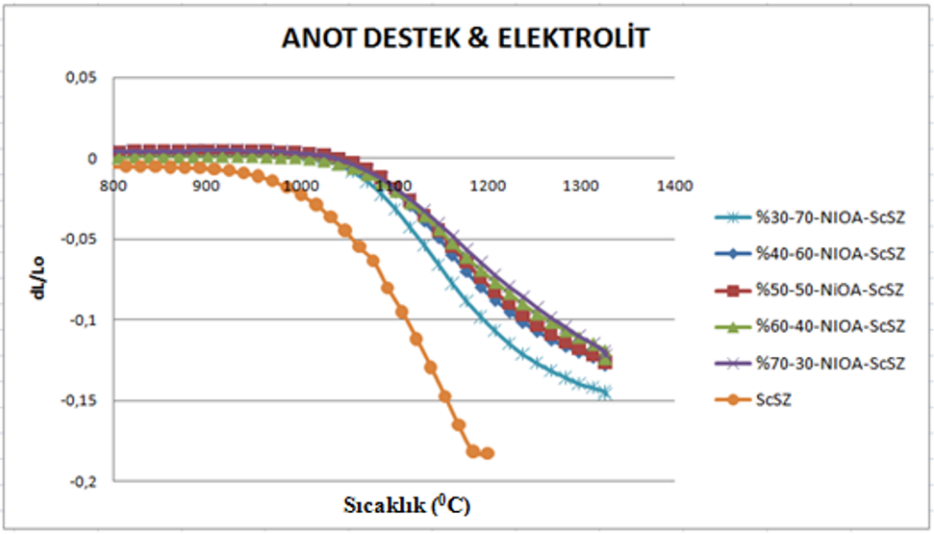


Şekil 5. Standart anot destekli KOYP oluşturan katmanların çekme hızı.

Şekil 5'teki grafik incelendiğinde ADT 800 ^{0}C'den hemen sonra sinterlenmeye başlarken elektrolit ve AİT sırası ile 900 ^{0}C ve 1000 ^{0}C civarında sinterlenmeye başlamıştır. Ayrıca elektrolitin çekme hızının, anot destek tabaka ve anot işlevsel tabaka çekme hızlarından çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4'te gösterilen eğriliğin nedenini açıklamaktadır.

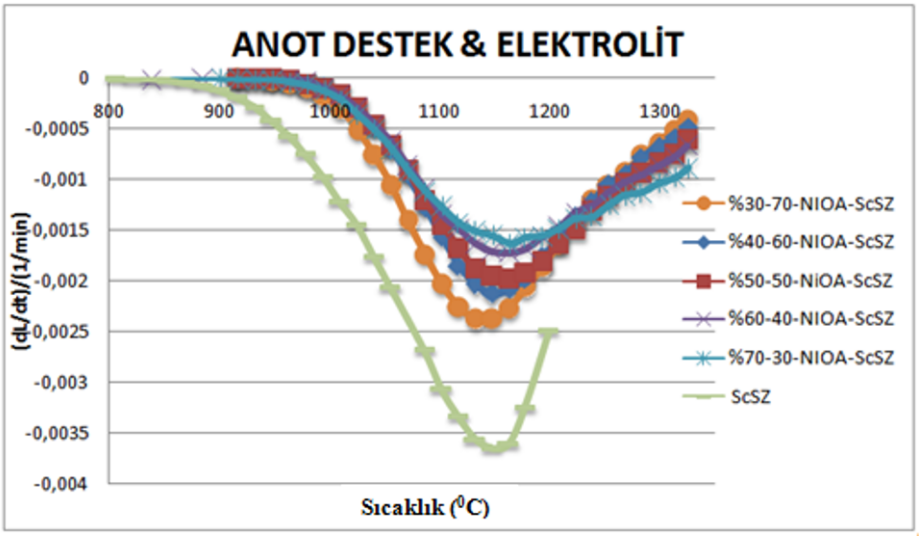
Tablo 2'de gösterilen deneyler sonucu tespit edilen farklı karışım oranlarına sahip ADT ve elektrolit çekme miktarları Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. ScSZ elektrolit ve farklı karışım oranlarında oluşturulmuş anot destek tabakaların sıcaklıkla boylarında meydana gelen değişim açıkça görülmektedir. Eğriler incelendiğinde artan NiO-A içeriğiyle çekme miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum ScSZ elektrolit ve NiO'un farklı ısıl genleşme katsayılarına bağlanmıştır. Fakat bu değişimin hangi sıcaklıkta hangi hız değeriyle gerçekleştiği anlaşılamamaktadır.

