



Bu bir MMO yayınıdır

# **HİDROJEN GAZ YAKITLARININ İLETİLMESİNDE ve DEPOLANMASINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN GÜVENLİK KURALLARI ve ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER**

Fevzi BEDİR<sup>1</sup>

Muhammet KAYFECİ<sup>2</sup>

Ümran ELMAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi

<sup>3</sup>Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

# HİDROJEN GAZ YAKITLARININ İLETİLMESİNDE ve DEPOLANMASINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN GÜVENLİK KURALLARI ve ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

<sup>1</sup>Fevzi BEDİR, <sup>2</sup>Muhammet KAYFECİ, <sup>3</sup>Ümran ELMAS

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü 32260 Isparta/Türkiye  
Tel: +90 246-2111235 GSM: 506 690 2535 fevzibedir@sdu.edu.tr

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği 78050 Karabük/Türkiye  
Tel: +90 370 4338200 GSM: 544 762 2931 mkayfeci@karabuk.edu.tr

<sup>3</sup>Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Atatürk Bulvarı No: 221  
06100 Kavaklıdere Ankara/Türkiye  
Tel: +90 312 468 5300 GSM: 532 740 1302 umran.elmas@tubitak.gov.tr

## ÖZET

Ekonomik kalkınmanın temel öğelerinden biri olan enerji, insanlığın vazgeçilmez gereksinimlerinden biridir. Birincil enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması, ulusal kaynaklarının değerlendirilmesi zorunluluğu, mevcut yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yeni enerji teknolojileri kapsamında depolanabilir, yüksek kalorifik değeri taşınabilir bir enerji kaynağı olan hidrojen enerjisini ön plana çıkarmıştır. Hidrojenin metal alaşımlar içinde absorpsiyonunun / desorpsiyonunun avantajlı özellikler barındırması nedeniyle, 1970'li yıllardan bu yana araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Son yıllarda metal hidrit bazlı ısıtma ve soğutma sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Metal hidrit bazlı ısıtma soğutma sistemleri, çevreye saygılı bir teknolojidir. CFS gibi çevreye zararlı ürünler içermez, CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltan işlev görür. Çekici performans verileri ve çevre faktörleri nedeniyle atık ısı veya güneş enerjisi uygulamalarında tercih edilen ve endüstride daha geniş uygulama alanı bulmaya aday hidrojenin kullanılması esnasında, dikkat edilmesi gereken güvenlik kuralları ve alınması gereken tedbirler bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrojen, Metal Hidrür, Hidrojen depolama; Güvenlik kuralları

## ABSTRACT

Energy, which is one of the fundamental elements of economic development is the indispensable requirements of humanity. Hydrogen energy which can easily be stored and which has a high calorific value has been getting great importance as the source of new energy technologies because of the limited reserves of the primary energy sources, of the necessity of evaluation of the national energy sources, of negative effects of available fuels over environment. The researchers have paid great attention on that subject since 1970 as hydrogen absorption / desorption by metal hydride materials has monitored many advantageous. In recent years, there have been completed many studies on the development of metal hydride-based heating and cooling systems. Metal hydride-based heating and cooling systems are respectful to the environment as they do not contain any environmentally hazardous products such as CFS and as they function in reducing CO<sub>2</sub> emissions. During the usage of hydrogen which is preferred in waste heat or solar energy applications because of its attractive performance data and environmental factors, it is mandatory to consider the measures to be taken and to obey the safety rules.

**Key Words:** Hydrogen; Metal hydride; Hydrogen storage; Safety rules

## 1. GİRİŞ

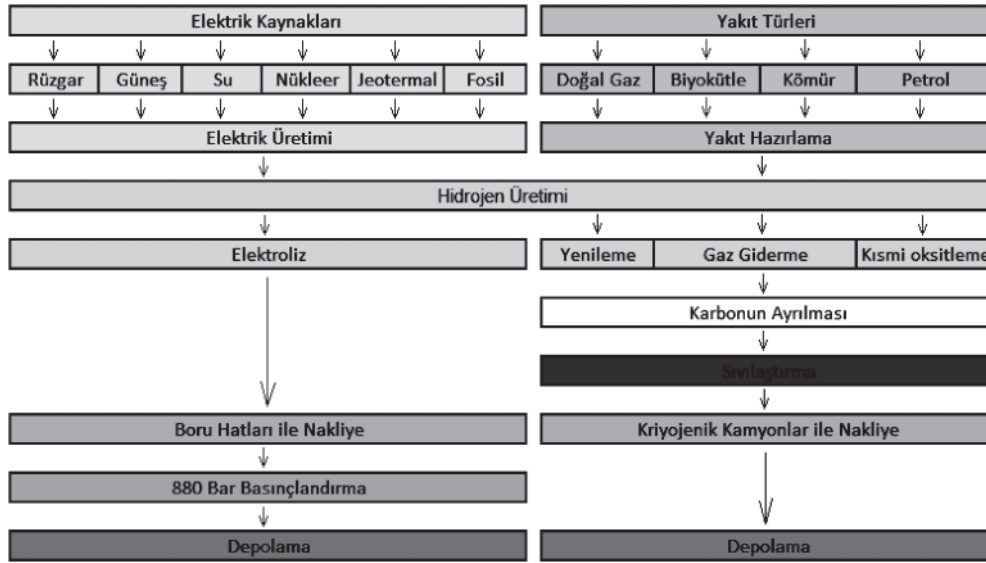
Hidrojen doğada, hidrojen açısından zengin bileşikler içinde bulunur. Doğal gaz veya petrol ürün örneklerinde olduğu gibi elde edilemez, ancak serbest kalabilmesi için enerji kullanılması gerekmektedir. Hidrojen sadece birincil enerji kaynağı değil, aynı zamanda çeşitli enerji dönüşüm süreçleri kullanılarak geniş bir kaynak yelpazesi içinde üretilebilir bir enerji taşıyıcısıdır [1, 2].

Fosil yakıtlardan hidrojen üretim teknolojileri fosil yakıtlara bağımlıdır ve atmosfere zararlı sera gazları yayarlar. Hidrojen, aynı zamanda suyun elektrolizi ile de üretilebilir. Bu yöntem, özellikle yenilenebilir rüzgar ve güneş enerjisi ile birlikte düşünüldüğünde uygun bir yöntem olmaktadır. Su elektrolizi ile hidrojen üretiminin maliyeti, büyük oranda elektrik fiyatlarına bağlıdır.

Hidrojen üretim yöntemleri ve dağıtımı, elektrik kaynakları (güneş, rüzgar, nükleer, fosil vb.), yakıt türleri (doğal gaz, petrol, kömür, biyokütle vb.), teknoloji (gaz giderme, yenileme, elektroliz vb.) ve dağıtım seçenekleri (kriyojenik kamyonlar, boru hatları vb.) gibi farklı konu ve başlıklarda birçok sorunun netleştirilmesini beraberinde getirmektedir. Öncelikle birincil enerji talebi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve maliyetlerinin değerlendirilmesi gerekir. İkinci olarak giriş sisteminin güvenliği, çevresel faktörler, rekabet edilebilirlik, servet yaratma, yaşam kalitesi ve kullanılacak yakıtın bulunabilirliği gibi ek değerlendirme kriterleri de dikkate alınmalıdır (Şekil-1) [3, 4].

Hidrojen, uzun dönemlik periyotta enerjinin depolanması için oldukça önemli rol oynamaya adaydır. Hidrojen depolama, tekli enerji depolama sistemleri için teknik potansiyele sahip bir metot durumundadır [5, 6].

