



Investigation of Electrochemical Technical Textile Membrans

Çiler ÇAKIR

Abstract

Today, fuel cell technology is known as a environment friendly, economic and efficient technology. Proton electron membrane is the main part of fuel cells technology and Nafion polymer from Dupont is the major membrane employed in fuel cells as a PEM. Some disadvantages of Nafion such as high-cost, conductivity decreasing at higher temperatures and high methanol permeability restrict the common application of Nafion. Therefore polymer electron membranes having better physical and chemical properties than Nafion are researched. In this study, it is tried to syntheses alternative Non-Nafion membranes. Dm-Naf and DA-NTDA are these Non-Nafion membranes which are aromatic, having porous and able to sulfonate texture. Synthesed polymers are analyzed with FT-IR, TGA and DSC. Moreover, the polymers are applied on non-woven textile surface which is the new membrane of fuel-cells. The obtained current is measured.

Keywords: PEM, polymer, membran, Nafion, Non-Nafion.

Elektrokimyasal Teknik Tekstil Membranların İncelenmesi

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 sülfolamaya uygun yapılarından dolayı Dm-Naf ve DA-NTDA polimerleri sentezlenmiştir. Sentezlenen bu polimerlerin yapısal analizleri FT-IR, TGA ve DSC ile yapılmıştır. Ardından üretilen bu polimerler dokusuz tekstil yüzeyine aktarılmış, PEM yakıt pilinde uygulanmaya ve elektriksel güç miktarı ölçülmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: PEM, polimer, membran, Nafion, Non-Nafion.

1. Giriş

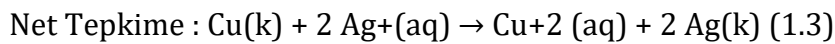
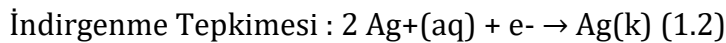
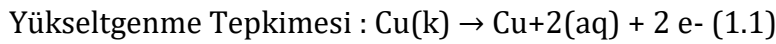
Gelişen teknoloji ve buna bağlı olarak duyulan enerji ihtiyacı giderek artmakla birlikte, günümüzde kullanılan odun, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların zamanla tükenme tehlikesi ve enerji dönüşümü sırasında açığa çıkardıkları atık gazların doğaya ve insan sağlığına olan zararları gibi dezavantajlarının olması bu yakıtlara alternatif olabilecek enerji kaynaklarının araştırılmasına sebep olmaktadır. Bu açıdan çağın ve geleceğin bir numaralı enerji kaynağı olacağına inanılan hidrojenin enerjisi diğer yakıtlara göre daha yüksek ve aynı zamanda çevre dostu temiz bir enerjidir. Günümüzde yaygın olarak çalışılan bir konu, hidrojeni yakıt olarak kullanan yakıt hücreleridir. Yakıt hücreleri kullanılan

elektrolite göre sınıflandırılırlar. Polimer Elektrolit Yakıt Hücreleri (PEMFC) işletimlerinin kolay olması, zararlı emisyonlarının olmaması, verimlerinin içten yanmalı motorlara göre çok yüksek olması, yüksek enerji yoğunlukları gibi avantajlara sahiptirler. Yakıt hücresinin performansının artışıdaki en büyük etken membran yapısıdır. 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 Nafion yerine kullanılabilir farklı Non-Nafion ve teknik tekstil destekli membranlar üretilmeye çalışılmıştır. İlgili olarak elektrokimya, membran teknolojisi ve teknik tekstiller hakkında temel bilgiler verilmiştir.

1.1. Elektrokimya

Elektrokimya, elektrik enerjisi üreten veya elektrik enerjisiyle yürüyen yükseltgenme indirgenme (redoks) reaksiyonlarının tümünü içine alan bir bilim dalıdır. Elektrokimya elektrik akımının kimyasal reaksiyonlarla olan ilişkisini açıklar. Bir elektrokimyasal olay mutlaka bir redoks reaksiyonudur. Elektrik üretir veya elektrik akımı yardımıyla bir reaksiyon oluşur. Her redoks reaksiyonu indirgenme yarım reaksiyonu ve yükseltgenme yarım reaksiyonu olmak üzere iki yarım reaksiyondan meydana gelir.

Örnek bir redoks tepkimesi (Evcin, 2011);



şeklinde gösterilebilir.

Kendiliğinden yürüyen (istemli) bir redoks reaksiyonunda (yani elektron alışverişi olan istemli bir reaksiyonda), indirgen tarafından salınan elektronlar yükseltgen olarak davranan maddeye bir tel (veya iletken) üzerinden iletilirse; ortaya reaksiyon enerjisi olarak elektrik enerjisi çıkar. Yani reaksiyon enerjisinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüşür. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklere "elektrokimyasal hücre" veya "pil" denir. Bir pilde iyon akımının sağlandığı çözeltiye "elektrolit", bu çözeltiye daldırılan ve elektrik akımının sağlandığı metal veya grafit çubuğa "elektrot" adı verilir. Her türlü elektrokimyasal pilde yükseltgenme yarım reaksiyonunun olduğu elektrota "anot", indirgenme yarım reaksiyonunun olduğu elektrota ise "katot" adı verilir (Evcin, 2011).

1.2. Membranların Tanımı ve Çeşitleri

Genel olarak membran, katı veya sıvı film halinde, belli bir kalınlığı olan bir faz ya da engel olarak tanımlanır. Bu engel katı, sıvı ve gaz olabilmektedir. Katı membranlar daha çok kullanılır. Pil veya elektrokimyasal sistemlerdeki membran, iki çözelti arasında bir ayırma bölgesi olarak da ifade edilebilir. Membranlar, birbirinden ayırdıkları fazlar arasında moleküler ve iyonik taneciklerin hareketine seçimli olarak engel olurlar.

Membranlar özelliklerine göre iki sınıfa ayrılır:

1. Doğal membranlar
2. Sentetik membranlar

Doğal membranlar biyolojik sistemlerde bulunur ve incelenmeleri daha çok biyokimya kapsamına girer. Sentetik membranlar ise inorganik, polimer ve sıvı membranlar olmak üzere 3 gruptur.

Membranlar:

1. Membran yapısının homojenliğine göre,
2. Simetrik ve asimetric oluşuna göre de ikiye ayrılır.

Membran yapısının homojenliğine göre de;

- a) Homojen membranlar
- b) Heterojen membranlar şeklinde ikiye ayrılır (Osada, 1992).