Hücrede eğriliğe sebep olan durum; farlı ısıl genleşme katsayılarından dolayı tabakaların farklı sıcaklıklarda farklı çekme hızı göstermeleridir. Bu sebeple dilatometre yardımıyla elde edilen çekme miktarlarının (dL/Lo) zamana göre birinci türevi alınarak (dL/dt)/(1/min.) çekme hızları tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. İri tanecik boyutlu NiO/ScSZ kompozit ve ScSZ elektrolit çekme miktarları.

ScSZ elektrolit max. çekme hızına 1146 ^{0}C sıcaklığında 3.61x10^{-3} dk^{-1} hız değeriyle ulaştığı görülmektedir. Bu çekme hızı değeri ve sıcaklığına en yakın değerleri sırası ile %30-70 NiO-A-ScSZ (2.37x10^{-3} dk^{-1}1132 ^{0}C) ve %40-60 NiO-A-ScSZ (2.13x10^{-3} dk^{-1} 1147 ^{0}C) karışım oranlarına sahip kompozit yapılar göstermiştir. Yine grafik incelendiğinde ScSZ elektrolit 900 ^{0}C sıcaklığından hemen sonra sinterlenmeye başlarken kompozit yapılar yaklaşık 1000 ^{0}C den sonra sinterlenmeye başlamıştır. Bu durum grafikte eğimin başladığı yerden itibaren ifade edilmektedir.



Şekil 7. İri tanecik boyutlu NiO/ScSZ kompozit ve ScSZ elektrolit çekme hızları.

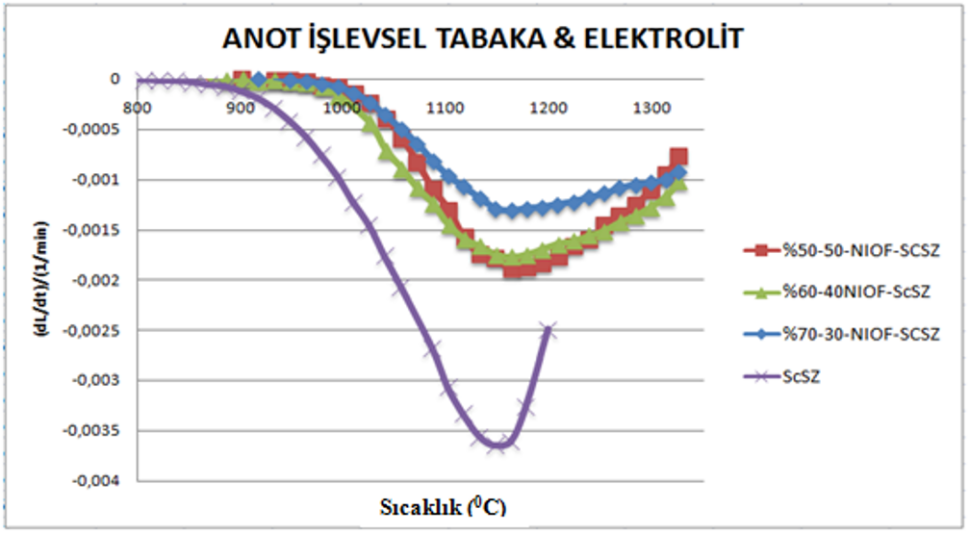
İlave edilen organik eklentiler bu sıcaklıkta tamamen uçurulmuş olup tozlar birbiri ile yapışmaya başlamakta ve katı formu meydana getirmektedir. En yakın çekme hızı değerine sahip olan %30-70 NiO-A-ScSZ oranı destek tabaka için en uygun oran olarak belirlenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafikler yardımı ile belirlenen çekme davranışları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Farklı karışım oranlarına sahip ADT ve elektrolit tabaka çekme davranışları.

