

YAKIT PİLLERİNİN KONUTSAL UYGULAMALARDA KULLANIMI

Zehra URAL, Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
zural@firat.edu.tr, mtgencoglu@firat.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin gittikçe artması, hidrojen enerjisi ile çalışan yakıt pillerinin önemini de arttırmıştır. Yakıt pilleri hem çevresel zararlı etkilerinin olmaması, hem de yüksek verimli enerji sistemleri kurulabilmesine imkân sağladıkları için tercih edilen bir yenilenebilir enerji teknolojileridir. Yakıt pillerinin konutlarda hem elektrik üretimi, hem de ısınma amaçlı olarak kullanımı önemini giderek arttıran bir konudur. Bu çalışmada yakıt pillerinin yapısı ve temel çalışma prensibi kısaca açıklanarak, bir yakıt pili sistem tasarımının nasıl yapıldığı araştırılmıştır. Konutsal uygulamalarda kullanılan kombine ısı ve güç sistemleri ve güç düzenleme sistemleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Konutsal Uygulamalar, Kombine Isı ve Güç Sistemi, Güç Düzenleme Sistemi.

1. GİRİŞ

Yakıt pili sistemleri hem yüksek dönüştürme oranı sayesinde yüksek verime sahiptirler, hem de çevresel zararlı etkileri yoktur. Küçük güçlere olan talebin giderek artması nedeniyle, yakıt pili sistemleri yerinde üretim için güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uzun süreli kullanımında, yakıt pili sistemleri yardımcı kaynak olarak kullanılabilirler.

Bir yakıt pili sisteminin performansını karakterize eden başlıca iki parametre vardır. Birincisi ve en önemlisi verimdir. Bu parametrenin bulunması kolaydır. İkinci parametre ise, hem tüm sistemin hem de yığının performansındaki düşüştür. Bu iki parametre, yakıt pili sistemlerinin yatırım kazancı açısından diğer mevcut teknik çözümler ile karşılaştırılmasında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerdir [1].

Normal şartlarda hidrojen ile çalışan yakıt pilleri ile doğal gazdan hidrojen üreten yakıt işleyiciler birleştirilerek, yakıt pili sistemleri tasarlanmıştır. Yakıt işleyiciler kısmi yükteki çalışmalarda daha düşük verim sağlarlar, başlangıçta ön ısıtmaya ihtiyaç duyarlar ve değişken taleplere hızlı cevap veremezler. Gelecekte dağıtım şebekeleri tarafından konutlara hidrojen sağlanması durumunda, yakıt pillerinin konutlarda doğrudan kullanımı yaygınlaşacaktır [2].

2. YAKIT PİLLERİNİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Yakıt hücreleri; temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip dönüşüm teknolojileridir. Hidrojen ve oksijen arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elde edilen ve yüksek verimlere ulaşabilen yakıt hücreleri, elektrokimyasal piller olarak da bilinirler. Yakıt hücreleri, yakıtın kimyasal

enerjisini elektrolit sistemde devamlı olarak elektrik enerjisine çevirirler. Bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal madde kullanılarak elektrik enerjisi üretilir. Atık olarak su ve ısı elde edilmesi ve özellikle minimum seviyedeki emisyonları yakıt hücrelerini avantajlı kılar [3].

Yakıt pillerinde ana enerji kaynağından (Güneş, rüzgâr vb.) alınan enerji ile hidrojen elde etme yöntemlerinden biri kullanılarak hidrojen üretilir. Hidrojen, yakıt pili aracılığı ile havadaki oksijen ile yanarak su oluşturur. Tepkime ekzotermik olup ısı açığa çıkar. Ancak oluşan ısı çok yüksek değerde olmadığına su ile yakıt pili dışına atılır. Yüksek ısı üreten yakıt pillerinde ise ayrıca soğutma ihtiyacı duyulabilir [4].

