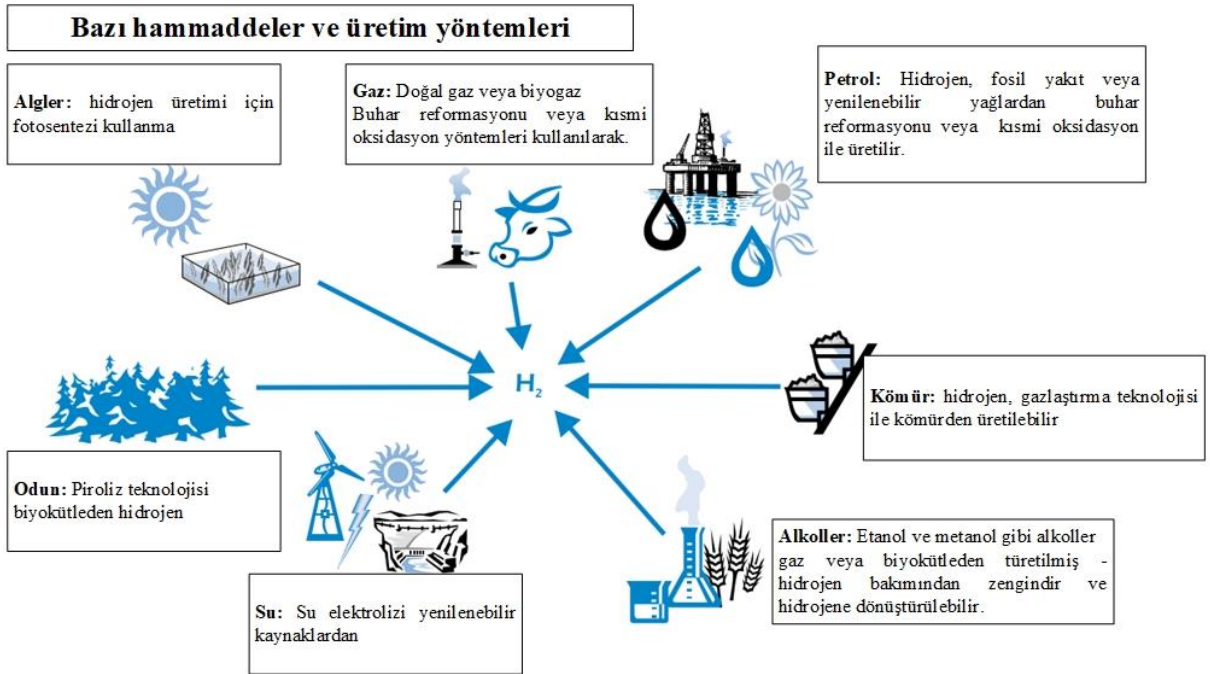


# YAKIT HÜCRESİ DENEYİ

## GİRİŞ

### 1. Hidrojen Üretimi

Hidrojen çeşitli hammaddelerden üretilebilir. Bunlar arasında doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar ile biyokütle ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen su gibi yenilenebilir kaynaklar da bulunmaktadır (örneğin. güneş ışığı, rüzgar, dalga veya hidroelektrik). Kimyasal, biyolojik, elektrolitik, fotolitik ve termokimyasal dahil olmak üzere çeşitli proses teknolojileri kullanılabilir. Her teknoloji farklı bir gelişim aşamasındadır ve her biri benzersiz fırsatlar, faydalar ve zorluklar sunar. Hammaddelerin yerel mevcudiyeti, teknolojinin olgunluğu, piyasa uygulamaları ve talep, politika sorunları ve maliyetler, hidrojen üretimi için çeşitli seçeneklerin seçimini ve zamanlamasını etkileyecektir. Çeşitli hammaddeler ve proses teknolojilerine genel bir bakış aşağıda sunulmuştur:



