

Evsel Mikro Kojenerasyon Uygulamaları ile Enerji Verimliliğinin Artırılması

Egemen AKAR
Fatih GENÇ
Gaye SAĞLAM
Murat BARANAK
Özgür C. KORKMAZ
Salih OBUT
Doç. Dr. Fehmi AKGÜN

ÖZET

Verimli, güvenilir, sessiz ve çevre dostu olan yakıt pili teknolojileri, eşzamanlı elektrik ve ısı enerjisi sağlayan mikro kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Dünya çapında ilgi gören yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemlerinin ilk prototipleri geliştirilmiş olup bu konuda çalışmalar devam etmektedir. "Yakıt Pili Mikro Kojenerasyon Sistemi" projesi, Türkiye'de ilk olup TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi ve Türk DemirDöküm Fabrikaları A.Ş. tarafından yürütülmektedir. Projenin amacı, doğal gazdan hidrojen üretimini içeren 5 kWe gücünde Polimer Elektrolit Membran yakıt pili teknolojisine dayalı bir mikro kojenerasyon sistemi prototipinin geliştirilmesidir. Bu bildiri, evsel mikro kojenerasyon uygulamalarının enerji verimliliği konusundaki önemini vurgulayarak proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmaları içermektedir.

Anahtar kelimeler: Hidrojen, doğal gaz, reformer, katalitik yakıcı, yakıt pili, mikro kojenerasyon, proses kontrol, güç şartlandırma

1. GİRİŞ

Önümüzdeki 25 yıl içerisinde dünya enerji tüketiminin %60 oranında artacağı öngörülmekte ve bu kapsamda gerekli yatırım miktarının 12 trilyon Avro civarında olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin yaklaşık olarak dünyanın %1'ini temsil ettiği varsayılırsa, ülkemize ait olan bu alandaki yatırım miktarının yaklaşık 120 milyar Avro olacağı söylenebilir. 2007 yılı verilerine bakıldığında, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı %73 oranındadır ve yaklaşık 15 milyar TL sadece ham petrol ithalatı için kullanılmıştır. Bu kapsamda, mevcut enerji kaynaklarını ve ilgili teknolojileri, öncelikle enerji verimliliğini artırarak, sonrasında ise kaynak ve taşıyıcı açısından enerji portföyünü çeşitlendirerek, enerji güvenliği ve iklim değişikliği problemlerini çözerek ve enerji endüstrisinin rekabet gücünü artırarak daha sürdürülebilir hale dönüştürmek gerekmektedir.

2. MİKRO KOJENERASYON SİSTEMLERİ

Kojenerasyon sistemleri, güç ve ısının kombine bir şekilde üretilmesini içerir ve atık olacak ısı geri kazanılarak ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir. Türkiye'de TEİAŞ verilerine göre

Abstract:

Fuel cell technologies, which are efficient, reliable, quiet and environment-friendly technologies, are used in micro-cogeneration systems, which produce electricity and heat simultaneously. As well as the first prototypes were developed, the studies in this area still continue. "Micro-Cogeneration System based on Fuel Cell" project, which is conducted under TÜBİTAK Support Programme for Research Projects of Public Institutions by TÜBİTAK Marmara Research Center Energy Institute, İstanbul Technical University, Kocaeli University and Türk DemirDöküm Fabrikaları A.Ş., is the first project on this subject in Turkey. The aim of the project is to develop a micro-cogeneration system based on 5 kWe Polymer Electrolyte Membrane fuel cell prototype for residential applications. The aim of this paper is to summarize the achievements within the project by emphasizing the importance of fuel cell micro cogeneration systems in the frame of clean energy technologies.

Key Words:

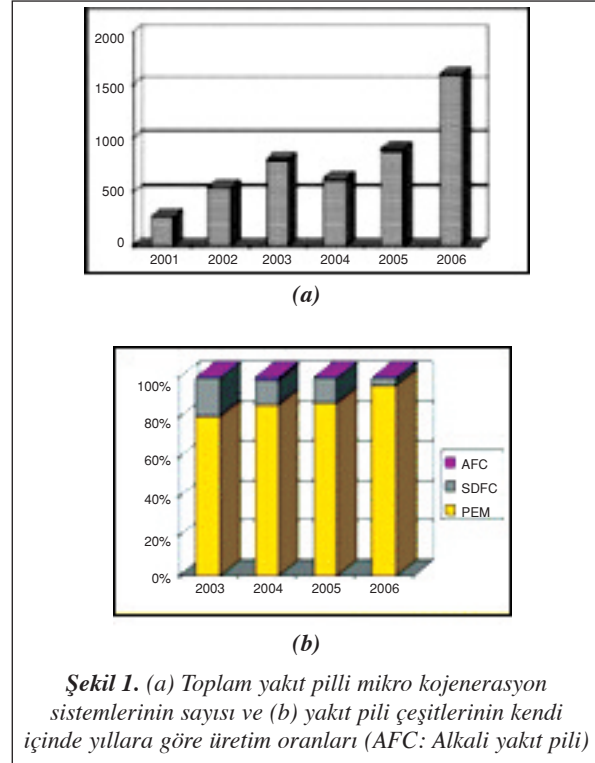
Hydrogen, natural gas, reformer, catalytic burner, fuel cell, micro cogeneration, process control, power conditioning

Makale

elektrik iletim hatlarındaki kayıplar %3, dağıtım hatlarındaki kayıplar ise %9 civarındadır[1]. Mikro kojenasyon sistemi ile elektrik iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların önüne geçilmektedir. Elektrik üretim veriminin ortalama %35 olduğu konvansiyonel sistemlerde geriye kalan %65'lik enerji, atık ısı olarak dışarı atılırken mikro kojenasyon sistemi ile elektrik üretimi en az %40 verim ile gerçekleştirilebilir ve %60'lık atık ısı, sıcak su ve ısınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılabilir. Günümüzde küçük ölçekte elektrik üretimi için üzerinde durulan dört alternatif mikro kojenasyon teknolojisinin özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmektedir.

Mikro türbinler, Stirling makineleri ve yakıt pilleri halen tam anlamıyla ticarileşmemiş, araştırma aşamasında olan teknolojilerdir. Tablo 1 incelendiğinde, yakıt pillerinin tam ve kısmi yüklerdeki elektriksel verimleri daha yüksek, gürültü seviyelerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir.