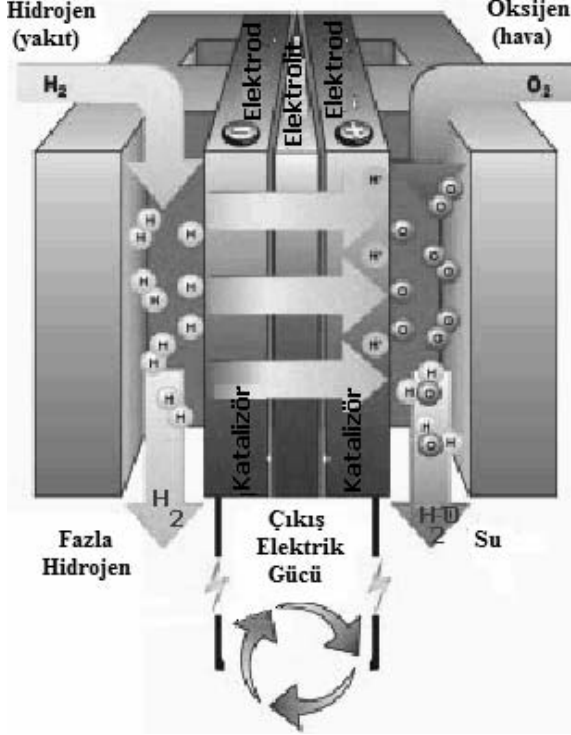
Prensip olarak bir yakıt pili batarya işlevi görür. Bir bataryadan farkı ise, gücünde zayıflama olmaması, şarj gerektirmemesi, sessiz ve verimli çalışmasıdır. Yakıt sağlandığı müddetçe yakıt pili elektrik formunda enerji ve ısı, su/su buharı (yakıt olarak saf hidrojen kullanıldığı sürece) üretir.

Tipik bir yakıt pili basitçe elektrot olarak görev yapan, iki parça arasına sıkıştırılmış iki karbon plakadan oluşmuştur. Bu iki uç, elektrot tabaka içerisinde oksijen ve hidrojeni dağıtmak için kanallara sahiptirler. Protonlar anottan katoda elektrolitten geçerek gider ve oksijenle su oluşturur. Elektronlar ise anottan katoda geçerken elektrik üretirler. Bu sırada elektrik enerjisinin yanı sıra ısı ve su üretilir. Bu nedenle yakıt pilleri sıfır emisyonlu motorlar olarak da adlandırılırlar.

Kullanılacak yakıt, yakıt pilinin anoduna, oksijen (ya da hava) ise yakıt pilinin katoduna verilir. Bir katalizörün işlemi kuvvetlendirmesiyle yakıt, proton ve elektrona ayrıştırılır. Bu iki parça yakıt pilinin içinde katoda doğru ayrı rotalardan gider. Proton elektrolitin içinden geçer. Elektronlar dış devrede



farklı bir yol izleyerek katoda dönüp oksijen ile birleşip su molekülüne dönmeden önce faydalanılabilir bir elektrik enerjisi üretirler. Şekil 1'de, bir yakıt pilinin genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Yakıt pilinin genel yapısı

Doğrudan metanol kullanan yakıt pili haricindeki diğer yakıt pillerinde yakıt, belirli kimyasal işlemlerden geçirilerek, hidrojen bakımından zengin hale dönüştürülür ya da saf hidrojen olarak hücre sistemine verilir. Yakıt pilinin özelliğine göre, yakıt olarak hidrojen, hidrokarbon, doğalgaz veya metanol kullanılabilir [3].