Hidrojenin gravimetrik enerji depolama yoğunluğu mükemmeldir. Bir kilogram hidrojen, yaklaşık 33



**Şekil 1.** Hidrojenin üretim yöntemleri ve dağıtımı konusunda dikkate alınan alt başlıklar ve konular

kWh enerji taşıyabilmektedir. Bununla birlikte en düşük yoğunluklu bir kimyasal element olan hidrojenin hacimsel depolama yoğunluğu, oldukça büyük bir problem oluşturmaktadır. Ortam koşullarında 1 litre hidrojen gazı, sadece 3 Wh mertebesinde enerji depolayabilmektedir. Mevcut teknik uygulamalarda hidrojen, 700 bar'a kadar oldukça yüksek basınçlarda gaz fazında (Basınç Altında Hidrojen Gazı-CGH<sub>2</sub>) veya 253 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sıvı halde (Sıvı Hidrojen - LH<sub>2</sub>) depolanabilmektedir [7,8].

Hidrojen, aynı zamanda metal hidrit alaşımları ile depolanabilmektedir. Hidrojen depolama amacıyla, toz halinde reaksiyon tankına konulan hidrit alaşımların kullanılması, yüksek basınçlı hidrojen depolama veya sıvı hidrojen depolama yöntemlerine göre daha güvenli olması, daha yüksek hidrojen depolama hacimsel yoğunluğa sahip olması, daha saf hidrojen elde edilebilmesi açısından oldukça fazla avantajlara sahiptir. Bu nedenlerden dolayı metal alaşımları yakıt hücrelerinde hidrojen depolama ortamı olarak ve denizaltılar, elektrikli forklift gibi spesifik uygulama alanlarında büyük rekabet gücüne sahiptir [9,10].

## 2. HİDROJEN ENERJİ SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

Sadece bir proton ve elektrondan oluşan en basit konfigürasyona sahip olan hidrojen, evrendeki atomların %90'ından fazlasını ve toplam kütleinin dörtte üçünü oluşturmaktadır. Hidrojen standart sıcaklık ve basınç altında renksiz, kokusuz, metalik olmayan, tatsız, oldukça yanıcı, havadan 14.4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Tüm elementler içinde en hafif elementtir. Hidrojen doğada, su gibi bileşikler halinde bulunur. Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olur. Bunun dışında karbonmonoksit veya karbondioksit gibi çevreyi kirleten ve sera etkisini arttıran hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir.

İdeal bir yakıt ve enerji taşıyıcısı olan hidrojen enerjisinin avantajları şunlardır:

- Üretilmesi kolay
- Daha güvenli
- Taşıma sektörü için uygun bir yakıt
- Çevre dostu
- Diğer enerji formlarına dönüştürülebilir
- Depolanabilir ve uzak mesafelere taşınabilir

Hidrojen enerjisinin yakıt pili kullanılarak denendiği uygulama alanları ise otomobiller, otobüsler, uzay teknolojileri, uçaklar, lokomotifler, gemiler, denizaltılar, enerji üretim teknolojileri, kojenerasyon sistemleridir.

Fosil yakıtların yanmasıyla oluşan ve global ısınmaya neden olan çevre sorunu, ile petrol ve doğal gaz gibi kaynakların sınırlı olması, hidrojeni öne çıkarmaktadır. Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyo-kütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Tarımsal atıklardan da hidrojen üretimi mümkündür Hidrojen enerji taşıyıcısıdır. Kara ve hava ulaşımında yakıt olarak, ısı enerjisi üretiminde yakıt pilleriyle doğrudan veya gaz veya buhar türbinlerinde dolaylı olarak elektrik üretiminde yakıt olarak kullanılır. Uzay ve havacılıkta hidrojen, uçaklarda da kullanılmaya başlanmıştır. Dizel-elektrik sistemli demiryolu teknolojisi hidrojen ikamesi için çok uygundur. Hidrojen yakıtlı alternatif sistemlerin taşıt ağırlığını arttırmaması ve motor gücünü düşürmemesi hedeflenmektedir.

Dünyada her yıl ortalama 40 milyon ton üretilen hidrojen:

- petrol rafinerilerinde
- amonyak sentezinde
- metanol üretiminde
- bitkisel ve hayvansal yağ sektöründe
- elektrik santrallerinde ısınan jeneratör sargılarının soğutulmasında
- meteorolojide (helyumun olmadığı yerde kaldırıcı gaz olarak)
- kaynak yapmada (koruyucu ortam olarak)
- cam endüstrisinde (kuvarların eritilmesi ve kesiminde)
- kimya endüstrisinde
- çelik endüstrisinde (tavlama fırınında, soğutma bölgesinde oksitlenmeyi önlemek için)
- soğutma de denen, düşük sıcaklıklardaki üretimde
- metalürjide (ısıl işlem, parlak tavlama, pirinç kaplamada)
- elektronik endüstrisinde (oksidlenmeyi önlemek için, iletici gaz olarak, ortam gazı olarak, yarı iletken çalışmalarında)
- balon odacıklarında nükleer parçaların izlenmesinde

kullanılmaktadır.

Hidrojen termal, elektro-kimyasal ve biyolojik yöntemlerle üretilebilmektedir (Tablo 1):

**Tablo 1.** Hidrojenin üretim metotları.

YÖNTEM	PROSES	KAYNAK	ENERJİ
TERMAL	Buharlı Dönüşüm	Doğalgaz	Yüksek Sıcaklıkta Buhar
	Termokimyasal Su Ayrışımı	Su	Nükleer Reaktörlerden Elde Edilen Yüksek Sıcaklık
	Gazifikasyon	Kömür, Biyokütle	Yüksek Sıcaklık ve Basıncıta Su Buharı ve Oksijen
	Piroliz	Biyokütle	Orta Sıcaklıkta Su Buharı
Elektro-Kimyasal	Elektroliz	Su	Elektrik (Rüzgar, Güneş, Nükleer)
	Elektroliz	Su	Elektrik (Kömür, Doğalgaz)
	Foto-Elektro Kimyasal	Su	Güneş Işığı
Biyolojik	Fotobiyolojik	Su ve Alg Bakterisi	Güneş Işığı
	Oksijensiz Sindirim	Biyokütle	Yüksek Isı
	Fermantatif Mikro-organizmalar	Biyokütle	Yüksek Isı

### 3. HİDROJEN ENERJİSİNİN YAYGIN KULLANIMI VE DÜNYADAKİ GELİŞMELER

Teknoloji geliştikçe enerjiye olan ihtiyaç artmakta ve enerji kaynakları ile ihtiyaç olan enerji arasındaki açık gün geçtikçe büyümektedir. Mevcut enerji sistemi sürdürülebilir değildir. Bu açığı kapatacak alternatif çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojen enerjisi bu çözümler içerisinde hem çevre dostluğu, hem verimliliği, hem sürdürülebilirliği, hem de gelecekte öngörüldüğüne göre ekonomik oluşu açısından ideal bir seçim olarak ortaya çıkmaktadır.

Hidrojen enerjisinin dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmasına ilişkin örnekler aşağıda verilmektedir:

- Hidrojenden, yakıt pili teknolojisi ile elektrik elde edilmektedir.
- Apollo ve Space Shuttle görevlerinde kullanılan yakıt pilleri uzaydaki rollerini ispatlamış bulunmaktadır.
- İzlanda'da hidrojen dolum istasyonları, hidrojen arabaları, yakıt pili otobüsleri, hidrojen balıkçı teknisi filosu kullanılmaya başlamıştır.
- 2030 yılına kadar İzlanda'nın tamamen hidrojen enerjisine geçmesi planlanmıştır.
- Mercedes-Crysler firması 30 adet hidrojen ile çalışan 70 kişilik toplu taşıma araçlarını 10 Avrupa başkentinde, her türlü iklim ve arazi şartlarında denemektedir.
- %15-20 hidrojen ve %80-85 doğal gaz karışımından oluşan yakıtla çalışan yeni bir otobüs 1993 yılından beri Montreal'de denemektedir.
- Kanada'da British Columbia Hidrojen Otoyolu projesi devam etmektedir.