Homojen membranlar, paralel ve düşey bir yüzey yapısına sahiptir. Homojen membranların yüzeyinde herhangi bir destek maddesi bulunmaz. Homojen membranlar bir çeşit simetrik membranlardır. Heterojen membranlarda yüzeyde destekli bir grup vardır. Heterojen yapıli membranlar için polisülfon yapıdaki bir membrana poliester kaplanması veya teknik tekstile uygulanması örnek olarak verilebilir. Membranın simetrik ve asimetric olması ise, membranın her iki yüzeyindeki fonksiyonel grupların aynı ya da farklı olmasına göre değişmektedir. Poroz bir membranın her iki tarafına aynı grup bağlanırsa simetrik membran, farklı bir grup bağlanırsa asimetric membrandır (Alkan, 2006).

1.3. Membran Teknolojisi

Günümüzde membran teknolojisi ayırmalarda oldukça fazla uygulama alanı bulmakta ve uygulama kolaylığı bakımından tercih edilmektedir. Özellikle su arıtmada ve ayırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bir membran prosesinde iki fazı fiziksel olarak ayıran üçüncü bir faz olan membrana ihtiyaç vardır. Yani membran, iki faz arasında bir ara fazdır. Membran homojen bir faz olabildiği gibi fazların heterojen bir toplamı da olabilir. Membran fazı diğer fazlarla karşılaştırıldığında en azından iki boyut olarak daha incedir (Alkan, 2006). Bir membran prosesinde iki faz arasına yerleştirilen membran fazı, bu iki faz arasındaki kütle değişimini kontrol eder. Bir membran ayırma prosesindeki fazlar karışımlardır. Bu sebeple ayırma prosesinde karışımdaki bileşenlerden birisinin diğerine tercihen değişimine izin verilir, yani membran diğer bileşenlere karşı seçici davranır. Bu

yüzden bir fazda bileşenlerden birisi zenginleşirken diğer fazda ise hızla azalır (Gürler, 2007).

Bu açıklamalar kapsamında membran prosesi; bir bileşenin membran tarafından ayrılan bir fazdan diğer faza seçici ve kontrollü olarak taşınması şeklinde tanımlanabilir. Herhangi bir türün membran üzerinden hareketine bir veya iki yürütücü kuvvet (itici güç) sebep olur. Bu yürütücü kuvvetler bir kimyasal potansiyel veya elektrik potansiyel değişiminden kaynaklanır (Gürler, 2007). Membran proseslerinin kullanıldığı başlıca endüstri alanları şunlardır: Kimya sanayi, eczacılık, petrol endüstrisi, hidrometalurji, elektrodializ, çevre, gıda teknolojisi, ekstraksiyon, diyaliz, ultrafiltrasyon, genetik, tekstil ve elektronik endüstrisi vb. Son zamanlarda tekstil alanındaki en çok kullanım yeri ise yakıt (pilleri) hücreleridir (Alkan, 2006).

1.4.Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Membran

Günümüzde özellikle PEM yakıt pillerinde membran olarak Nafion kullanılmaktadır. Ama bazı dezavantajları nedeniyle Non-Nafion malzemeler araştırılmaktadır.

1.4.1. 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 $C_7H_9F_{13}O_5S.C_2F_4$ 'dür. 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 (Turhan, 2010). 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 arasına 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 (Kellegöz, 2005; Grubb, 1957; Grune,1992; Liu,1996).

1.4.2. Non-nafion membranlar

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 (Turhan, 2010).

1.5. Teknik Tekstiller

Özel olarak tasarlanan, herhangi bir üründe, süreç dâhilinde veya yalnız başına belirli bir özelliği yerine getirmek amacıyla kullanılan malzemelere "teknik tekstil" denir (İTKİB Genel Sekreterliği, 2005). Bu malzemeler yüksek teknik ve kalite gereksinimlerini (mekanik, termal, elektriksel, dayanıklılık vb.) karşılayabilme kapasitesine sahiptirler. Teknik tekstiller bu terimlerden başka, endüstriyel tekstiller, yüksek performanslı tekstiller, yüksek teknik tekstiller, geleneksel olmayan tekstiller, mühendislik tekstilleri diye de isimlendirilebilir (Emek, 2004).

Teknik tekstillerin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Taşımacılık teknik tekstilleri (mobiltech)
2. Hijyen ve tıbbi teknik tekstiller (medtech)
3. Jeotekstiller (geotech)
4. Endüstriyel tekstiller (indutech)
5. Koruyucu giysiler (protech)
6. Bina ve inşaat teknik tekstilleri (builtech)
7. Tarım teknik tekstilleri (agrotech)
8. Aktif spor ve boş zaman teknik tekstilleri (sporttech)
9. Ev teknik tekstilleri (homotech)
10. Ambalaj teknik tekstilleri (packtech)
11. Giyim teknik tekstilleri (clothtech)
12. Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri (ecotech)
13. Gıda teknik tekstilleri (foodtech)
14. Akıllı tekstiller (smarttech)
15. Elektronik tekstiller (e-tech)

1.5.1. Taşımacılık teknik tekstilleri

Taşımacılıkta kullanılan teknik tekstiller dekorasyon, izolasyon, filtreleme gibi işlevlerin yanı sıra araçlarda konfor da sağlamaktadır. Ayrıca, tekstil malzemeleri taşıtların zırh kaplamalarında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Taşımacılıkta kullanılan teknik tekstil ürünlerini emniyet kemerleri, hava yastıkları, koltuk kumaşları, oto aksesuarları, oto kılıfları, koltuk kılıfları, filtreler, halı tabanları, kord bezi, kompozit takviyeleri, hortum ve kayış takviyeleri gibi ürünler oluşturmaktadır (Tekstil Teknik, 2009).

1.5.2. Hijyen ve tıbbi teknik tekstiller

Günümüzde cerrahi ürünlerden sargı bezlerine, yapay organlardan damar greftlerine kadar çok farklı ürünlerde teknik tekstil ürünleri kullanılmaktadır.

Günümüzde tıbbi tekstil sektörü tekstil endüstrisinin önemli ve gelişen bir bölümüdür. Polimer teknolojisine bağlı olarak mevcut liflerin geliştirilmesi, yeni liflerin üretilmesi ve tekstil yapılarının çeşitlenmesi sonucu, tıp ve cerrahinin pek çok alanında kullanılmaya uygun tıbbi tekstiller olarak adlandırılan bu ürünler insanların ve hayvanların tıbbi bakımı ve hijyeni için kullanılırken, personelin ve teçhizatın korunmasına da yardım ederler (Cireli vd., 2007).