3. YAKIT PİLİ SİSTEM TASARIMI

Bir yakıt pili sistem tasarımı yapılırken, yakıt pilinin performansı, hidrojen ve oksijen akışı, suyun taşınması ve çıkış gerilimi ve harici teçhizat bileşenleri kullanılarak optimize edilmelidir. Yakıt pili sistemleri yapılacak uygulamaya ve arzu edilen sistem verimine bağlı olarak çok karmaşık

olabilecekleri gibi, çok basit bir yapıda da tasarlanabilirler. Şekil 2'de basit bir PEM (Proton değişim membranlı) yakıt pili sistemi gösterilmiştir. Genellikle daha büyük boyuttaki yakıt pili yığınları, daha kompleks yakıt pili tesisi alt sistemlerinden oluşur. Yeni sistemler oluşturularak daha verimli yakıt pili sistem tasarımları yapılabilir.

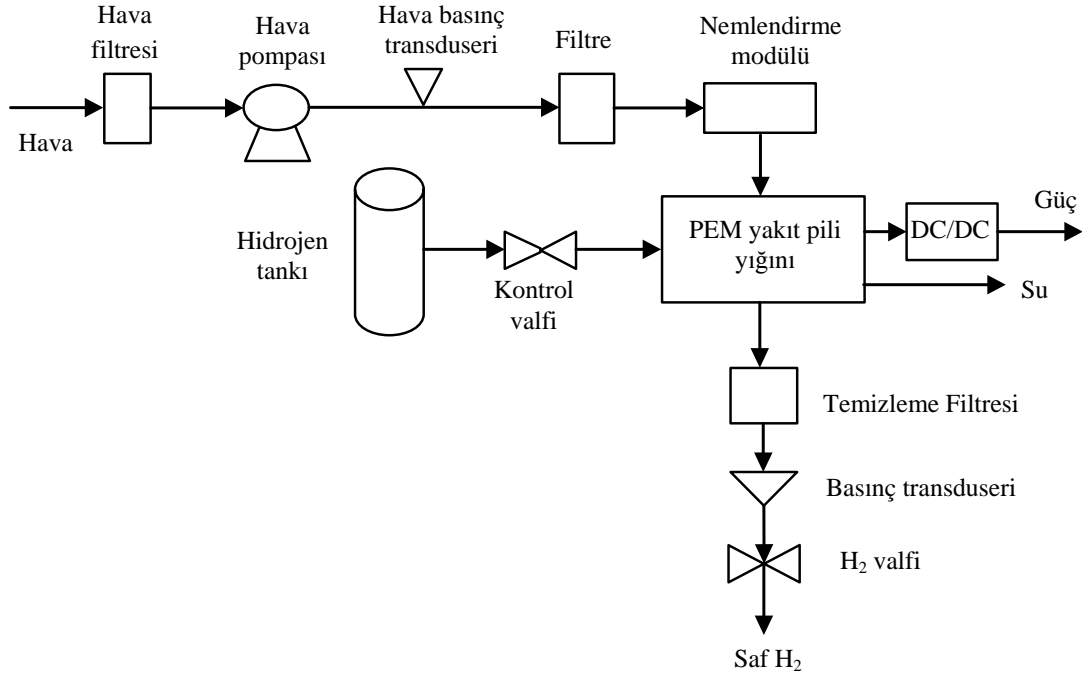
Şekil 2'de görüldüğü gibi, yakıt pili sistem bileşenlerinin büyük kısmı, hava ve hidrojen akışını yakıt pili yığınının içine ve dışına yaymak için kullanılırlar. Hava akışına uygun olan yakıt pili sistemi temizleme özelliğine sahip bir filtre, nemlendirici modül ve bir basınç transduserinden oluşur. Ayrıca yakıt pili yığınının içine yeterli havayı temin etmek için bir pompa vardır. Hidrojen yakıt pili yığınının içine basınçlı bir tank kullanılarak aktarılır.

Bu sistemin içerisine akış oranını gözlemlemek için bir kütle akış kontrolörü kurulmalıdır. Sistemin dışına çıkan hidrojen ve su boşaltılır, basınç ise sistemden çıkmadan önce gözlenir.