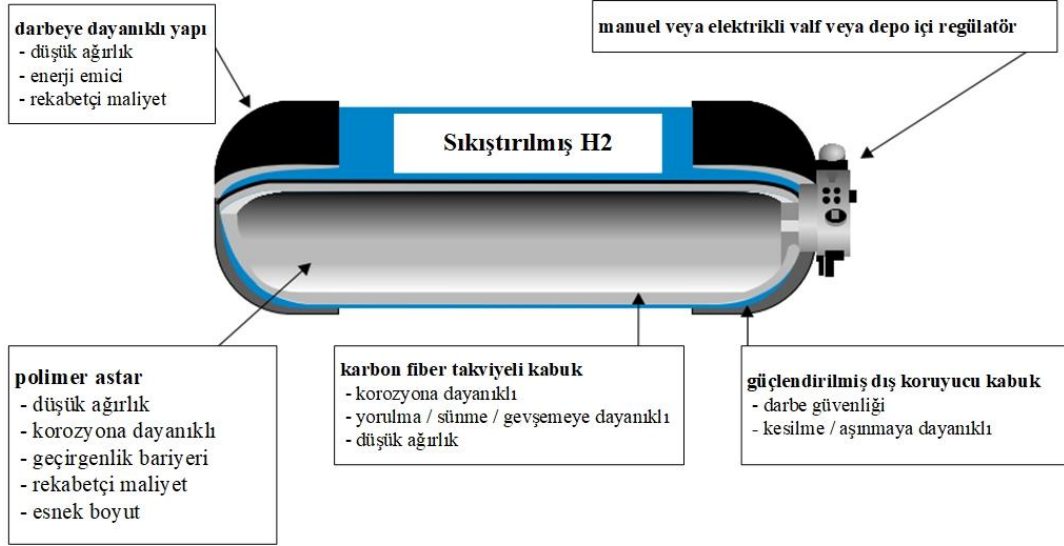
### 2. Hidrojenin Depolanması

#### 2.1. Gaz olarak depolama

Hidrojeni gaz formunda depolamanın en yaygın yöntemi çelik tanklardadır, ancak daha yüksek basınçlara dayanacak şekilde tasarlanmış hafif kompozit tanklar da giderek yaygınlaşmaktadır.

##### 2.1.1. Kompozit Tanklar

Tipik bir yüksek basınçlı, C-fiber ile sarılmış H<sub>2</sub> depolama kompozit tankının şeması aşağıda gösterilmiştir:



- + Yüksek basınç aralığı (350-700 bar)
- Malzeme gevrekleşmesi üzerine araştırma.
- Daha güçlü ve düşük maliyetli yapı malzemelerinin geliştirilmesi
- Taşıt çalışması sırasında sıkıştırma enerjisini geri kazandıran tekniklerin geliştirilmesi

### 2.1.2. Cam mikroküre

- Cam mikroküreler ile ilgili temel sorun, elde edilebilecek düşük hacimsel yoğunluk ve doldurma için gereken yüksek basınçtır.
- Cam mikroküreler, ortam sıcaklıklarında yavaşça hidrojen sızdırmaktadır.
- Daha güçlü camların geliştirilmesi.
- Düşük maliyetli üretim tekniklerinin geliştirilmesi.
- H2 geçirgenliğinin optimizasyonu için kaplama tekniklerinin geliştirilmesi.

## 2.2. Sıvı Depolama

### 2.2.1. Kriyojenik sıvı hidrojen (LH2)

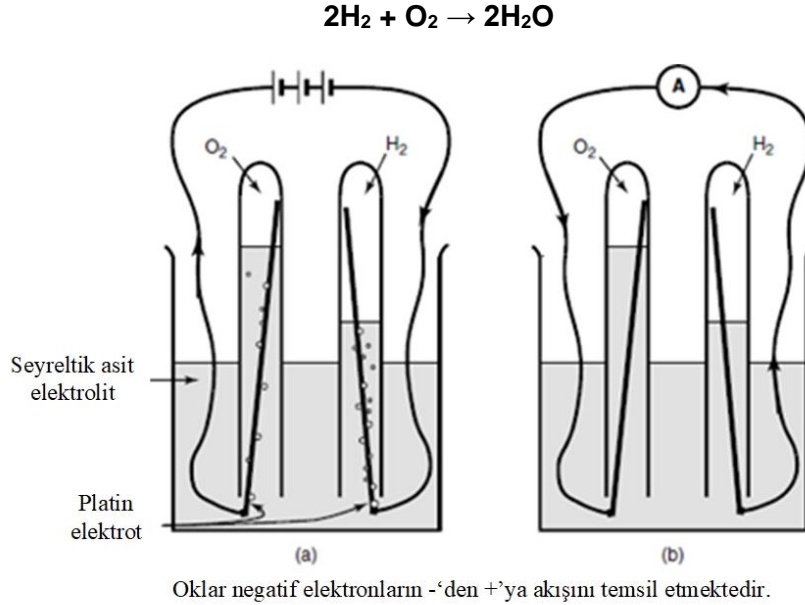
- Genellikle sıvı hidrojen (LH2) olarak adlandırılan kriyojenik hidrojen, normal kaynama noktasında ( $-253^{\circ}\text{C}$ )  $70,8\text{ kg / m}^3$  yoğunluğa sahiptir.
- Daha verimli sıvılaştırma süreçlerinin geliştirilmesi.
- Maliyetlerin düşürülmesi ve daha iyi yalıtılmış kapları geliştirilmesi.
- Buharlaşmayı otomatik olarak yakalayan ve yakıtı tekrar sıvılaştıran sistemler geliştirilmesi

