

Enerji Depolama Sistemlerinin Araştırılması ve Analizi

Deran Turan¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
dturan@aku.edu.tr

AhmetYönetken²

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
yonetken@aku.edu.tr

Anahtar kelimeler

Enerji Depolama
Teknolojileri; Mekanik
Depolama; Elektriksel
Depolama; Termal
Depolama

Özet

Enerji depolama teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim sebebiyle artan bir ilgiyle karşılaşmaktadır. Enerji depolama teknolojileri gelecekte, ihtiyaç olan düşük karbon salınımının sağlanması açısından oldukça ümit vaat eden araçlardır. Enerjinin ne şekilde depolanacağını net olarak söylemek mümkün değildir ve genellikle birden fazla yöntemin bir arada kullanılması gerekir. Bu çalışmada enerji depolama teknolojileri hakkında genel bir bilgi verilmiş ve kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Investigation and Analysis of Energy Storage Systems

Keywords

Energy Storage
Technologies;
Mechanical Storage;
Electrical Storage;
Thermal Storage

Abstract

Energy storage technologies confronted with an increasing interest thanks to tendency on renewable energy sources. Energy storage technologies are promising tools to achieve necessity low-carbon future. It is not so possible to tell exactly how to storage energy and usually required to use more than one method. In this paper it has given a general information about energy storage Technologies and compared with each other.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Son yıllarda artan enerji ihtiyacı, bir yandan enerjiye artan bağımlılığı perçinlerken, diğer taraftan enerjinin depolanabilmesine olan zorunluluğu da daha net şekilde ortaya koymaktadır.

Dünya nüfusunun ve yaşam standartlarının yükselmesi paralelinde, enerji tüketimi de aynı oranda artmaktadır. Öngörülen projeksiyonlara göre 2005-2030 arasında dünyadaki toplam enerji tüketiminin %50 oranında artması beklenmektedir (Riberiroet *al.* 2001). Bu artış, enerji üretiminde en büyük paya sahip olan fosil yakıtların sınırlı olması ve bunların kullanımı sonucu oluşan atık miktarlarındaki yükseliş, ekonomik ve çevresel birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarına ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının

arttırılması ve enerji kaynaklarının verimli olarak kullanılabilmesine olan ihtiyacı artırmaktadır (Zhanget *al.* 2016). Enerjinin verimli olarak kullanılabilmesi için kullanılan enerji depolama yöntemleri, fosil yakıtların tüketiminin azalmasına, yeni kaynakların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkili kullanımına katkı sağlayabilir.

Arz talep dengesinin sağlanması, enerji sisteminin verimliliğinin artması, enerjide tasarrufun sağlanması, enerji depolamanın katkılarında bazılarıdır (Özdoğan, 2010).

Bununla beraber, enerji depolama teknolojilerinin etkin şekilde kullanılması noktasında bazı önemli noktalar bulunmaktadır.

Bunlar;

1. Enerji sistem kaynaklarında verimliliğin artırılması;
2. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki entegrasyonun sağlanması (Özellikle rüzgar ve güneş);
3. Enerjinin (Elektrik, ısıtma/soğutma) iç tüketim ve iç üretiminin artırılması (Ana sistemlere verilmeksizin);
4. Elektrik enerjisinin son kullanıcılar tarafından kullanımının artırılması (Elektrikli araçlar vb.);
5. Enerjiye ulaşımın artırılması (Şebekeden bağımsız Elektrik Enerjisi vb.)
6. Şebekelerde kararlılığın, güvenilirliğin ve esnekliğin artırılmasının sağlanması (IEA, 2014).

Enerji sistemlerinde bu servislerin sağlanmasıyla beraber, enerji depolama teknolojileri, enerji operatörleri için enerji üretiminin sağlanması konusunda önünde önemli bir alternatif olacaktır. Ayrıca kurum ve kuruluşların yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji hatlarını besleme noktasında da önemli çalışmaları vardır (IEA, 2014).

2. Enerji ve Enerji Depolama

Yararlı iş yapabilme yeteneğine enerji denilmektedir. Birçok farklı enerji türü bulunmaktadır (Kozak, 2012).

Ancak temelde enerji tamamen farklı iki sınıfa ayrılabilir. Birincisi enerjinin nasıl değiştiği ya da enerjinin nasıl aktığı, cereyan ettiği ki bu ikisi aynı kapıya çıkar. İkincisi de enerjinin nasıl depolandığıdır. Birinci senaryoda, elektrik enerjisi, kimyasal enerji, ısı enerjisi vb. İkinci senaryoda ise, iç enerjiden, elektrik alan enerjisinden, potansiyel enerjiden, kinetik enerjiden vb. enerji tiplerinden bahsedilmektedir. Genel olarak bu iki enerji çeşidinden birçok kaynakta tek bir çeşidiymiş gibi bahsedilir (Falk et al. 1983).

