

Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Depolama Yöntemleri

Energy Storage Methods For Renewable Energy Sources

Yrd. Doç. Dr. Necmi ÖZDEMİR¹, Mehmet HADRA²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

²Marmara Elektrik Enerjisi İth. İhr. Ve Top. Tic. A.Ş.

necmi.ozdemir@kocaeli.edu.tr, mhadra@colakoglu.com.tr

Özet

Enerjinin istendiği zaman ve istenilen yerde kullanılmaya hazır olması istenir. Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya depolama denir. Enerjiyi çok değişik formlarda depolama yöntemleri bulunmaktadır.

Enerji depolama ile, bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolama, diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermeye amaçlanmaktadır. Ülkemizde ve Dünyada enerji kaynaklarının sınırlı olması ve giderek azalması sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ve üretilen enerjinin depolanması çok büyük önem arz etmektedir.

Abstract

Energy will be asked to be ready for use at any time and any place. To be able to use it to store energy at any time is called storage. There are many different forms of energy storage methods.

Energy in the areas of energy use, on the one hand with the storage of waste energy storage, on the other hand, that could only at certain times, by storing energy from renewable energy sources in the energy, the energy difference between the claim that aims to fix available. In our country and in the world as a result of the increasingly limited energy sources and renewable energy sources and storage of energy produced, the decline is too large.

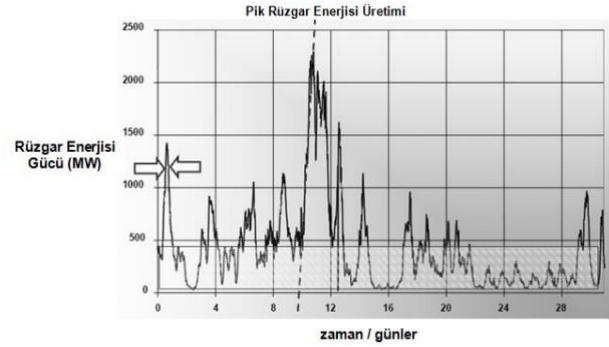
1. Giriş

Enerji toplumsal refahın sağlanması için gerekli araçlardan ve üretim faaliyetlerinin ana girdilerinden biri olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez temel taşlarından biridir. Bu nedenle, endüstrideki gelişmelerin, yaşam standartlarındaki yükselişin ve artan nüfusun ihtiyaç duyduğu enerjinin yeterli, güvenilir bir şekilde ve düşük maliyetle sağlanması büyük önem arz etmektedir. Arz güvenilirliği için sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulması ve enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın azaltılması gerekmektedir. Arz güvenilirliği kısa dönemde talebin sürekli ve kaliteli bir şekilde karşılanması, uzun dönemde ise yeterli kapasite yatırımlarının yapılmasını ifade etmektedir. Günümüzde dünya enerji gereksinimi büyük oranda fosil (kömür, doğal gaz vb.) ve nükleer yakıtlardan karşılanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde kullanılan en yaygın

yöntemler ise hidroelektrik, rüzgar ve güneş enerjisi sistemleridir.

Genel olarak termik (kömür, doğal gaz) ve nükleer santraller talep değişimlerine kolayca uyum sağlayamamaları nedeniyle baz yükte, hidroelektrik santraller (HES) ise kolayca işletilip durdurulabilen ve aynı zamanda kısa bir sürede tam kapasite yükü çıkışa uyum sağlayabilmeleri nedeni ile pik talebin karşılanmasında kullanılmaktadır.

Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sabit ve sürekli enerji üretme olanaklarına sahip olmayıp, mevsimsel ve günlük meteorolojik koşullardan etkilenmektedir. Şekil 1'de şematik olarak rüzgar enerjisi üretimi için örnek bir dağılım verilmiştir.



Şekil 1. Rüzgar enerjisi üretiminde zaman içindeki dalgalanmaların görünümü

Rüzgar enerjisi sistemlerinde üretilen enerji süreç açısından kesikli ve yoğunluk açısından değişkenlik gösterdiğinden elektrik enerjinin depolanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisini depolama ihtiyacı sadece yenilenebilir kaynaklar için var olan bir sorun olmayıp, aynı zamanda enerji kalitesi, gücü destekleme ve enerji yönetimini sağlamaya yönelik olabilmektedir. Tablo 1'de elektrik enerjisi depolama amaçları özetlenmiştir.

