



Elektrokimyasal Teknik Tekstil Membranının İncelenmesi

İbrahim ÜÇGÜL^{a,*}, Çiler ÇAKIR

^a *Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ibrahimucgul@sdu.edu.tr

ÖZET:

Günümüzde, yakıt pilleri; verimli, ekonomik ve çevreyle uyumlu bir enerji üretim teknolojisi olarak uygulama ve kullanım alanı bulmaktadır. Proton iletken bir malzeme olan proton değişim membranı PEMFC' lerin kalbidir ve genellikle Dupont'un Nafion' u PEM olarak kullanılmaktadır. Nafion' un yüksek maliyeti, yüksek sıcaklıklardaki iletkenlik kaybı ve yüksek metanol geçirgenliği gibi bazı dezavantajlarının olması PEMFC' lerde kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu nedenle Nafion yerine kullanılabilir daha düşük maliyetli ve yüksek sıcaklıklarda iletkenlik özelliği daha iyi olan membranlar araştırılmaktadır.

Bu çalışmada, PEM yakıt pillerinde kullanılan Nafion membranlara alternatif olarak Non-Nafion membran üretimi denenmiştir. Gözenekli, aromatik ve sülfonlamaya uygun yapılarından dolayı Dm – Naf polimeri sentezlenmiştir. Sentezlenen bu polimerlerin yapısal analizleri FT – IR, TGA ve DSC ile yapılmıştır ve sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Yakıt hücresi, PEM yakıt hücresi, Nafion, Non-Nafion, FT-IR, TGA, DSC*

Investigation of the Electrochemical Technical Textile Membran

ABSTRACT:

At present, fuel cells; efficient, economic and environmentally sound energy production and use technology as an application area. Proton exchange membrane proton conductive material that PEMFC 's and often is the heart of Dupont's Nafion' is used as the PEM. Nafion 'high cost, loss of conductivity at high temperatures and have some disadvantages such as high methanol permeability PEMFC' s limits their use. Therefore, lower cost and higher temperatures can be used instead of the Nafion membranes with better conductivity is investigated.

In this study, Nafion membranes produced by PEM alternatively non-Nafion membrane used in the fuel cell was tested. Porous and sulfonated aromatic requirement because of reasonable structure Dm - Naf polymer was synthesized. Structural analysis of the polymer synthesized by FT - IR, was made by TGA and DSC and the results are presented.

Keywords: *Fuel cell, PEM fuel cell, Nafion, Non-nafion, FT-IR, TGA, DSC*

1. GİRİŞ

Modern hayat ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç giderek artmıştır. Günümüzde enerji üretiminde yoğun olarak kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu enerji kaynaklarının hızla tükenen rezervleri, düşük enerji dönüşüm verimleri ve bu dönüşüm esnasında ortaya çıkarttıkları çevreye zararlı emisyon ve atıklar sebebiyle bilim insanları başka arayışlar içine girmişlerdir. Çalışmalar hidrojen gibi çevreye zararsız alternatif yakıt arayışları ve daha yüksek verimli enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesine yönelik sürdürülmektedir. Bu araştırmalar neticesinde yakıt hücre teknolojisi doğmuştur.

Son yıllarda, Proton Değişim Membranlarının yakıt hücreleri ve elektrokimyasal enerji dönüşüm cihazlarında kullanımı üzerinde önemle durulmuştur. İşletimleri kolay olan bu malzemeler yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve verimleri içten yanmalı motorlara göre çok yüksek olup zararlı emisyonlar içermezler. Proton Değişim Membranı, Proton Değişim Membran Yakıt Hücrelerinin (PEMFC) kalbidir ve genellikle Dupont'un Nafion'u PEM olarak kullanılmaktadır. Nafionun yüksek maliyeti (yaklaşık 400 avro/m²), yüksek sıcaklıklarda iletkenlik kaybı ve yüksek metanol geçirgenliği gibi bazı dezavantajları PEMFC' lerde kullanımlarını sınırlamaktadır. Özellikle yüksek maliyet PEMFC' lerin ticaretini zorlaştırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, daha ekonomik PEM'ler üretilmek istenmekte ve bu amaçla birçok çalışma devam etmektedir.

Hem Nafyon 117 hem de Dow XUS 13204.10 membranları günümüzde sınırlı kalınlıklarda ve belirli iyon dirençlerinde üretilmekte olup, üretim maliyetleri de çok yüksektir. Bu membranlar iyi sayılabilecek performans ve kararlılık göstermelerine rağmen, bu dezavantajlarından dolayı alternatif maddelerden üretim için araştırmalar yürütülmektedir[1].