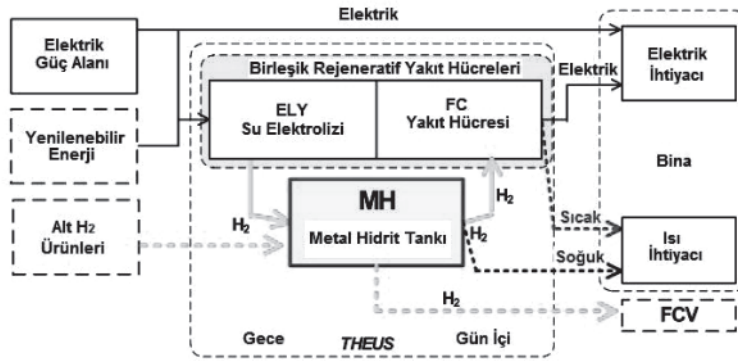
- Kaliforniya’da, üzerinde hidrojen istasyonları kurulmuş bir Hidrojen Otoyolu yapılması planlanmaktadır.
- Avrupa için CUTE (Clean Urban Transport for Europe) adı verilen bir temiz toplu taşıma ağı kurulmuştur.
- Dünyanın ilk yakıt hücresi ile çalışan ve onaylı yolcu gemisi HYDRA, Hamburg’ta inşa edilmiştir.
- Boeing, insanlı ve sadece yakıt hücresi ve hafif pillerle çalışan uçak projesi tamamlanmıştır.
- Sadece Tokyo’da şehrin elektrik ihtiyacınının 40.000 kW’lık bölümü hidrojen enerji sistemlerinden sağlanmaktadır.

Hidrojen depolama tankları, hidrojen depolama sistemlerinin önemli ve temel komponentlerinden biridir. Endüstriyel olarak kullanımda olan ve hidrojen depolama tanklarına da sahip olan önemli hidrojen depolama sistemleri için, dünya üzerinde kurulu olan ve üzerinde çalışmalar yapılan endüstriyel sistemler bulunmaktadır.

### 3.1 THEUS (The Totalized Hydrogen Energy Utilization System) (Japonya)

THEUS sisteminin ticari bir bina içinde uygulanması, hem nümerik simülasyon hem de deneysel çalışma olarak Japonya’da gerçekleştirmiştir [11,12]. THEUS sistemi yakıt hücresi, su elektrolizörü, hidrit depolama tankı ve ilgili yan modüllerini içermektedir (Şekil-2). Bu sistemde, gece saatlerinde hidrojen vasıtasıyla elektrik enerjisinin depolanması için su elektrolizörü, gün boyunca güç üretmek için ise yakıt hücreleri kullanılmaktadır.

THEUS’un basit çalışma prosesi şöyledir: Akşam saatlerinde elektrik enerjisi fiyatı ucuz olması nedeniyle, düşük CO<sub>2</sub> emisyonu ile su elektrolizi yapılarak hidrojen üretilir ve metal hidrit tankında bu hidrit depolanır. Gündüz saatlerinde ise, binanın elektrik güç ihtiyacını karşılamak için depolanan hidrit yakıt hücresinde kullanılarak elektrik üretilir. Çiller ve sıcak su prosesleri de bu sistemde kullanılmaktadır. Fotovoltaik ve rüzgar gücü gibi yenilenebilir enerjilerinde hidrojen üretiminde faydalana bilmektedir.

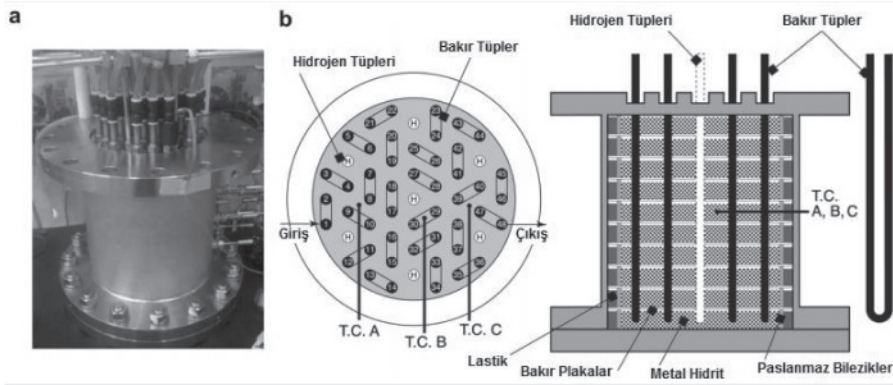


Şekil 2. Elektrik, hidrojen ve ısı akışının gösterildiği THEUS sistemi.

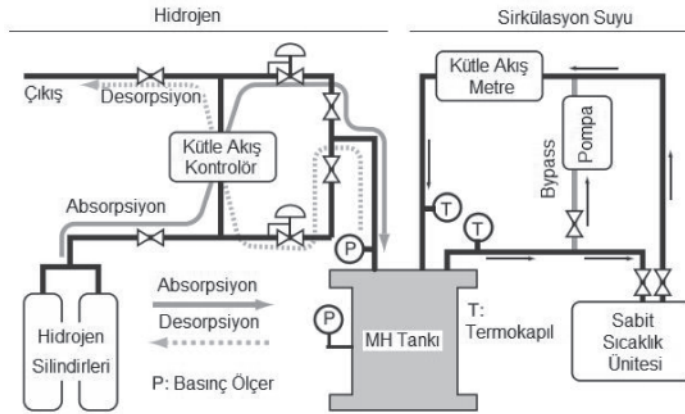
Hidrojen depolama sistemi, THEUS’un temel bölümüdür. Hidrit depolama tankı, bir binanın absorbe / desorbe proses şartlarını sağlayabilmesi için 50 kg AB5 tip metal hidrit malzemesini depolayabile-

cek büyüklükte seçilmiştir. Bu tankın amacı, hava kliması için endotermik prosesin soğuk ısısını geri kazanmak ve böylece THEUS'un verimini arttırmaktadır. Metal hidrit tankı yaklaşık 40 °C normal sıcaklık ve 1 MPa altında normal basınç altındadır. THEUS sisteminde metal hidrit desorpsiyon prosesi endotermik reaksiyondur ve bu prosesdeki ısı, çiller ünitesinde binanın hava klimalandırılmasında kullanılabilir. Metal hidrit tankı, gece saatlerinde su elektrolizi operasyonu ile hidrojen absorpsiyon çevrimi ve gündüz saatlerinde yakıt pili operasyonu ile hidrojen desorpsiyon çevriminde kullanılmaktadır.

THEUS sisteminde absorpsiyon prosesi 9 saat, desorpsiyon prosesi 13 saat, her proses arası geçiş süresi de 1 saat olarak belirlenmiştir. 50 kg metal hidritin %80 oranı ile kullanılabilmesi için hidritin absorpsiyon ve desorpsiyon hacimleri, 24 h'lık çevrim dikkate alınarak 5,4 Nm<sup>3</sup> olarak öngörülmüştür. Şekil-3'de metal hidrit tankının kesit görünümü, Şekil-4'de ise metal hidrit tank yerleşimi verilmiştir. Tank malzemesi paslanmaz çelik olup, dış kısmı yalıtılmıştır. İç kısmında su sirkülasyonu için 48,5 inç çaplı tüpler ve 2 mikrometre sinterli filtreleri olan hidrojen akışı için tüpler bulunmaktadır.