Dünya genelindeki mevcut mikro kojenasyon sistemlerinin sayısı Şekil 1a'da görüldüğü üzere artış göstermektedir. Bu sistemlerde yakıt pili tipi olarak



katı oksit yakıt pilleri (SOFC) ve polimer elektrolit membran yakıt pilleri (PEMFC) üzerine odaklanılmıştır. Şekil 1b'de görüldüğü üzere üretilen prototip-



Tablo 1. Küçük ölçekli kojenasyon sistemlerinin karşılaştırılması

	İçten Yanmalı Motorlar	Mikro Türbinler	Stirling Makinaları	PEM Yakıt Pilleri
Elektriksel Güç (kW)	10–200	25–250	2–50	2–200
Elektriksel verim	25–45	25–30	15–35	40–50
Kısmi yüklerde verim (%50)	23–40	20–25	~ 35	40–50
Toplam Verim	75–85	75–85	75–85	75–90
Elektrik güç / Termal güç	0,5–1,1	0,5–0,6	0,3–0,7	0,9–1,1
Çıkış sıcaklığı (°C)	85–100	85–100	60–80	60–80
Bakım Zamanı (saat)	5000–20000	20000–30000	~ 5000	10000 (a)
Gürültü (dBa)	50–65	50–70	(b)	0
Yatırım Maliyeti (\$ kW-1)	800–1500	900–1500	1300–2000	2500–3500

(a) Vaillant firmasının prototip test sonuçları esas alınmıştır. 10000 saatlik ömür, gerçek çalışma şartları altında gerçekleşmiştir.
(b) Herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır.

lerin yaklaşık %80'inde PEMFC kullanılmakta ve bu sayı giderek artmaktadır [2].

3. YAKIT PİLLİ MİKRO KOJENERASYON SİSTEMİ

Müşteri kurumun Elektrik İşleri Etüt İdaresi olduğu "Yakıt Pili Mikro Kojenerasyon Sistemi" projesi, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi ve Türk DemirDöküm Fabrikaları A.Ş. tarafından yürütülmektedir. 15 Temmuz 2006'da başlayan projenin süresi 45 aydır. Projenin amacı, evsel uygulamalar için doğal gazdan hidrojen üreterek PEMFC teknolojisine dayalı 5 kWe gücünde bir mikro kojenerasyon sistemi prototipi geliştirmektir.

5 kW elektriksel ve 30 kW ısı güç üretmek üzere evsel uygulamalar için tasarlanan mikro kojenerasyon sisteminin bölümleri aşağıda görüldüğü gibidir (Şekil 3).

- Ototermal reformer ünitesi
- Gaz temizleme reaktörleri (WGS, PROX)
- Doğal gaz ve yakıt pili anot atık gazını yakan katalitik yakıcı sistemi
- 5 kW'lık PEM yakıt pili modül bileşenleri, modülü ve sistemi
- Tüm birimlerin işletimine yönelik kontrol sistemi
- Güç koşullandırma sistemi

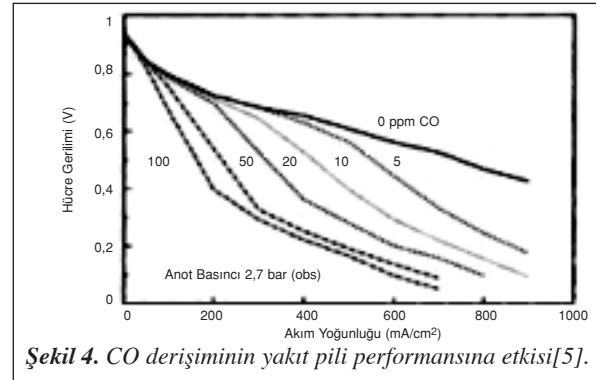
3.1. Hidrojen Üretim Sistemi

Dünya genelinde hidrojenin %48'i doğal gazdan üretilmektedir. Bunun nedeni doğal gazın hidrojen oranı yüksek, nispeten ucuz, temiz, şebeke altyapısı yeterli ve rezervleri yüksek bir yakıt olmasıdır. Ayrıca

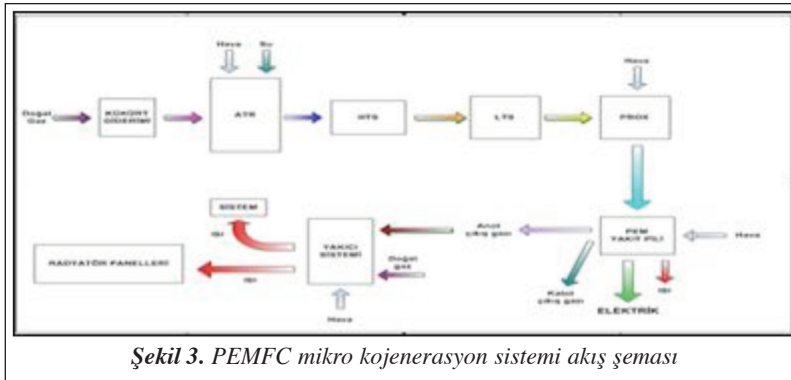
doğal gazdan hidrojen üreten sistemler, diğer kaynakları kullanan sistemlere nazaran daha basit ve yatırım maliyeti daha düşük olan sistemlerdir.

Mikro kojenerasyon sisteminde hidrojen üretimi üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşama doğal gazdan hidrojen zengin gaz karışımının üretildiği ototermal dönüşüm reaktörüdür. Bu reaktörün çıkışındaki akım içerisindeki karbon monoksit (CO) konsantrasyonu, PEM yakıt piline beslenebilecek oranın üzerinde olduğu için su-gaz dönüşüm reaktörleri ve seçici oksidasyon reaktörleri kullanılarak CO miktarının azaltılması amaçlanmaktadır.

Yüksek ve düşük sıcaklık su-gaz dönüşüm reaktörleri çıkışında CO bileşimi %0,5–1 aralığına kadar düşürülebilir. Fakat PEM yakıt pili giriş akımında 50 ppm'in üzerindeki CO konsantrasyonları, yakıt pilinin anot katalizörünü deaktifte ederek yakıt pilinin performansının düşmesine sebep olmaktadır [3]. Bu nedenle, hidrojen besleme gazındaki CO bileşiminin daha düşük seviyelere indirilmesi gerekmektedir [4]. CO içeriğine bağlı olarak yakıt pili gerilimindeki düşüş, Şekil 4'de gösterilmektedir. CO derişiminin



Şekil 4. CO derişiminin yakıt pili performansına etkisi[5].