Yapılan bir çalışmada polimer elektrolit membran yakıt hücreleri (PEMFC) uygulamaları için geliştirilen kompozit membranlarla ilgili çalışmaları incelemiştir. Perflorlanmış polimer elektrolitlerin düşük sıcaklıklarda (80 °C) PEMFC uygulamalarının eksik yönleri tartışılmıştır. Alternatif proton

iletken membranların yüksek sıcaklıklarda PEMFC uygulamaları gösterilmiştir. Son dönemlerde araştırmaların 150 °C' de kararlılığını koruyan, ucuz, proton iletken kompozit membranlar üzerinde yoğunlaştığı rapor edilmiştir[3].

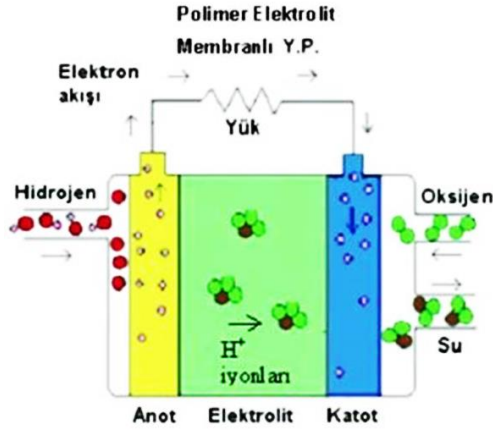
Bu çalışmada da PEM yakıt pillerinde kullanılan Nafion membranlara alternatif olarak Non-Nafion membran üretimi denenmiştir. Gözenekli, aromatik ve sülfonlamaya uygun yapılarından dolayı Dm – Naf polimeri sentezlenmiştir. Sentezlenen bu polimerlerin yapısal analizleri FT – IR, TGA ve DSC ile yapılmıştır.

2. PEM YAKIT HÜCRESİ VE KULLANILAN MEMBRANLAR

Yakıt hücreleri kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren güç iletim elemanlarıdır. Genel olarak bir yakıt hücresi şöyle çalışır. Anotta hidrojen molekülü elektron verir ve H⁺ şekline dönüşür. Elektronlar dış hat ile katoda doğru ilerlerken, bizim ihtiyacımız olan elektrik enerjisini üretirler. Hidrojen iyonları yakıt hücresinin tipine göre farklılık gösteren elektrolitten geçerek katoda ulaşır. Katoda geçen hidrojen iyonu ve havada bulunan oksijen dış hattan gelen elektronlarla birleşerek su oluşturur[3].

A. PEM YAKIT HÜCRESİ

1950'li yıllarda General Electric tarafından bulunan PEM teknolojisi, o yıllarda ilk defa NASA tarafından Gemini uzay aracında güç ünitesi olarak kullanılmıştır. Çalışma ömrü yaklaşık 500 saattir[4]. Günümüzde PEM yakıt hücreleri otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlara alternatif olarak geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Polimer elektrolit membranlı, katı polimer elektrolit ve polimer elektrolit yakıt pilleri olarak da adlandırılan PEM yakıt hücrelerinin temel yapısı Şekil 1' de belirtilmektedir.



Şekil 1. Polimer Elektrolit Membran Yakıt Hücresi (PEMFC)[5]

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[5].

Bir PEM yakıt hücresinin temel yapısı bir elektrolit membran ve membranın her iki yanında çiftleşmiş bir katalist tabakasına sahip bir çift gaz difüzyon elektrotunu ihtiva eder. Gaz difüzyon elektrotlarından biri (anot) hidrojen veya metanol formundaki yakıtla beslenir. Diğer gaz difüzyon elektrotu (katot) oksijen ya da hava formundaki bir oksidantla beslenir[6].

Polimer elektrolit membran olarak da adlandırılan proton değişim membranlı yakıt hücresinde, membranın görevi anot ile katot arasında bir gaz bariyeri oluşturmak ve anottan katoda doğru hidrojen iyonlarının taşınmasını sağlamaktır[7].

B. PEM YAKIT HÜCRESİNDE KULLANILAN MEMBRANLAR

B.1. Nafion

Nafion 1960'ların sonunda Dr. Walter Grot at Dupont de Nemours tarafından bulunmuş, sülfona tetraflor etilen kopolimeridir. İyonomerler olarak adlandırılan iyonik özellikli sentetik polimer sınıfının ilkidir. Molekül formülü $C_7HF_{13}O_5S.C_2F_4$ ' dir. Nafionun eşsiz iyonik özellikleri, sülfonat gruplarıyla sonlanmış perflorovinil eter

gruplarının bir tetrafloroetilen ($CF_2=CF_2$) omurgası üzerine aşılmasının bir sonucudur. Nafion mükemmel termal ve mekanik kararlılığa sahip olması nedeniyle, proton değişim membran (PEM) yakıt hücrelerinde proton iletken olarak önemli ölçüde kullanılmaktadır[7].