Yakıt pili sistemleri boyutlarının artması ile birlikte daha karmaşık bir yapıya sahip olurlar. Sıcaklık, basınç, su ve ısı problemleri ortaya çıkar ve bu parametrelerin daha dikkatli bir şekilde gözlenmesi gerekir. Ayrıca elektrik gücü ve ısı için, karbon temelli bir yakıt hidrojene dönüştürülürse, yakıt işleme ünitesi ve gaz temizleme ünitesi gerekli olabilir. Isı değiştiriciler, pompalar, fanlar, havalandırıcılar, kompresörler, elektrik güç inverterleri, konverterler, şartlandırıcılar, su idare cihazı ve kontrol sistemlerini içeren diğer ilave bileşenler, bir yakıt pili tesisinde bulunabilecek diğer elemanlardır.

Şekil 2, sadece birkaç sensör ve basınç transdüsüri içermektedir. Tamamıyla geliştirilmiş bir kontrol sistemi ısı çiftler, basınç termodüserleri, metanol/hidrojen sensörleri ve bir data alma programı kullanarak dataları kontrol eden ve ölçen kütle akış kontrolöründen oluşacaktır.

Yakıt pillerinin tasarımı, modellenmesi ve geliştirilmesi için, yakıt pili katalizörü, membranlar ve akış alan tabakaları çok önemlidir. Ancak yığın optimizasyonu da bunlara eşit derecede önemlidir [5].



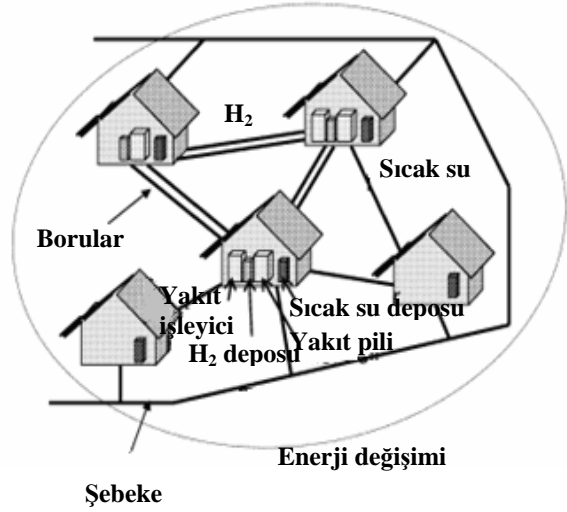
Şekil 2. Basit bir PEM yakıt pili sistemi [5]

4. KONUTSAL YAKIT PİLİ SİSTEMLERİ VE KONUTSAL UYGULAMALAR

Birkaç konut için kurulan yakıt pillerinden üretilen elektrik, bir şebeke ile bağlantılı olarak kullanılabilir. Şekil 3’de görüldüğü gibi, yakıt pilleri şebekeye bağlıdır. Bu durum aslında, yakıt pillerinin konutlar arasında paylaştırıldığı anlamına gelir. Konutlar genellikle değişik enerji taleplerine sahiptirler. Elektrik taleplerinin yük faktörleri genellikle düşüktür. Çünkü mikrodalga vb. cihazların kullanımı ile, sadece kısa periyot içinde tepe değerinde talebe sahiptirler. Tepe değerdeki taleplerden daha fazla veya eşit kapasitelere sahip olan yakıt pillerini kurmak ekonomik olarak doğru değildir. Diğer taraftan yakıt pillerinin sadece temel yükleri karşıladığı ve tepe değerdeki yüklerin ise şebekeye bağlı olduğunu düşünmek de mantıklı değildir. Yakıt pillerinin konutlar arasında paylaşılması ve müşterek çalıştırılması çözümlerden biri olarak düşünülebilir.