1.5.3. Jeo tekstiller

Jeotekstiller; binalarda temel malzemesi, toprak, kaya, yer ile insan ürünü projelerin, yapıların ve sistemlerin entegre bir parçası olarak ilgili maddelerle birlikte herhangi bir jeoteknik mühendisliğinde kullanılan tekstil ürünleridir. Jeo tekstiller pamuk, yün gibi doğal elyaflardan ziyade sentetik elyaflardan üretilen tekstil ürünleridir (Turhan, 2010).

1.5.4. Endüstriyel tekstiller

Endüstriyel tekstiller doğrudan endüstriyel işlemlerde kullanılan filtreler, taşıma bantları ve aşındırma bantları, baskılı devre plakeleri, temizlik bezleri, contalar, sızdırmazlık elemanları ve diğer endüstriyel ekipmanlar gibi endüstriyel ürünlerin içine dâhil edilen tekstil ürünlerini kapsamaktadır (Tekstil Teknik, 2009).

1.5.5. Koruyucu giysiler

Koruyucu giysiler kişinin çeşitli tehlikelerden korunmasını sağlamak veya bu riski azaltmak için giyilen giysilerdir. İtfaiyeciler için erimiş metallere karşı koruma giysileri, kurşun geçirmez yelekler vb. için ısı ve radyasyona karşı koruma yüksek performanslı liflerden yapılmış teknik tekstiller ile sağlanmaktadır (Turhan, 2010).

1.5.6. Bina ve inşaat teknik tekstilleri

Günümüzde hava alanları, stadyumlar, spor salonları, fuar ve gösteri salonları, askeri ve endüstriyel depolar gibi yerlerde bu malzemeler oldukça sık kullanılmaktadır. Betonların kuvvetlendirilmesi, kopma ve eğilme mukavemetlerinin artırılması amacıyla lif kullanmak (fiber-reinforced concrete) artık tüm inşaat sektöründe yaygın olarak başvurulan bir yöntemdir. Bu malzemeler kompozit olarak adlandırılmaktadır (Turhan, 2010).

1.5.7. Tarım teknik tekstilleri

Balıkçılıkta, tarımsal ürünlerin paketlenmesinde, bitkilerin büyüme sürecinin hızlandırılmasında, ürünlerin UV ışınlarından korunmasında, besicilikte hayvanların hava şartlarından korunmasında, tarımsal alanların ilaçlanmasında, yabancı otların büyümesinin önlenmesinde, erozyon ve drenaj gibi birçok uygulamada tarım teknik tekstilleri kullanılmaktadır (İTKİB Genel Sekreterliği, 2005).

1.5.8. Aktif spor ve boş zaman teknik tekstilleri

Tekstil malzemeleri hemen hemen bütün spor aktivitelerinde kullanılır hale gelmiştir. Spor giysileri olarak kullanılan tekstiller yüksek performans özelliği olan lif ve kumaşlardan oluşmaktadır. Örneğin yüzücü mayoları, jimnastik ve kayak giysileri, orijinal boylarının 5 katı daha fazla uzama özelliğine sahip Spandex, Lycra

ve Elastan olarak isimlendirilen poliüretan köpük liflerinden yapılmaktadır (Tekstil Teknik, 2009).

1.5.9. Ev teknik tekstilleri

Kumaşlar, nonwoven ürünler ve kompozit takviyeleri dışındaki diğer tekstiller için en büyük kullanım alanı ev tekstilleri, döşemelikler, özellikle vatka ve dolgu lifi uygulamalarındaki serbest liflerin kullanımlarını kapsamaktadır. Mükemmel yalıtım özellikleri bulunan içi boş lifler geniş çapta yatak ve uyku tulumlarında kullanılmaktadır. Diğer tipteki lifler ise yangın ve sağlık problemleri nedeniyle hızla mobilyalardaki köpüklerin yerini almaya başlamıştır. Dokuma kumaşlar halen halı ve mobilya altlıklarında ve perde bantları gibi daha özel ve daha küçük alanlarda kullanılmaktadır (Turhan, 2010).

1.5.10. Ambalaj teknik tekstilleri

Ambalaj piyasasının hızla büyüyen bir bölümü dahi, özellikle gıda endüstrisinde, birçok sarma ve koruma uygulamalarında hafif ağırlıklı nonwoven ve örme yapılarını kullanmaktadır. Çay ve kahve poşetleri ıslak serimli nonwoven ürünlerinden yapılmaktadır. Etler, sebzeler ve meyveler sıvıların emilmesi için nonwoven seralarla paketlenmektedir. Diğer meyveler ve sebze ürünleri örme ağ paketlerde satışa sunulmaktadır (Tekstil Teknik, 2009).

1.5.11. Giyim teknik tekstilleri

Giyim teknik tekstilleri hazır giyim ve ayakkabı sektörlerinde kullanılan telalar, vatkalar, dikiş iplikleri, ayakkabı bağı ve izolasyon malzemelerinden oluşmaktadır. Tekstil ve hazır giyim ürünlerine su geçirmezlik, leke tutmazlık, buruşmazlık, anti mikrobiyalık, anti statiklik, UV koruyuculuk, yanmazlık veya güç tutuşurluk ve daha iyi boyanabilirlik gibi özellikler kazandıran nanoteknoloji tabanlı ürünler geliştirilmiş ve kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır (Üreyen, 2006).

1.5.12. Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri

Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri taşıt araçlarında ve sanayide kullanılan filtreler, erozyonu önlemede kullanılan jeo tekstiller gibi diğer alanlarda kullanılan ürünlerden oluşmaktadır (Tekstil Teknik, 2009).

1.5.13. Gıda teknik tekstilleri

Gıda ürünlerinin üretim ortamında taşınması, raflarda bekletilmesi işlemlerinde, artık kolay temizlenebilir teknik tekstiller tercih edilmektedir. Gıdaların ısıtılması, kaynatılması ve servis edilmesi safhalarında da koruma amaçlı non-woven ve teknik tekstil ürünlerinin ilk örnekleri büyük ilgi görmüştür. Çok yeni bir kategori olması ve hijyenik faydaları bu teknik tekstillerin önemini artırmaktadır (Turhan, 2010).