	Çekme miktarı dL/Lo	Çekme hızı (dL/dt)/(1/min.)	Max. çekme hızı sıcaklığı ^{0}C
%30-70 NiOA-ScSZ	0.146	0.00237	1132
%40-60 NiOA-ScSZ	0.128	0.00213	1147
%50-50 NiOA-ScSZ	0.126	0.00198	1162
%60-40 NiOA-ScSZ	0.124	0.00172	1162
%70-30 NiOA-ScSZ	0.122	0.00163	1163
ScSZ	0.183	0.00361	1146

Anot işlevsel tabaka elektrolitin hemen üzerindeki tabaka olduğu için performans açısından önemli bir konumdadır bu sebeple AİT da NiO içeriğinin biraz daha fazla olması dolayısı ile elektriksel iletkenliğin fazla olması istenmektedir [14].

Yapılan karışım optimizasyon deneyleri AİT için %50-50 oranıyla başlatılmıştır. Şekil 8'de ScSZ elektrolit ve farklı karışım oranlarında oluşturulmuş anot işlevsel tabakaların çekme hızlarına ait grafik gösterilmiştir.



Şekil 8. İnce tanecik boyutuna sahip NiO/ScSZ kompozit ve ScSZ çekme hızları.

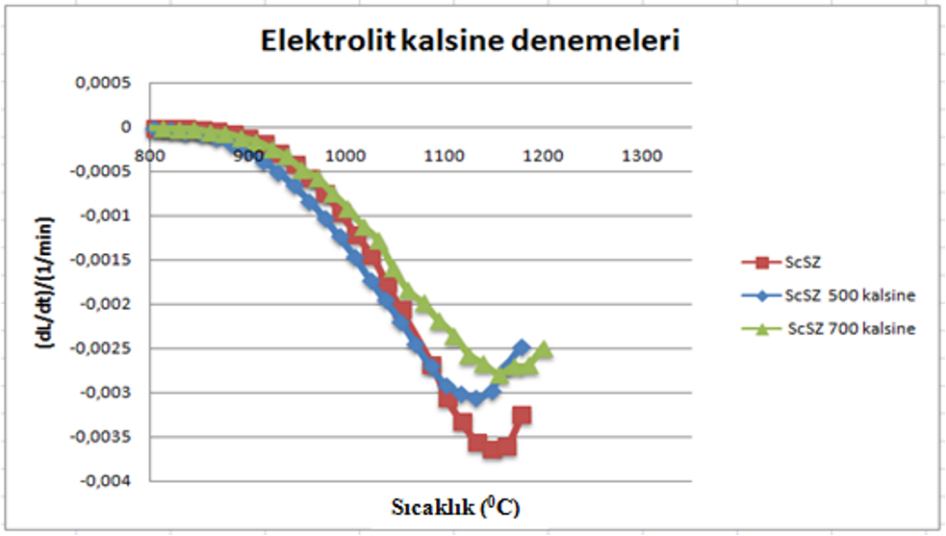
Şekil 8'deki grafik Şekil 7'deki grafik ile karşılaştırıldığında ince tanecik yapılı kompozitler iri tanecik yapılı kompozitlerden daha yavaş çekme hızı sergilediği görülmektedir.

Tablo 4'te anot işlevsel tabaka ve elektrolitin sinterlenme davranışları gösterilmiştir. ScSZ elektrolitin çekme hızına en yakın çekme hızı ($1.89x10^{-3}$ dk.$^{-1}$ 1163 ^{0}C de) değeriyle %50-50-NiOF-ScSZ karışım oranına sahip kompozit göstermiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te verilen aynı oranlardaki kompozitlerin çekme miktarları incelendiğinde daha ince tanecik boyutuna sahip tozlarla oluşturulmuş kompozitlerin çekme miktarlarının iri taneciklerle oluşturulmuş kompozitlerin çekme miktarlarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Farklı karışım oranlarına sahip AİT ve elektrolit tabaka çekme davranışları..