Güç yoğunluğu evlere bağlı olarak genellikle farklı zamanlarda meydana gelir. Evlerin kombine yüklerinin maksimum değeri, her bir evin pik yük değerinin toplamından daha küçüktür. Bu nedenle, bütün evlerin yükleri birleşik kabul edilerek, bir tüketicinin yükü gibi düşünülebilir. Yakıt pillerinden açığa çıkan ısı geri kazanılmalıdır ve toplam enerji verimini arttırmak için kullanılmalıdır. Yakıt pillerinin ısı değiştiricilerinden elde edilen sıcak su, öncelikli olarak yakıt pillerinin kurulduğu evlerde

kullanılmalıdır. Aksi takdirde sıcak su diğer evlere verilmelidir. Böylece toplam verim artırılabilir [2].



Şekil 3. Konutlar için önerilen örnek bir enerji ağı [2]

Bir konutun enerji tüketimi genellikle, elektriksel ve termal olarak iki şekilde kategorize edilebilir. Bir evin enerji talebi, yapı malzemelerinin tiplerinin ve malzemelerin atmosfer çevresinden ısı transfer etme kabiliyetlerinin doğrudan doğruya bir fonksiyonudur. Konutlar için verimli bir enerji tasarımına sahip olmak çok önemlidir. Çünkü verimli bir tasarım hem evin enerji talebini azaltacak, hem de yenilenebilir hidrojen üretim ve kullanım sistemi konfigürasyonlarının ekonomik bir şekilde dizayn edilmesine yardımcı olacaktır.

Hidrojen üretim ve kullanım sisteminin dizaynı için en uygun senaryo, ev için bir yıllık gerçek enerji talebi verilerini kullanmaktır. Eğer bu veriler mevcut değilse, o zaman evin saatlik elektriksel enerji talebi elde edilebilir. İlk önce, belirli bir yapı için kullanılan materyallerin fonksiyonu olarak ısıtma-soğutma yük talebi ve dizayn şartları tahmin edilebilir. Yapının değişkeni için veriler ve materyaller (duvar yapısı, çatı, bodrum, kapılar, pencereler, binada oturan kişi sayısı vb.) çeşitli teknikler kullanılarak bulunabilir. Daha sonra, belirli bir yerin dizayn şartları kullanılarak, ev için tam bir ısı transfer katsayısı tahmin edilebilir. Bu tam ısı transfer katsayısı, ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak, evin saatlik elektriksel enerji talebini hesaplamak için kullanılabilir. Böyle bir yenilenebilir hidrojen üretim ve kullanım sistemi tasarlanabilir ve sistemin performansı herhangi bir bölgede, belirli bir ev için tahmin edilebilir. Eğer, konut şebekeye bağlı ise şebeke bir batarya ile karşılaştırıldığında kısa süreli depo olarak kolaylıkla kullanılabilir. Ancak, şebeke harici bir uygulama için bu durum geçerli olmayacaktır.

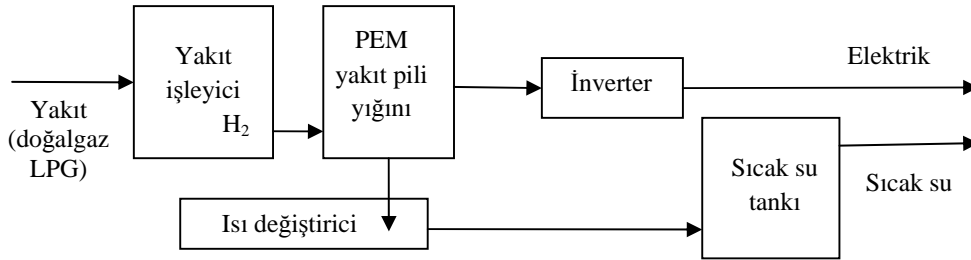
Son zamanlarda, enerji verimli binaların tasarımı için potansiyel araştırmalar yapılmaktadır. Duvarlar, pencereler ve aydınlatma sistemlerinin enerji verimli

tasarımı için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bir diğer çalışmada da [6], buharlaşan suyun soğutulduğu hava düzenleme sistemleri ile donatılan, çöl iklimindeki bir ev ile klasik hava soğutma sistemleri karşılaştırılmıştır [7].