1.5.14. Akıllı tekstiller

Akıllı materyaller ve yapılar, mekanik, ısı, kimyasal, manyetik ve diğer çevresel kaynaklardan gelen etkileri algılayan ve bunlara tepki gösteren yapılar ve materyaller olarak tanımlanır. Akıllı tekstil materyalleri elektrik iletme özelliklerine, yumuşak tutuma ve sıcak tutma özelliğine sahiptirler. Akıllı giysi uygulamaları şunlardır (Özbek, 2006):

Biyolojik, kimyasal etkileri algılama ve bunlara cevap verme Bilgisayardan bilgi ve polimer pilden enerji iletimi RF sinyallerinin gönderilmesi ve alınması, kimyasal ve biyolojik kirlenme olduğunda sesle otomatik uyarı sistemi Kendini onarma, yüksek mukavemetli lifler ile takviye edilen kumaşlar kişiyi darbeye karşı korumak amacıyla kullanılmakta Bariyer tabakaları içeren kumaşlar kişiyi zehirli maddelerden koruyabilir. Yer bildirme Işık yayma Güneş enerjisini depolama ve kullanma Optik kamuflaj Isıya göre uzayıp kısılma

1.5.15. Elektronik tekstiller

Gelecekte giysiler sadece gerektiği gibi kişileri sıcak veya serin tutmakla kalmayacak, aynı zamanda yetenekleri sayesinde dış etkiler ve tehlikeler konusunda kişileri uyarabilecek, tedavi amaçlı kullanılacak, herhangi biri kaybolduğunda bulunduğu yeri saptayabilecek ve fiziksel olarak herhangi bir aktivite yerine getirilemediği durumlarda başkaları ile iletişim kurulmasını sağlayabilecektir (Tekstil Teknik, 2009). Son altı yıl içinde elektriği iletebilen polimerlerin ve giysilerin birleştirilmesine yönelik çalışmalar sonucu, sporculara yaptıkları hareketlerin yanlış olduğunu bildiren, zamanla doğru refleksleri kazanmalarına yardımcı olan akıllı bir dizlik geliştirilmiştir (Turhan, 2010).

Elektronik tekstillerin giyim dışında bir kullanım alanı da yakıt hücrelerindedir. Hücre membranının gaz difüzyon tabakasına destek malzeme olarak kullanılabilirler. 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 (Şengül, 2007). Yakıt hücresinin temel bileşenleri olan bu hidrojen yakıtı ve oksijen oksitleyicinin, iletkenliği sağlayan membrana ulaşması gaz difüzyon tabakaları sayesinde. Bu nedenle gaz difüzyon tabakasında kullanılan destek malzemenin yapısı oldukça önemlidir. Bu destek malzemenin iletkenliği, iyi iletkenlik gösteren bir elektronik tekstil materyalinden oluşması, yakıt hücresinin verimini arttıracaktır (Turhan, 2010).

1.6. Yakıt Hücreleri

1.6.1. Yakıt hücresi

Yakıt hücresi (pili), enerji üretiminde kullanılan verimli, sessiz, çevre ile uyumlu ve elektrokimyasal prensipte yakıt enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güç üretim elemanıdır. İlk gerçek uygulaması NASA tarafından yapılmış, alkali yakıt hücreleriyle, Gemini ve Apollo uzay programları boyunca enerji sağlamada kullanılmıştır (Tarcan, 2007).

Klasik çevirim teknolojisinde, kimyasal (iç) enerji yanma tepkimesi ile ısıya, ısı da bir güç çevirimi ile (Rankine çevirimi) mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Mekanik enerji jeneratörlerle elektriğe dönüştürülürken de yeni kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar sistemin verimini düşürmekte ve kalabalık bir makine topluluğu gerektirmektedir. Oysa yakıt hücreleri, tipine göre 25-1000 °C arasında

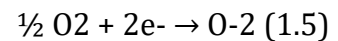
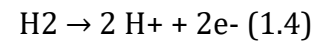
değişik sıcaklıklarda, çok az gürültü ile çalışabilen ideal çevirim araçlarıdır. (Blomen et al, 1993; Özdemir ve Kılıçaslan 1995; Tüsiad 1998)

Yakıt hücrelerinin diğer ikincil (sekonder) pillerle benzerlikleri olsa da, onlardan farklı olarak sürekli çalışırlar, tekrar şarj edilme gibi bir sorunları yoktur, elektrot tepkimelerinden elektrotların ve elektrolitin bileşimleri etkilenmez, ayrıca kullanım ömrü sonunda atılması söz konusu değildir. Yakıt beslemesi yapıldığı sürece akım verebilmeleri yakıt hücrelerinin en önemli avantajlarından biridir. Ayrıca çevresel kirlilik oranı çok düşüktür. Hidrojen yakıt olarak kullanıldığında ortaya sadece enerji ve saf su çıkar, bu sebeple onlara sıfır emisyonlu makineler de denilebilir. Yakıt hücrelerinde sadece elektron alışverişi olduğundan, yani kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesine gerek olmadığından yüksek verimle çalışırlar. Ayrıca düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi yakıt hücrelerinin önemli bir avantajıdır (Tarcan, 2007).

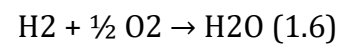
1.6.2. Yakıt hücresi çalışma prensibi

Bir yakıt hücresi, elektrolit tabakasının iki yanına yerleştirilen bir anot (negatif elektrot) ve bir de katot (pozitif elektrot) olmak üzere iki elektrottan meydana gelir. Elektrotlar gözenekli metal veya karbondan yapılmış olup, aradaki elektrolit sadece iyonların içerisinden geçişine izin veren bir yapıdadır. Bu elektrolit; sodyum veya potasyum gibi bir bazik çözelti, erimiş karbonat, seramik veya polimerik bir katı olabilmektedir. Elektrolitin kullanılma amacı; elektronik bir ayırma sağlamak ve elektrokimyasal potansiyelleri farklı olduğu düşünülen iki elektrot arasındaki iyonik bağlantıyı sağlamaktır. Anot ve katot arasındaki potansiyel farkı (daha doğru bir deyimle kimyasal aktivite farkı), kimyasal

