

## ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Mehmet KOZAK\*, Şerife KOZAK

### ÖZET

Bu çalışma kapsamında enerji depolama ve enerji depolama yöntemlerinin teorik olarak araştırılması planlanmıştır. 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 amaçlamaktadır. Ülkemizde ve Dünyada enerji kaynaklarının sınırlı olması ve giderek azalması sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ve üretilen enerjinin depolanması çok büyük önem arz etmektedir. Enerji çok değişik formlarda depolama yöntemleri vardır. Örneğin biyolojik depolama, kimyasal depolama, ısı depolama, elektriksel depolama, potansiyel enerji, yerçekimi potansiyel enerjisi, kinetik enerji vb. bu çalışmada bunlardan başlıca enerji depolama yöntemleri olan kimyasal, mekaniksel, ısı ve elektriksel enerji depolama yöntemleri ele alınmıştır. Bu çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalar ve standartlar açısından, literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Enerji Depolama, Enerji Depolama Yöntemleri, Elektrik Enerji Depolama, Kimyasal Enerji Depolama, Isıl Enerji Depolama, Mekanik Enerji Depolama

## ENERGY STORAGE METHOD

### ABSTRACT

The study of energy storage and energy storage methods, theoretical investigation. 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. There are many different forms of energy storage methods. For example, biological storage, chemical storage, heat storage, electrical storage, potential energy, gravitational potential energy, kinetic energy, and so on in this study is one of the main energy storage methods of chemical, mechanical, thermal and electrical energy storage methods discussed. This work has been previously, in terms of studies and standards regarding this contribution to be.

**Keywords:** Energy, Energy Storage, Energy Storage Methods, Electric Energy Storage, Chemical Energy Storage, Thermal Energy Storage, Mechanical Energy Storage

---

\* Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 7. Bölge Yol Müdürlüğü, Afyonkarahisar/TÜRKİYE Eposta: mehmetkozak@tcdd.gov.tr

## 1. Giriş

Yararlı iş yapabilme yeteneğine enerji denilmektedir. Birçok farklı enerji türü bulunmaktadır. Bunlardan önemli olan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

**Mekanik Enerji:** Faydalı iş yapabilen hareket enerjisine denilmektedir. Hareket enerjisi (kinetik enerji) bir iş yaptığında mekanik enerji olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik santrallerinde türbine çarpan suyun mekanik enerjiye dönüştüğü gibi pense ile kablo keserken, tornavida ile vida sıkarken vb. durumlarda da mekanik enerji üretilmiş olmaktadır. Elde edilen mekanik enerji ile her hangi bir iş yapılabileceği gibi elektrik enerjisi de üretilmektedir.

**Isı Enerjisi:** Kömür, petrol, linyit, doğalgaz gibi yakıtların yakılmasıyla ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Elde edilen ısı enerjisi ilk önce türbinler yardımıyla mekanik enerjiye, daha sonra da jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Evlerimizde, kışın ısınmak, mutfak ve banyoda sıcak su elde etmek, yemek pişirmek için ısı enerjisinden sıkça faydalanılmaktadır.

**Kimyasal Enerji:** Kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji adı verilmektedir. Günlük hayatımızda sıkça kullandığımız pil ve aküler kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Pil ve akülerde elektrik enerjisinin depolanması kimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Kimyasal enerji; mekanik, ısı ve ışık enerjisine dönüştürülebilmektedir.

**Nükleer Enerji:** Uranyum, Plütonyum gibi ağır atomların bölünmesi veya helyum, hidrojen, lityum gibi hafif çekirdeklerin birleşmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Günümüzde birçok ülke, nükleer enerjiden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla faydalanmaktadır.

**Yerçekimi Enerjisi:** Yerçekimi sonucunda faydalı iş yapılmasını sağlayan enerjiye yerçekimi enerjisi adını vermekteyiz. Örneğin akmakta olan bir nehir barajdan yerçekimi kuvveti ile aşağı düşerken türbin kanatlarına çarparak, türbini dönmeye sebep olmakta ve elektrik enerjisinin oluşmasını sağlamaktadır.

**Elektrik Enerjisi:** Cisimlerin atom yapısındaki elektronların hareket etmesiyle oluşan kuvvete elektrik enerjisi adı verilmektedir. Elektrik enerjisi maddeye ait bir özelliktir. Gözle görülmez fakat tesiriyle hissedilir. Elektrik enerjisini bugün geceleri aydınlatma için ve ayrıca televizyon, çamaşır makinesi gibi ev aygıtlarını çalıştırmak için sıkça kullanılmaktadır.

Enerji kullanıldığında, bir tür enerjiden diğer bir türe dönüşmektedir. Örneğin, barajlarda düşmekte olan suyun yerçekimi enerjisi, türbini döndürdüğünde mekanik enerjiye dönüşmektedir. Bu mekanik enerji, dönen türbinin ucunda bulunan jeneratörde elektrik enerjisine dönüşmektedir. Elektrik enerjisi daha sonra evlerimizde kullanılırken farklı enerji türlerine dönüşmektedir (Anonim, 2012).