Bu enerji çeşitleri, kinetik, potansiyel, mekanik, elektrik, ısı, manyetik, radyasyon, nükleer, elastik, termal, yerçekimi gibi birçok farklı türde olabilir (Kozak, 2012).

Enerji kullanıldığında, bir tür enerjiden diğer bir türe dönüşmektedir. Bir pil kullanıldığında, kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüşmekte; bir şelaleden akan suda ise potansiyel enerjinin bir kısmı kinetik enerjiye dönüşmekte, bir kısmı ise kinetik enerji olarak kalmaktadır. Enerji depolama ise enerjinin istediğimiz zaman kullanabilmek üzere saklanmasıdır (Kozak, 2012). Bu depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir ve sadece tek bir teknolojik yöntemden ziyade, farklı yöntemlerin ortak olarak kullanıldığı teknikler bütünüdür (Landry et al. 2015). Bu enerji çeşitleri aşağıda verilmiş ve bu enerji uygulamalarının detaylı kıyaslaması Tablo 1'de yapılmıştır.

- Volan Depolama;
- Pompalı Hidroelektrik Depolama (Basınçlı Su Depolama) (PSH);
- Basınçlı Hava Enerji Depolama (CAES);
- Süper Kapasitörler;
- Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (SMES);
- Termal Enerji Depolama;
- Hidrojen Enerjisi Depolama;
- Piller;
- Yeraltı Termal Enerji Depolama (UTES);
- Eriyik Tuzlar;
- Kimyasal-Hidrojen Depolama;
- Katı Hal Medya Depolama;
- Buz Depolama;
- Sıcak ve Soğuk Su Depolama; (Landry et al. 2015).

2.1. Mekanik Enerji Depolama

Bir malzeme sistemine kuvvet uygulayarak, bu kuvvetin sonucu oluşan enerjiyi depolamada iki temel sistem vardır. Bunlardan birincisi potansiyel enerjideki değişim ile ilişkili iken, ikincisi kütle hareketinden doğan enerji, yani kinetik enerji ile ilişkilidir. Bu iki enerji birbirlerine dönüştürülebildikleri gibi ısı enerjisine veya işe de dönüştürülebilir (Huggins 2010).

2.1.1. Volan Depolama

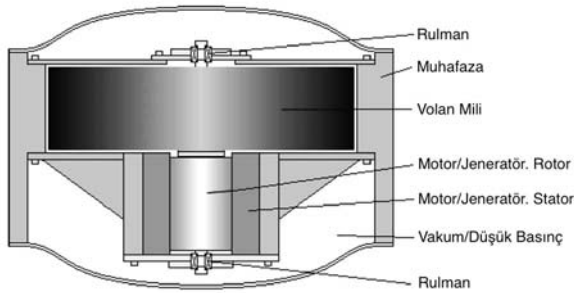
Çok hızlı bir şekilde dönen tekerlekteki kinetik enerjinin bir biçimi bu volanlarda depolanmış halidir (Yavuz, 2011).

Bu teknolojiye sahip uygulamalarda iki farklı tarz uygulama mevcuttur. Birincisi yüksek hızlı volan

sistemleri olup 50000 d/d dönme hızlarına sahiptirler ve boyut ve ağırlığın belirleyici olduğu elektrikli araçlar ve buna benzer alanlarda kullanılırlar. İkincil tiptekiler ise 7000 d/d gibi daha düşük hızlarda çalışırlar ve görece daha büyüktürler. İkincil tipteki volanların çapları bir metreyi bulabilir (Williset *al.* 2000).

Tablo 1. Farklı Depolama Teknolojileri ve Temel Özellikleri (Landryet *al.* 2015).

Teknoloji	Enerji Çıkışı	Verim	Maliyet(USD/kW) Ana Uygulama
Volan Depolama	Elektrik	90-95	130-500
Pompa Hidroelektrik Depolama (Basıncı Su Depolama) (PSH)	Elektrik	50-85	500-4600
Basıncı Hava Enerji Depolama (CAES)	Elektrik	27-70	500-1500
Süper Kapasitörler	Elektrik	90-95	130-515
Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (SMES)	Elektrik	90-95	130-515
Termal Enerji Depolama	Termal	90-99	1000-3000
Hidrojen Enerjisi Depolama	Elektrik	30-50	550-4500
Piller	Elektrik	75-95	900-3500
Yeraltı Termal Enerji Depolama (UTES)	Termal	50-90	3400-4500
Eriyik Tuzlar	Termal	40-93	400-700
Kimyasal-Hidrojen Depolama	Elektrik	22-50	500-750
Katı Hal Medya Depolama	Termal	50-90	500-2000
Buz Depolama	Termal	75-90	6000-15000
Sıcak ve Soğuk Su Depolama	Termal	50-90	300-600