Şekil 3. THEUS sisteminde kullanılan metal hidrit tankının şematik görünümü.

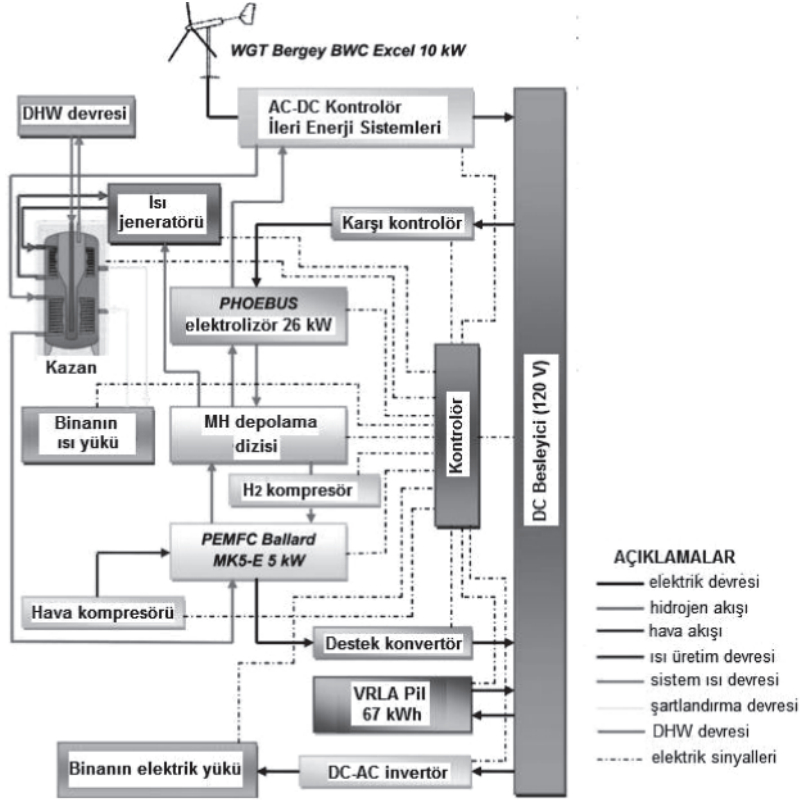


Şekil 4. THEUS sisteminde kullanılan metal hidrit tankının yerleşimi.



### 3.2 Kombine Isı ve Güç Sistemi (Güney Kaliforniya / ABD)

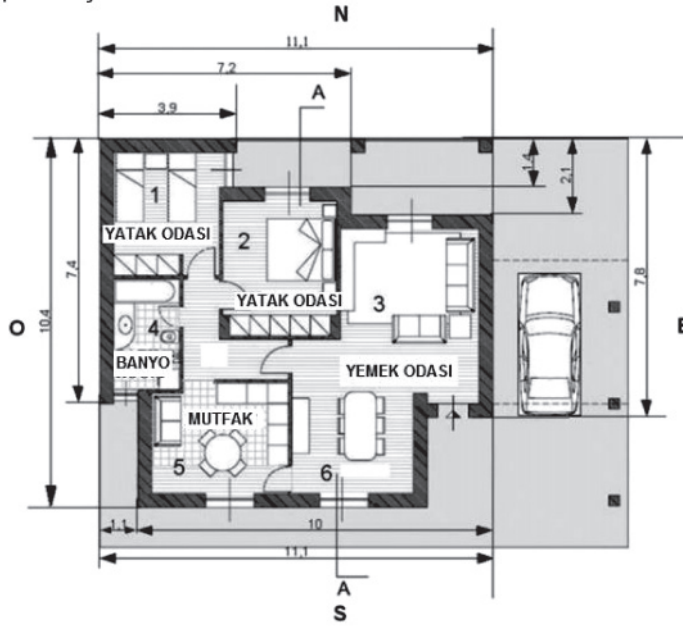
Beş adet metal hidrit tankı ve ısı eşanjörlerine sahip hidrojen depolama sisteminden, Güney Kaliforniya'da yerleşik tipik bir evde, elektrik ve ısı kaynağı olarak yararlanılması amacıyla geliştirilen kombine ısı ve güç sistemine ait modelleme ve simülasyon çalışmalarını gerçekleştirilmiştir [13]. Kombine ısı ve güç sisteminin şematik görünümü Şekil-5'de verilmektedir. Bu sistemde rüzgar türbini 120 V DC invertere bağlanmıştır. Metal hidrit depolama alt sistemi, elektrolizer ve yakıt hücresi ile bağlantılıdır.



Şekil 5. Kombine ısı ve güç sisteminin şematik görünümü.

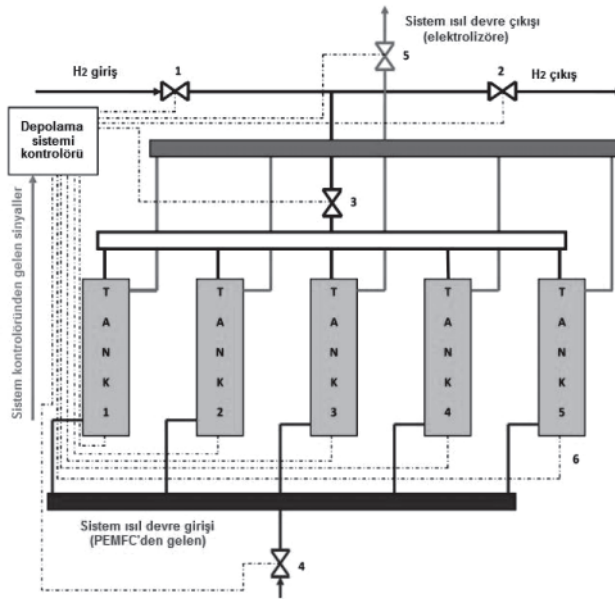
Hibrit sistemi, oldukça rüzgarlı bir iklime sahip Pasifik Bölgesinde, San Francisco Havaalanı yakınında kurulmuştur. Sistemin aktif olarak test edildiği evin planı ise, Şekil-6'da gösterilmektedir. Çalışmanın basitleştirilmesi amacıyla, bu evin sadece elektrik, ısıtma ve ev amaçlı sıcak su ihtiyacı gözetilmiş, yemek pişirme için gereken ısı enerjisi dikkate alınmamıştır. Yıllık elektrik yükü, Güney Kaliforniya'daki tipik bir ev için ortalama saatlik tüketim değeri üzerinden hesaplanmıştır. Isıl yük, yıllık ortalama dış sıcaklık ve Güney Kaliforniya evinin ısı yalıtım özellikleri dikkate alınarak geliştirilen ısı model ile hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan rüzgar türbini Bergey BWC-Excel marka olup, nominal elektrik gücü 10 kW'dır. Elektrolizör gelişmiş alkali tip olup, maksimum 26 kW gücündedir, 7 bar ve 80 °C nominal şartlarda çalışmaktadır. Herbiri 0.25 m<sup>2</sup> aktif alana bağlı olan 21 adet seri bağlı hücreye sahiptir. De-



Şekil 6. Evin planı.

polama sistemi ise, 5 adet silindirik reaktörlü, LaNi5 alaşımın kullanıldığı bir sistemdir. Isı transferinin iyileştirilmesi için alüminyum köpük malzeme de kullanılmıştır. Şekil-7'de metal hidrit depolama sisteminin yerleşimi görülmektedir. Paralel yerleştirilmiş tankların her biri 1,2 m<sup>3</sup> ve depolama kapasitesi 26 kmol'dur. Elde edilen ısı enerjisi tanklar ile soğutma suyuna aktarılmaktadır.



Şekil 7. Metal hidrit depolama sisteminin yerleşimi.