Yakıt hücresinin çalışması kısaca şu şekilde özetlenebilir; Sistem içerisinde bulunan anoda yakıt gönderilir. Bu yakıt hidrojen, etanol veya metanol olabilir. Katoda ise hava veya oksijen gönderilir. Yakıttan ayrılan elektronlar, bir dış devre üzerinden katoda doğru devam ederken, iyonlar da elektrolit üzerinden katoda doğru hareket eder. İyonlar burada katottan gelen elektronlar ve hava ile reaksiyona girer ve devre tamamlanır. Böylelikle dış devreden dolaştırılan elektronların bulunduğu akım kolunda elektrik akımı oluşur. Yakıt hücresinde tek bir hücre gerilimi 1 volttan az olduğundan, gerekli elektrik enerjisini üretmek için birden fazla yakıt hücresinin seri halde bağlanılarak kullanılması yoluna gidilmektedir. Hidrojen yakıt hücresinde, anot ve katot tabakasındaki reaksiyonlar en temel haliyle aşağıdaki şekilde verilebilir;



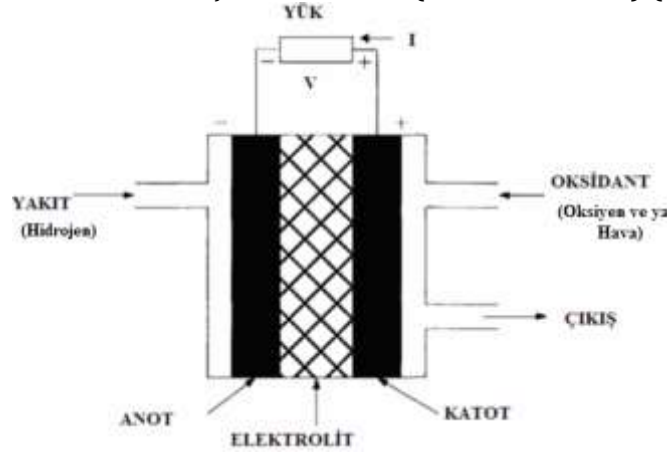
Toplam reaksiyon;



Anottaki tepkime hidrojenin yükseltgenme tepkimesi, katottaki tepkime ise oksijenin indirgenme tepkimesidir. Anot ve katodu ayıran elektrolit, içerisinden sadece iyonların geçişine izin veren bir yapıdadır. Kullanılan elektrolit tipine bağlı olarak yakıt hücresinin tipi, çalışma sıcaklığı, iletilen iyonun türü ve aktarım yönü

değişiklik göstermektedir. Bir yakıt hücresinin şematik resmi Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Tarcan, 2007)

Şekil 1.1. Yakıt hücresinin şematik resmi (V=Volt, I=Akım) (Tarcan, 2007)



Yakıt hücrelerinin tiplerine göre çalıştırılma koşulları değişmektedir. Bu koşulların değişmesi her bir hücre türüne bazı avantaj ve dezavantajlar sağlamaktadır. Genel olarak, yakıt hücrelerinin diğer enerji üreteçlerine göre avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir;

- Enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüşür. Sadece elektron alışverişi olması sebebiyle yüksek verim elde edilir.
- Enerji dönüşümü sırasında hareket eden parça yoktur. Bu da enerji kayıplarının oluşmasını engeller.
- Sessizdir.
- Düşük sıcaklıklarda yüksek kullanılabilirlik sağlar.
- Kolay yerleştirilebilir ve kullanılabilir.
- Yakıt türü değiştirilebilir.
- Düşük sıcaklıkta çalışabilmesi sebebiyle güvenlidir.
- Boyutları değiştirilebilir.
- Hızlı bir şekilde yükleme yapılabilir.
- Çevresel kirlilik oranı çok düşüktür. (Blomen et al, 1993; Dicks and Larminie, 2001; Kadırgan ve Fıçıcıoğlu, 1992; Fuel Cell Handbook 2002).

1.6.3. Yakıt hücresi çeşitleri

Yakıt hücreleri çalışma sıcaklık aralığına göre; düşük ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri olarak sınıflandırılabilirler (Pakalapati, 2003; Carrette 2000). Fakat günümüzde daha çok bu sınıflandırma yerine yakıt hücreleri elektrolit kısmını oluşturan malzeme cinsine göre farklı tiplere ayrılır. Bu çeşitlilik temel çalışma prensibini etkilemez, ancak performansların, çalışma koşullarının ve uygulama alanlarının farklılaşmasına yol açar (Mugikura, 2002).

Uygulamada en sık karşılaşılan yakıt hücresi tipleri şunlardır (Carrette, 2000; Acres, 2001):

- Alkalin Yakıt Hücresi (AFC)
- Katı Oksit Yakıt Hücresi (SOFC)
- Fosforik Asit Yakıt Hücresi (PAFC)
- Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi (MCFC)
- Direkt Metanol Yakıt Hücresi (DMFC)
- Proton Dönüşüm Zarlı Yakıt Hücresi (PEMFC)

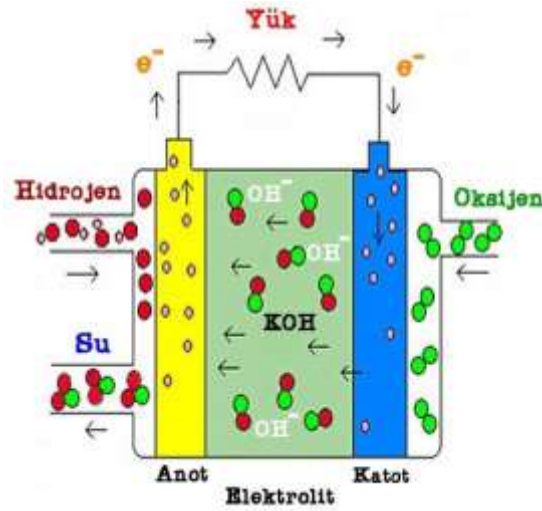
1.6.3.1. Alkalin yakıt hücresi (AFC)

Geliştirilen ilk yakıt (pili) hücresi tipi olup, NASA uzay programlarında geniş kullanım olanağı bulmuştur. Bu tip yakıt hücrelerinde elektrolit olarak potasyum hidroksit kullanılır. Kullanılan potasyum hidroksitin derişimine bağı olarak çalışma sıcaklığı 120 °C'den az ya da 250 °C'nin üzerinde olabilmektedir. Fakat çoğunlukla kullanılan alkalin yakıt hücreleri düşük çalışma sıcaklığında (23 °C–70 °C) çalışacak tarzda dizayn edilmektedir. Verimleri ise % 60'lara kadar çıkmaktadır (Veziroğlu, 1998).

Alkalin yakıt hücresi oksitleyici ya da yakıtta yer alan karbondioksite karşı oldukça duyarlıdır. Çünkü karbondioksit, elektrolitte yer alan potasyum hidroksit ile tepkimeye girebilmekte ve elektroliti tükettiği gibi, elektrotları da olumsuz yönde etkilemektedir (Veziroğlu, 1998).