Amaç	Zaman aralığı	Açıklama
Enerji kalitesi	Saniyeler mertebesi ya da daha kısa süreler	Enerji kalitesinin sürekliliğinin sağlanması
Gücü destekleme	Saniyelerden dakikalar mertebesine kadar	Farklı enerji üretim merkezlerini kesme/devreye almalarında enerjinin sürekliliğinin sağlanması
Enerji Yönetimi	Saatlerden günler mertebesine kadar	Enerjinin üretim fazlası/ekonomik olduğu zamanlarda depolanması ve ihtiyaç zamanlarında kullanılması

Tablo 1. Elektrik enerjisi depolama amaçları

2. Enerji Depolama Yöntemleri

2.1. Pompa Depolamalı Hidroelektrik Sistemler

Pompa depolamalı hidroelektrik sistemlerin ana çalışma mantığı, farklı yükseklikte bulunan suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden faydalanmaya dayanır. Alt rezervde bulunan su, elektrik talebinin az olduğu durumlarda pompalar ile üst rezervdeki su haznesine taşınarak potansiyel enerji yükseltilmiş olur (Şekil 2). Yüksek enerji talebinde ise su üst rezervden aşağıdaki rezerve doğru hareket ettirilerek suyun kinetik enerjisinden önce mekanik sonra elektrik enerjisi elde edilir.



Şekil 2. Pompa depolamalı hidroelektrik sistemler

Bu sistemin en büyük avantajı, GW büyüklüğünde depolama yapılabilmesidir. Sistemin dezavantajı ise veriminin kullanılan malzemenin karakteristiğine göre değişmekle birlikte %65-80 arasında olmasıdır. Yani, depolanan 10 kW enerji karşılığında 6-8 kW elektrik üretilebilmektedir.

Pompa depolamalı hidroelektrik sistemlerin öncülerinden olan Japonya'da nehirler üzerine birçok irili, ufaklı sistem inşa edilmiştir. Ancak ülke, çevre koruma örgütlerinin raporları ve uygun yer bulunamaması nedeniyle son dönemde deniz suyundan faydalanarak pompa depolamalı hidroelektrik sistemlerin yapımına yönelmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Okinawa 30 MW pompa depolamalı HES

Dünya üzerinde Japonya başta olmak üzere birçok ülkede 100.000 MW'ın üzerinde pompa depolamalı hidroelektrik sistem mevcuttur. Bu ülkelerin birçoğu zengin fosil kaynaklara sahip olmakla birlikte pompa depolamalı hidroelektrik sistemlerine yenilerini eklemeyi planlamaktadır. Günümüzde var olan 100.000 MW üstü pompa depolamalı

hidroelektrik sistemler, dünya elektrik üretim kapasitesinin %3'üne karşılık gelmekle birlikte sistemde kullanılan malzemelerin uygun seçilmesi halinde verim daha fazla artacak uygun motor ve bölümlendirmeler ile titreşimler azaltılarak sistemin kullanım yılı artırılmış olacaktır.

Türkiye'de ise EİE Genel Müdürlüğü tarafından pompaj depolamalı santral çalışmalarına ilk kez 2005 yılında başlanmıştır. Bu maksatla, çeşitli seviyelerde proje çalışmaları yapılmış ve 17 adet ilk etüt seviyesinde pompaj depolamalı hidroelektrik santral raporu hazırlanmıştır (Tablo 2).