Söz konusu sisteminin başlangıç yatırım maliyeti, benzer diğer ısıtma ve güç üretme sistemlerine göre oldukça fazladır. Ancak uzun dönemde getireceği karlılık ve yatırımın kendisini geri ödemesi, bu sistemin önemli avantajlarıdır. Elde edilen sonuçlar, elektrik veriminin % 8,2, kombine ısı ve güç

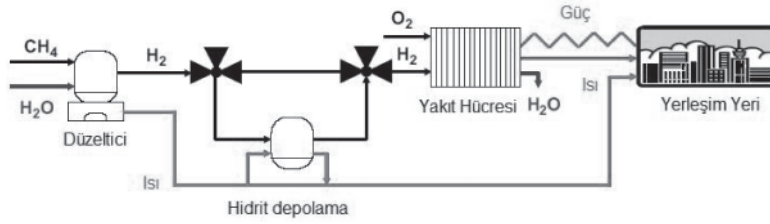
veriminin % 12,5'a ulaştığını göstermektedir. Bu sisteminin başlangıç yatırım maliyeti, benzer diğer ısıtma ve güç üretme sistemlerine göre oldukça fazla olduğu, ancak uzun dönemde getireceği karlılık ve yatırımın kendisini geri ödemesinin, bu sistemin önemli avantajları olduğu belirtilmiştir.

### 3.3 40 kW elektrik üretme kapasitesine sahip kombine ısı ve güç sistemi

Botzung et al. tarafından yapılan çalışmada, emniyetli ve hacimsel verimliliği yüksek hidrojen depolama ortamı sunan metal hidrit malzemelerinin kullanıldığı kombine bir ısı ve güç sisteminde hidrojen depolama sistemi incelenmiş; metal hidrit malzemesi, plaka-kanat tip metal hidrit tankına 1,2 Nm<sup>3</sup> (106 g) hidrojen olacak şekilde şarj edilmiş, metal hidrit tankının önemli karakteristikleri analiz edilmiş ve performans değerleri incelenmiştir [14].

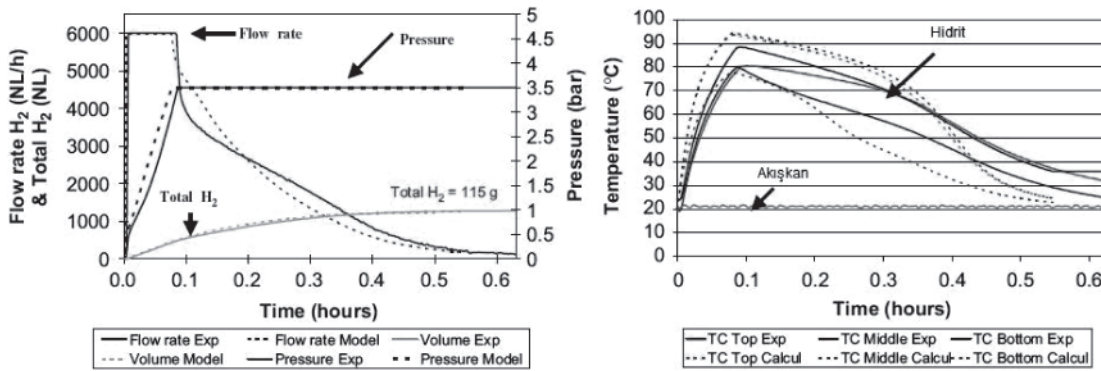
Kombine ısı ve güç sisteminde hidrit tankın kullanımı gerekli olmaktadır. Şekil-8'de verilen sistem, 5 kg hidrojenin depolanmasını gerektirmektedir. Metal hidrit tankı, aşağıdaki şartları sağlamak durumundadır:

- 10 kg'lık metal hidrit içinde 1,2 Nm<sup>3</sup> (100 gr) hidrojen depolanması
- 1,5 saatte 3,5 bar'da absorpsiyon (Hidrojenin 75 °C'de akış hızı:75 NL/h)
- 9 saatte 1,5 bar'da desorpsiyon 75 °C'de akış hızı:125 NL/h)



Şekil 8. 40 kW elektrik üretme kapasitesine sahip kombine ısı ve güç sistemi.

Hidrit malzemenin ısı ve kütle davranışı, FLUENT yazılımı ile simüle edilmiştir (Şekil-9).



Şekil 9. Deneysel ve nümerik sonuçlar

(Sürekli çizgi deneysel sonuçları, kesikli çizgi ise nümerik sonuçları göstermektedir).

### 3.4 The Greenery Box Settlement on Helion Site in France

Fransa'da ilk defa CE sertifikalı hidrojen bazlı enerji depolama sistemi, farklı birçok binalarda uygulamaya alınmıştır. Greenery Box™ olarak adlandırılan bu sistem, HELION-AREVA tarafından geliştirilmiştir (Şekil-10).

Modüler sistemle entegre edilen Greenery Box™, 0,2 – 2 MWh aralığında depolama kapasitesi ve 50 – 500 kW aralığında güç kapasitesine sahiptir. Tüm hidrojen sisteminin güvenlik tedbirleri sızıntı engelleme ve kontrolü, yanıcı gaz oluşumu veya aşırı oksijen oranına çıkmayı engelleyici, patlama riskinin engellenmesi ve bunun kontrolü, sistemde aşırı basınçlanmanın engellenmesi ve kontrolü, sistemin emniyetli olarak acil durum halinde devreden çıkarılması ve kurulumun emniyetinin sağlanması gibi birçok konuda alınmış ve uygulanmış haldedir.



Şekil 10. Greenenergy Box™ yerleşimi

The Greenery Box™ sistemi ve bu sistemde yer alan depolama tankları, belirlenen kontrol alanı içinde ve güvenlik duvarları ile ayrılmak suretiyle kurulumu yapılmıştır ve sadece yetkili kişilerin bu Alana girmesine izin verilmektedir. Yetkili personellerin eğitimleri tamamlanmış, ilgili güvenlik ve acil durum prosedürleri hakkında bilgi sahibi olmaları sağlanmıştır [15].

## 4. HİDROJENİN KULLANIMINDA GÜVENLİK

Hidrojen diğer enerji kaynaklarına göre çok daha güvenlidir. Bu gaz toksik değildir, kolaylıkla yanmaz ve enerji üretimi esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan su ve oksijen doğal ortam için zararsızdır. Ancak, hidrojen enerjisinin uygulanmasında şu andaki en büyük engel hidrojenin taşınma problemi- dir. Hidrojen hafif ve yer kaplayan bir gaz olduğundan, yüksek basınçta sıkıştırılmış halde taşınınca hidrojen tankının ağırlığının ancak yüzde üçü hidrojen olabiliyor. Bununla birlikte hidrojenin kullanımındaki tehlike, oksijen ve havayla karıştığında ileri derecede tutuşabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Toksik değildir, kolaylıkla yanmaz. Kokusuz oluşu ve çok soluk bir alevle yanması dolayısıyla varlığı kolayca fark edilemez. En küçük molekül olması nedeniyle depo ve boru malzemeleri içine

rahatlıkla sızarak metalleri kırılğanlaştırır; kolaylıkla kaçak yapabilir. Hidrojen kaçağı tuttuğu takdirde yukarıya doğru yükselen dar bir alev oluşturur, dolayısıyla çevreye verebileceği zarar diğer gaz ve sıvı yakıtlara kıyasla çok daha azdır.