Şekil 3. PEMFC mikro kojenerasyon sistemi akış şeması

artmasıyla belli bir akım yoğunluğunda elde edilen yakıt pili geriliminin dolayısıyla yakıt pili veriminin düştüğü görülmektedir.

Su-gaz dönüşüm reaktörlerinden çıkan gaz karışımındaki CO miktarı, seçici oksidasyon reaktörüyle 10 ppm'in altına kadar düşürülme-

Makale

lidir. Seçici oksidasyon reaktörleri içinde iki farklı oksidasyon reaksiyonu gerçekleşir:

Yakıt Pili Mikro Kojenerasyon projesi kapsamında hidrojen üretimi ve saflaştırılması amacıyla ototermal dönüşüm reaktörü, yüksek sıcaklık / düşük sıcaklık su gaz dönüşüm reaktörleri, seçici oksidasyon reaktörlerinin tasarım, imalat ve montajları gerçekleştirilmiştir. Reaktör tasarımında kullanılan önemli parametreler aşağıda belirtilmektedir.

- Reaktörün çalışma sıcaklığı,
- Reaktörün çalışma basıncı,
- Kapasite,
- Katalizör yatağı boyunca homojen gaz dağılımının elde edilmesi,
- Reaktöre beslenen gaz karışımının boşluk hızı (GHSV),
- Optimum katalizör boy/çap oranı.



Şekil 5. Hidrojen Üretim Sistemi

Proje kapsamında şimdiye kadar Şekil 5’de görülen hidrojen üretim sisteminde 300 saatin üzerinde test gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda hidrojen üretim sisteminin 5 kW elektrik üretebilecek kapasitedeki PEM yakıt piline beslenebilecek kalitede hidrojen zengin gaz karışımını üretebildiği görülmüştür.

3.2. Katalitik Yakıcı Sistemi

Hidrojenin hava içerisinde stokiyometrik koşullarda adiyabatik yanma sıcaklığı 2097°C olup, yüksek homojen yanma sıcaklıklarında (>1200°C) çok yüksek miktarda NO_x emisyonları oluşmaktadır. Katalitik yakıcı kullanımı ile gerçekleşen alevsiz

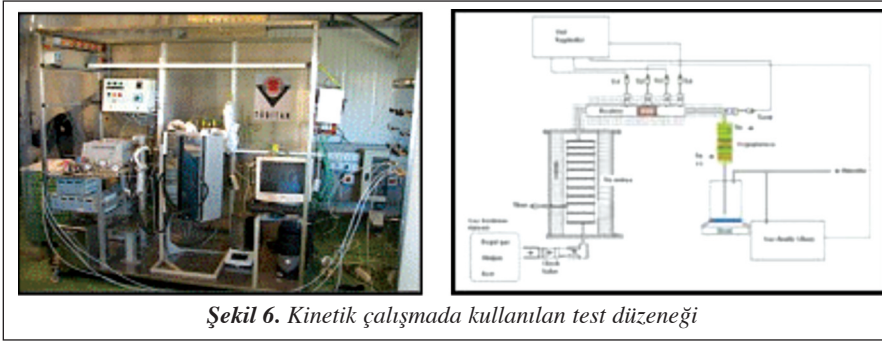
yanma sonucu, hidrojen yüzdesine ve debisine de bağlı olarak maksimum 800°C sıcaklığa ulaşılmaktadır. Düşük yanma sıcaklıklarında (<1200°C) NO_x emisyonları oldukça düşük seviyede gerçekleşmektedir. Bu nedenle PEM yakıt pili anot gazının katalitik olarak yakılması çevre açısından tercih edilmektedir.

Mikro kojenerasyon sistemlerinin evsel uygulamaları ile ilgili olan bu proje kapsamında iki adet katalitik yakıcı geliştirilmiştir. Bu katalitik yakıcılardan 5 kW ısı güce sahip olan yakıcı, PEM yakıt pili anot atık gazı içerisinde bulunan dönüştürülemediği hidrojen, metan ve diğer yakılabilir gazların yakılmasında kullanılmaktadır. Katalitik yakıcı, hidrojen üretim sistemine gerekli gaz beslemeleri için ön ısıtma sistemi olarak tasarlanmıştır. Böylece PEM yakıt pili anot atık gazı atmosfere verilmeden ısı yükü kazanımı ile sistemin genel verimi artırılmaktadır. Geliştirilmekte olan 30 kW’lık ısı güce sahip ikinci katalitik yakıcıda ise metan hava karışımları yakılmaktadır. Açığa çıkan ısı enerjisi, evsel uygulamalar için ısıtma suyu ve sıcak kullanım suyu temininde kullanılmaktadır.

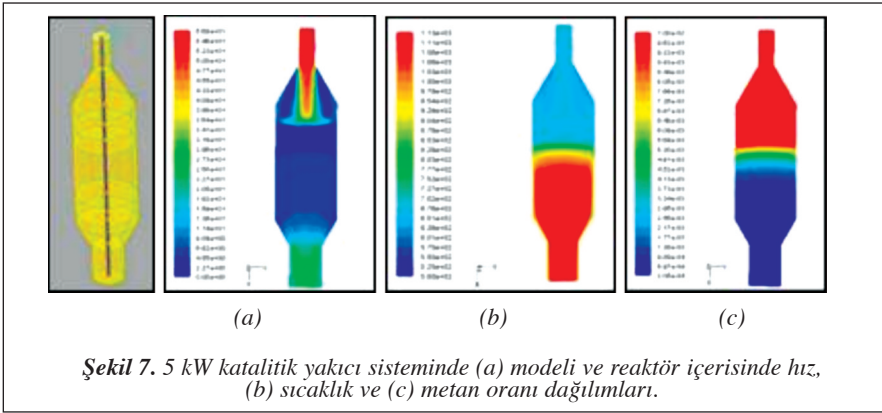
Her iki katalitik yakıcıda da seramik monolit yapı üzerine kaplanmış ticari katalizörler kullanılmıştır. Bu katalizörlerin kinetik özelliklerinin anlaşılabilmesi ve daha sonra tasarım aşamasında kullanılacak olan bilgisayar destekli akışkanlar dinamiği (CFD) programına girdi sağlanabilmesi için katalizörler üzerinde metan için katalitik yanma reaksiyonu kinetiği verileri (aktivasyon enerjisi ve hız sabiti) çıkarılmıştır.