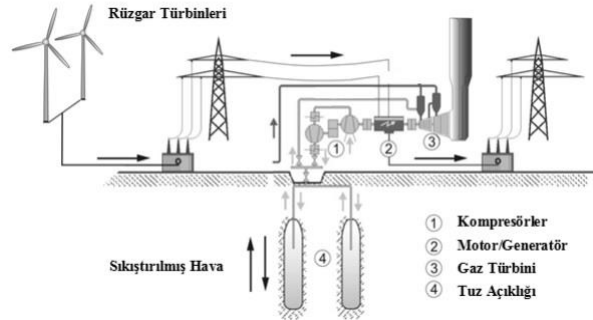
Tesis Adı	Kurulu Gücü [MW]	İli	Türü	Proje Debişi [m ³ /s]	Duğu [m]
Gökçekaya PHES	1600	Eskişehir	Mevcut baraj gölüne entegre	193	962
İznik I PHES	1500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	687	255
Sarıyar PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	270	434
Bayramhacılı PHES	1000	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	720	161
Hasan Uğurlu PHES	1000	Samsun	Mevcut baraj gölüne entegre	204	570
Adıgüzel PHES	1000	Denizli	Mevcut baraj gölüne entegre	484	242
Burdur PHES	1000	Burdur	Tamamen yeni yatırım	316	370
Eğirdir PHES	1000	Isparta	Tamamen yeni yatırım	175	672
Karşı PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	238	496
Karacaören II PHES	1000	Burdur	Mevcut baraj gölüne entegre	190	615
Yalova PHES	500	Yalova	Tamamen yeni yatırım	147	400
Yamula PHES	500	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	228	260
Oymapınar PHES	500	Antalya	Mevcut baraj gölüne entegre	156	372
Aslantaş PHES	500	Osmaniye	Mevcut baraj gölüne entegre	379	154
İznik II PHES	500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	221	263
Demirköprü PHES	300	Manisa	Mevcut baraj gölüne entegre	166	213

Tablo 2. EİE tarafından çalışılmış olan PDHES'ler

2.2. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama

Sıkıştırılmış hava enerji depolama yöntemi (compressed air energy storage-CAES) dalgalanmalı ve süreksiz yenilebilir enerji kaynaklarının (rüzgar vb.) esnek bir enerji sisteminde daha verimli değerlendirilmesine katkıda bulunabilen bir teknolojidir.

Sıkıştırılmış hava depolama yöntemi mevcut gaz türbini teknolojisinin geliştirilmiş bir şeklidir. Bu yöntemde özellikle talep fazlası oluşan rüzgar elektrik enerjisi havanın kompresörlerde sıkıştırılarak yeraltında depolanması için kullanılabilir. Elektrik şebekesinde oluşabilen pik talep saatlerinde hava ısıtmakta ve gaz yanma türbininde doğal gaz- basınçlı hava karışımı elektrik üretimi için beslenmektedir. Sadece doğal gaza dayalı bir elektrik üretim tesisinde enerjinin yaklaşık 2/3'ü havanın sıkıştırılması için kullanıldığından fiili üretime yansımamaktadır. Yeraltı tuz açıklıklarında sıkıştırılmış hava depolama tesisinin şematik görünümü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Sıkıştırılmış hava depolama tesisinin şematik görünümü

Dünyada iki adet sıkıştırılmış hava depolamalı doğal gaz elektrik üretim tesisi işletilmektedir. Tesisler ile ilgili özet bilgiler Tablo 3’de verilmiştir. Havanın ısıtılmasında ihtiyaç duyulan enerjinin kısıtlanması için ısı depolamalı adyabatik sıkıştırılmış hava depolama (ACAES) konseptleri üzerinde çalışılmaktadır. CAES tesislerinde genel verimlilik %42-54 civarında oluşurken, ACAES tesisleri ile enerji verimliliğinin %70 seviyelerinde gerçekleşeceği belirtilmektedir.

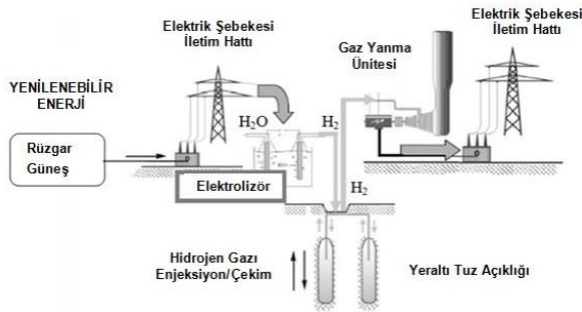
Konum	Huntorf-Almanya	McIntosh-ABD
İşletme Başlangıcı	1978	1991
Depo türü	Tuz açıklığı	Tuz açıklığı
Depo hacmi	2 x 150 000 m ³	538 000 m ³
Depo derinliği	600-800 m	450-750 m
Enerji ihtiyacı	0.8 kWh elektrik	0.69 kWh elektrik
(1 kWh eşdeğer elektrik için)	1.6 kWh gaz	1.17 kWh gaz
Hava basınç aralığı	50-70 bar	45-76 bar
Çıkış gücü	290 MW 2 saat süresince	110 MW 26 saat süresince