### 2.3. Katı Hidrojen

- Hidrojenin katı malzemelerde depolanması, hem sabit hem de mobil uygulamalar için enerji depolamanın güvenli ve verimli bir yolu olma potansiyeline sahiptir.
- Daha düşük hacim, daha düşük basınç (daha yüksek verimlilik), daha fazla hidrojen saflığı.

## HİDROJEN YAKIT HÜCRELERİ - Temel Prensipler

Hidrojen yakıt hücresinin temel çalışması son derece basittir. Bir yakıt hücresinin ilk gösterisi 1839'da avukat ve bilim adamı William Grove tarafından yapılmıştır Resim 1. Resim 1.1a'da, su, içinden bir elektrik akımı geçirilerek hidrojen ve oksijene elektrolize edilir. Resim 1.1b, güç kaynağı bir ampermetre ile değiştiriliyor ve küçük bir akım oluştuğu gözleniyor. Elektroliz tersine çevriliyor - hidrojen ve oksijen yeniden birleşiyor ve bir elektrik akımı üretiliyor. Yakıt hücresine bakmanın bir başka yolu, hidrojenin yakıt olarak basit reaksiyonda yakıldığını söylemektir.



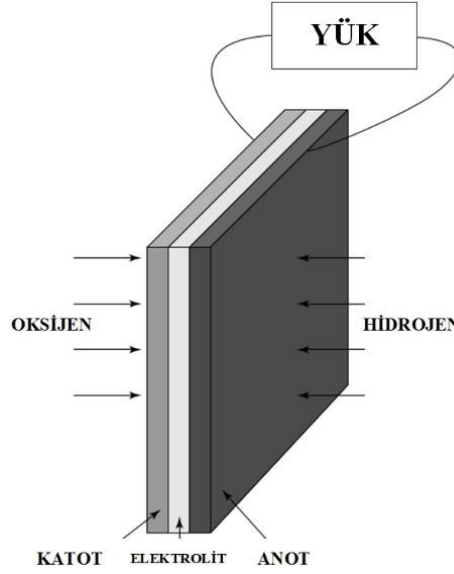
**Resim 1.1 (a)** Suyun elektrolizi. Su elektrik akımının geçmesiyle hidrojen ve oksijene ayrılır. **(b)** Küçük akım akışı. Oksijen ve hidrojen tekrardan birleşir.

Ancak, ısı enerjisi serbest bırakılmak yerine elektrik enerjisi olarak üretilir.

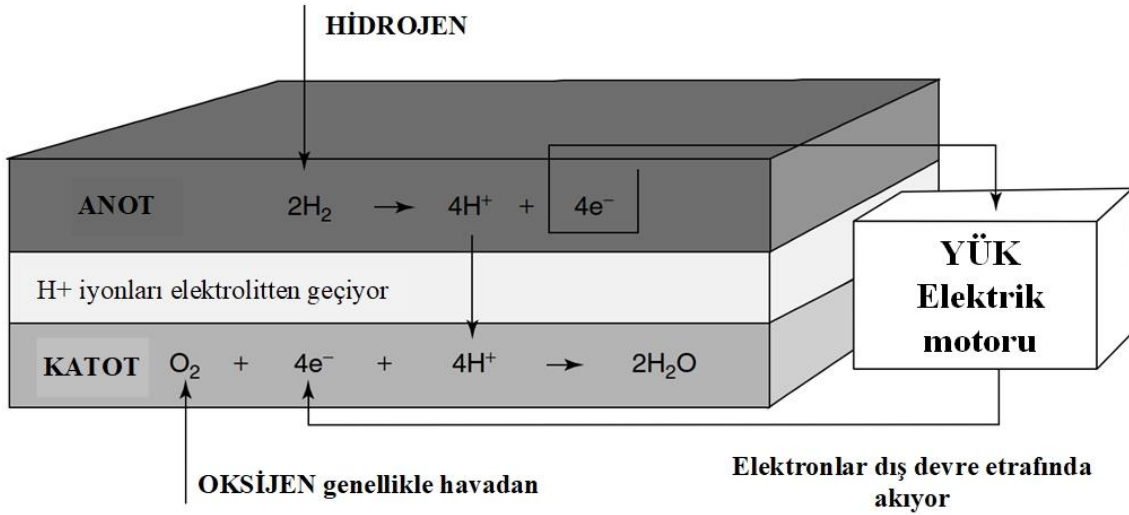
Yakıt hücrelerinde bu tepkime sonrasında üretilen küçük düzeydeki akımın ana nedenleri;