Her enerji çeşidinde ve cihaz kullanımında olduğu gibi hidrojen enerjisinin uygulandığı alanlarda da güvenlik için alınması gereken bir takım tedbirler mevcuttur. Viskozitesi çok düşük olduğundan hidrojen defolu tanklardan yüksek hızla sızabilir. Bu yüzden sıvı hidrojen, çift cidarı arasındaki hava boşaltılıp yerine perlit doldurularak yalıtılmış sağlam kaplarda depolanır. Herhangi bir kaçak durumunda hidrojen gazının birikmemesi için havalandırmanın iyi olması, hidrojen ve oksijen tüplerinin arasında belli bir mesafenin bulunması ve muhtemel bir kaçağı hissedip alarm vermesi için, cihazların etrafında hidrojen sensörlerinin bulunması gibi güvenlik tedbirleri alınmalıdır [16,17].

## **5. HİDROJENİN KULLANILDIĞI YERLERDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN GÜVENLİK KURALLARI VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER**

### **5.1 Sıvı hidrojenin kullanılması**

Hidrojen ile çalışan bir aracta kullanılan hidrojen sistemi aksamı aşağıdaki gibidir:

- Tank
- Otomatik kapatma vanası
- Çek valf veya geri dönüşsüz vana
- Esnek yakıt hattı
- Hidrojen filtresi
- Isı değiştiricisi
- Mekanik veya otomatik vana
- Basınç regülatörü
- Basınç tahliye vanası
- Basınç, sıcaklık ve akış sensörleri
- Tekrar yakıt doldurma bağlantısı veya haznesi
- Hidrojen sızıntı belirleme sensörleri

#### **5.1.1 Sıvı Hidrojeni Kullanmak İçin Tasarımlanan Hidrojen Tankları ile İlgili Uygulanabilir Deney İşlemleri**

- a) Patlama deneyi: Amaç, patlama basıncının aşıldığı belirlenen bir yüksek basınçtan önce hidrojen tankının arızalanmadığını göstermektir.
- b) Yanma (Bonfire) deneyi: Amaç, belirlenen yangın şartlarında deneye tabi tutulduğunda tankın yangın koruma sistemi ile patlamadığını göstermektir.
- c) Azami doldurma seviyesi deneyi: Amaç, tankın aşırı dolumunu önleyen sistemin yeterince çalıştığını ve doldurma işlemi esnasında hidrojen seviyesinin basınç tahliye cihazlarının açılmasına asla sebep olmadığını göstermektir.
- d) Basınç deneyi: Amaç, hidrojen tankının belirlenen bir yüksek basınç seviyesine dayanabildiğini

göstermektedir. Bunun için, tank belirlenen bir süreyle verilen bir değere kadar basınç altında tutulur. Tank, deneyden sonra görünür kalıcı şekil bozukluğu veya görünür sızıntı işaretleri göstermemelidir.

- e) Sızdırmazlık deneyi: Amaç, hidrojen tankının belirlenen şartlar altında sızıntı emaresi göstermediğini belirlemektir. Bunun için, tank anma çalışma basıncına kadar basınç altında tutulur. Tank; çatlaklar, gözenekler veya benzer diğer kusurlardan ortaya çıkan sızıntı emareleri göstermemelidir.

### 5.1.2 Tanklar Haricinde, Sıvı Hidrojeni Kullanmak İçin Tasarımlanan Hidrojen Aksamı ile İlgili Uygulanabilir Deney İşlemleri

**Tablo 2. Sıvı hidrojen için hidrojen aksamı ile ilgili deney işlemleri.**

Hidrojen aksamı	Deney tipi										
	Basınç deneyi	Dış sızıntı deneyi	Dayanıklılık deneyi	Çalışma deneyi	Korozyona dayanım deneyi	Kuru ısıya dayanım deneyi	Ozon yaşlandırma deneyi	Sıcaklık çevrim deneyi	Basınç çevrim deneyi	Hidrojen uyumluluk deneyi	Yuva sızıntı deneyi
Basınç tahliye cihazları	√	√		√	√			√		√	
Vanalar	√	√	√		√	√	√	√		√	√
Isı değiştiriciler	√	√			√	√	√	√		√	
Tekrar yakıt doldurma bağlantıları veya haznesi	√	√	√		√	√	√	√		√	√
Basınç regülatörleri	√	√	√		√	√	√	√		√	√
Sensörler	√	√			√	√	√	√		√	
Esnek yakıt hatları	√	√			√	√	√	√	√	√	

- a) Basınç deneyi: Amaç, hidrojen aksamının, aksamın çalışma basıncından daha yüksek bir basınç seviyesine dayanabildiğini göstermektir. Hidrojen aksamı basınç belirli bir seviyeye kadar artırıldığında görünür sızıntı emaresi, şekil bozukluğu, yırtılma veya çatlaklar göstermemelidir.
- b) Dış sızıntı deneyi: Amaç, hidrojen aksamının dış sızıntısı olmadığını göstermektir. Hidrojen aksamı gözenek emaresi göstermemelidir.
- c) Dayanıklılık deneyi: Amaç, hidrojen aksamının güvenilir olarak sürekli çalışabildiğini göstermektedir. Deney, belirlenen sıcaklık ve basınç şartlarında hidrojen aksamının belirli bir deney çevrimini yapmaktan oluşur. Deney çevrimi, hidrojen aksamının normal çalışmasını ifade eder.
- d) Çalışma deneyi: Amaç, hidrojen aksamının güvenilir olarak çalışabildiğini göstermektedir.
- e) Korozyon dayanım deneyi: Amaç, hidrojen aksamının korozyona dayanabildiğini göstermektir. Bunun için hidrojen aksamı belirlenen kimyasal maddelerle temas ettirilir.
- f) Kuru ısıya dayanım deneyi: Amaç, metalik olmayan hidrojen aksamının yüksek sıcaklığa dayanabildiğini göstermektir. Bunun için, aksam azami çalışma sıcaklığındaki havaya maruz bırakılır.



- g) Ozon yaşlandırma deneyi: Amaç, metalik olmayan hidrojen aksamının ozondan dolayı yaşlanmaya dayanabildiğini göstermektir. Bunun için, aksam yüksek ozon yoğunluklu havaya maruz bırakılır.
- h) Sıcaklık çevrim deneyi: Amaç, hidrojen aksamının yüksek sıcaklık değişimlerine dayanabildiğini göstermektir. Bunun için, aksam asgari çalışma sıcaklığından azami çalışma sıcaklığına kadar belirlenen süredeki sıcaklık çevrimine tabi tutulur.
- i) Basınç çevrim deneyi: Amaç, hidrojen aksamının yüksek basınç değişimlerine dayanabildiğini göstermektir. Bunun için, aksam atmosfer basıncından müsaade edilebilir azami çalışma basıncına (MAWP) kadar basınç değişimine tabi tutulur ve sonra kısa bir sürede atmosfer basıncına dönlür.
- j) Hidrojen uyumluluk deneyi: Amaç, metalik hidrojen aksamının (yani, silindirler ve vanalar) hidrojen gevretmesine duyarlı olmadığını göstermektir. Sık sık yük çevrimlerine tabi tutulan hidrojen aksamında yerel yorulmaya yol açabilen şartlar ve yapıdaki yorulma çatlaklarının başlaması ve yayılması önlenmelidir.
- k) Yuva sızıntı deneyi: Amaç, hidrojen sistemine yerleştirilirken hidrojen aksamında sızıntı olmadığını göstermektir.