Tablo 3. Tuz açıklıklarında sıkıştırılmış hava depolama tesisleri ile ilgili özet bilgiler ve karşılaştırılması

2.3. Sıkıştırılmış Hidrojen Gazı Depolama

Hidrojen kimyasal olarak metallerde hidrür, düşük sıcaklıkta sıvı veya sıkıştırılmış gaz şeklinde depolanabilmektedir. Yeraltında uygun jeolojik formasyonlarda büyük ölçekli sıkıştırılmış hidrojen gazı depolama uygulamalarından, hidrojen talep dalgalanmalarını karşılamak ve rüzgar, güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin depolanması ve hidrojenden yeniden elektrik üretmek için yararlanılabilmektedir.

Verimli bir hidrojen depolama uygulaması için derin (> 1000 m) yeraltı tuz açıklıklarında hidrojen gazı 20 MPa (200 bar) ve üstü değerlere sıkıştırılmaktadır. Yenilenebilir enerji (rüzgar, güneş) ve sudan elektrolizör ile hidrojen üretimi ve yeraltı tuz açıklıklarında depolama sisteminin şematik görünümü Şekil 5’de verilmiştir. Sistemin ana bileşenleri, yenilenebilir enerji üretimi için rüzgar türbini veya fotovoltaik modüller, sudan hidrojen ve oksijen üretimi için elektrolizör, kompresörlü gaz enjeksiyon ve çekim üniteleri, elektrik enerjisi üretimi için hidrojen gaz yakma ünitesinden oluşmaktadır.



Şekil 5. Sıkıştırılmış hidrojen gazı depolama sisteminin şematik görünümü

Günümüzde dünyada üç adet büyük ölçekli hidrojen gazı depolama tesisi işletilmekte olup, tamamı yeraltı tuz açıklıklarında bulunmaktadır. Yeraltı depolama açıklıkları gaz sanayisinin pik taleplerini güvence altına almak amacıyla işletilmekte ve dağıtım hidrojen boru hatları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İngiltere ve ABD’de işletilen tesisler ile ilgili özet bilgiler Tablo 4’de verilmiştir.

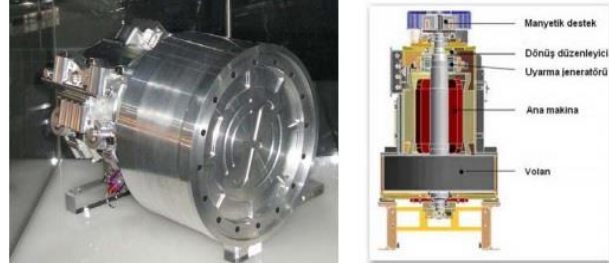
Konum	Teeside-İngiltere	Chevron, Texas-ABD
Depo türü	Tuz açıklığı	Tuz açıklığı
Depo hacmi	3 x 150,000 m ³	580,000 m ³
Depo derinliği	≈ 370 m	850-1150 m
Gaz basıncı	45 bar* (sabit)	70-135 bar*
Enerji	24.4 GWh	83.3 GWh

* 10 bar ≈ 1 MPa

Tablo 4. Yeraltında hidrojen gazı depolama tesisleri ile ilgili özet bilgiler ve karşılaştırılması