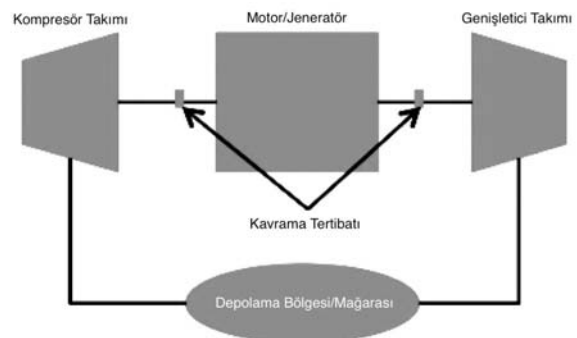


Şekil 1. Bir Volan Enerji Depolama Sisteminin Şematik Gösterimi (Bolundet *al.* 2007).

2.1.2. Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (CAES)

CAES sistemleri enerjiyi sıkıştırılmış hava formunda yeraltı mağaralarında saklayan sistemler olarak tanımlanabilir (Gonzalez *et al.* 2012). Sıkıştırılmış hava sistemleri elektrik enerjisini, havayı yüksek basınç altında kaplara ileten kompresörleri hareket ettirmek ve daha sonra bir piston veya türbin içerisinde, basınç altındaki bu havayı gerektiğinde enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılır (Şekil 2). CAES sistemleri sıkıştırılmış basınçlı havayı yeraltı su

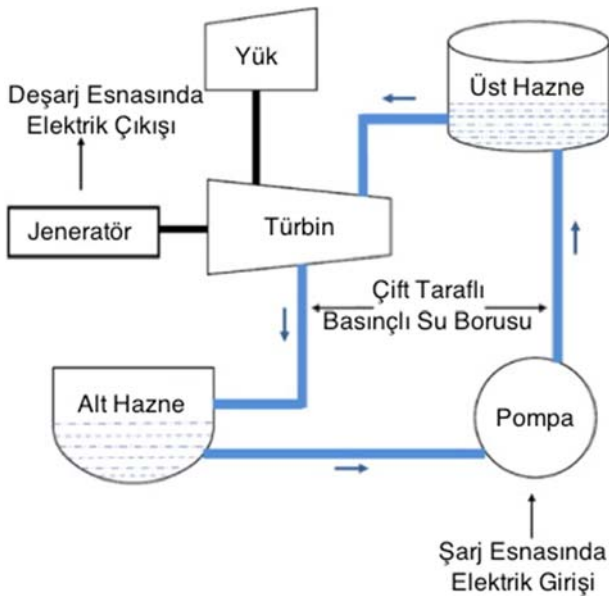
katmanları, terk edilmiş tuz veya diğer maden yatakları gibi jeolojik yapılarda saklar. Genellikle CAES sistemlerinin küçük çaplı ihtiyaçlara için işletme giderleri oldukça fazladır. Pratikte en küçük CAES enerji depolama ünitesi 10 MW güce ve 100 MW/s enerji üretimine sahiptir. Sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri, basınçlı su depolama sistemlerine kıyasla daha yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir (Williset *al.* 2000).



Şekil 2. Bir Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (CAES) Sisteminin Şematik Gösterimi (Fertiget *al.* 2011).

2.1.3. Basınçlı Su Depolama

Hidrolik gücü ilgilendiren enerji depolama sistemleri potansiyel enerji uygulaması kavramına dayanır (Rehmanaet *al.* 2015). Pik zamanı haricinde, şekil 3'te görüldüğü üzere elektrik, suyu yüksek tepelerdeki veya dağlardaki su haznelere pompalamak için kullanılır. Pik zamanında ise su borulardan hidroelektrik jeneratörlere iletilir. Bu tip depolama genellikle pik ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bir döngü için verim yaklaşık olarak %70-85 civarındadır. Bu tip bir sistemin en büyük dezavantajı büyük bir su haznesi inşa edildiği için ekolojiye zarar vermesidir. Diğer dezavantajı ise en az iki su haznesine ihtiyaç duymasındır (Yavuz, 2011).



Şekil 3. Bir Hidroelektrik Basınçlı Su Depolama Sisteminin Sematik Gösterimi (Rehmanaet *al.* 2015).