Alkalin yakıt hücresinin çalışması ise genel olarak farklılık göstermez. Yakıt olarak gönderilen hidrojen molekülleri anotta elektron vererek, hidrojen iyonlarına dönüşür. Bu iyonlar potasyum hidroksit elektrolitten yoluna devam ederken, elektronlar ise bir dış devre üzerinden katoda ulaşır. Burada hidrojen iyonları, katoda gönderilen oksijen ve dış devreden gelen elektronlar reaksiyona girerek devre tamamlanır. Reaksiyon sonunda su açığa çıkar. Çoğu alkali yakıt hücresinin düşük çalışma sıcaklığında olması nedeni ile kojeneratif dönüşüm imkânı sınırlıdır. Alkalin yakıt hücresinin şematik gösterimi Şekil 1.2'de verilmiştir (Oğuz, 2006). Bu çalışmanın amacı, kuyrukta beklemeleri en aza indirecek, araç gelişlerine göre dinamik olarak güncellenecek adaptif bir sinyalizasyon sisteminin geliştirilmesidir. Bu amaçla ilk adımda kavşaktaki şeritlerden araç geliş bilgileri toplanmış ve kavşak ile ilgili genel parametreler belirlenmiştir. Geliş bilgilerinin tespitinde literatürde kullanılan yöntemler görüntü tabanlı ve sensör tabanlı sistemler olmak üzere iki ana başlıkta gruplandırılabilir. Görüntü tabanlı sistemler kuyruk uzunluklarını vermekle birlikte alt yapı ve kurulum maliyeti yüksek sistemlerdir. Diğer taraftan sensör tabanlı sistemler ile kuyrukta bekleyen araç sayısı elde edilebilmekte dolayısıyla çok daha kesin veriler elde edilebilmektedir. Bu sensörler bakım gerektirmeyen, enerji gereksinimi oldukça düşük (pil ömrü 10 yıl) , küçük boyutları nedeniyle yerleştirilmesi kolay ve kablosuz iletişim gerçekleştirebilecek niteliklere sahiptir. Bu çalışmada düşük ilk yatırım maliyetine sahip olması ve geliş bilgilerinin daha sağlıklı elde edilebilmesi avantajlarından dolayı kavşak verileri (şeritlere gelen araç sayıları) kablosuz manyetik sensörler yardımıyla toplanmıştır. Araç geliş adetleri ve kavşak parametreleri kullanılarak mevcut sistemin

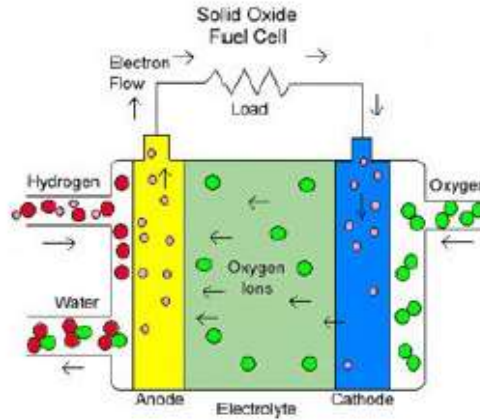
simülasyonu Sidra Intersection 5.1 kullanılarak yapılmış ve sistemin çıktı parametreleri belirlenmiştir. Mevcut duruma alternatif olarak geliştirilen adaptif sinyalizasyon sistemi için de simülasyonlar yapılmış ve adaptif yeşil süreler belirlenmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında sisteme gelen araç adetlerine göre yeşil sürelerin adaptif olarak gerçek zamanlı belirlenmesi amacıyla bir RBF ağı geliştirilmiştir. RBF ağında eğitim ve test kümesi olarak kullanılacak veritabanı simülasyon çıktıları ile oluşturulmuştur. RBF ağı eğitim verileri ile eğitilmiş ve test verileri ile performansı analiz edilmiştir. Performans analizinde RBF ağının adaptif yeşil süreleri %72,5 oranında birebir (± 0 sn toleransla) doğru tahmin ettiği, %97,25 oranında ± 1 sn toleransla ve %100 oranında ± 2 sn toleransla doğru tahmin ettiği gözlenmiştir. Bilindiği kadarıyla daha önce izole sinyalize kavşaklarda yeşil sürelerin tahmininde RBF ağı kullanılmamıştır. Dolayısıyla bu yöntemin geliştirilmesi ve performans analizinin yapılması literatüre önemli bir katkıdır.



Şekil 1.2. Alkalin yakıt hücresi (AFC) (Oğuz, 2006)

1.6.3.2. Katı oksit yakıt hücresi (SOFC)

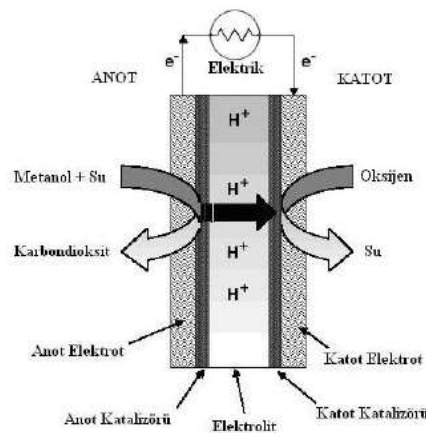
Yapısı ve kullanılan malzemeler açısından geliştirilme aşamasındadır. Bu tip yakıt hücrelerin çalışma sıcaklığı yaklaşık 1000 °C olduğu için, hücre elektrotu yüksek sıcaklığa dayanıklı olan seramikten yapılır. Elektrolit olarak ZrO₂ kullanılmakla beraber buna molar % 8-9 kadar Y₂O₃ şeklinde tanımlanabilecek metal oksit (Y, +3 değerlikli bir metalin oksitini belirtir.) ilavesi ile yalıtkan olan zirkonya ya iletkenlik kazandırılmaktadır (Tübitak, 2001). Elektrolit olarak katı elementler kullanıldığından elektrolit buharlaşması veya azalması meydana gelmez ve elektrolit besleme mekanizmasına ihtiyaç göstermez. Genellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır ve verimleri % 50-60 civarındadır. Kojeneratif uygulamalar halinde ise verimde % 80-85 seviyelerine ulaşılmaktadır. Katı oksit yakıt hücresinin şematik gösterimi Şekil 1.3'te verilmiştir (Oğuz, 2006).