- Gaz, elektrot ve elektrolit arasındaki düşük "temas alanı" - temelde elektrotun elektrolitten çıktığı küçük bir halka.
- Elektrotlar arasındaki geniş mesafe - elektrolit elektrik akımının akışına direnir.

Bu sorunların üstesinden gelmek için elektrotlar genellikle ince bir elektrolit tabakası ile düz yapılıdır. Elektrodun yapısı gözeneklidir, böylece hem bir taraftan elektrolit hem de diğer taraftan gaz nüfuz edebilir. Bu, elektrot, elektrolit ve gaz arasında mümkün olan maksimum teması sağlamaktadır.



**Resim 1.2. Basit Yakıt Hücresi Gösterimi**



**Resim 1.3. Asit Elektrolit Yakıt hücresi**

Anotta hidrojen reaksiyona girerek enerji salar. Ancak, sadece enerji açığa çıktığı için, reaksiyonun sınırsız bir hızda ilerlediği söylenemez. Tepkime klasik enerjiye sahiptir. Enerji açığa çıkmasına rağmen, 'enerji tepesini' aşmak için 'aktivasyon enerjisi' sağlanmalıdır. Yeterli enerjiye sahip bir molekülün olasılığı düşükse, reaksiyon sadece yavaş ilerleyecektir. Çok yüksek sıcaklıklar dışında, bu aslında yakıt hücresi reaksiyonları için de geçerlidir.

Yavaş reaksiyon hızlarıyla baş etmenin üç ana yolu:

- katalizör kullanımı,
- sıcaklığı yükseltmek,
- elektrot alanını artırmak

Elektrot oldukça gözeneklidir. Bunun etkili yüzey alanını artırmada büyük ölçüde etkisi vardır.

### **Seri Bağlantı Hücreleri - Bipolar Plaka**

Birkaç hücreyi seri olarak bağlamak için anot / elektrolit / katot düzeneklerinin hazırlanması gerekir. Bunlar daha sonra birlikte "istiflenir".

→ Elektrik kontağı optimize edilecekse, temas noktaları mümkün olduğunca büyük olmalıdır, ancak bu elektrotlar üzerindeki iyi gaz akışını azaltacaktır.

→ Temas noktalarının kk olması gerekiyorsa, en azından sık olmalıdır. Bununla birlikte, bu, plakayı daha karmaşık, zor ve üretimi pahalı ve kırılgan hale getirir.

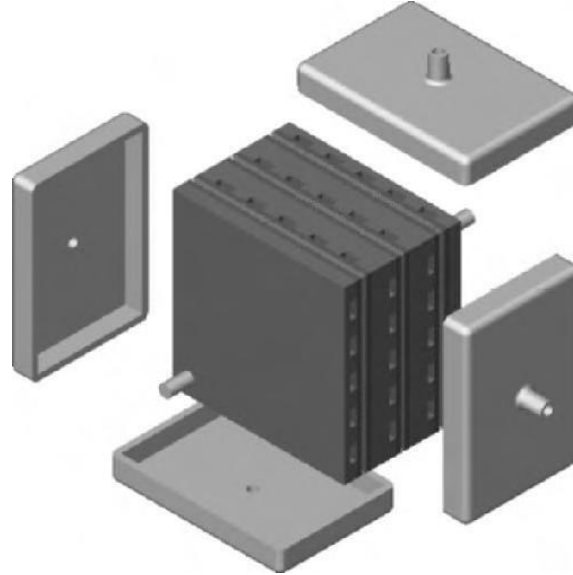
→ İdeal olarak bipolar plaka, elektrik direncini en aza indirmek ve yakıt hücrelerinin istiflenmesini sağlamak için mümkün olduğunca ince olmalıdır. Bununla birlikte, bu, gaz akışı kanallarını daraltır, yani gazı hücre etrafına pompalamak daha zordur.