4.1. Kombine Isı Ve Güç Sistemleri

Kombine ısı ve güç sistemleri, otellerde altıveriş ve iş merkezlerinde ve büyük binalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kombine ısı ve güç sistemleri, şebekeden bağımsız olarak doğal gaz veya petrolden elektrik üretmek için tüketicilere seçenek sağlarlar. Ancak müstakil konutlar, mevcut kombine ısı ve güç sistemlerinin fiziksel boyutlarından dolayı bu sistemlerin faaliyet alanının dışında kalmaktadır.

Şekil 4’de PEM yakıt pillerini kullanan, bir kombine ısı ve güç sistemi gösterilmiştir. Konutsal yakıt pili sistemleri genel olarak bir PEM yakıt pili yığını, fosil bir yakıttan (doğal gaz, LPG veya gazyağı) hidrojen üretmek için yakıt işleyici, sıcak su tankı ve yedek su ısıtıcısından (Şekil 4’de, su ısıtıcısı ihmal edilmiştir) oluşurlar. Tipik bir konutsal yakıt pili sisteminin başlıca özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [8].



Şekil 4. Konutsal ısı ve güç sistemi [8]

Tablo 1. Konutsal bir yakıt pili sisteminin özellikleri [8]

Çıkış	Elektrik	1.0 kW
	Isı	1.3 kW
Verim	Elektrik	% 34
	Isı	% 44
Yakıt tipi	Doğal gaz	
Boyut (mm)	800(yükseklik) 800(genişlik) 580(derinlik)	

Yakıt pili sistemleri, binalarda kombine ısı ve güç teknolojileri olarak kullanılabilir. Proton değişim membranlı yakıt pilleri (PEMFC) ve fosforik asit yakıt pilleri (PAFC), kombine ısı ve güç sistemleri uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Fakat bu sistemlerin toplam verimleri %30’dan daha düşüktür. Üstelik, PEM yakıt pilinin daha düşük çalışma sıcaklığı, hidrojen gibi çok iyi geliştirilmiş yakıtların kullanımını gerektirir ve daha çok emilim veya su ısıtma teknolojileri için harcanan ısının etkili kullanımını engeller.

Katı oksit yakıt pili (SOFC) sistemlerinde, iç düzenlemeler ile birlikte halen yaygın altyapı kaynağına sahip bir yakıt olan doğal gaz ile doğrudan doğruya güç sağlanabilir. Ofis binaları, apartmanlar, hastaneler, yüzme havuzları, süper marketler gibi büyük konutsal veya ticari yapılarda

kullanılabilecek kombine bir sistem, yakın gelecek Yakıt pili teknolojisi, çevre ile dost bir biçimde ve performans avantajları ile birlikte, elektrik üretimi ve kojenerasyon uygulamalarının her ikisi için uygun potansiyelli bir teknolojidir. Yakıt pili kojenerasyon sistemlerinin avantajları, düşük gürültü seviyesini, düşük bakım potansiyelini ve kısmi yük yönetimini, düşük emisyonlar ve küçük üniteler ile dahi % 85-90'lık bir verimle gerçekleştirmeleridir. Sabit güçlü yakıt pilleri tipik olarak doğal gazı yakarlar ve bir yanma kojenerasyonlu tesis tarafından üretilenlerden çevresel olarak daha az zararlı emisyonlar açığa çıkarırlar. Bir yakıt pili ile karbondioksit emisyonları % 49'a kadar azaltılabilir. Nitrojen oksit emisyonları %91, karbon monoksit %68 ve uçucu organik bileşimler yaklaşık %93 emisyon açığa çıkarır. Düşük emisyon ve gürültü seviyeleri, yakıt pillerini özellikle konutsal, ticari ve kurumsal uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Bununla birlikte, yakıt pili sistemlerinin yüksek maliyeti ve nispeten kısa ömürleri dezavantajlarıdır. Teknolojik problemleri çözmek ve daha az masraflı materyaller ve kütle üretim yöntemleri geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir ve yakıt pillerinin maliyetini azaltacak teknolojilerin geliştirilmesi beklenmektedir [10].