2.2. Manyetik Enerji Depolama

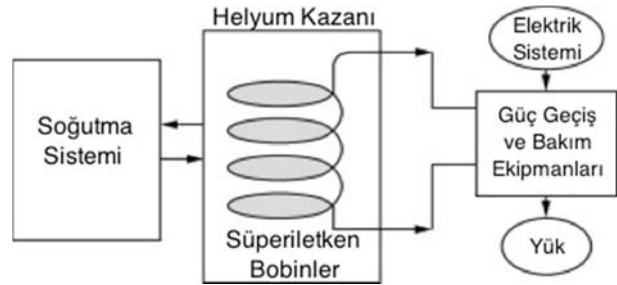
Enerji geri çevrilebilir şekilde, elektrik alan içerisinde kapasitör denilen malzemelerde depolanabilir. Bu konuda iki genel tipte cihaz vardır ve depoladıkları enerji miktarı, enerji absorpsiyon ve salınım değerleri gibi pratik kullanım özelliklerine göre çok geniş bir skalaya sahiptirler (Huggins 2010).

2.2.1. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama

SMES sistemleri enerjiyi, çok iyi şekilde yalıtılmış bir şişede bulunan sıvı helyum gibi çok soğuk bir sıvı içerisine batırılmış süper iletken manyetik bir bobin

ile depolar (Yavuz, 2011). Süper iletken manyetik bobinlerin dirençleri 0'dır, bu yüzden elektrik akımı bir kez akmaya başladıktan sonra zamanla azalmayacaktır. Bobinler çok büyük boyutlarda değildirler (Sahay et al. 2009).

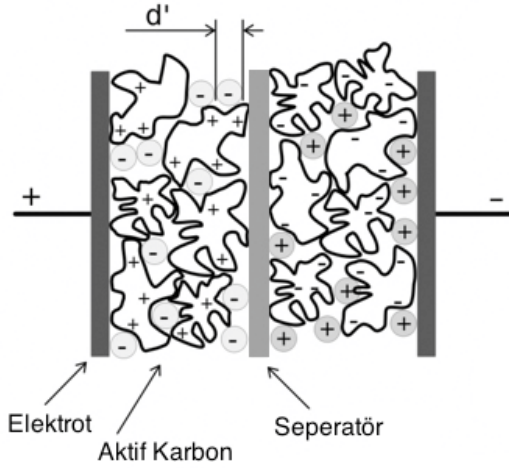
SMES içerisinde güç, DC elektrik akımının bobin içerisinde manyetik olarak döndürülmesi ile depolanır. Bu işlemin tersi yapılarak durdurulur. Somers'in avantajları verimli, sağlam, güvenilir ve sessiz çalışmasıdır. Mikro saniye hızında ve çok iyi gerilim regülasyonu ile köprüleme zamanı 1-60 sn, kurulum süresi 3 hafta ve verimi de %90'dır. SMES'in dezavantajları ise soğutmaya ihtiyaç duyması, yüksek maliyet ve sıcaklığa karşı duyarlı olmasıdır (Sahay et al. 2009).



Şekil 4. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi (SMES) (Chenet *al.* 2009).

2.2.2. Süper Kapasitör Enerji Depolama

Süper kapasitörler çift katmanlı kapasitörlerdir. Enerjiyi, Şekil 5'teki gibi elektrot ve elektrolit arasındaki sınırdaki şarj transferi ile depolar. Süper kapasitörler iki elektrot, bir ayırıcı ve bir elektrolitten oluşur. Elektrotlar etkinleştirilmiş karbondan oluşur bu sayede süper kapasitörlerin enerji yoğunluğunun daha geniş bir alanı etkilemesi sağlanır. Elektrotlar bir çeper ile ayrılmıştır ki bu şarj olmuş iyonların hareketini kolaylaştırır ve elektrottan diğerine iletir. Depolama enerjisi miktarı, elektrot yüzey alanı, iyonların boyutu ve elektrolit gerilim analiz seviyesinin bir fonksiyonudur (Sahay et al. 2009).



Şekil 5. Bir Süper-Kapasitör Şeması (Wang 2012).

Genellikle süper kapasitörler iki sınıfa ayrılır. Şöyle ki; çift katmanlı kapasitörler ve elektrokimyasal kapasitörlerdir. Çift katmanlı kapasitör çift katman mekanizmasına dayanır ve bu aktif karbonun elektrot yüzeyi veya karbon fiber ve elektrolitik çözelti arasındaki ara yüzeydeki voltajın ayrılması prensibi ile çalışır. Elektrokimyasal kapasitörler hızlı oksidasyon-redüksiyon (REDOKS) reaksiyonuna dayanır. Elektrokimyasal kapasitörler metal oksit süper kapasitörler ve iletken polimer süper kapasitörleri içerir. Elektrot yüzeyinde oluşan ters çevrilebilir REDOKS reaksiyonunun veya elektrot potansiyeline bağlı olarak kapasite üretmek için hepsini kullanırlar. Kapasiteleri temelde aktif elektrot malzemesinin uygulamalarına dayanır (Sahayet al. 2009).