Şekil 6’da kinetik çalışmalarda kullanılan test düzeneği görülmektedir.

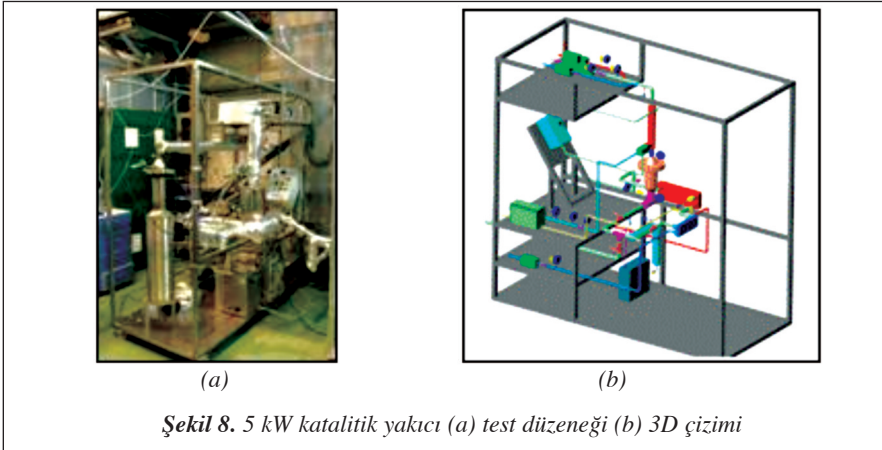
CFD programı ile deney düzeneğindeki reaktör modellenerek kinetik veri doğrulanmıştır. 5 kW’lık katalitik yakıcı için model reaktör çizilerek reaktör difüzör açıları, boyu ve çıkış borusu çapı vb. parametreler model üzerinde incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda Şekil 7’de görüldüğü gibi reaktör içerisinde akış hızı, sıcaklık, basınç ve kompozisyon dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 6. Kinetik çalışmada kullanılan test düzeneği



Şekil 7. 5 kW katalitik yakıcı sisteminde (a) modeli ve reaktör içerisinde hız, (b) sıcaklık ve (c) metan oranı dağılımları.



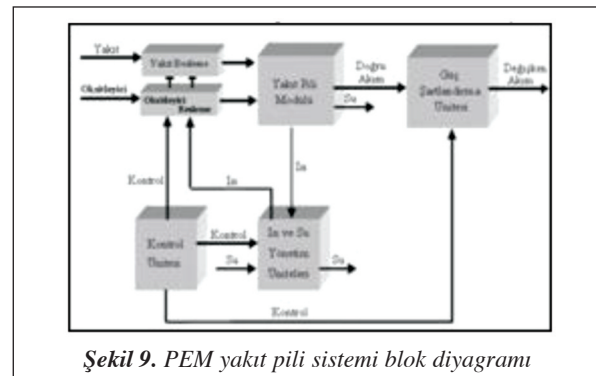
Şekil 8. 5 kW katalitik yakıcı (a) test düzeneği (b) 3D çizimi

Modelleme sonucu elde edilen veriler kullanılarak 5 kW'lık katalitik yakıcı prototipi imal edilmiştir. İmal edilen prototiplerin performanslarının değerlendirilmesi için test amaçlı deney düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 8a ve b'de gösterilmiştir.

3.3. PEM Yakıt Pili Sistemi

“Yakıt Pili Mikrojenerasyon Sistemi” projesi kapsamında 5 kW elektriksel güce sahip PEM yakıt pili modülünün oluşturulması amaçlanmıştır. Yakıt pili modülü yanında modülün çalışması için gerekli

farklı miktarlarında yapılan üretim çalışmaları



Şekil 9. PEM yakıt pili sistemi blok diyagramı

olan nemlendirme, ısı ve su yönetimi alt sistemleri de yakıt pili modülüne entegre edilerek PEM yakıt pili sistemi oluşturulacaktır (Şekil 9).

Yakıt pillerinin bileşenlerinden biri olan bi-polar plakaların yakıt pili içerisindeki gazların aktif alan boyunca homojen dağıtılması gibi ana işlevlerinin yanında, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, mukavemet, yüksek korozyon direnci v.b. özelliklere de sahip olması istenir.

Bu projede kimyasal kararlılık, korozyon direnci ve düşük yoğunluk kriterleri göz önüne alınarak polimer-kompozit bi-polar plakaların üretimi ve kullanımı tercih edilmiştir. Plakaların üretimleri için en uygun proses koşulları yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Dolgu, bağlayıcı, kalıp ayırıcı ve reoloji düzenleyicilerin

Makale

sonunda uygun bileşim, kalıplama basıncı ve sıcaklığı belirlenmiş ve plaka üretim çalışmaları yapılmıştır. Proje kapsamında üretilen polimer-kompozit yapıdaki bi-polar plakaların özellikleri sahip olması gereken özelliklerle karşılaştırmalı olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Proje kapsamında üretilen plakaların özellikleri

	İstenen Değer	Üretilen Plaka Değeri
Yoğunluk, g/cm ²	1,85	1,69
Basma mukavemeti, N/mm ²	> 50	67
Eğme mukavemeti, N/mm ²	> 40	64
Çekme mukavemeti, N/mm ²	> 25	27
Elektriksel iletkenlik, S/cm	> 20	82
Korozyon hızı, µA/cm ²	< 16	0,022
Isıl genleşme, 1/K		3,5x10 ⁻⁶
Hidrojen geçirgenliği, cm ³ /cm ² .s	<2x10 ⁻⁶	1,4475x10 ⁻⁶

Ayrıca üretilen plakaların SEM analizleri yapılarak yüzey özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Şekil 10a’da farklı büyütme oranlarında alınan SEM fotoğraflarında farklı 2 tür dolgu, bağlayıcı, güçlendirici, iç ve dış kalıp ayırıcıların kullanıldığı plakaların yüzey ve kesitleri görülmektedir. Yapılan test ve karakterizasyon çalışmaları neticesinde üretilen kompozit plakaların yakıt pili çalışmaları için uygun özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