2.4. Volan

Volan, mekanik sistemlerde darbeli çalışan yüklerde, tahrik gücünün fazla olduğu periyotlarda fazla enerjiyi üzerine alır, yük talebinin arttığı periyotlarda bu enerjiyi yüke aktararak yük dengelemesi yapar. Özellikle doğrusal hareketin dönme hareketine çevrildiği mekanik tahrik sistemleri için ideal bir çözümdür. Bu kapsamda volan, mekanik bir batarya görevi üstlenmektedir. Günümüzde önemli bir teknik haline gelmesinin nedeni ise yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin ve düşük kayıplı rulmanların geliştirilmiş olmalarıdır. İlk uygulamalarda doğrudan mekanik enerjiyi depolayıp, ihtiyaç halinde kinetik enerji olarak vermekteyken, günümüzde gelişen teknoloji sayesinde elektrik – mekanik dönüşümlerinin yapıldığı uygulamalar ile verimleri artıran kullanım alanları gittikçe yaygınlaşmaktadır. İlk kullanıma girdiği şekliyle, mekanik – mekanik dönüşümleri sadece döner bir demir kütlelerinden ibaret iken, günümüzde mekanik – elektrik dönüşümlerde daha hafif malzemelerden yapılmış döner kütlelerden oluşurlar. Girişinde enerjiyi elektrik enerjisi olarak alır ve motor çalışmayla kinetik enerjiye dönüştürür. İhtiyaç halinde bu enerjiyi jeneratör çalışmayla tekrar elektrik enerjisi şeklinde çıkış olarak verir. Şekil 6.’da modern yüksek hızlı volan sistemi verilmiştir.

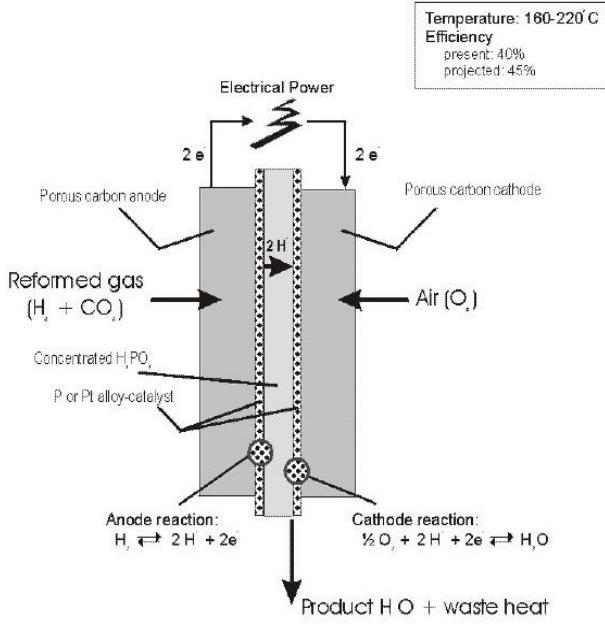


Şekil 6. Modern yüksek hızlı volan sistemi

2.5. Hidrojen Enerjisi ve Yakıt Hücreleri

Yakıt pili teknolojisi askeri, taşınabilir, konutsal, uzay, sabit güç ve ulaşım araçlarında kullanılabilmektedir. Tüm yakıt pili tipleri yakıt olarak saf hidrojen gerektirmektedir. Hidrojen ise birçok farklı yoldan ve yakıt kaynağından üretilmektedir. Bunların başında suyun elektrolizi ve doğal gaz veya alkol gibi hidrokarbon yakıtlardan yakıt işleme (reforming) gelmektedir. Birtakım yakıt pilleri halen gelişmektedir. Bunlar genellikle kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılmaktadır. Şu anda üzerinde çalışılan başlıca yakıt pili türleri şunlardır:

1. Proton değişim zarlı yakıt hücresi (PEMFC)
2. Alkalın yakıt hücresi (AFC)
3. Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC)
4. Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC)
5. Katı oksit yakıt hücresi (SOFC)
6. Direkt metanol yakıt hücresi (DMFC)



Şekil 7. Fosforik asit yakıt pili şematik gösterimi

PAFC, en gelişmiş ticari yakıt pili tipidir. PAFC, hastaneler, oteller, resmi daireler, okullar şebeke güç istasyonları ve hava alanı terminalleri gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. PAFC, içten yanmalı motorların %30 verimine karşılık eğer atık ısı kojenerasyon ile kullanılırsa yaklaşık %85, kullanılmazsa %40 ve daha fazla verim elektrik üretir. İşletim sıcaklığı 200°C dir.