Bu zar ticari olarak değişik ebatlarda olmak üzere 0.05 mm ile 0.18 mm arasında değişen kalınlıklarda bulunabilmektedir. Bu zarların yüksek kimyasal dirence, mekanik sağlamlığa ve iyi proton iletkenliğe sahip olmaları açısından yaygın bir kullanımı vardır. En basit haliyle proton değişim zarlı yakıt hücresi, platin kaplanmış gözenekli elektrotlar arasında sandviçlenmiş, perflorosülfonik asit gibi bir proton değişim zarından meydana gelmektedir. Elektrotların gözenekli oluşu gaz geçirgenliğini sağlamakta olup karbon dokumalar kullanılabilir. Bu elektrotların platinle kaplı (yükü) olması, proton değişim zarlı yakıt hücresinin çalışması esnasında meydana gelen elektro-kimyasal tepkimenin ekzotermik olması nedeniyle aktivasyon enerjisinin düşürülmesini amaçlamaktadır. Sonuç olarak elektrotlarla proton değişim zarının bir araya getirilerek birleştirilmiş yapısına elektrot-zar yapısı adı verilmektedir. Bu yapı proton değişim zarlı yakıt hücresinin kalbini teşkil etmektedir[8, 9, 10, 11].

B.2. Non – Nafion







PEM yakıt hücrelerinin ticari boyutta yaygın olarak kullanılmalarındaki en önemli problem yüksek maliyetleridir. Bu yüksek maliyetinin nedeni membran sentezinde kullanılan karmaşık yöntemlerdir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Nafion membran yüksek maliyeti, üretim işlemlerinin karmaşıklığı, yüksek metanol geçirgenliği, su kaybından dolayı 80°C'den yüksek sıcaklıklardaki zayıf performansı gibi dezavantajları, kendisine alternatif olabilecek Non-Nafion olarak adlandırılan birçok membran üzerinde çalışılmıştır[7].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

A. KULLANILAN MATERYALLER

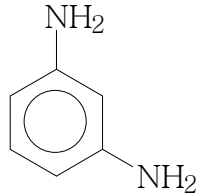
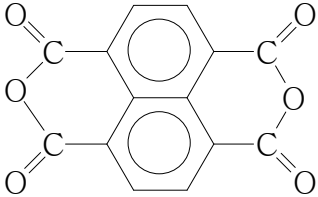
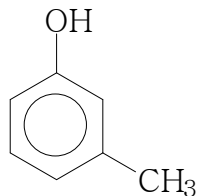
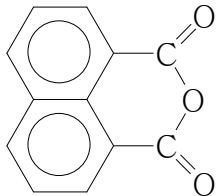
Yapılan deneysel çalışmada kullanılan cihazlar, cihazların özellikleri ve cihazların resimleri tablo 1'de verilmiştir.

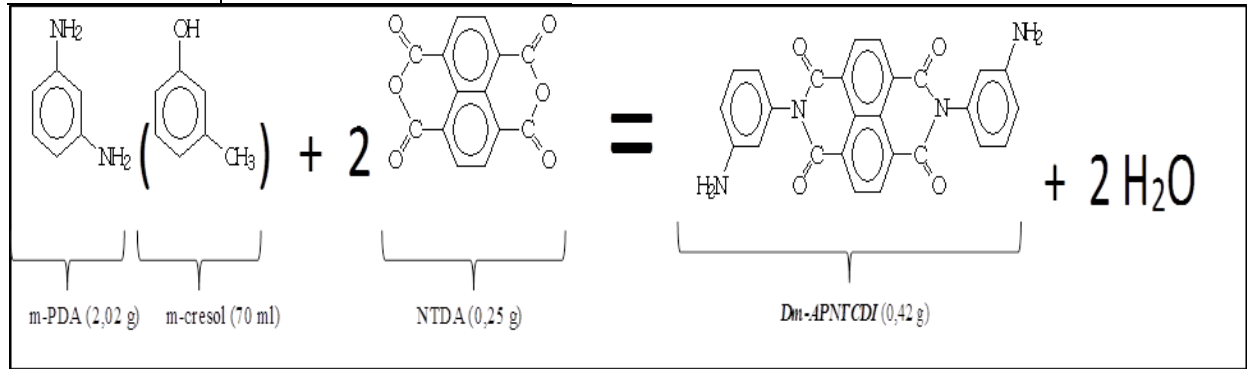
Tablo 1. Yapılan çalışmada kullanılan cihazlar