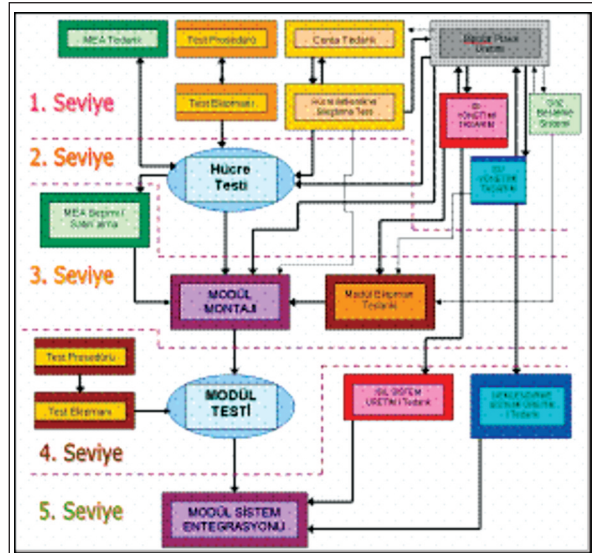
Membran elektrot ünitesi katalizör ile kaplanmış gaz difüzyon tabakalarının yüksek sıcaklık ve basınç altında membran ile birleştirilmesiyle veya membranın katalizör ile kaplandıktan sonra gaz difüzyon tabakalarının arasına yerleştirilmesiyle oluşturulur. Muhtemel reformer gazı karbon monoksit içeriğine (<50 ppm) göre anotta Pt-Ru/C katalizör, katotta ise Pt/C katalizör kullanılmıştır. Anot ve katot elektrotların en uygun yüklenme miktarları yapılan çalışmalar

sonucunda belirlenmiş ve bu elektrotlar kullanılarak membran elektrot üniteleri üretilmiştir (Şekil 10b).

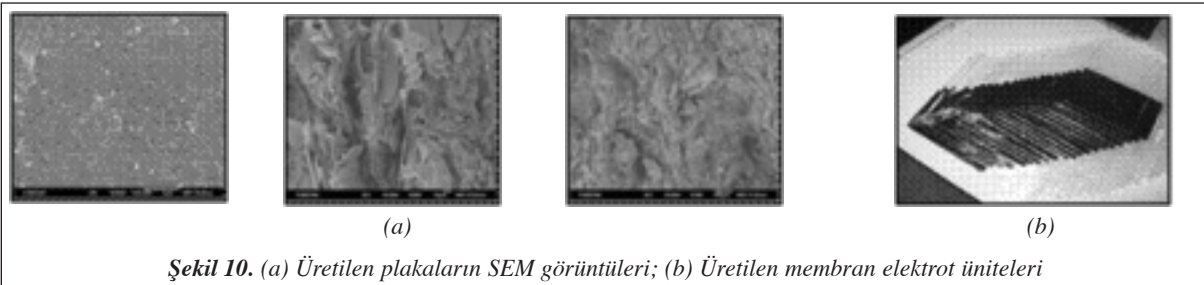
Modül tasarımında, yakıt pilini oluşturan bileşenlerin (MEÜ, bi-polar plaka vb.) ısı ve nem yönetimi, yüksek performans kriterleri dikkate alınarak uygun bir şekilde bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Her bir bileşen tek başına teste tabi tutulduklarında yüksek performans elde edilebilmesine rağmen, hücrelerin toplamına eşit olmayabilir. En ideal durum, modül performansının hücrelerin her birinin performansının toplamı ile aynı olmasıdır. Modül tasarımı, Şekil 11’de verilen şemadan da görüleceği gibi, iş akışı açısından kritik önem taşımaktadır.

Modül tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli hususlar:

- Her hücreye gerektiği kadar reaktant gazların ulaştırılması,



Şekil 11. PEM yakıt pili sistem entegrasyonu akış şeması.



Şekil 10. (a) Üretilen plakaların SEM görüntüleri; (b) Üretilen membran elektrot üniteleri

- Reaksiyon sonucu meydana gelen suyun uzaklaştırılması,
- Reaksiyon sonucu oluşan ısının “fazlasının” uzaklaştırılması,
- Elektrik iletimi için yeterli baskı kuvvetinin sağlanması,
- Sızdırmazlık,
- Mekanik dayanım.

şeklinde olup; bu hususlar proje kapsamında üretilen PEM yakıt pili modülleri için yapılan çalışmalar neticesinde optimize edilmiştir. 5kW kapasiteli modül üretiminden önce kW mertebesindeki prototip modül üretilip teste tabi tutulmuştur (Şekil 12).

3.4. Mikro Kojenerasyon Sistemi Prosesleri ve Kontrol Sistemi

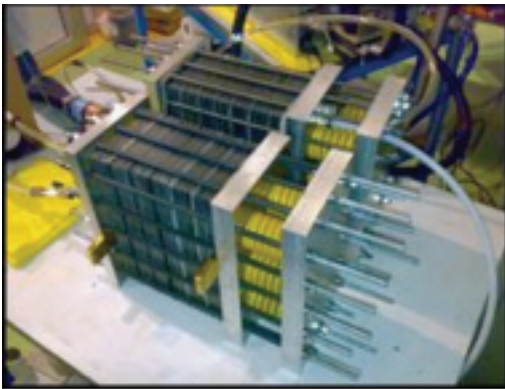
5 kW elektriksel ve 30 kW ısıl güç kapasiteli mikro kojenerasyon sisteminin otomatik kontrolü, sistemin verimli işletimi açısından önem taşımaktadır. Mikro kojenerasyon sistemini oluşturan alt sistemlerin kontrolü, endüstriyel proses kontrolü kapsamına girmekte ve bu amaçla gerekli prosedürler yerine getirilmektedir. Proses kontrolü, uygun benzetim ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak tasarlanan bir veya birden çok proses dahilindeki tüm kontrol ekipmanlarının, belirlenen çalışma noktaları civarında denetimiyle birlikte prosesin öngörülen devreye alma, devreden çıkarma ve acil kapama senaryoları çerçevesinde gerçekleştirilen otomasyonunu kapsamaktadır.