### **Gaz Temini ve Soğutma**

→ Elektrotların gözenekli olması gerektiğinden (gazın içeri girmesine izin vermek için), gazın kenarlarından dışarı sızmasına izin verecektir. Sonuç, elektrotların kenarlarının kapatılması gerektiğidir.

→ "**Dış besleme**" basitlik avantajına sahiptir. Ancak, iki büyük dezavantajı vardır (Resim 1.4).

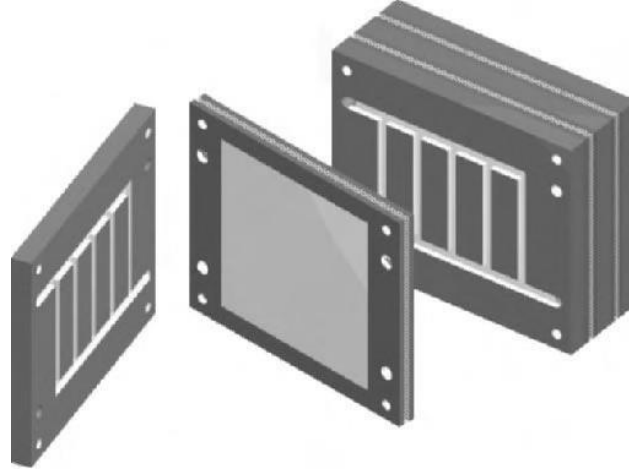
Birincisi, sistemi soğutmanın zor olmasıdır. Yakıt hücreleri % 100 verimli olmaktan uzaktır ve önemli miktarda ısı enerjisi ile elektrik gücü üretilir.



**Resim 1.4.** Dıř Besleme

Daha yaygın bir düzenleme daha karmaşık bir bipolar plaka gerektirir. Plakalar elektrotlara göre daha büyük yapılı ve istiften geçen yakıt ve oksijeni elektrotlara besleyen ekstra kanallara sahiptir.

Dikkatle yerleřtirilmiř delikler reaktifleri elektrotların yüzeyi boyunca akan kanallara besler. Bu tür düzenlemelere "i besleme" denir (Resim 1.5).



**Resim 1.5.** İç Besleme

Bipolar plakanın bir yakıt hücresi yığnında genellikle oldukça karmaşık bir öge olduğu açıktır. Yapılması oldukça karmaşık bir öge olmasının yanı sıra, malzeme sorunu da bulunmaktadır. Örneğin **grafit** sıklıkla kullanılır, ancak bununla çalışmak zordur ve kırılıgandır. **Paslanmaz çelik** de kullanılabilir, ancak bu bazı yakıt hücrelerinde korozyona neden olur. **Seramik** malzemeler çok yüksek sıcaklıktaki yakıt hücrelerinde kullanılmıştır. Bipolar plaka neredeyse her zaman bir yakıt hücresinin maliyetine en büyük etkiyi sağlayan parçadır.

Yakıt hücresi yapan herkes sızıntıların önemli bir sorun olduğunu bilir. İç manifold kullanarak bir istiftteki hidrojenin yolu hayal edilirse, gazın kaçma olasılığı çok fazladır. Gaz her gözenekli elektrodun kenarına ulaşmalıdır - böylece her elektrotun tüm kenarı, kenar contasının altında ve üstünde olası bir kaçış yoludur. Diğer olası sorunlu noktalar, her iki kutuplu plaka arasındaki eklemlerdir. Ek olarak, herhangi bir elektrolitte en küçük delik varsa, ciddi bir sızıntı kesindir.

### **Yakıt Hücresi Tipleri**

İmalat ve malzeme maliyetleri gibi pratik konuları bir kenara bırakırsak, yakıt hücreleri ile ilgili iki temel teknik sorun;

- düşük akım ve güce yol açan yavaş reaksiyon oranı ve
- hidrojen hazır bir yakıt değildir.