Kullanılan Cihaz	Cihaz Özellikleri	Cihaz Resimleri
Vakum Pompası	Deneyisel çalışmada yağ içermeyen, sessiz, güvenli ve kolay kullanımı olan Rocker marka vakum pompası kullanılmıştır.	
Hassas Terazi	Deneyisel çalışmadaki kimyasal madde miktarlarını ölçebilmek için 0.01 hassasiyetli Vibra Aj marka hassas terazi kullanılmıştır.	
Yağ Banyosu (Isıtıcı)	Deneyisel çalışmalar için gerekli olan yeterli sıcaklığa ulaşabilmek için Elektro – Mag yağ banyosu (ısıtıcı) kullanılmıştır.	
Etüv	Yapılan deneyler sonucu elde edilen malzemelerin kurutulması için etüv kullanılmıştır.	
Isıtıcı – Karıştırıcı	Kimyasal işlemlerin homojen olması için Shin Saeng marka ısıtıcı – karıştırıcı kullanılmıştır.	
Çeker Ocak	Tüm kimyasal işlemlerin güvenli bir ortamda yapılabilmesi için Esenmed Çeker Ocak kullanılmıştır.	

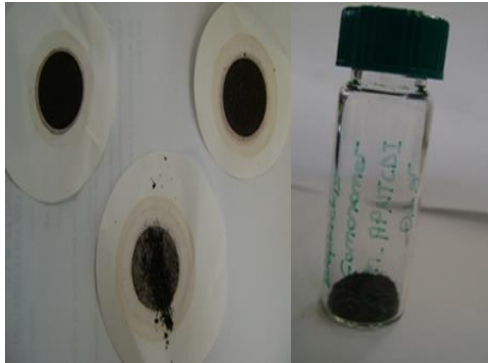
Dm – Naf polimeri sentezinde kullanılan kimyasallar ve açık formülleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Kimyasallar ve Açık Formülleri

m – Fenilendiamin (m-PDA)	
Naftalik dianhidrit (NTDA)	
m-cresol	
1,8 - Naftalik anhidrit	



Şekil 2. Dm – APNTCDI Sentezi



Şekil 3. Dm-APNTCDI

B. YÖNTEM

B.1. Displacing comonomer (Dm-APNTCDI) sentezi

Tek basamaklı sentez yöntemi ile sentezlenir.

250 ml' lik üç boyunlu balona 2 g m-PDA ve 70 ml m-cresol konularak iyice karıştırılır ve diamin çözülür. 170 °C' ye azot atmosferinde ısıtılır. Daha sonra 0,25 g NTDA çözeltiye eklenir ve azot atmosferinde 200 °C' de 6 saat karıştırılarak ısıtılır. Isıtma işlemi sonucunda kalan katı 600 ml metanolde iyice çözülür ve gri çökelek elde edilir. Elde edilen çökelek metanolle birkaç kez yıkanıp tekrar süzülür ve 50 °C' de desikatörde 24 saat kurumaya bırakılır. Bu işlemler sonucunda 0,42 g katı elde edilir. (Bu reaksiyonda NTDA sınırlayıcı reaktiftir.) Şekil 2' de reaksiyon molekül yapıları ile birlikte verilmiştir.

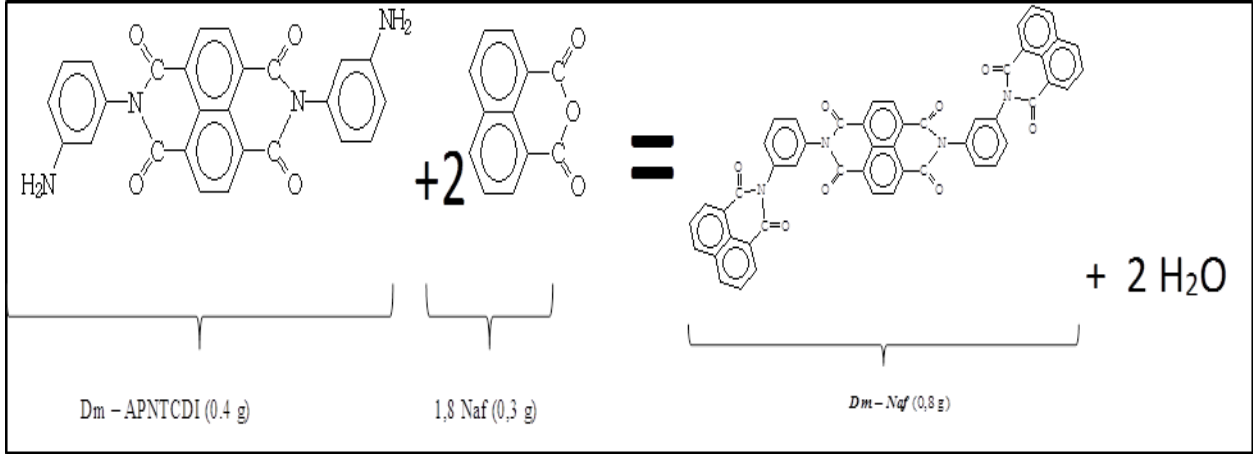
B.2. Dm – Naf sentezi

Tek basamaklı sentez yöntemi ile sentezlenir.