3.4.1. Kontrol Parametreleri

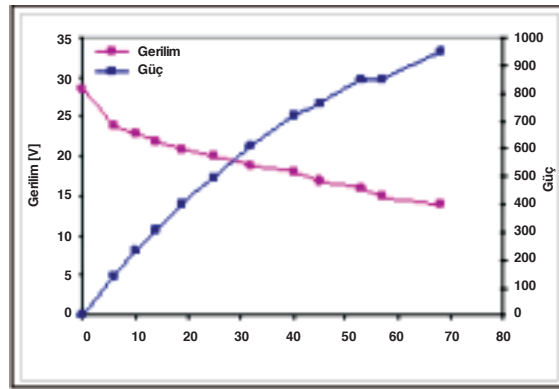
Hidrojen üretim sisteminde kontrol edilmesi gereken temel işletme parametreleri ototermal dönüşüm (ATR) reaktörünün çalışma sıcaklığı ile O_2/C ve S/C stokiometrik oranlarıdır. Bununla birlikte her üç proses bünyesindeki kütle akış kontrolörleri, pompa, kompresör, ısı değiştiricileri, soğutucular gibi yardımcı ünitelerin bulunduğu hatlarda sıcaklık, basınç, debi verilerinin izlenmesi ve kontrolü gerçekleştirilmektedir. Güç şartlandırma sisteminin kontrolü kendi içindeki mikrokontrolör devreleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemin otomasyonu kapsamında ise, yakıt pili sürekli çalışma durumuna geçtiğinde alınan uygun bir sinyalle güç şartlandırma ünitesi devreye alınmakta, aksi durumda devreden çıkarılmaktadır.

3.4.2. Kontrol Sistemi

Endüstriyel proseslerin kontrolü genel anlamda bir endüstriyel otomasyonu gerektirir. Endüstriyel otomasyon, bir endüstriyel üretim sisteminin istenen görevleri yerine getirecek şekilde belirlenen bir çalışma noktasında işletilmesini sağlayan otomatik prosedürler zinciridir [6]. Tüm sistemin kontrolü, önceden tanımlanan devreye alma, devreden çıkarma ve acil kapama senaryoları uyarınca oluşturulan kontrol akış şemalarına bağlı olarak yapılmaktadır. Endüstriyel otomasyon sisteminin güvenilirliği için kontrol prosedürü kadar uygun bir veri iletişiminin sağlanması da önemli bir ölçüttür. Veri iletişiminin en önemli alt birimi Denetleyici Kontrol ve Veri



(a)



(b)

Şekil 12. (a) 2 adet PEM yakıt pili modülü, (b) Üretilen modülün performans grafiği (30 L/dak. %100 nemli 65°C Hidrojen; 90 L/dak. %100 nemli 60°C hava; modül sıcaklığı 70°C)

Makale

Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) adı verilen yapıdır ve ayrı olarak programlanması gerekmektedir.

Kullanılan sistemde 8 kanallı 19 adet analog giriş, 3 adet analog çıkış, 4 kanallı 2 adet analog çıkış, 16 kanallı 1 adet dijital giriş, 8 kanallı 2 dijital giriş/çıkış modülü kullanılmıştır. Ayrıca kontrol panosunda her bir sıranın birbiriyle haberleşmesi için 3 adet ara modül, cihazların ilgili portları ile iletişim görevlerini yerine getirmek üzere iletişim modülü, CPU, ana ve yedekli güç kaynağı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen prototip bir başka deyişle kontrol panosu Şekil 13'de görülmektedir.



Şekil 13. Kontrol panosu

Kontrolör ve saha seviyesi arasındaki bilgi akışının bilgisayar tabanlı olarak görüntülenmesi ve sistem üzerinde operatör kontrolünün sağlanması SCADA sistemiyle sağlanır. SCADA sistemi, proseslerin ve kontrol edilen saha elemanlarının anlık durumunu, tasarlanan grafik ekranlarıyla kullanıcıya aktaran çeşitli kullanıcı arayüzü ünitelerini birleştirir. Bu ekranlar ile proses değişkenlerinin değerleri listelenip grafik çıktıları alınabilir, diyagnostik bilgiler ve

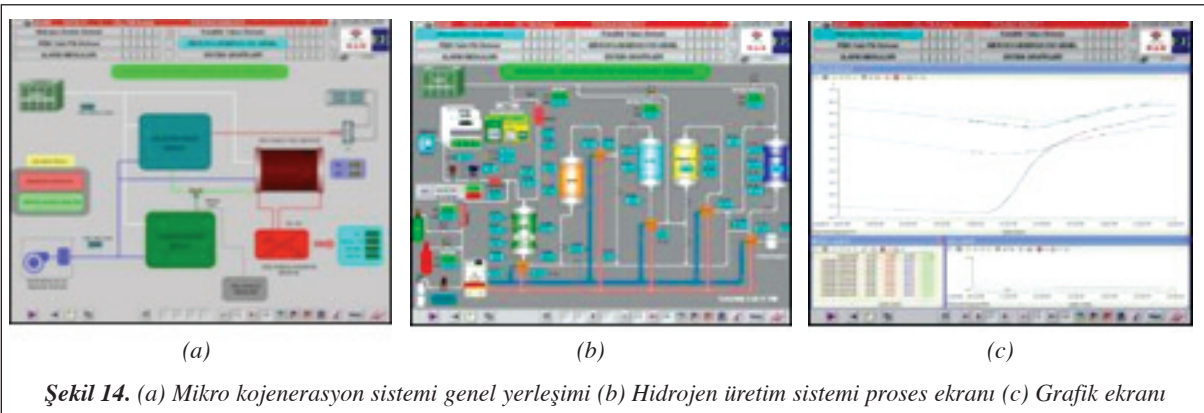
alarmlar görüntülenebilir. Böylece prosesin sürekli kontrolü sağlanarak proses verimliliği her işletim noktasında garanti altına alınmış olur. Şekil 14. (a), (b) ve (c), mikro-kojenerasyon sistemi için tasarlanan kullanıcı arayüz ekranlarından birkaç örneği yansıtmaktadır.

3.5. Güç Şartlandırma Sistemi

Geleneksel doğru akımlı güç kaynakları ile karşılaştırıldığında, yakıt pili modüllerine ait çıkış gerilim değerlerinin daha düşük ve çıkış akım değerlerinin de daha büyük olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni, modül yapıyı oluşturan her bir hücreye ait gerilimin düşük bir değere sahip olmasıdır. Bu değer, teorik olarak maksimum açık devre çalışma şartlarında 1,2 V olup, nominal güçte çalışma şartlarında yüklenme durumunda ise 0,5 ile 0,6 V arasında değişen bir değerde olmaktadır [7].