2.4. Termal (Isıl) Enerji Depolama

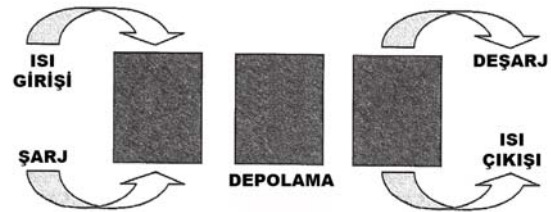
İki farklı termal depolama mekanizması vardır. Birincisi katı ve/veya sıvı malzemelerin sıcaklık artışıyla beraber bünyelerinde depoladığı enerjidir. Diğeri ise kimyasal bir değişikliğe uğramadan malzemelerin faz değişimine sebep olan ısı depolamadır. (Huggins 2010).

Termal enerji depolanması sıcak veya soğukun daha sonra kullanılmak üzere depolanmasına imkan sağlarken, enerji üretimi ile tüketimi arasındaki sıcaklık, zaman, yer veya güç farkının, arz-talep bağlamında dengesinin sağlanmasına yardımcı olur (Cabeza 2012). Dolayısıyla termal enerji depolama,

ihtiyaca göre sıcak veya soğuk ya da her iki depolama için kullanılabilir. Isıl depolamanın yapılabilmesi için bir santralin atık ısı, güneş enerjisi veya jeotermal enerji vb. ısı kaynaklı sistemlere ihtiyaç vardır (Kocaman 2013).

Tüm termal enerji depolama sistemlerinde temel prensip aynıdır. Enerjinin, ihtiyaç olduğunda geri alınmak üzere, sisteme geçici bir süre için beslenmesi esasına dayanır. Genel bir sistem, Şekil 6'da görüleceği üzere, üç kademedен oluşur: 1- Şarj 2-Depolama ve 3- Deşarj. Bazı pratik sistemlerde bu aşamalar aynı anda çalışıyor veya birden fazla tekrarlanıyor olabilir (Cabeza 2012).

Rüzgar, güneş ve su gibi doğal enerji kaynaklarından ve atık ısıdan yararlanmak için de ısı enerjisi depolama gereklidir (Kocaman 2013).

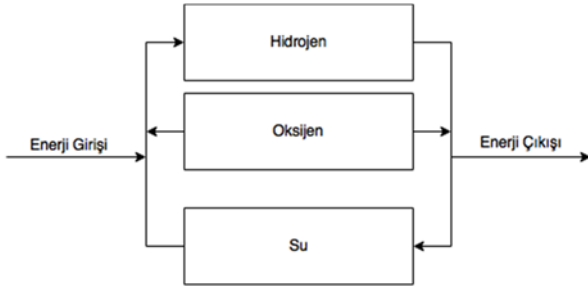


Şekil 6. Isıl enerji depolama blok diyagramı (Kocaman 2013).

2.5. Yakıt Hücreleri ve Hidrojen Depolama

Yakıt hücreleri, tıpkı piller gibi temel olarak birer elektrokimyasal dönüşüm aracı olup, kullandıkları yakıtın enerjisini elektrokimyasal dönüşüm yolları ile elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Yakıt hücreleri pillerden farklı olarak kullandıkları yakıtları bünyelerinde değil dışarıdaki bir kaynaktan alırlar. Oysaki piller elektrokimyasal dönüşüme uğrayacak malzemeleri iç yapılarında bulundurlar. Bir yakıt hücresinin üç elemanı vardır ve bunlar sırasıyla, anot, katot ve elektrolit çözeltisidir. Hava ya da duruma göre oksijen katot üzerinden, hidrojen de anot üzerinden geçer. Bu işlem esnasında iyonlarına ayrılan yakıtta, iyonlar elektrolit vasıtasıyla katota giderken, elektronlar bir dış devre üzerinden akar. Elektronların dış devreden akışı sayesinde elektrik üretilir. Katotta oksijen ve hidrojen iyonları ile

elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir (Çuhadaroğlu *et al.* 2007).