Şekil 1.3. Katı oksit yakıt hücresi (SOFC) (Oğuz, 2006)

1.6.3.5. Direkt metanol yakıt hücresi (DMFC)

Çalışma prensibi olarak PEM yakıt hücresine benzerlik gösteren direkt metanol yakıt hücrelerinde, sıvı yakıt kullanılmakta olup, yakıt işleme ünitesi yoktur. Elektrolit olarak katı polimer membranın kullanıldığı bu tip yakıt hücrelerinde, temel olarak tüm organik moleküller enerji dönüşümünde kullanılabilir. Bu noktada metanol tercih nedeni olabilecek özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden birisi ise (hidrojen ile karşılaştırıldığında düşük olsa da) yüksek dönüşüm hızıdır. PEM yakıt hücrelerinden temel farklılığı, dönüştürücü gerektirmeksizin metanolün yakıt olarak kullanılabilmesidir. Genellikle sisteme metanol su karışımı gönderilir ve böylelikle hem membranın nemlendirilmesi hem de soğutulması aynı anda gerçekleştirilir. Çalışma sıcaklığı PEM yakıt hücrelerine göre biraz yüksektir, 80-130 °C aralığındadır. Verimleri ise % 40 seviyesindedir. PEM yakıt hücrelerine göre daha fazla katalist kullanımı gerekliliği vardır. Direkt metanol yakıt hücresi şematik gösterimi Şekil 1.6'da verilmiştir (Oral, 2005).



Şekil 1.6. Direkt metanol yakıt hücresi (DMFC) (Yıldızbilir,2006)

2. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde fosil yakıtların hızla tükenmesi nedeniyle, temiz enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bunlardan bazıları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle, hidrojen ve jeotermaldir. Son zamanlarda araştırılan teknolojilerin başında da hidrojen enerjisini kullanan “yakıt pilleri” gelmektedir. Yakıt pili teknolojisi, elektrolit kısmını oluşturan malzeme cinsine göre çeşitlere ayrılır. Bunlar; Alkalın Yakıt Hücresi (AFC), Katı Oksit Yakıt Hücresi (SOFC), Fosforik Asit Yakıt Hücresi (PAFC), Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi (MCFC), Direkt Metanol Yakıt Hücresi (DMFC) ve Proton Dönüşüm Zarlı Yakıt Hücresi (PEMFC)“dir. PEM yakıt pili, katı haldeki bir polimer elektrot kullanılmasından dolayı diğer türlerden ayrılır ve elektrokimyasal teknik tekstil membranların incelenmesi için uygundur. Yakıt hücresinin performansının artışıdaki en büyük etken membran yapısıdır. PEM yakıt pilleri için en fazla tercih edilen membran tiplerinden biri de DuPont tarafından üretilen Nafion polimerik membranlardır. Nafion“nun yüksek maliyeti, yüksek sıcaklıklardaki iletkenlik kaybı ve yüksek metanol geçirgenliği gibi bazı dezavantajlarının olması PEMFC“lerde kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle Nafion yerine kullanılacak daha düşük maliyetli ve yüksek sıcaklıklarda iletkenlik özelliği daha iyi olan membranlar araştırılmaktadır. Bu çalışmada, kimyasal yöntemler kullanılarak, PEM yakıt pillerindeki Nafion“a alternatif olabilecek elektrokimyasal özelliğe sahip polimerler üretilmiştir. Bunlar sırası ile Dm-Naf ve DA-NTDA“dır. Üretilen bu polimerlerin yapısal analizleri FT-IR, TGA ve DSC ile yapılmıştır. Yapılan FT-IR analizine göre; beklenen bölgelerdeki gerilimler ve yine beklenen bölgelerdeki kimyasal bağların gözlenmesi sonucu istenen yapıda polimerler sentezlenmiştir. Yapılan analizlerin ardından bu polimerler dokusuz tekstil yüzeyine aktarılarak membran haline getirilmiştir. Membranlar yakıt pili stağındaki Nafion membranının yerine yerleştirilerek ürettiği enerji miktarı ölçülmeye çalışılmıştır.

Yapılan ölçümlere göre Nafion“un membran olarak kullanıldığı bir yakıt hücresi stağı;

$0.72 \text{ V} * 0.003 \text{ mA} = 0.0021 \text{ watt}$ (2.1 mwatt) enerji üretmektedir.



Şekil 5.1. Nafion membranlı yakıt hücresi stağı

Ancak elde edilen Non-Nafion membranlar çok düşük molekül ağırlığına sahip olduklarından, yakıt pili stağının eldeki koşullarla vakumlu olarak kapatılmamasından dolayı gerekli ölçüm değerleri alınamamıştır. Polimerler daha yüksek molekül ağırlıklarında çalışıldığı ve uygun yakıt pili stağı bulunması halinde istenen ölçümler başarıyla alınıp, Nafion membranların enerji üretimleri ile kıyaslanabilir. İstenen özellikteki polimerlerin elde edilebilmesi, yeterli molekül ağırlıklarında çalışıldığı takdirde Nafion membrana alternatif olarak PEM yakıt pillerinde kullanılıp kullanılmayacağı konusunda incelemelere imkân sağlayacaktır. Kullanılabilirlikleri ispatlandığında üretim maliyetleri Nafion'dan düşük olduğunda, PEM yakıt pili üretimi ucuzlayacaktır. Böylece temiz enerji kaynağı olarak PEM yakıt pillerinin kullanım alanları da genişleyecektir. Bu tür membranların üretimi teknik tekstil alanında yeni oluşumlara imkân verecektir.

Kaynakça

- Alkan, E., 2006. İyon Değiştirici Membranlar Kullanarak Sudaki Florur İyonunun Uzaklaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 79 s., Isparta.
- Acres, G.J.K., 2001. Recent, Journal of Power Sources, 100, 60.
- Bedir, F., Alniak, M.O., 2004. Yakıt Hücre Sistemlerinin Çalışma Prensipleri Ve Denizaltı Sistemlerdeki Tasarımı. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3, 31-37.
- Blomen, L.J.M.J., Mugerva, M.N., 1993. Fuel Systems, Plenum Pres, New York.
- Carrette, L., Andreas Friedrich, K., 2000. Ulrich Stimming. ChemPhysChem, 1, (No.4) 162.
- Cireli, A., Kılıç, B., Sarıışık, M., Okur, A., 2007. Tıbbi Tekstiller ve Test Yöntemleri, Paketleme Malzemelerinde TSE Standartları. Uluslararası Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, İzmir.
- Coşkun, K., 2009. Kimyasal Ve Elektrokimyasal Yöntemlerle İletken Polimerlerin Sentezi Ve Membran Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 120 s., Isparta.
- Dicks, A., Larminie, J., 2000. Fuel Cell Systems Explained. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, İngiltere.
- Emek, A., Kuyumcu, O., 2004. Teknik Tekstiller Dünya Pazarı. Türkiye'nin Üretim ve İhracat İmkanları, Ankara.
- Erkan, Y., 2006. Proton Geçiren Membranlı Bir Yakıt Hücresinin Katot Tarafının 1-B Modelinin Analitik Çözümü. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131 s., Ankara.
- Evcin, A., 2011. Elektrokimya Ders Notları. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Fuel Cell Handbook, Sixth Edition, 2002. EG&G Technical Services, Inc. Science Applications International Corporation, 56-97.