Yakıt pili çıkış gücünden optimum şartlarda ve kararlılıkta faydalanılabilmesi için, modül çıkışına çıkış gerilimini çeşitli yüklenme koşullarında kullanılacak seviyeye getirmekle görevli, güç şartlandırma sistemleri kullanılmaktadır. Yakıt pilli kojenerasyon uygulamalarının alt sistemler bazında en son bileşeni olan güç koşullandırma sisteminin görevi, düşük yakıt pili çıkış gerilimine sahip olan yakıt pili modülünden elde edilen elektriksel çıkış gücünü, özel uygulamalar ve diğer yardımcı sistemler için yüksek bir elektriksel verim oranı ile kullanılabilir düzeye çevirmektir[8].

Kojenerasyon uygulamalarında çıkışta evsel yüklerin beslenmesi için güç şartlandırma ünitesinin çıkı-



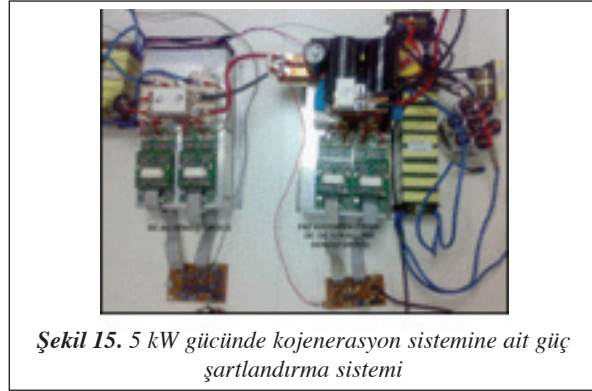
Şekil 14. (a) Mikro kojenerasyon sistemi genel yerleşimi (b) Hidrojen üretim sistemi proses ekranı (c) Grafik ekranı

şında RMS değeri 220 V ve frekans değeri 50Hz olan AC gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. 5 kW'lık çıkış gücüne sahip bir yakıt pilli modülüne ait olan çıkış gerilimi de tam yükte yüklenme koşulları altında ortalama olarak 60–100 Volt aralığındadır. Bu bilgiler ışığında güç şartlandırma ünitesinin giriş geriliminin 60–100 Volt DC, çıkış geriliminin de 220 Volt AC olması gerektiği açıktır. Dolayısı ile güç şartlandırma sisteminde bir DC-AC çevrim söz konusudur. Geleneksel inverter sistemlerinde çıkışta 220 Vrms değerine ulaşılabilmesi için, giriş DC gerilimin 400 Volt civarında olması gereklidir. Yakıt pili çıkış gerilimi ise bu gerilim seviyesinin oldukça altında bir değerde olduğundan, yakıt pili modül geriliminin öncelikli olarak DC-DC dönüştürücü (DC-DC konverter) aracılığı ile yükseltilmesi ve ardından elde edilen DC gerilimin DC-AC dönüştürücü (inverter) devresine uygulanması gereklidir.

Yukarıda açıklanan bilgiler doğrultusunda tasarlanmış mikro kojenerasyon güç koşullandırma sistemi, iki alt dönüştürücü sistemden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, yakıt pili çıkış gerilimini yükseltme amaçlı kullanılan DC-DC faz kaydırmalı yükseltici PWM dönüştürücü, diğeri ise bu dönüştürücünün çıkışında elde edilen yükseltilmiş DC gerilimi evsel yüklerin beslenmesine uygun hale getiren DC-AC dönüştürücüdür. İlgili sisteme ait devre yapısı Şekil 15'te görülmektedir.

Güç şartlandırma sisteminin gerçekleştirilmesi aşamasından sonra gerçekleştirilen elektriksel performans testleri yardımı ile devreye ait elektriksel akım, gerilim ve verim değerleri elde edilerek, çıkışta beslenecek olan yüklerin sağlıklı bir şekilde çalışmasına uygun olup olmadığı tetkik edilebilir. Proje kapsamında gerçekleştirilen güç koşullandırma sistemine ait 4 kW değerinde çıkış gücü altında çalışma koşullarında yapılan performans testlerine ait sonuçlar Şekil 16.(a) ve (b)'de görülmektedir.

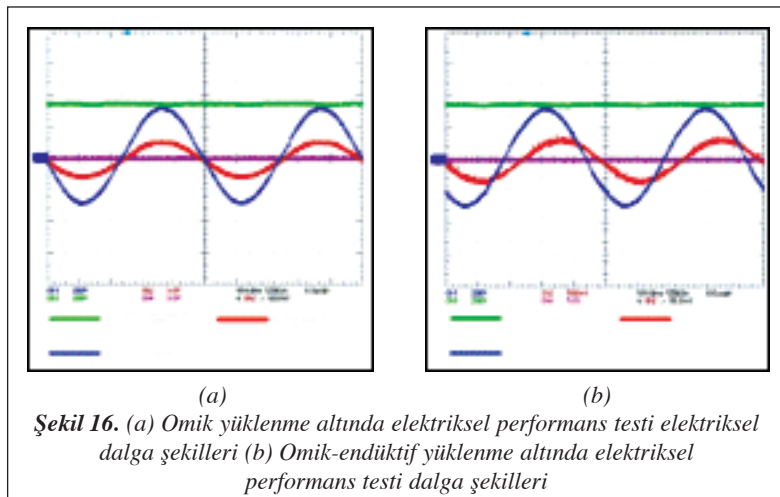
Şekil 16.a'da çıkışta, su ısıtıcısı, ütü,



Şekil 15. 5 kW gücünde kojenerasyon sistemine ait güç şartlandırma sistemi

fırın vb. türdeki rezistif (omik) yüklerin yüklenmesi sonucu elde edilen çıkış dalga şekilleri görülmektedir. Şekil 16.b'de ise, çoğu evsel yükün (buzdolabı, çamaşır, bulaşık makineleri vb.) sahip olduğu omik-endüktif türde yüklere ait performans sonuçları verilmiştir. Güç koşullandırma sisteminin performans testlerinde sistemin verimi de, yüklenme koşullarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Omik yüklenme şartlarında, sistemin maksimum verimi %87,6, omik-endüktif yüklenmedeki maksimum verim ise %85'tir. Dönüştürücü sistemi, DC-DC ve DC-AC dönüştürücü alt sistemleri olarak ayrı ayrı incelendiğinde maksimum inverter verimi omik yüklenmede %97,7, omik-endüktif yüklenmede %97,5'dir. Maksimum DC-DC dönüştürücü (konverter) verimi ise omik yüklenmede %90,4, omik-endüktif yüklenmede ise %87,8'dir.