## 5.2 Gaz halinde sıkıştırılmış hidrojenin kullanılması

### 5.2.1 Gaz halinde sıkıştırılmış hidrojen kullanmak için tasarılan hidrojen tanklarına uygulanabilir deney işlemleri

**Tablo 3.** Gaz halinde sıkıştırılmış hidrojen için hidrojen tankları ile ilgili deney işlemleri.

Deney tipi	Uygulanabilir tank tipi			
	1	2	3	4
Patlama deneyi	√	√	√	√
Ortam sıcaklığında basınç çevrim deneyi	√	√	√	√
Kırılmadan önce sızma performans deneyi	√	√	√	√
Yanma (Bonfire) deneyi	√	√	√	√
Nüfuz etme deneyi	√	√	√	√
Kimyasal etkiye maruz bırakma deneyi		√	√	√
Kompozit çatlak tolerans deneyi		√	√	√
Hızlandırılmış gerilme altında yırtılma deneyi		√	√	√
Aşırı sıcaklıkta basınç çevrim deneyi		√	√	√
Çarpma hasarı deneyi			√	√
Sızdırmazlık deneyi				√
Geçirgenlik deneyi				√
Bos (topuz ayarlı) tork deneyi				√
Hidrojen gazı çevrim deneyi				√

## 5.2.2 Tanklar haricinde, gaz halinde sıkıştırılmış hidrojen kullanmak için tasarılan hidrojen aksamının uygulanabilir deney işlemleri

**Tablo 4.** Gaz halinde sıkıştırılmış hidrojen için hidrojen aksamı ile ilgili deney işlemleri.

Hidrojen aksamı	Deney tipi					
	Malzeme deneyleri	Korozyon dayanım deneyi	Dayanıklılık deneyi	Basınç çevrim deneyi	İç sızıntı deneyi	Dış sızıntı deneyi
Basınç tahliye tertibatı	√	√	√	√	√	√
Otomatik vanalar	√	√	√	√	√	√
Mekanik vanalar	√	√	√	√	√	√
Geri dönüşsüz vanalar	√	√	√	√	√	√
Basınç tahliye vanaları	√	√	√	√	√	√
Isı değiştiricileri	√	√		√		√
Tekrar yakıt doldurma bağlantıları veya hazneleri	√	√	√	√	√	√
Basınç regülatörleri	√	√	√	√	√	√
Hidrojen sistemleri için sensörler	√	√	√	√		√
Esnek yakıt hatları	√	√	√	√		√
Bağlantı parçaları	√	√	√	√		√
Hidrojen filtreleri	√	√		√		√
Sökülebilir depolama sistemi konektörleri	√	√	√	√		√

### 1. Malzeme deneyleri:

#### 1.1 Hidrojen uyumluluk deneyi

1.2 Yaşlandırma deneyi: Amaç, hidrojenle ilgili bir aksamda kullanılan metalik olmayan malzemenin yaşlandırmaya dayanıp dayanmayacağını kontrol etmektir. Deney numunelerinde görünür bir çatlığa izin verilmez.

1.3 Ozon uyumluluk deneyi: Amaç, hidrojenle ilgili bir aksamda ait elastomer malzemenin ozona maruz kaldığında uyumlu olup olmadığını kontrol etmektir. Deney numunelerinde görünür bir çatlığa izin verilmez.

### 2. Dış sızıntı deneyi

### 3. Dayanıklılık deneyi

### 4. Korozyona dayanım deneyi

5. Basınç çevrim deneyi. Hidrojenle ilgili aksam görünür şekil bozukluğu veya ekstrüzyon işaretleri göstermemeli ve iç ve dış sızıntı deneylerinin şartlarını yerine getirmelidir.

6. İç sızıntı deneyi: Amaç, belirlenen hidrojen aksamının iç sızıntısı olmadığını göstermektir. Bunun için hidrojen aksamı farklı sıcaklık şartlarında basınç altında tutulur ve sızıntı için gözlemlenir. Hidrojen aksamı, kabarcık oluşmamalı ve belirtilen sayıdan daha yüksek oranda dahili olarak sızma yapmamalıdır.



### 5.2.3 Hidrojen aksam ve sistemlerinin yerleştirilmesi

1. Hidrojen sistemi, hasara karşı korunacak şekilde yerleştirilmeli, ısı kaynaklarından yalıtılmalıdır.
2. Hidrojen tankı, tekrar yakıt doldurma veya bakım amacıyla sadece başka bir hidrojen tankı ile değiştirmek için sökülebilir. İçten yanmalı motorlarda, tank aracın motor bölmesine yerleştirilmemelidir. Tank, bütün korozyon türlerine karşı yeterince korunmalıdır.
3. Aracın hatalı dolumunu ve tekrar dolumu sırasında hidrojen sızıntısını önlemek ve sökülebilir hidrojen depolama sisteminin sökümünün emniyetli bir şekilde yapıldığından emin olmak için tedbirler alınmalıdır.
4. Yakıt dolum bağlantısı veya haznesi ayarsızlığa karşı emniyetli olmalı ve kir ve sudan korunmalıdır. Tekrar yakıt doldurma bağlantısı veya haznesi geri dönüşsüz bir vana veya aynı fonksiyonlu bir vana ile birleştirilmelidir. Yakıt doldurma bağlantısı tanka doğrudan monte edilmiyorsa, yakıt doldurma hattı tank üzerine doğrudan monte edilmiş veya tank içinde bulunan geri dönüşsüz bir vana veya aynı fonksiyonlu bir vana ile emniyete alınmalıdır.
5. Hidrojen tankı, tanklar dolu iken, belirlenen ivmeleri güvenlikle ilgili parçalara hasar vermeksizin absorbe edilebileceği şekilde monte edilmeli ve sabitlenmelidir.
6. Hidrojen yakıt besleme hatları, tank üzerine veya tank içine doğrudan monte edilmiş otomatik kapatma vanası ile emniyete alınmalıdır. Vana, hidrojen sisteminin bir arızası gerektirirse veya hidrojen sızıntısından kaynaklanan bir olay meydana gelirse kapanmalıdır. Tahrik sistemi kapatıldığında, tanktan tahrik sistemine yakıt beslemesi kapatılmalı ve sistemin çalışması istenene kadar kapalı kalmalıdır.
7. Kaza halinde, tank üzerine doğrudan monte edilmiş veya tank içinde bulunan otomatik kapatma vanası tanktan gaz akışını kesmelidir.
8. Hidrojen aksamı (bu aksamın bir kısmını oluşturan koruyucu malzemeleri dahil), aracın veya koruyucu yapının dış hattının ötesine çıkıntı yapmamalıdır. Bu husus, yeterince korunan ve hiçbir kısmı koruyucu yapının dışında bulunmayan hidrojen aksamına uygulanmaz.
9. Hidrojen sistemi, hareketli araç aksamı, çarpmalar, taş fırlaması, aracın yüklenmesi veya boşaltılması ya da yüklerin yer değiştirmesinden dolayı meydana gelen hasarlar gibi hasarlara karşı uygulanabilir olduğu derecede korunacak şekilde yerleştirilmelidir.
10. Hidrojen aksamı, ısıya karşı yeterince korunmadıkça, içten yanmalı bir motor egzozunun veya diğer ısı kaynağının yakınına yerleştirilmemelidir.
11. Yolcu bölümü, havalandırma veya ısıtma sistemi ile hidrojen birikiminin veya sızıntısının mümkün olduğu yerler, hidrojen araç içine çekilmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
12. Bir kaza halinde, basınç tahliye tertibatının ve birleştirilmiş boşaltma sisteminin çalışma yeteneğini sürdürmesinin uygulanabilir olduğu derecede olması sağlanmalıdır. Basınç tahliye tertibatının boşaltma sistemi kire ve suya karşı yeterince korunmalıdır.
13. Aracın yolcu bölümü hidrojen birikiminden kaçınmak için hidrojen sisteminden ayrı olmalıdır. Tanktan veya aksesuarlarından yakıt sızmasının taşıtın yolcu bölümüne kaçmaması sağlanmalıdır.
14. Yolcu veya bagaj bölümü ya da havalandırılmayan başka bir bölüm içine hidrojen sızdıracabilecek hidrojen aksamı, bir gaz sızdırmayan yuvayla veya uygulama tedbirlerinde belirtilen eşdeğer bir çözümle muhafaza altına alınmalıdır.
15. Hidrojen ihtiva eden elektrikle çalışan cihazlar, bir kırılma halinde elektrik kıvılcıklarını önlemek için hiçbir cereyanın hidrojen içeren kısımlardan geçmeyeceği biçimde yalıtılmalıdır. Hidrojen



sisteminin metalik parçaları, elektriksel bakımında sürekli olarak aracın topraklamasına bağlı olmalıdır.