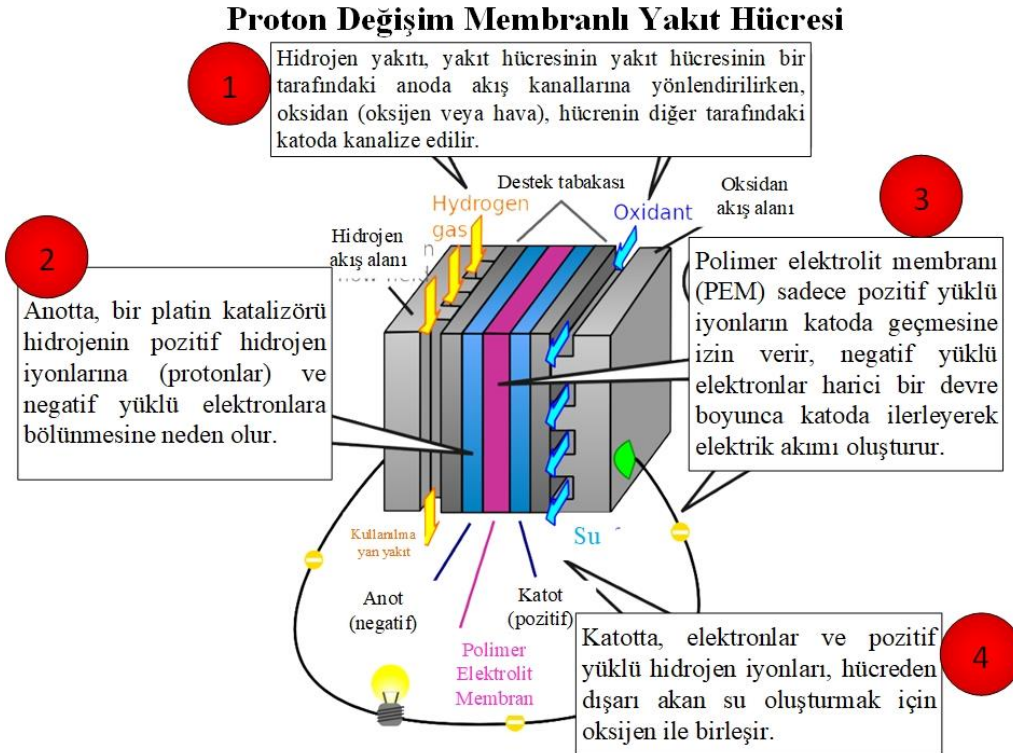
**1.1. Alkali Yakıt Hücresi (AFC):** sıkıştırılmış hidrojen ve oksijenle çalışır. Potasyum hidroksit gibi alkalın bir elektrolit kullanır. Verimlilik yaklaşık yüzde 70, hücre çıkışı 300 watt-5 kW arası güce sahiptir. Başlangıçta NASA tarafından uzay görevlerinde, özellikle Apollo'da elektrik ve içme suyu sağlamak için kullanıldı.

**1.2. Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresi (PEMFC)** yakıt hücresinin temel basitliğinden faydalanır. Elektrolit, protonların hareketli olduğu katı bir polimerdir. Kimyası, Resim 1.3'teki asit elektrolit yakıt hücresi ile aynıdır. Katı ve hareketsiz bir elektrolit ile bu tip hücre doğal olarak çok basittir. Bu hücreler oldukça düşük sıcaklıklarda çalışır, bu nedenle yavaş reaksiyon oranları sorunu özel katalizörler ve elektrotlar kullanılarak ele alınır. Platin katalizördür, ancak son yıllardaki gelişmeler sadece kısa süreli kullanımı söz konusudur ve platin maliyetinin bir PEM yakıt hücresinin toplam fiyatının küçük bir kısmı olduğu anlamına gelir. Hidrojen arzı sorunu gerçekten ele alınmıyor – oldukça saf hidrojen kullanılmalıdır ve bunu sağlamanın çeşitli yolları mümkündür.

**1.3. Direkt Metanol Yakıt Hücresi (DMFC)** hidrojeni metanolden çıkarmak yerine, sıvı formda metanolü yakıt olarak kullanır. Bu hücreler çok düşük güçlere sahiptir, ancak yine de düşük güçte bile, hızla büyüyen taşınabilir elektronik ekipman alanında birçok potansiyel uygulama vardır. Bu tür hücreler, en azından öngörülebilir gelecekte, çok düşük güçte olacak ve uzun süreler boyunca yavaş ve sabit elektrik tüketimi gerektiren uygulamalarda kullanılacaktır. Temel sorunları hava ve yakıt kaynaklarında CO<sub>2</sub> bulunmaması veya saf oksijen ve hidrojenin kullanılması gerektiğidir.