0,4 g Dm – APNTCDI 10 mL m- cresol içerisinde, 0,3 g 1,8 Naftalik Anhidrit 50 mL m – cresol içerisinde ayrı kaplarda iyice çözülür. Daha sonra bu çözeltiler bir araya konarak üzerine de 1 g Trietilamin ve 1 g Benzoik asit eklenir (katalizör olarak). Karışım 250 ml' lik üç boyunlu balonada, azot atmosferinde 200 °C' de 7 saat karıştırılarak ısıtılır. Isıtma işlemi sonucunda kalan katıya 200 mL HCl ve 500 mL metanol eklenir.

Karışım oda sıcaklığında 14 saat karıştırılır ve süzülür. Elde edilen çökelek metanolle birkaç kez yıkanıp tekrar süzülür ve 50 °C' de desikatörde 24 saat kurumaya bırakılır. Bu

işlemler sonucunda 0,8 g katı elde edilir. Şekil 4' de reaksiyon molekül yapıları ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4. Dm – Naf Sentezi



Şekil 5. Dm-Naf

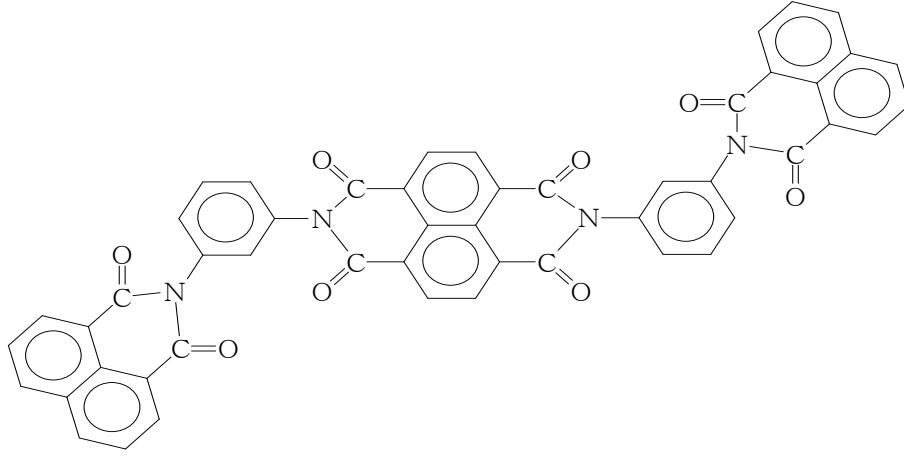
4. ARAŞTIRMA BULGULARI **VE/VEYA TARTIŞMA**