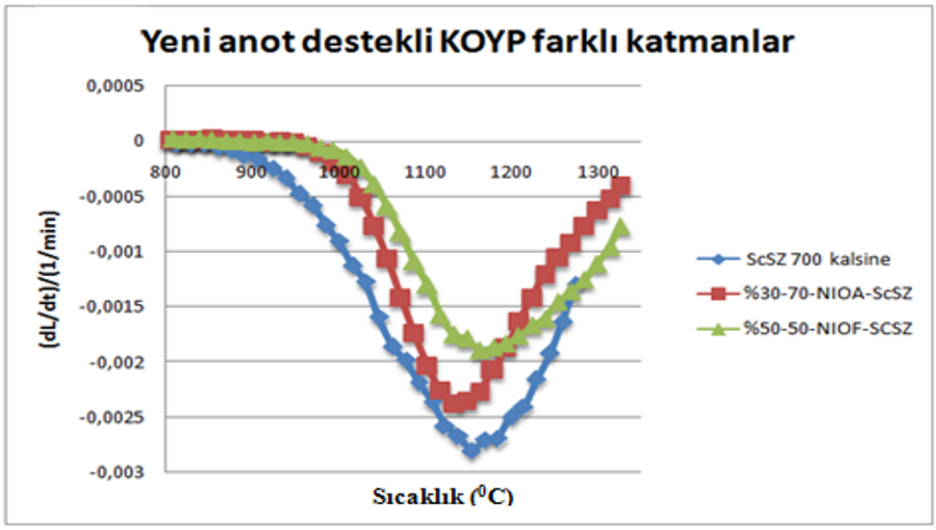
	Çekme miktarı dL/Lo	Çekme hızı (dL/dt)/(1/min.)	Max. çekme hızı sıcaklığı ^{0}C
%50-50 NiOF-ScSZ	0.141	0.00189	1163
%60-40 NiOF-ScSZ	0.132	0.00170	1163
%70-30 NiOF-ScSZ	0.110	0.00131	1162
ScSZ	0.183	0.00361	1146

Yapılan deneyler sonucunda iri ve ince tanecik yapılı tozlar kullanılarak üretilen farklı karışım oranlarına sahip ADT ve AİT kompozitlerin çekme hızları birbirlerine yakın değerler sergilemişlerdir. Fakat elektrolit çekme hızının hala çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu aşamadan sonra elektrolit çekme hızının azaltılarak ADT ve AİT ya yaklaştırılması düşünülmüştür. Elektrolit çekme hızının anot tabakalarına yaklaştırılması için kalsine işlemi uygulanmıştır. Kalsine işlemi, tozların sinterlenmeye başladığı sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulduğu bir işlemdir. Şekil 9'da farklı sıcaklıklarda kalsine edilmiş elektrolit çekme hızları gösterilmiştir. Çekme hızı ADT ve AİT' ye göre yüksek olan elektrolit ($3.61x10^{-3}$ dk^{-1}) 500 ^0C ve 700 ^0C sıcaklıklarda kalsine edilerek çekme hızı azaltılmıştır. Bu durum, kalsine işlemi sırasında toz boyutunun büyümesinden kaynaklanmaktadır [11].



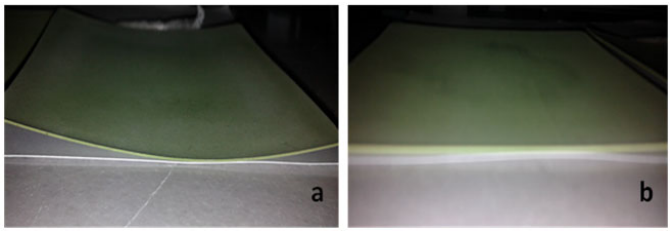
Şekil 9. ScSZ elektrolit farklı kalsine sıcaklıklarının çekme hızı etkisi.

800 ^0C ve üzeri sıcaklıklarda kalsine işlemleri yapıldığında tozlar sinterlenmeye başladığı için kalsine denemeleri 700 ^0C sıcaklıkta bitirilmiştir. Bu durum Şekil 9'da eğimin başladığı sıcaklık noktasından anlaşılmaktadır. Deneyler sonucunda elektrolit çekme hızı ($3.61x10^{-3}$ dk^{-1}) değerinden yaklaşık $2.7x10^{-3}$ dk^{-1} değerine azaltılmıştır. Optimizasyon işlemleri sonucunda belirlenen yeni çekme hızları Şekil 10'da gösterilmiştir. Elde edilen yeni hücrenin AİT çekme hızı yaklaşık $1.89x10^{-3}$ $dk.^{-1}$, ADT çekme hızı $2.37x10^{-3}$ dk^{-1},ve elektrolit çekme hızı $2.7x10^{-3}$ dk^{-1} değerlerinde hesaplanmıştır.



Şekil 10. Benzer çekme hızlarına sahip yeni anot destekli KOYP katmanları.