**1.4. Fosforik Asit Yakıt Hücresi (PAFC)** ilk kez ticari miktarlarda üretildi ve yaygın olarak kullanıldı. Hidrojen ile yakıt ikmali sorunu doğal gazın (ağırlıklı olarak metan) hidrojen ve karbon dioksit'e dönüştürülmesi ile çözüldü, ancak bunu yapmak için gereken ekipman yakıt hücresi sisteminin maliyetine, karmaşıklığına ve büyüklüğüne önemli ölçüde katkıda bulunur. Bununla birlikte, PAFC sistemleri, olağanüstü güvenilir ve bakım gerektirmeyen bir güç sistemi sağlamak için bir yakıt hücresinin doğal sadeliğini kullanır. Birkaç PAFC sistemi, bir yıl veya daha uzun süreler boyunca sürekli olarak çalışarak, kapatma veya insan müdahalesi gerektiren az miktarda bakım gerektirir.

**1.5. Katı Oksit Yakıt Hücresi(SOFC)** 600 ila 1000 °C arasında faaliyet göstermektedir. Bu, pahalı katalizörler olmadan yüksek reaksiyon hızlarının elde edilebileceği ve doğal gaz gibi gazların ayrı bir birime ihtiyaç duyulmadan doğrudan kullanılabilirliği veya yakıt hücresi içinde "dahili olarak yeniden biçimlendirilebileceği" anlamına gelir. Endüstriyel kullanımlar veya merkezi elektrik üretim istasyonları gibi yüksek güçlü uygulamalar için umut verici bir seçenektir. 100kW çıkış gücünde dahi verimlilik yaklaşık yüzde 60'tır.



**1.6. Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC)** havadaki karbondioksit'e ihtiyaç duyması ile ilginç bir özelliğe sahiptir. Erimiş karbonatlı yakıt hücresi, elektrolit olarak erimiş karbonat tuzunu kullanır. Yaklaşık 650 santigrat derecede çalışıyorlar, bu da onları

ev kullanımı için fazla sıcak yapıyor. SOFC gibi, harici bir reformer olmadan doğrudan metan ve kömür (H<sub>2</sub> ve CO) gibi gazları kullanabilir. Bununla birlikte, bu basitlik elektrolitin doğası, lityum, potasyum ve sodyum karbonatların sıcak ve aşındırıcı bir karışımı ile dengelenmiştir.

Tablo 1.1 yakıt hücresi tiplerinin ve uygulama alanlarının özetini göstermektedir.

Tablo 1.1 Farklı yakıt hücresi tipleri için veriler			
Yakıt Hücresi Tipi	Geçici İyon	Çalışma Sıcaklığı	Uygulamaları ve notlar
Alkali (AFC)	OH <sup>-</sup>	50-200 °C	Uzay uygulamalarında kullanım. (Apollo, Shuttle)
Proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC)	H <sup>+</sup>	30-100 °C	Taşıtlar ve mobil uygulamalar, ve düşük güçteki CHP sistemleri
Direk Metanol (DMFC)	H <sup>+</sup>	20-90 °C	uzun süre çalışan, düşük güç taşınabilir sistem elektroniği için uygun
Fosforik Asit (PAFC)	H <sup>+</sup>	~220 °C	200 kW güce sahip CHP sistemler
Erimiş Karbonat (MCFC)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	~650 °C	Orta ve büyük ölçekteki CHP sistemleri (MW kapasitesi)
Katı Oksit (SOFC)	O <sup>-2</sup>	500-1000 °C	Bütün CHP sistemleri (2 kW - >MW)