Bu yakıt pillerinin iyi taraflarından birisi de çalışma kolaylıklarıdır. İletken karbon üzerinde çökelmiş olan plantiyumdan oluşmuş anotta, hidrojen gazı elektrokatalitik olarak hidrojen iyonlarına yükseltgenmiştir. Bu pil yaklaşık olarak 70-80°C sıcaklığında çalışmaktadır. Aside dönüştürülmüş floropolimerden yapılmış elektrolit membrandan protonlar geçer. Katod, içerisinde havadan gelen O₂ 'nin elektrokatalitik olarak indirgendiği ve üzerinde plantiyum çökelmiş karbondan oluşmaktadır. Burada proton ve oksijenler birleşerek su ve ısı açığa çıkarılır. Açık çevrim voltajı veya teorik maksimum voltaj, değerine ulaştığı başlangıç noktasında güç maksimum değerine ulaşır.

3. Sonuçlar

Birçok enerji depolama sistemi geliştirilmiş olmasına rağmen hiç biri bütün uygulamaların ihtiyaç duyduğu özelliklere tam olarak sahip değildir. Kullanılacak bir uygulamada hangi depolama teknolojisinin seçileceği teknolojilerin sahip olduğu ortak anahtar özelliklerin karşılaştırılması ile belirlenebilir. Uygulamadaki sistem sayısının azlığı ve bazı teknolojilerin ticari olarak olgunlaşmamış olmaları nedeniyle birtakım ön kabullerde bulunmak gerekmektedir.

Depolama teknolojileri birbirlerinden teknik olarak özgül enerji, özgül güç değerleri, enerji kapasitesi ve maksimum depolama süresi bakımlarından farklılık gösterirler. Ekonomik açıdan ise işletme ve kurulum maliyetleri büyük değişiklikler arz eder. Yeni bir seçim yapılacağı zaman her bir enerji depolama sisteminin ilgili uygulamaya uygunluğu dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir.

Tablo 5'de enerji depolama sistemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu çizelgedeki verilere göre

basıncılı hava depolama yöntemi yatırım maliyeti açısından en ekonomik yöntemdir. Kapasite ve ömür dikkate bakımından ise en ideal yöntem hidroelektrik depolama yöntemidir. Tablo 6'da ise enerji depolama sistemlerinin avantajları – dezavantajları verilmiştir.

Depolama Yöntemi	Yakıt Hücresi	Volanlar (Düşük Hız)	Volanlar (Yüksek Hız)	Hidroelektrik Depolama	Basıncılı Hava Depolama
Yatırım Maliyeti/ MWh	\$ 15.000	\$ 300.000	\$ 25.000.000	\$ 7.000	\$ 2.000
Ağırlık/ MWh	30 kg	7.500 kg	3.000 kg	-	2,5 kg
Verim	0,45-0,8	0,9	0,93	0,8	0,85
Bakım Maliyeti/ MWh	\$ 10	\$ 3	\$ 4	\$ 4	\$ 3
Kapasite	0,3-2.000 kWh	50 kWh	750 kWh	22.000 kWh	2.400 kWh
Ekonomik Ömrü	10 yıl	20 yıl	20 yıl	40 yıl	30 yıl

Tablo 5. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması

Depolama Tipi	Güçlü Yönleri	Zayıf Yönleri
Pompa Depolamalı Hidroelektrik Sistemler	Oturmuş bir teknoloji olması Çok uzun ömürlü olması Düşük Self-Deşarj Verimliliğinin iyi olması	Düşük enerji yoğunluğu Coğrafi kısıtlar Yüksek yatırım maliyeti Yatırım geri dönüş süresinin uzun olması
Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama Sistemleri	Nispeten maliyetinin düşük olması Karbon ayak izinin düşük olması Uzun ömürlü olması Düşük Self-Discharge	Coğrafi kısıtlar Yüksek yatırım maliyeti Termal depolamada yüksek Self-Deşarj Yatırım geri dönüş süresinin uzun olması
Sıkıştırılmış Hidrojen Gazı Depolama	GWh mertebesinde uzun süreli enerji depolayabilme	Verimliliğinin düşük olması
Volan	Hızlı şarj kapasitesi Bakım ihtiyacının az olması Uzun ömürlü olması Yüksek enerji yoğunluğu	Vakum haznesi gerekliliği Güvenlik problemleri Çok yüksek Self-Deşarj Yüksek maliyet
Hidrojen Enerjisi ve Yakıt Hücreleri	Geniş güç aralığı kapasitesi Yüksek enerji yoğunluğu	Dönüş verimliliğinin düşük olması Nispeten maliyetinin yüksek olması