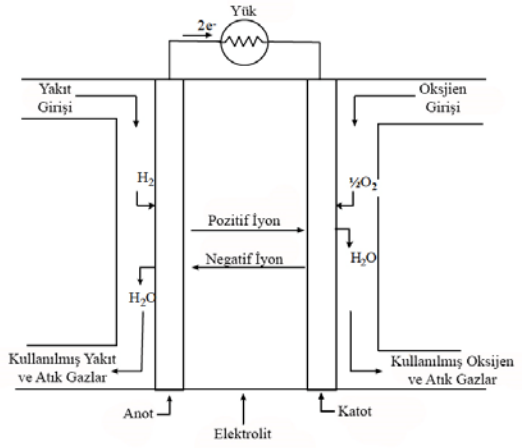
Şekil 7. Yakıt Hücresi Şeması ve Çalışma Prensibi (Huggins 2013).

Yakıt hücresi, özgül enerji değeri açısından pillerden daha yüksek bir değeri sağlayabilirken, özgül güç bakımından daha kötü bir değere sahiptir. Bunun da ötesinde, yakıt hücreleri oldukça pahalıdır ve yükdeğişimlerine hızla adapte olamamaktadırlar (Kozak *et al.* 2012).

Yakıt hücreleri elektrolit tipine göre sınıflandırılmaktadır. Birçok farklı tipte yakıt hücreleri mevcut veya geliştirilme aşamasında olmakla beraber yaygın olarak kullanılan yakıt hücreleri aşağıdaki gibidir (U.S. Department Of Energy, 2004):

- Proton Değişim Yakıt Hücresi (PEFC)
- Alkali Yakıt Hücresi (AFC)
- Fosforik Asit Yakıt Hücresi (PAFC)
- Eriyik Karbonat Yakıt Hücresi (MCFC)
- Katı Oksit Yakıt Hücresi (SOFC)

Aslında, seçilen elektrolit hücrenin çalışma sıcaklığını doğrudan belirleyen etkidir. Dolayısıyla, yakıt hücrelerinin sıcaklığı bağlı olarak da ayrımı yapılabilir.



Şekil 8. Yakıt Hücresinin Basit Bir Şeması (U.S. Department Of Energy, 2004)

Yakıt hücreleri, farklı tip depolama tanklarında depolanmış olan hidrojeni ihtiyaç olması halinde tüketerek, elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Her ne kadar yakıt hücrelerinin günümüzde büyük problemleri olsa da gelecek vadetmektedir. Hidrojen depolama sistemleri, geleceğin en önemli enerji depolama yöntemlerinden biri olarak görülmektedir (Kocaman 2013).

Hidrojen farklı türlerde, farklı ortamlara saklanabilir. En önemli hidrojen depolama teknikleri;

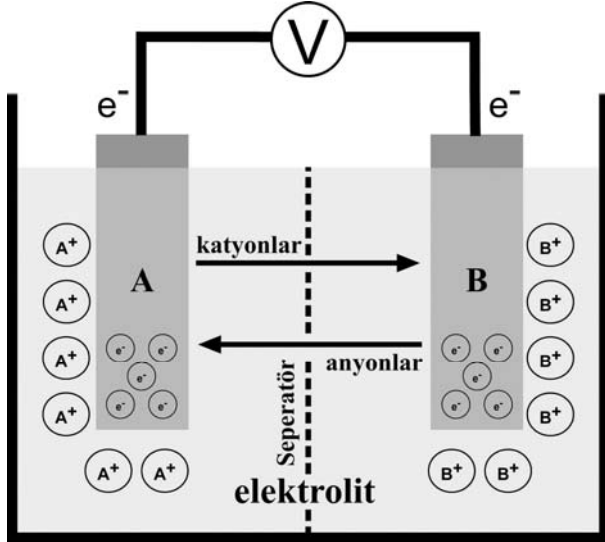
- Yüksek Basınç Tanklarında Gaz Fazındaki Hidrojenin Depolanması
- Yalıtımlı Tanklarda Sıvı Fazdaki Hidrojenin Depolanması
- Metal Hidrür Tüplerde Hidrojenin Katılarda Proton Olarak Saklanması
- Diğer Hidrojen Depolama Yaklaşımları

2.6. Piller

Elektrokimyasal güç kaynakları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bu işlem en az iki reaktifin kimyasal tepkime vermesiyle gerçekleşir. Bu reaksiyon sonucunda ortaya çıkan enerji belirli bir gerilim ve zamana bağlı olarak elektrik akımıdır (Daniel *et al.* 2011).