Günümüzde, mikro-kombine ısı ve güç sistemleri için ticari olarak mevcut teknolojiler, motorlara ve türbinlere dayanmaktadır.

- İçten yanmalı motorlar, düşük sermaye maliyeti, büyük boyut aralığı, hızlı başlangıç kabiliyeti, nispeten yüksek elektrik dönüşüm verimi (büyük dizel sistemler için %43'e kadar), iyi çalışma güvenilirliği ile birlikte ispatlanmış bir teknolojidir.

- Dıştan yanmalı motorlar, güç üretmek için harici bir ısı kaynağı kullanırlar. Bu motorlar, 25 kW'dan daha az güce ihtiyaç duyulan güç uygulamaları için uygundur. Nispeten daha düşük elektriksel verime (%10) sahiptirler, fakat bir ısıtma sistemi ile

için pek ümit verici olabilecektir [9].

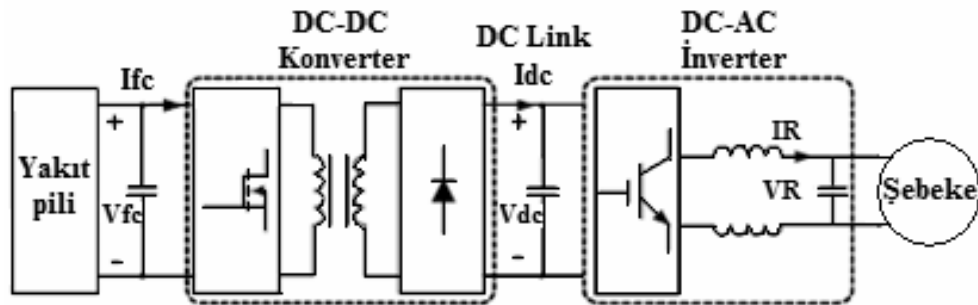
birleştirildikleri zaman % 90'dan daha büyük sistem verimine ulaşabilirler.

- Mikro türbinler; gaz-türbin teknolojisini daha küçük boyutlara ulaştırırlar. Özellikle gerekli olan sıcaklıktaki buhar, içten yanmalı bir motor tarafından üretilebilen buharın daha yüksek olduğu zaman, faydalıdır. 30-200 kW aralığındaki üniteler, tek aileli konutlar için oldukça büyük olabilir [11].

4.2. Güç Düzenleme Sistemi

Konutsal yakıt pillerinin güç düzenleme sistemlerinin tasarımı yapılırken, yüksek verim, düşük akım dalgalanmaları, inverter akımı kontrolü ve güç şebekesi entegrasyonu, dikkate alınması gereken başlıca parametrelerdir. Güç düzenleme sistemi genellikle, bir dc-dc konverteri ve güç şebekesi bağlantılı bir dc-ac inverteri içerir. Şekil 5'de görüldüğü gibi; I_{fc} , V_{fc} sırasıyla yakıt pili giriş akımı ve gerilimi, I_{dc} , V_{dc} dc link akımı ve gerilimi, I_R , V_R inverterin çıkış akımı ve gerilimidir. İki kademeli güç kontrol sisteminin verimi, büyük ölçüde yüksek iletim oranlı dc-dc konvertere bağlıdır. Yakıt pili uygulamaları için, yüksek iletim oranlı bir transformatör ve bir diyotlu doğrultucu ile çalışan gerilim beslemeli bir tam köprü devresi önerilmektedir. Gerilim beslemeli tam köprü devresinin, yeni güç uygulamalarında kullanılan orta güçler için uygun olduğu düşünülmektedir.