A. SENTEZLENEN MADDENİN FT – IR ANALİZ SONUÇLARI

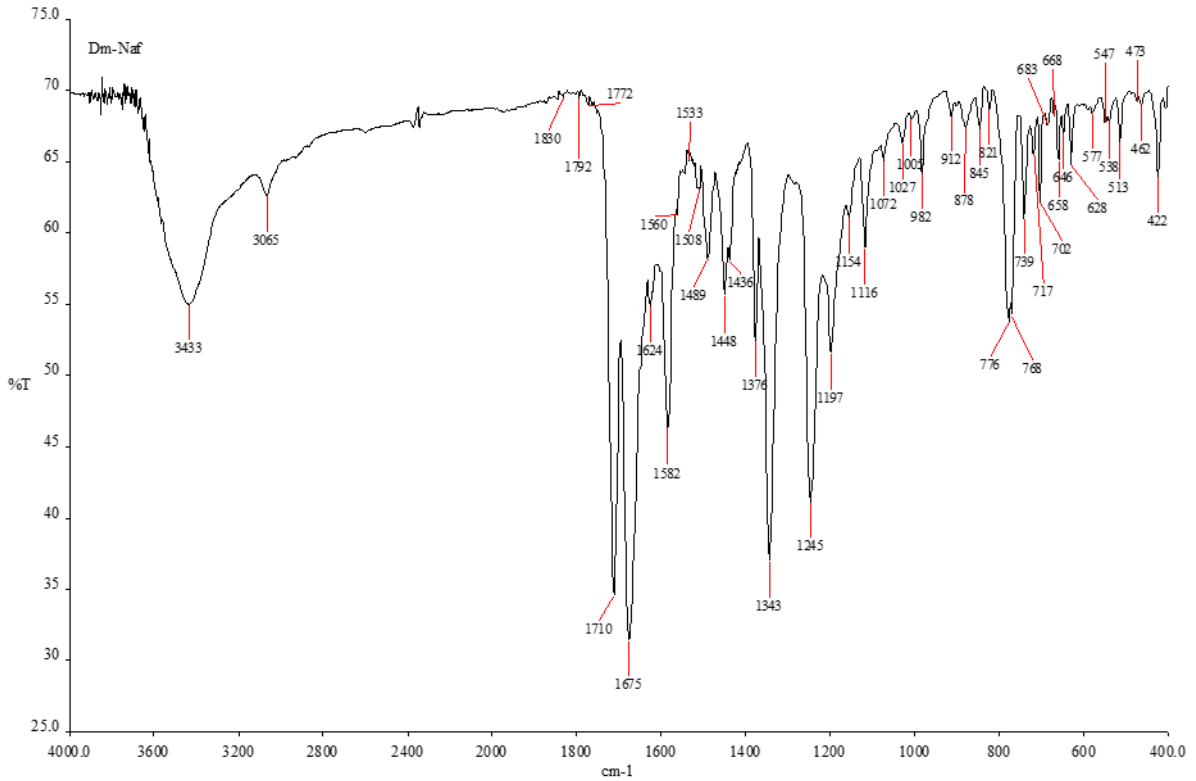
Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir; IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Bu yöntem ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak;

katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşimin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenebilir.

Sentezlenen Dm – Naf maddesinin kimyasal yapısı ve FT – IR Analiz sonuç grafiği Şekil 6' da verilmiştir. Buna göre; molekül yapısına uygun olarak beklenen bölgelerde gerilimler gözlenmiştir. 3433 cm⁻¹ dalga boyundaki pik O⁻ gerilimini, 1675 cm⁻¹ dalga boyundaki pik ise simetrik C=O gerilimini vermektedir. 1710 cm⁻¹ dalga boyundaki pik Dm – Naf' ta imit gruplarının olduğunu göstermektedir. Ayrıca 1000 cm⁻¹ ve daha aşağısındaki dalga boylarında yoğun olarak görülen pikler "Parmak İzi Bölgesi" olarak adlandırılıp, yapının aromatik olduğunu da vermektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. (a) Dm – Naf' in Kimyasal Yapısı (b) Dm - Naf ' in FT – IR Analiz Sonucu

B. SENTEZLENEN MADDENİN TGA ve DSC ANALİZ SONUÇLARI

TGA, numunede sıcaklığa bağlı olarak meydana gelecek ağırlık değişikliklerini tanımlamaya yarayan bir test biçimidir. Bu analiz ağırlık, sıcaklık ve sıcaklık değişiminin yüksek kesinlikli ölçümlerine bağlıdır. Birçok ağırlık kayıp eğrisi birbirine benzediğinden ağırlık kayıp eğrisinin sonuçları yorumlanmadan önce bir dönüşüme ihtiyaç duyulabilir. Ağırlık kayıp eğrisinin türü

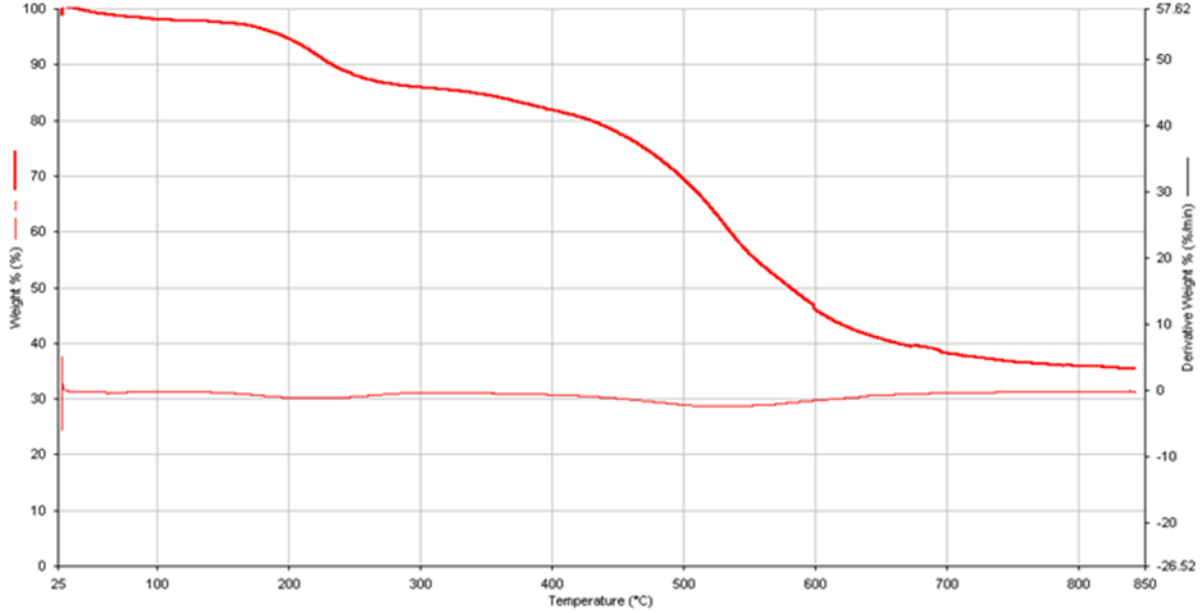
hangi noktalarda ağırlık kaybının daha belirgin olduğunu anlatmak için kullanılabilir.