## 2. Yakıt Hücresi Sisteminin Diğer Parçaları

- En küçük yakıt hücreleri hariç hepsinde, hava ve yakıtın **pompalar** veya **üfleyiciler** kullanılarak yığın içinden dolaştırılması gerekecektir. Genellikle içten yanmalı motorlarda olduğu gibi bazen ara soğutucularla birlikte kullanılacak kompresörler kullanılacaktır.
- Bir yakıt hücresi yığınının doğru akım (DC) çıkışı nadiren bir elektrik yüküne doğrudan bağlantı için uygun olacaktır ve bu nedenle neredeyse her zaman bir tür güç koşullandırması gereklidir. Bu bir **voltaj regülatörü** veya bir **DC / DC dönüştürücü** kadar basit olabilir. Birleşik ısı ve güç (CHP) sistemlerinde, tüm sistemin maliyetinin önemli bir parçası olan bir **DC'den AC'ye inverter** gereklidir. Yukarıda bahsedilen pompaları, üfleyicileri ve kompresörleri çalıştıran elektrik motorları, neredeyse her zaman bir yakıt hücresi sisteminin hayati bir parçası olacaktır. Sıklıkla, üretilen elektrik gücü bir elektrik motoru için yönlendirilecektir - örneğin, motorlu taşıtlarda.
- Hidrojen temini ve depolanması yakıt hücreleri için çok kritik bir sorundur. **Yakıt deposu** açıkça birçok sistemin bir parçası olacaktır. Yakıt hücresi hidrojen kullanmıyorsa, bir tür **yakıt işleme sistemine** ihtiyaç duyulacaktır. Bunlar genellikle çok büyük ve karmaşıktır, örneğin, bir arabada benzinden hidrojen elde edilirken. Birçok durumda yakıtın desülfürizasyonu gerekli olacaktır.
- Genellikle çeşitli **kontrol vanalarına** ve **basınç regülatörlerine** ihtiyaç duyulacaktır. Çoğu durumda, sistemin parçalarını koordine etmek için bir **kontrolöre** ihtiyaç duyulacaktır. Kontrolörün uğraşması gereken özel bir sorun, özellikle yüksek sıcaklık hücreleri için karmaşık bir işlem olabileceğinden yakıt hücresi sisteminin başlatılması ve kapatılmasıdır.



- En küçük yakıt hücreleri hariç bütün yakıt hücreleri için bir **soğutma sistemine** ihtiyaç duyulacaktır. CHP sistemleri söz konusu olduğunda, buna genellikle ısı eşanjörü denir, çünkü fikir ısıyı kaybetmek değil, başka bir yerde kullanmaktır. Bazen, daha yüksek sıcaklıktaki hücrelerde, yakıt hücresinde üretilen ısının bir kısmı yakıt ve / veya hava ön ısıtıcılarında kullanılacaktır. PEM yakıt hücresi söz konusu olduğunda, çoğu zaman reaktan gazlarından birini veya her ikisini de nemlendirme ihtiyacı vardır.

### 3. **Avantajlar**

Günümüzde yakıt hücrelerinin en önemli dezavantajı tüm tipler için aynıdır - maliyet. Bununla birlikte, farklı tipler için az çok güçlü özelliklere sahip olan ve farklı uygulamalara yol açan çeşitli avantajlar vardır.

**Verim:** Yakıt hücreleri, genellikle yanmalı motorlardan (piston veya türbin bazlı) daha verimlidir. Bunun bir başka özelliği de küçük sistemlerin büyük sistemler kadar verimli olabilmeleridir. Bu, birleşik ısı ve güç sistemleri için gerekli olan küçük yerel güç üreten sistemler için çok önemlidir.

**Basitlik:** yakıt hücreleri birkaç hareket eden parçaya sahip olması dışında oldukça basit yapılardır. Bu son derece güvenilir ve uzun ömürlü sistemlere yol açabilir.

**Düşük Emisyon:** Yakıt hücresi ana reaksiyonunun yan ürünü, hidrojen yakıt olarak kullanıldığında saf sudur, yani bir yakıt hücresi esasen 'sıfır emisyon' olabilir. Taşıt emisyonlarını azaltmak ve hatta şehirlerde bunları ortadan kaldırmak için bir gereklilik olduğu için, araçlarda kullanıldıklarında ana avantajları budur. Bununla birlikte, şu anda, CO<sub>2</sub> emisyonlarının neredeyse her zaman yakıt olarak gerekli olan hidrojen üretiminde rol oynadığına dikkat edilmelidir.

**Sessizlik:** Yakıt hücreleri, ekstra yakıt işleme ekipmanı olanlar için bile çok sessizdir. Bu, hem taşınabilir güç uygulamalarında hem de birleşik ısı ve güç şemalarında yerel güç üretimi için çok önemlidir.

## DENEY

1. Bu yakıt hücrenin yığın verimliliğini ölçülen her değer için belirleyiniz.

$$\eta_{yığın} = \frac{P_{çıkan}}{P_{giren}} = \frac{V_{yığın} \cdot I_{yığın}}{LHV \cdot \dot{V}_{H_2}}$$

**Not:** Standart koşullarda hidrojenin düşük ısı değeri (LHV) is 10.8 MJ/m<sup>3</sup>.

Ölçülen değerler			Hesaplama	
Yakıt tüketimi (l/min)	Akım <sub>yığın</sub> (A)	Volta <sub>j</sub> yığın (V)	Güç <sub>yığın</sub> (W)	$\eta_{yığın}$

2. Akım-Güç ve Verim-Güç grafikleri çiziniz.