Tam köprü bir konverterin güç kayıpları; anahtarlama elemanlarından, transformatörden, doğrultucu diyotundan ve snubber devresinden oluşmaktadır. Anahtarlama elemanlarının kayıpları, iletim kayıpları ve anahtarlama kayıpları olarak ayrılabilir. Yumuşak anahtarlama ile tam köprü konverterde anahtarlama kayıplarını azaltmak için faz kaydırma modülasyonlu tam köprü konverter önerilmektedir [12].



Şekil 5. Konutsal uygulamalar için bir PEM yakıt pili güç düzenleme biriminin blok diyagramı [12]

5. SONUÇ

Konvansiyonel enerji kaynaklarının hızla azalmasıyla birlikte önem kazanmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi, ülkemizde genellikle küçük kapasiteli uygulamalar şeklinde görülmektedir. Bu tür tesisler kurulurken projelendirme aşamasında, tesiste kullanılacak malzemelerin seçimi ve tesisin elektriksel analizi çok iyi yapılmalıdır. Çalışmalar sonucunda elde edilecek veriler; ülkemizde bu tür tesisler kurulmadan önce gerek tasarım, gerekse uygulama safhalarında başvuru kaynağı olarak kullanılabilir. Dünya’da yakıt pillerinin kullanımı ve uygulama alanları giderek artmaktadır. Bu uygulama alanlarından biri de konutsal yakıt pili sistemleridir. Konutsal yakıt pili sistemleri kurulmadan önce, bazı hususlara dikkat edilmelidir.

Konut projelendirilmeden önce, konutun ihtiyacı kadar enerji kaynağının seçimi son derece önemlidir. İhtiyaçtan fazla malzeme seçimi, oldukça pahalı olan ve ağırlıklı olarak ithalata dayanan malzemeler için gereksiz yere masraf yapılmasına, ihtiyacın altında malzeme seçimi ise yetersiz enerji üretimine neden olacaktır.

Konutun işletme koşulları altında harmonik analizi mutlaka yapılmalı, gerekirse kompanzasyon sistemi kurulmalıdır.

Konutun elektriksel izolasyon testi yapılarak izolasyon problemlerinin giderilmesi yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Ferraro, M., Sergi, F., Brunaccini, G., Dispenza, G., Andaloro, L., Antonucci, V., “Demonstration and Development of a Pemfc System For Residential Use”.
2. Aki, H., Yamamoto, S., Kondoh, J., Maeda, Yamaguchi, H., Murata, A., Ishii, I., “A Network of Residential Fuel Cells and Operational Strategies: Evaluation with a PC Simulator and an Experimental System”, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), KRI Inc.
3. Ural Z., “Hidrojenin Elde Edilmesi ve Yakıt Pili Sistemlerinde Kullanımı”, Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
4. Ural, Z., “Yakıt Pilleri ve Bir PEM Yakıt Pili Sisteminin Dinamik Benzetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 2007.
5. Spiegel C., “PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab”, Elsevier Inc., 2008.
6. Moujaes, S., Deshmukh, SS., “An evaluation of a residential energy conserving HVAC system and a residential energy demand/management system”, Energy Eng J Assoc Energy Eng., 102(6):39–57, 2005.
7. Deshmukh, S.S., Boehm, R.F., “Review of modeling details related to renewably powered hydrogen systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2301–2330, 2008.
8. Aki, H., “The Penetration of Micro CHP in Residential Dwellings in Japan”, Member, IEEE, 2007.
9. Zink, F., Lu, Y., Schaefer, L., “A solid oxide fuel cell system for buildings”, Energy Conversion and Management, 48, 809–818, 2007.
10. Onovwionaa, H.I., Ugursal, V.I., “Residential cogeneration systems: review of the current technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 389–431, 2006.
11. Brown, J.E., Hendry, C.N., Harborne, P., “An emerging market in fuel cells? Residential combined heat and power in four countries”, Energy Policy, 35, 2173–2186, 2007.
12. Wanga, Y., Choib, S., Lee, E., “Fuel cell power conditioning system design for residential application”, International Journal of Hydrogen Energy, 34, 2340-2349, 2009.