TGA, polimer gibi materyallerin karakteristiklerinin belirlendiği araştırma ve testlerde bozunma sıcaklığı, materyal tarafından emilmiş nem, materyal içindeki inorganik ve organik komponent seviyesi, patlayıcıların ayrışma noktaları ve çözücü tortularının tanımlanması için kullanılır.

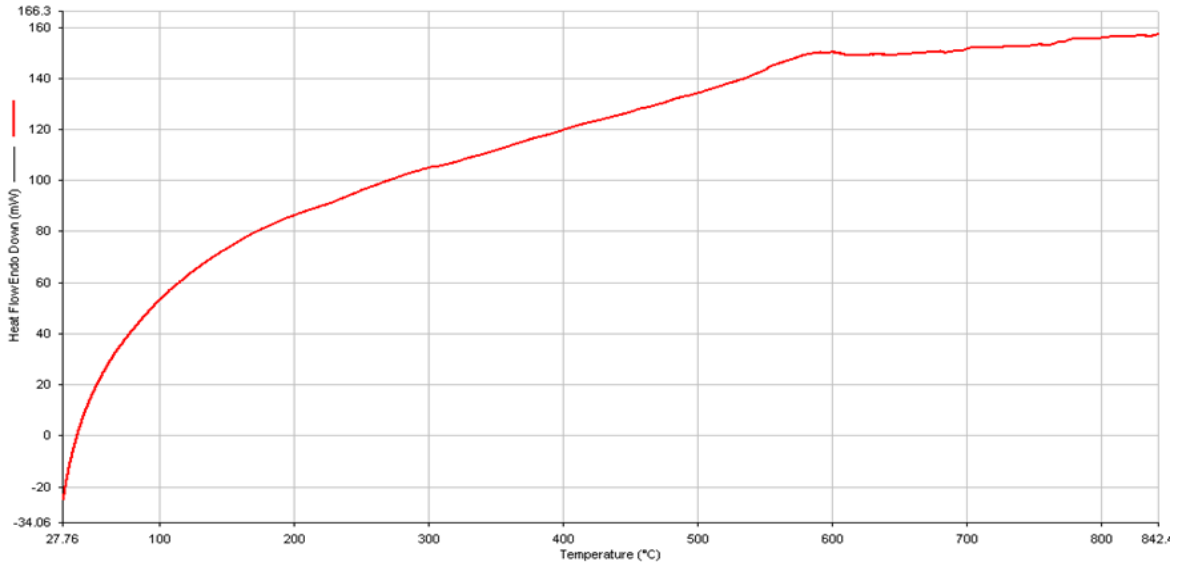
DSC, termal analizde kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Numune ve referansın sıcaklığını artırmak için verilmesi gereken ısı miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Numune ve referans, deney süresince aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılır. DSC analizi için sıcaklık programı genellikle numune tutucunun sıcaklığının zamana karşı lineer olarak artacak şekilde dizayn edilmiştir. Referans malzemenin ısı kapasitesinin taranan

sıcaklık aralığı üzerinde iyi bir şekilde tanımlanmış olması gerekir.