Yukarıda belirlenen yeni çekme hızlarına sahip karışım oranları ile oluşturulan yeni ve eski anot destekli elektrolit Şekil 11'de karşılaştırılmıştır. Hücrede meydana gelen eğilme, çekme hızları optimize edilerek azaltılmış ve mekaniksel dayanım iyileştirilmiştir.



Şekil 11. (a)Eski eğri anot destekli elektrolit (b) yeni düz anot destekli elektrolit..

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek mukavemetli ve oldukça düz bir anot destekli KOYP imal edilmiştir. KOYP hücresini meydana getiren tabakaların karışım oranları değiştirilerek dilatometre yardımı ile çekme miktarları ve çekme hızları belirlenmiştir. Hücrede eğriliğe sebep olan farklı çekme hızları her bir tabaka (ADT, AİT ve elektrolit) için optimize edilmiş ve bu sayede eğilmeler minimize edilmiştir. ADT için iri tanecik boyutuna sahip anot tozu (NiO-A), AİT için ince tanecik boyutuna sahip toz (NiO-F) kullanılmış ve çekme miktarları ile çekme hızları karşılaştırılmıştır. ADT çekme miktarı AİT çekme miktarından daha az olmasına rağmen çekme hızı AİT çekme hızına göre daha hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu durum kullanılan toz boyutuna bağlı değişen gözeneklilikle açıklanmıştır. ADT gözenek boyutu iri tanecikli toz kullanıldığından ötürü AİT gözenek boyutundan daha fazla çıkmıştır. Öte yandan destek tabakada artan ScSZ elektrolit oranı çekme hızını elektrolit çekme hızına yaklaştırmıştır. ADT için en uygun çekme hızı $2.37x10^{-3}$ dk^{-1},%30-70 NiO-A-ScSZ oranı kullanılarak elde edilmiş ve destek tabaka için bu oran belirlenmiştir. Sonuç olarak hücre eğilmelerinde etkili olan sinterlenme hızı içerik oranları değiştirilerek aynı sıcaklık aralığında yakın çekme hızları elde edilmiş ve eğilmeler önemli derecede azaltılmıştır. Fakat mekanik özellikler üzerinde gerçekleştirilen bu optimizasyonların hücre performansı üzerindeki etkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

"Open Access: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0) which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited."

4. KAYNAKLAR

[1] Patil, S.A., Dubois, G.T., Sifer, N., Bostic, E., Gardner, K., Quah, M., Bolton, C., (2004) "Portable Fuel Cell Systems For America's Army: Technology Transition to the Field" *Journal of Power Sources,* 136-2, 220-225.

[2] Vassen, R., Steinbrech, W., Tietz, F., Stöver, D., (1998) "Modelling of Stresses and Bending Behaviour During Co-Firing of Anode-Electrolyte Componentes," *in Proceedings of the 3rd European Solid Oxide Fuel Cell Forum,* pp.557

[3] Song, H.J., Park, I.S., Lee, H.Y., Kim, S.H., (2007) "Fabrication characteristics of an anode-supported thin-film electrolyte fabricated by the tape casting method for IT-SOFC" *Journal of Materials Processing Technology,* 198, 414–418.

[4] Letilly, M., Joubert, O., Caldes, T.M., Le Gal Le Salle, A., (2011) "Tape casting fabrication, co-sintering and optimisation of anode/electrolyte assemblies for SOFC based on BIT07-Ni/BIT07" *İnternational Journal of Hydrogen Energy,* 37, 4346-4355.

[5] Wang, S., Zhang, L., Yang, Z., Zhang, L., Fang, S., Brinkman, K., (2012) "Two-step co-sintering method to fabricate anode-supported Ba3Ca1.18Nb1.82O9_d proton-conducting solid oxide fuel cells" *Journal of Power Sources,* 215, 221-226.

[6] Song, H.J., Sammes, M.N., Park, S., Boo, S., Kim, S.H., Moon, H., Hyun, H.S., (2008) "Fabrication and Characterization of Anode-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cell Manufactured by a Tape Casting Process" *Journal of Fuel Cell Science and Technology,* 5, 021003-1-021003-5.

[7] Teocoli, F., Ni, W.D., Brodersen, K., Foghmoes, V.P.S., Ramousse, S., Esposito, V., (2014) "Effects of co-sintering in self-standing CGO/YSZ and CGO/ScYSZ dense bi-layers" *Journal of Material Science,* 49, 5324-5333.