Sisteme ait verim değerlerinin hem dönüştürücü verimleri olarak ayrı ayrı hem de her iki yükte çalışma koşullarında yüksek oluşu, mikro kojenerasyon



Şekil 16. (a) Omik yüklenme altında elektriksel performans testi elektriksel dalga şekilleri (b) Omik-endüktif yüklenme altında elektriksel performans testi dalga şekilleri

Makale

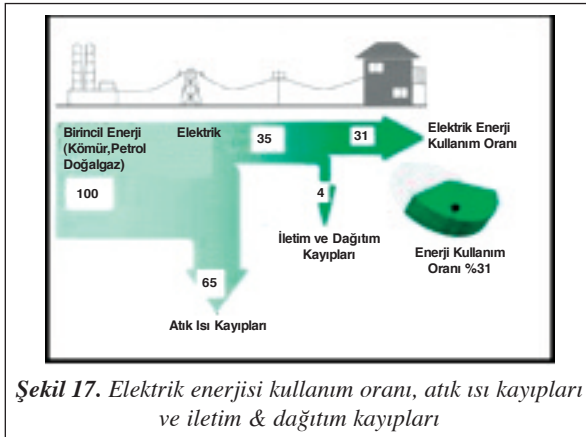
sisteminin verimini doğrudan etkilediğinden olumlu bir gelişme ortaya konulmaktadır.

4. SONUÇ

Yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemleri, dağıtılmış (distributed) enerji üretimi kapsamında değerlendirilen bir teknolojidir. Dağıtılmış enerji üretimi yöntemi, elektrik enerjisinin tüketimin gerçekleşeceği bölgelere yakın alanlarda küçük ölçekli üretim sistemleri ile karşılanmasıdır. Bu yöntemin en önemli avantajları, sistemin alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidrojen, güneş pilleri, biyokütle, rüzgar vb.) ile uygulanabilmesi, kojenerasyona imkan sağlanması, enerji üretim veriminin genellikle yüksek olması, emisyonların düşük olması, enerji iletim ve dağıtım kayıplarının düşük olması sayılabilir.

Enerji verimliliği açısından bakıldığında yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemlerinin oldukça avantajlı olduğu değerlendirilmektedir. Konvansiyonel sistemler ile elektrik üretiminde verim ortalama olarak %35'tir. Geriye kalan %65'lik enerji, atık ısı olarak dışarı atılır. İletim ve dağıtım kayıplarına bakıldığında, TEİAŞ verilerine göre Türkiye'de iletim hatlarındaki %3, dağıtım hatlarında %9 oranında elektrik enerji kaybedildiği görülmektedir. Sonuç olarak, konvansiyonel sistemler ile birincil enerji kaynağının ortalama olarak ancak %31'i elektrik olarak kullanılabilir, %69'u ise atık ısı ve iletim dağıtım kayıpları ile atmosfere atılmaktadır (Şekil 17).

Yakıt pilli mikro kojenerasyon sisteminde ise kojenerasyon yapıldığı için atık ısı kayıpları oldukça



Şekil 17. Elektrik enerjisi kullanım oranı, atık ısı kayıpları ve iletim & dağıtım kayıpları

düşüktür. Elektrikğin üretimi tüketime yakın bölgelerde gerçekleştirildiği için iletim ve dağıtım kayıpları ihmal edilebilecek düzeydedir. Yakıt pillerinde elektrik üretimi %40-65 verim ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca atık ısı, önemli ölçüde ısınma ve sıcak su ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılabilir. Sonuç olarak yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemleri ile kayıpların önemli ölçüde bertaraf edilmesi ile birincil enerji kaynakları çok daha verimli kullanılabilir.

Üzerinde çalışılan proje kapsamında, ototermal dönüşüm reaktörü, yüksek sıcaklık / düşük sıcaklık su-gaz dönüşüm reaktörleri, seçici oksidasyon reaktörleri ile ısı değiştiriciler ve gerekli enstrümantasyondan oluşan hidrojen üretim sisteminin tasarım, imalat ve testleri gerçekleştirilmiştir. Sistem doğal gazdan, PEM yakıt pilinde kullanılabilir özellikte, karbon monoksitten arındırılmış, hidrojen zengin gaz karışımı üretimi yapabilmektedir. Şimdiye kadar hidrojen üretim sisteminde 300 saatin üzerinde test gerçekleştirilmiştir.

Mikro kojenerasyon sisteminin çalışması esnasında sisteme beslenecek akışkanların ön ısıtılması için ihtiyaç duyulan ısı güç, yakıt pili anot atık gazı içerisinde bulunan ve normalde atmosfere verilen atıl hidrojen ve metan içerikli gazın katalitik olarak yakılması ile sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sayede sistemin genel verimi artırılırken kontrollü ve düşük sıcaklıkta meydana gelen katalitik yanma reaksiyonları sonucunda çok düşük emisyon değerlerine ulaşılmakta ve sistemin çevreye verdiği zararlar minimize edilmektedir.

Proje kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda alt sistem ve/veya elemanların tasarım, imalat, montaj ve test çalışmaları tamamlanmış olup, tüm sistemin entegrasyonu çalışmalarına devam edilmektedir.

5. REFERANSLAR

1. Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2006–2015).
2. Kerry-Ann Adamson, "Fuel Cell Today Market

- Survey: Small Stationary Applications” 2006. http://www.fuelcelltoday.com/FuelCellToday/FC_TFiles/FCTArticleFiles/Article_1144_FuelCellTodaySmallStationarySurvey2006.pdf
3. Mariño, F., C. Descorme and D. Duprez, 2004, Applied Catalysis B: Environmental, Cilt: 54, Sayfa: 59-66.
 4. Avgouropoulos, G., T. Ioannides, C. H. Papadopoulou, J. Batista, S. Hocevar ve H. K. Matralis, 2002, Catalysis Today, Cilt: 75, Sayfa: 157-167.
 5. Amphlett, J.C., R. F. Mann ve B. A. Peppley, International Journal of Hydrogen Energy, Cilt: 21, Sayfa 673-678.
 6. Kurtulan, S. (2008). PLC ile Endüstriyel Otomasyon, Birsen Yayınevi, İstanbul.
 7. Ellis M.W., Nelson D.J., Von Spakovsky M.R., (2001) , “Fuel Cell Systems: Efficient, Flexible Energy Conversion for 21st Century”, IEEE.
 8. Cheng K.W.E. , Ho Y.L., Law K.K., Sutanto D., (2001), “Exploring the Power Conditioning System for Fuel Cell”, IEEE.