DSC deneylerinden ısı akışının zamana veya sıcaklığa göre çizilen eğrisi elde edilir. Numunedeki egzotermik reaksiyonlar deney yapmak için kullanılan ölçüm cihazlarında uygulanan farklı teknolojilere bağlı olarak negatif veya pozitif tepe noktası olarak gösterilir. Bu eğri, hal değişimlerinin entalpilerini hesaplamak için kullanılabilir.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Dm – Naf' ın TGA Analiz Sonucu (b) Dm – Naf' ın DSC Analiz Sonucu

Analiz 25 °C – 850 °C sıcaklık arasında, 10 °C / dk hızla yapılmıştır. Şekil 7' de görülen TGA ve DSC analiz grafikleri gösteriyor ki; Dm – Naf molekülü

sıcaklıkla çok yavaş bozunmakta ve bu bozunma zincir yapısının kopması şeklinde gerçekleşmektedir.

Yapılan analizlerin ardından bu polimerler dokusuz tekstil yüzeyine aktarılarak membran haline getirilmiştir.



Şekil 8. Teknik Tekstil Yüzeyine Aktarılmış Polimerler

5. SONUC

Bu çalışmada, yakıt pillerinde kullanılan Nafion esaslı membranlara, alternatif olarak Non – Nafion membranların üretim yöntemi çalışılmış ve alternatif non-nafion membran üretilmiştir. Öncelikle membranın yapısını oluşturan monomer ve polimer sentezi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen ön ürünler: Dm-APNTCDI monomeridir. Bu monomerden proton ileten non-nafion membran üretiminde kullanılacak olan DmNaf polimeri sentezlenmiştir. Daha sonra bu polimerin FT-IR, TGA ve DSC analizleri yapıp, literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda üretilen polimerin kimyasal yapı ve moleküllerinin, literatürdeki daha önceden geliştirilmiş membran verileri ile uyum sağladığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen polimerler bir teknik tekstil yüzeyine aktarılıp membran haline getirilmiştir. Elde edilen membranın yakıt hücresi içerisine yerleştirilebilmesi ve taşınabilmesi amacıyla teknik tekstil dokusuz yüzey kumaşa, kompozit halinde uygulanması oldukça önemlidir. Aynı zamanda bu durum, dokusuz yüzey kumaş ile desteklenmiş olan membranın, gaz difüzyonunu iyileştirmesi açısından da arzu edilen bir durumdur. Geliştirilen bu membranın, günümüzde üzerinde önemle çalışılan temiz ve güçlü enerji kaynağı olan yakıt pillerinde alternatif membran olarak kullanımı ortaya konmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma, 2502 M-10 nolu proje kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Mali destek imkânlarından dolayı, Süleyman Demirel Üniversitesi BAP Kurumu'na teşekkür ederiz.

Ayrıca çalışmamızda yardımcı olan Uzm. Dr. Gökçen AKGÜL ve Filiz ÜNLÜ Güney'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Wilkinson, D., Steck, A., 1997. “General Progres in the Research of Solid Polymer Fuel Cell Technology as Ballard” , Proceeding of the 2nd International Symposium on New Materials for Fuel Cell and Modern Battery Systems, eds. O. Savadogo and P. R. Roberge, Canada, 6-10, 27
- [2]. Savadago, V., 2005. “Influence of Swelling on Water Transport Through PVABased Membrane, Journal of Molecular Structure” Journal of Molecular Structure, 739: 207-212.
- [3]. Şengül, E., 2007. “In Partial Fulfilment of The Requirements”, Middle East Technical Universty, The Degree of Master of Science, 141, Ankara.
- [4]. Dicks A., Larminie J., 2000. “ Fuel Cell Systems Explained”, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, İngiltere.
- [5]. Gözütok, B., 2007. “Poli(Vinil Alkol) (Pva) Bazlı Membranların Yakıt Hücrelerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi”. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 131 s, Ankara.
- [6]. Takuichi, A., 2004. Proton Conducting Material, Proton Conducting Membrane and Fuel Cell. United States Patent 2004040180251.
- [7]. Turhan, İ., 2010. “Proton Değişim Yakıt Pili(Pemfc) Membranlarının Ve

Teknik Tekstil Desteklerinin İncelenmesi”. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 118 s, Isparta.

- [8]. KELLEGÖZ, M.,2005. “Farklı Özelliklerdeki Proton Değişim Zarlı Yakıt Hücresi Tasarımı Ve Ölçümleri”. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi, 150 sf. Eskişehir.
- [9]. Grubb, W.T., 1957, Proceedings of the 11th Annual Battery and Development Conference. PSC Publications Committee, Red Bank, NJ, p. 5.
- [10]. Grune, H., 1992, 1992 Fuel Cell Seminar Program and Abstracts. The Fuel Cell Seminar Organizing Committee, Tucson, Arizona, p. 161.
- [11]. Liu, H.T., Barbir, F., Kazım, A., Kakaç, S., 1996, Fuel Cells-The Clean Energy Converter. Proceedings of the First International Energy and Environment Symposium, Karadeniz Technical University, Trabzon, 3-16.