En basit sistem, bir elektrokimyasal (galvanik) hücreden oluşur. Elektrokimyasal reaksiyonların elektrik enerjisi sebebiyle oluşması veya elektrik

enerjisinin kimyasal reaksiyon sonucu oluşmasına göre hücreler isimlendirilir. Birinci durumda hücreye elektroliz hücresi ikinci durumunda ise galvanik hücre adı verilir (Linden *et al.* 2002).



Şekil 9. Basit Bir Pil Şemasının Gösterimi. (A) Anot ve (B) Katot.

Bu hücre genel olarak 0.5-5V arasında değişebilen görece düşük voltaj verir. Daha yüksek voltaj değerleri için hücreler seri olarak; daha yüksek kapasite için ise paralel olarak bağlanır. Her iki durumda da bu hücrelerin bağlanması ile meydana gelen yapıya "pil" denir (Daniel *et al.* 2011).

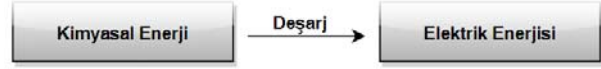
En basit şekliyle, bir pil, biri pozitif diğeri negatif olmak üzere iki elektrottan, bu iki elektrotu birbirinden ayıran ve iyonik olarak iletken, elektriksel açıdan yalıtkan bir elektrolitten oluşur. Bu elektrolit sıvı, gözenekli matris içine emdirilmiş sıvı, iyonomerik polimer veya katı olabilir (Scrosati *et al.* 2013).

Bazı piller şarj edilmek suretiyle birçok kez kullanılabilir. Bazıları ise sadece bir kez deşarj olabilir. Bir pil bir kez deşarj olmak suretiyle kullanılmak üzere tasarlanmışsa, bu pil "birincil pil" olarak isimlendirilir. "İkincil pil" ise şarj edilebilir pillerdir (Garcheat *et al.* 2009).

2.6.1. Birincil Piller

Birincil pil diye anılan pillerde dıştan enerji (bir yük)

verilerek başlangıç maddelerinin büyük kısmı üretilen ürüne dönüştüğünde daha fazla elektrik enerjisi üretilir ve pil ölür. Bu pillere primer pil veya tersinmez pil de denir (Göktepe 2003).



Şekil 10. Birincil Pillerin Temel Olarak Çalışma Prensipleri.

2.6.1.1. Birincil Pil Tipleri

Birçok farklı tipte birincil pil olmakla beraber, aşağıda en yaygın olarak kullanılan pil çeşitleri verilmiştir.

- Leclanché
- Çinko-Hava
- Gümüş-Oksit
- Cıva
- MerCad
- Lityum Esaslı

2.2. İkincil Piller

Şarj edilebilir piller benzersiz bir elektrokimyasal enerji dönüşüm cihazlarıdır. Bu piller kullanıldıktan sonra elektrik akımının yönü tersine çevrilebilir orijinal durumuna geri getirilebilir ve tekrar kullanılabilir. Bu ikincil pilleri birincil pillerden ayıran özelliğidir (Brodd 2009).



Şekil 11. İkincil Pillerin Temel Olarak Çalışma Prensipleri.

Son zamanlarda, ikincil pillere olan ilgi elektrikli ve hibrid araçlarda güç kaynağı olarak kullanılması sebebiyle artmıştır. Bu bağlamda başlıca geliştirme programları genel olarak mevcut pil sistemlerinin geliştirilmesine ve araçlardaki zorlu koşulları karşılayan yeni sistemlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır (Linden *et al.* 2002).

İkincil piller neredeyse tamamen geri dönüştürülebilir şekilde şarj ve deşarj olabilmeli, enerji verimliliğine sahip olmalı ve çevrim ömrünü kısaltabilecek fiziksel özellikleri minimum değişikliğe

uğramalıdır. Pilde oluşan kimyasal reaksiyonlar hücredeki bileşenlerin bozunmasına, çevrim ömrünün kısılmasına veya kapasite düşüşüne neden olmamalıdır (Daniel *et al.* 2011).

2.6.2.1. İkincil Pil Tipleri

Birçok farklı tipte birincil pil olmakla beraber, aşağıda en yaygın olarak kullanılan pil çeşitleri verilmiştir.

- Kurşun-Asit
- Nikel-Kadmiyum
- Nikel-Demir
- Nikel-Çinko
- Gümüş-Çinko
- Gümüş-Kadmiyum
- Nikel-Metal Hidrür
- Çinko-Mangan
- Lityum-İyon

3. Sonuçlar ve Tartışma

Başta da belirtildiği gibi tek bir enerji depolama tekniği her zaman ve her koşulda, her uygulama için uygun olmamaktadır. Hangi yöntemlerden hangisinin kullanılacağına belirlenmesi için, ön çalışma ve maliyet analizlerinin düzgün şekilde yapılması ve en doğru yöntemin itina ile seçilmesi gerekir. Günümüzde yenilenebilir enerjiye olan yönelim, enerji depolama teknolojilerinin kullanımını da zorunlu kılmakta, bu da yeni, daha verimli depolama teknolojilerine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır.