- Gözütok, B., 2007. Poli(Vinil Alkol) (Pva) Bazlı Membranların Yakıt Hücrelerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131 s., Ankara.
- Gürler, B., 2007. İyon Değiştirici Membranlar Kullanılarak Sulu Ortamdan Bor“un Uzaklaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69 s., Isparta.
- Grubb, W.T., 1957, Proceedings of the 11th Annual Battery and Development Conference. PSC Publications Committee, Red Bank, NJ, p. 5.
- Grune, H., 1992, 1992 Fuel Cell Seminar Program and Abstracts. The Fuel Cell Seminar Organizing Committee, Tucson, Arizona, p. 161.
- Higa, M., Yamakawa, T., Ishida, S., 2005. Transport Properties of Ions Through Temperature-Responsive Charged Membranes Using Poly (vinyl alcohol) / poly (Nisopropylacrylamide) / poly (vinyl alcohol-co-2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid), Journal of Membrane Science, 27, 411-417.
- İtkib, 2005. İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri Web sitesi. <http://www.itkib.org.tr>. Erişim Tarihi: 18.02.2006.
- Kadırgan, F., Fıçıcıoğlu, N.D., 1992. Yakıt Pilleri ve Uygulamaları, Etilen Glikol Hava Yakıt Pili Geliştirme Çabaları. Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 22-26 Ekim, Ankara.
- Kang, M. S., Kim, J. H., Moon, S. H., Kang, Y. S., 2005. Highly Charged Proton Exchange Membranes Prepared By Using Water Soluble Polymer Blends for Fuel Cells. Journal of Membrane Science, 247, 127-135.
- Kellegöz, M., 2005. Farklı Özelliklerdeki Proton Değişim Zarlı Yakıt Hücresi Tasarımı ve Ölçümleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150 s., Eskişehir.
- 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.
- Meng, Y. Z., Ding, F. C., Wang, M. X., 2007. Cross-linked Sulfonated Poly (Phthalazine ether ketone)s for PEM fuel Cell Application As Proton-Exchange Membrane. Journal of Power Sources, 164, 488-495.
- Miyoshi, H., 1998. Diffusion Coefficients of Ions through Ion Exchange Membrane in Donnan Dialysis using Ions of Different Valance. J. Membr. Sci., 141, 101-110.
- Mugikura, Y., Asano, K., 2002. Electrical Engineering in Japan, 138, 24.
- Oğuz. A.E., 2006. Hidrojen Yakıt Pilleri ve PEM Yakıt Pili Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98 s., Ankara.
- Oral, E., 2005. Hidrojen Yakıtlı Proton Dönüşüm Zarlı Yakıt Pili ve Modellemesi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112 s., Kırıkkale.

- Osada, Y., Nakogava, T.(edtrs)., 1992. Membrane Science and Technology. Marcel Dekker Inc. USA., 3-57.
- Özbek, A., 2006. Akıllı Giysiler. Nonwoven Technical Textiles Technology, 70-77.
- Özdemir E., Kılıçaslan, İ., 1995. Yakıt Hücreli Güç Sistemlerinin Bugünkü Durumu ve Geleceğine İlişkin Beklentiler. Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi Oturum Tebliğleri, 190- 197, 11- 17 Eylül, Bursa.
- Pakalapati, S. R., 2003. A Numerical Study of Current Distribution Inside the Cathode and Electrolyte of A Solid Oxide Fuel Cell. West Virginia University, Master Thesis, West Virginia.
- Rhim, J. W., Park, H. B., Lee C. S., Jun, J. H., Kim, D. S., Lee, Y. M., 2004. Crosslinked Poly(viniyl alcohol) Membranes Containing Sulfonic Acid Group: Proton and Methanol Transport Through Membranes. Journal of Membrane Science , 238, 143-151.
- Savadago, V., 2005. Influence of Swelling on Water Transport Through PVAbased Membrane, Journal of Molecular Structure. Journal of Molecular Structure, 739, 207-212.
- Şengül, E., 2007. In Partial Fulfilment of The Requirements. Middle East Technical Universty, Master Thesis, 141 p., Ankara.
- Tekstil Teknik, 2009. Teknik Tekstil Web Sitesi. <http://www.tekstilteknik.com>.
- Tarcan, D., 2007. Doğrudan Metanollü Yakıt Hücrelerinin Yapay Sınır Ağları ve Bulanık Mantık Metotlarıyla Modellenmesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107 s., Gebze.
- Turhan, İ., 2010. Proton Değişim Yakıt Pili (PEMFC) Membranlarının Ve Teknik Tekstil Desteklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118 s., Isparta.
- Tübitak Mam, 2001. Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Hidrojen Yakıt Pilleri. Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamalar ve Geleceği, Rapor No: KM 367, Proje No: 5015403, Ekim 2001.
- Tüsiad, 1998. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. TY/172/1998.
- Üreyen, M.E., 2006. Nanoteknoloji ve Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sektörleri. Bilim ve Teknik, 40-41.
- Veziroğlu, T. N., Frano, B., 1998. Hydrogen Energy Technologies. UNIDO, A 1400 Vienne, Austria.
- 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. Savadago and P. R. Roberge, Canada, 6-10, 27.
- Yıldızbilir, F., 2006. Yakıt Pili İle Elektrik Enerjisi Üretimi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Yüksek Lisans Tezi, 57 s., Elazığ

Zhang, L., Zhou, J., Zhou, D., Tang, Y., 1999. Adsorption of Cadmium and Strontium on Cellulose / Alginic Acid Ion-Exchange Membrane. *J. Membr. Sc.*, 162, 103-109.

© Copyright of Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology (JoCREST) is the property of Strategic Research Academy and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.