Tablo 6. Enerji depolama sistemlerinin avantajları- dezavantajları

4. Kaynaklar

- [1] Saraç M. (2009) Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, FORUM 2009 Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri, 13-15 Kasım 2009, Trabzon,
- [2] Mazman M., Biçer E., Kaypmaz C., Yıldız A., Uzun D., Tırıs M. (2010) Yenilenebilir enerji için elektrik enerjisi depolama teknolojileri, Solar Future 2010 Bildiriler Kitabı, s. 113-118.
- [3] Crotagino F. (2010) Grid scale energy storage based on pumped hydo, compressed air and hydrogen, KBB Underground Technologies.
- [4] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü İlk Etüt Raporları, 2008
- [5] Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A. and Efthimiou, V., 2009. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7), 1512-1522.

- [6] İbrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J., 2008. Energy storage systems-Characteristics and Comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 11221-1250.
- [7] Liu, H., Jiang, J., 2007. Flywheel energy storage-Anusswing technology for energy sustainability. *REnergy and Building*, 39(5), 599-604 .
- [8] Meiwes H. (2009) Technical and economic assessment of storage technologies for powersupply grids. *Acta Polytechnica* ;49(2-3):34-9.
- [9] Kepplinger J, Crotogino F, Donadei, S, Wohlers M. (2011) Present trends in compressed air energy and hydrogen storage in Germany. *Solution Mining Research Institute SMRI Fall 2011 Conference*, York, United Kingdom.
- [10] Crotogino F, Mohmeyer KU, Scharf R (2001) *Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful Operation*, Solution Mining Research Institute SMRI Spring 2001 Meeting, Florida.
- [11] BINE (2007) *Compressed air energy storage power plants*. Projektinfo 05/07.
- [12] Crotogino F, Donadei S, Bünger U, Landinger H. Large-scale hydrogen underground storage for securing future energy supplies. *Proceedings of 18th World Hydrogen Energy Conference (WHEC2010)*, Essen, Germany.
- [13] Leighty WC. (2007) *Running the world on renewables: hydrogen transmission pipelines with firming geologic storage*. Solution Mining Research Institute SMRI Spring 2007 Meeting, Basel, Switzerland.
- [14] Hubner S, Crotogino F, Zander-Schiebenhofer D. (2008) *Druchluftspeicher Kraftwerke zum Ausgleich fluktuierender Windenergie*. Tagung Erneuerbare Energien 2008-Chancen und Perspektiven, KBB Underground Technologies, Potsdam, Germany.
- [15] Bryan, B. P., Andrews, J. A., 2004, "Advence in Flywell Energy Storages Systems", Tezas.
- [16] JENS R.Rostrup-NIELSEN and THOMAS Rostrup-Nielsen,"Large Scale Hydrogen Production" ,CATTECH, Volume 6, No.4, 2002.
- [17] ÇETİNKAYA, M. ve KARAOSMANOĞLU, V. Yakıt Pillerinde Hidrojen Kullanımı, 3e *Electrotech*, Bileşim Yayıncılık A.Ş, 100, s. 90- 94, İstanbul, 2002.
- [18] KADIRGAN, F., *Hidrojenli YakıtHücreleri Teknolojilerinde Son Gelişmeler*, Bileşim Yayıncılık A.Ş. İstanbul, 2003.
- [19] Jiang, Jian, et al. "Recent Advances in Metal Oxidebased Electrode Architecture Design for Electrochemical Energy Storage." *Advanced materials* 24.38 (2012): 5166-5180.