Kaynaklar

Anonim, 2004. U.S. Department Of Energy, Fuel Cell Handbook, Seventh Edition, USA, 1-32.

Anonim, 2014. International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap: Energy Storage, 2014.

Bolund B., Bernhoff H., Leijon M. (2007). Flywheel energy and power storage systems. Renewable

and Sustainable Energy Reviews **11**: 235–258.

Brodd, R. J. (2009). Secondary Batteries In: Dyer, C.K., Moseley, P.T., Ogumi, Z., Rand, D.A.J., Scrosati, B. & Garche, J. (Eds.), Encyclopedia of Electrochemical Power Sources Elsevier, A.B.D., 254-261.

Cabeza L. F. (2012). Thermal Energy Storage. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, **3**:211–253.

Chen H., Cong T. N., Yanga W., Tan C., Lia Y., Ding Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, **19**: 291-312.

Daniel, C. and Besenhard, J.O. (2011). Handbook of Battery Materials. Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. U.S.A.

Dinkins J., Lee J., Mahserjian K., Pinkoski S.B. (1997). Texas Space Grant Consortium Space Solar Power Ground-Based Energy Storage. Texas Tech University.

Falk G., Herrmann F., Bruno G. (1983). Energy forms or energy carriers, *American Journal of Physics* **51**: 1074-1077.

Garche, J., Dyer, C.K. (2009). Encyclopedia of Electrochemical Power Sources In: Owens, B.B., Reale, P. and Scrosati, B. Primary Batteries Overview, Elsevier B.V., 22-27.

Gonzalez F. D., Sumper A., GomisBellmunt O, Villafafila-Robles R. (2012). A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renew Sustain Energy Review*, **16**:2154–2173.

Göktepe, H. (2003). Demir Katkılanmış Lityum İçeren Metal Bileşiklerinin Sentezi Karakterizasyonu ve Doldurulabilir Lityum Piller. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen

- Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Fertig E., Apt J. (2011). Economics of compressed air energy storage to integrate windpower: a case study in ERCOT. *Energy Pol.* **39**:2330–2342.
- Huggins R. A. (2010). *Energy Storage*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, USA.
- Kocaman B. (2013). Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri. Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 26-27 Nisan 2013, Ankara.
- Kozak M., Kozak Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. *SDU International TechnologicScience*, **4**: 17–29.
- Landry M., Gagnon Y. (2015). *Energy Storage: Technology Applications and Policy Options*, *Energy Procedia*, **79**: 315–320.
- Linden, D., Reddy, T.B. (2002). *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill, Inc., 3. Edition, New York, A.B.D.
- Özdoğan M. (2010). Bir Enerji Depolama Sisteminin Tasarımı Ve Çalışma Parametrelerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Paksoy H., Evliya H., Turgut B., Mazman M., Konuklu Y., Gök Ö., Yılmaz M. Ö., Yılmaz S., Beyhan B., Şahan N. (2011). Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Depolama ile Değerlendirilmesi. Enerji Kongresi 2011, 24-25 Ekim 2011, Antalya.
- Rehmana S., Al-Hadhramia L. M., Alam Md. M. (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **44**: 586-598.
- Ribeiro F.P., Johnson K.B., Mariesa C.L., Arsoy A., Liu Y. (2001). Energy Storage systemsfor Advanced Power Applications. *Proceedings of the IEEE*, **89**: 1744–1756.
- Sahay K., Dwivedi B. (2009). Energy Storage Technology for Performance Enhancement of Power Systems. *Electrical Power Quality & Utilization Magazine*, **4**:1–12.
- Scrosati, B., Abraham, M.K., Schalkwijk, W.V., Hassoun, J. (2013). *LithiumBatteries, Advanced Technologies and Applications*. Wiley, U.S.A.
- Wang H. (2012) *Carbon Nanomaterials for Supercapacitors. Introduction to the Physics of Energy DersNotları*. StandfordUniversitesi, ABD.
- Yavuz B. (2011). Enerji Depolama Sistemlerinin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wills H Lee and Scott Walter G, “Distributed Generation Planning and Evaluation”,Marcel Dekker Inc. New York, 2000.
- Zhang P., Ma F., Xiao X. (2016). Thermal energy storage and retrieval characteristics of a molten-salt latent heat thermal energy storage system, *Applied Energy*, **173**: 255–271.