16. Kurtarma hizmeti verenlere araca hidrojenle güç sağlandığını ve sıvı veya gaz halinde sıkıştırılmış hidrojen kullanıldığını göstermek için etiketler veya diğer tanıtma vasıtaları kullanılmalıdır.

## 7. SONUÇ

Oldukça önemli avantajlara sahip olan hidrojen enerjisinin depolanması ve kullanımı esnasında, her enerji çeşidinin günlük hayatımızda kullanılması sırasında olduğu gibi, güvenlik için alınması mutlaka alınması ve uyulması gereken emniyet tebirleri mevcuttur. Bu tedbirlerin içinde sızdırmazlık ve kaçak kontrolü, hidrojen gazinin birikmesini engellemek amacıyla havalandırma sisteminin uygunluğu, sistemi oluşturan cihazların etrafında yeterli miktarda ve uygun hidrojen sensörlerinin bulunması, yetkili personellerin eğitimlerinin verilmesi yer almaktadır.

1986 yılında olan Amerikan uzay mekiği "Challenger" faciasına, bir izolasyon maddesi olan ve mekiklerin en hassas ekipmanlarından biri olan sıvı hidrojen tanklarında sızdırmazlık sağlamak üzere izolasyon maddesi olarak kullanılan polisülfid rubber'in sebep olduğu unutulmamalı, bu konuda gerekli tedbirlerin alınmasına ve uygulanmasına özellikle özen gösterilmelidir.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] Yang FS, Meng XY, Deng JQ, Wang YQ, Zhang ZX. Identifying heat and mass transfer characteristics of metal hydride reactor during adsorption – improved formulation and further discussion about parameter analysis. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009) 1852–61
- [2] Michael Lee, Kwang J. Kim, Ryan R. Hopkins, Keith Gawlik. Thermal conductivity measurements of copper-coated metal hydrides (LaNi<sub>5</sub>,Ca<sub>0.6</sub>Mm<sub>0.4</sub>Ni<sub>5</sub>, and LaNi<sub>4.75</sub>Al<sub>0.25</sub>) for use in metal hydride hydrogen compression systems. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009) 3185–3190
- [3] Ahmet Ozarslan. Large-scale hydrogen energy storage in salt caverns. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (2012) 14265 – 14277
- [4] Martin Wietschela, Ulrike Hasenauer, Arend de Groot. Development of European hydrogen infrastructure scenarios—CO<sub>2</sub> reduction potential and infrastructure investment. *Energy Policy* 34 (2006) 1284–1298
- [5] Andrews J, Shabani B. Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (2012) 1184 - 203
- [6] A. Freni, F. Cipiti, G. Cacciola. Finite element-based simulation of a metal hydride-based hydrogen storage tank. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009) 8574–8582
- [7] Daniel Teichmann, Wolfgang Arlt, Peter Wasserscheid. Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (2012) 18118 – 18132
- [8] Prof. Dr. M. Oktay ALNIAK. Hidrojen Enerjisi Hakkında Düşünceler. Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi (BİLGESAM) 24.06.2009

- [9] Weiyuan Duana, Junlin Du, Zhenjie Wang, Yongqiang Niu, Tiesheng Huang, Zhilin Li, Chaohui Pu, Zhu Wu. Strain variation on the reaction tank of high hydrogen content during hydrogen absorption-desorption cycles. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (2013) 2347 – 2351
- [10] F.S. Yang, G.X. Wang, Z.X. Zhang, X.Y. Meng, V. Rudolph. Design of the metal hydride reactors – A review on the key technical issues. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (2010) 3832–3840
- [11] Tetsuhiko Maeda, Keiichi Nishida, Manabu Tange, Toru Takahashi, Akihiro Nakano, Hiroshi Ito, Yasuo Hasegawa, Masao Masuda, Yoshiaki Kawakami. Numerical simulation of the hydrogen storage with reaction heat recovery using metal hydride in the totalized hydrogen energy utilization system. *International Journal of Hydrogen Energy* 36 (2011) 10845 – 10854
- [12] Manabu Tangea, Tetsuhiko Maeda, Akihiro Nakano, Hiroshi Ito, Yoshiaki Kawakami, Masao Masuda, Toru Takahashi. Experimental study of hydrogen storage with reaction heat recovery using metal hydride in a totalized hydrogen energy utilization system. *International Journal of Hydrogen Energy* 36 (2011) 11767 – 11776
- [13] Simone Pedrazzi, Gabriele Zini, Paolo Tartarini. Modelling and simulation of a wind-hydrogen CHP system with metal hydride storage. *Renewable Energy* 46 (2012) 14-22
- [14] Maxime Botzung, Serge Chaudourne, Olivier Gillia, Christian Perret, Michel Latroche, Annick Percheron-Guegan, Philippe Marty. Simulation and experimental validation of a hydrogen storage tank with metal hydrides. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 98 – 104
- [15] F. Verbecke, B. Vesy. Safety strategy for the first deployment of a hydrogen-based green public building in France. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (2013) 8053 – 8060
- [16] T.C. Resmi Gazete, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü
- [17] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü İSG Dökümanları

## ÖZGEÇMİŞ

### Fevzi BEDİR

1965 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında İTÜ Makine Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi'nden 1994 yılında Yüksek Mühendis ve 1998 yılında da Doktor ünvanını almıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde 1991-1998 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1998-2008 yıllarında Yrd. Doç. Dr., 2008-2014 yılları arasında da Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2014 yılından itibaren Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. ünvanıyla görev yapmaktadır. Konstrüksiyon ve İmalat, Talaşlı İmalat, Klasik ve CNC Tezgahlar, Kompozitler, Demir Dışı Metal Üretimi konularında çalışmaktadır.

### Muhammet KAYFECİ

1981 yılı Anamur doğumludur. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2005 yılında Yüksek Mühendis, 2011 yılında da Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doktor ünvanını almıştır. 2008-2011 yılları arasında Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından beri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır.



Hidrojen enerjisi, hidrojenin depolanması, ısı transferi, yenilenebilir enerji kaynakları konularında çalışmaktadır.

### **Ümran ELMAS**

1967 yılı Bolu doğumludur. 1988 yılında İTÜ Makine Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Western Michigan University (Kalamazoo, Michigan, USA)'den 1991 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2012 yılından bu yana Süleyman Demirel Üniversitesi'nde doktora eğitimine devam etmektedir. 1991-1996 yılları arasında SEKA Balıkesir Kağıt Fabrikasında İşletme Mühendisi, 1996-1998 yılları arasında Ecocell Soğuk Oda AŞ (Kocaeli) firmasında Tasarım Şefi, 1998-2009 yılları arasında Arçelik Bolu Pişirici Cihazlar İşletmesinde Ar-Ge Mühendisi ve Üretim Mühendisi olarak çalışmıştır. 2009 yılından beri TÜRKİYE BİLİMSEL ve TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU (TÜBİTAK) TEYDEB Başkanlığı'nda Bilimsel Programlar Başuzman olarak görev yapmaktadır. Kağıt Mühendisliği, Enerji, Isıtma ve Soğutma, Termodinamik, Kalıpcılık, Beyaz Eşya Sektörü Uygulamaları konularında çalışmaktadır.