[8] Orui, H., Nozawa, K., Watanabe, K., Sugita, S., Chiba, R., Komatsu, T., Arai, H., Arakawa, M., (2008) "Development of Practical Size Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells with Multilayer Anode Structures" *Journal of The Electrochemical Society,* 155, (11), B1110-B1116.

[9] Yoon, J.K., Ye, G., Pal, B.U., (2010) "Cost-Effective Single Step Cofiring Process for Manufacturing Solid Oxide Fuel Cells Using HSC™

Anode" *Journal of Fuel Cell Science and Technology,* 7, 021010-1- 021010-5.

[10] Jiangrong, K., Kening, S., Derui, Z., Jinshuo, Q., Jigang, L., (2006) "Anode-Supported IT-SOFC Anode Prepared by Tape Casting Technique" *IEEE The 1st International Forum on Strategic Technology, pp.*186 – 189

[11] Bao, W., Chang, Q., Meng, G., (2005) "Effect of NiO/YSZ Compositions on the Co-Sintering Process of Anode-Supported Fuel Cell" *Journal of Membrane Science,* 259, 103–109.

[12] Ding, J., Liu, J., (2008) "Fabrication and Electrochemical Performance of Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells by a Single-Step Cosintering Process" *Journal of American Ceramic Society,* 91, 3303–3307.

[13] Le, S., Sun, N.K., Zhang, N., Zhu, X., Sun, H., Yuan, X.Y., Zhou, X., (2010) "Fabrication and Evaluation of Anode and Thin Y_2O_3-Stabilized ZrO_2 Film by Co-Tape Casting and Co-Firing Technique" *Journal of Power Sources,* 195, 2644-2648.

[14] Haanappel, C.A.V., Mertens, J., Rutenbeck, D., Tropartz, C., Herzhof, W., Tietz, F., (2005) "Optimisation of Processing and Microstructural Parameters of LSM Cathodes to İmprove the Electrochemical Performance of Anode-Supported SOFCs" *Journal of Power Sources,* 141, 216-226.

ÖZGEÇMİŞLER

Yük. Müh. Safa KOÇ
2011 yılında Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nden bölüm birincisi olarak mezun olduktan sonra 2011 yılında Bayburt Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yılda Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, "Anot Destekli Katı Oksit Yakıt Pillerinin Mekanik Dayanım ve Performansının İyileştirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezini tamamlayarak 2013 yılında yüksek mühendis unvanı aldı. Şuan K.K. Balıkesir Astsb. MYO Komutanlığında öğretim görevlisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Yrd. Doç. Dr. Bora TİMURKUTLUK
2004 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2007 yılında yine Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini, 2013 yılında ise Niğde Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde doktorasını tamamladı. 2006-2009 yılları arasında Hidronerji Ltd. Şti.'de Ar-Ge Müdürü ve 2009-2013 yılları arasında Vestel Savunma Sanayi A.Ş.'de Uzman Ar-Ge Mühendisi görevlerini yürüttü. Niğde Üniversitesi Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hidrojen enerjisi ve yakıt pilleri üzerine araştırma ve geliştirme konularına yoğunlaşan bu kapsamda birçok ulusal ve uluslararası projelerde yer alan ve 30'un üzerinde ulusal ve uluslararası makale/bildirisi olan Timurkutluk, halen Niğde Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Yrd. Doç. Dr. Selahattin ÇELİK
2006 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nden bölüm birincisi, fakülte üçüncüsü olarak mezun olduktan sonra 2006-2009 yıllarında TÜBİTAK projesinde "Doğrudan Metanol Yakıt Pillerinin Deneysel ve Nümerik İncelenmesi" adlı projede, proje asistanı olarak Yüksek Lisans yapmıştır. Daha sonra yakıt pilleri ile ilgili yurt dışı eğitimlerine katılmış, Avrupa birliği projelerinde ve yurt içi savunma sanayi amaçlı projelerde uzman olarak görev aldı. Sanayi bakanlığından aldığı teknogirişim desteği ile askeri sistemler için doğrudan metanol yakıt pili sistemini geliştirdi. Doktora tezini 2013 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde "Katı Oksit Yakıt Pilleri" ile ilgili çalışma yaparak tamamladı. Bu alanda Yurt içi ve Yurt dışında saygın dergilerde yayınlanmış olan birçok eseri bulunmaktadır. Halen Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak proje çalışmalarına devam etmektedir.