## 2. Enerji Depolamanın Önemi

Günümüzde, artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji ihtiyacı ülkemizin kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark hızla

büyümektedir. Bu durumda, mevcut enerji kaynaklarımızdan daha etkili bir biçimde yararlanmak giderek artan bir önem kazanmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanması için, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyacı karşılayacak en uygun dönüşümlerin geliştirilmesi yararlı olacaktır (Sarı, 2011).

Günümüzde dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğal gaz ve petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır. Bunun yanı sıra dünyadaki enerji ihtiyacı her geçen gün artış göstermekte, bu durum da konvansiyonel yakıt ihtiyacını giderek arttırmaktadır. Öte yandan bahsi geçen konvansiyonel yakıtların rezervleri dünya üzerinde sınırlıdır ve artan enerji ihtiyacına bağlı olarak giderek tükenmektedir. Bu durum da gelecekteki üretim/tüketim dengesinin sağlanmasını tehlikeye düşürmektedir. Bütün bunların yanı sıra konvansiyonel yakıtların kullanılması, sera gazı salınımının önemli oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek önemli sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu açıdan günümüzde başta güneş ve rüzgar tabanlı sistemler olmak üzere alternatif ve yenilenebilir enerji sistemleri, çevre dostu ve sürdürülebilir bir işletim sağladıklarından dolayı gelecek açısından önemli olarak değerlendirilen enerji kaynakları konumundadırlar (Hadjiposcholis vd., 2009).

Ancak bahsi geçen alternatif enerji kaynaklarının birçoğu doğa koşullarına son derece bağımlı durumdadır. Bu nedenle bu kaynaklar ile üretilen enerji sezonluk, günlük ve hatta anlık olarak bile büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu durum da üretilen enerjinin genel enerji talebi ile tam olarak örtüşmemesine neden olabilmektedir. Bu açıdan, yükün enerji ihtiyacının her durumda başarı ile karşılanabilmesi için enerji depolama üniteleri oldukça büyük öneme sahiptirler. Bahsi geçen alternatif kaynaklardan üretilen fazla enerji farklı tür enerji depolama ünitelerine aktarılmakta, depolanan bu enerji ise ana kaynakların mevcut olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda yük talebinin karşılanmasında kullanılmaktadır. Özellikle şebekeden bağımsız uygulamalar için enerji depolama ünitelerinin araştırılması ve incelenmesi oldukça büyük önem arz etmektedir (İbrahim vd., 2008).

### 3. Enerji Depolamanın Amacı ve Faydaları

Bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolama (örneğin sanayi ve endüstrideki atık ısının depolanması gibi), diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (örneğin; güneş enerjisi gibi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermeye amaçlamaktadır.

Bu sayede enerji sistemlerinin verimi artırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Örneğin; kış aylarında ısı enerjinin depolanarak yeniden kullanılması; ısıtma sistemlerinde % 22 yaz aylarında aynı yöntemle iklimlendirme sistemlerinde ise % 40'a varan oranda bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılmaktadır. Böylece, değerli olan fosil yakıt rezervleri (kömür, petrol ve doğal gaz gibi) muhafaza edilmiş olacaktır.

Enerji üretimi için kullanılan yakıtların çevreye verdiği zararın önüne geçilmesinde önemli rol oynar. Daha az fosil yakıt tüketilmesine bağlı olarak çevreye yayılan sera gazı miktarının azalması sağlanacak ve böylece daha temiz bir hava solunmuş olacaktır. Ayrıca bu sayede küresel ısınmaya karşı önemli ölçüde destek sağlanmış olacaktır. Elektrikle ısıtılan evlerde gece boyunca tüketilen enerjinin fazlasının depo edilerek gündüz saatlerinde ısıtma

sistemlerinin daha az kullanılması, gündüz kullanılan enerjinin gece kullanılanından daha pahalı olmasından dolayı bireysel ekonomiye de katkı sağlayabilir. Ülkemizin fosil yakıtlar bakımından dışa bağımlılığı da düşünüldüğünde, enerji depolamayla sağlanacak enerji tasarrufunun ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacağı aşikârdır. Enerji depolama konusundaki çalışmalar yalnızca bizim gibi enerji ihtiyacında dışa bağımlı ülkelerde değil, çok sayıda gelişmiş ülkelerde de rağbet görmektedir (Sarı, 2011).

#### 4. Enerji Depolama Yöntemleri

Enerjinin istendiği zaman ve istenilen yerde kullanılmaya hazır olması istenir. Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya depolama denir. Bu depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir. Örneğin doğal ekolojide biyokütle hayvanlar ve parazitler için bir enerji deposudur. Bir depoda aranan özellikler; yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj/deşarj verimi, kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması, uzun ömür, ucuzluk, enerji yoğun olması (kWh/kg veya kWh/litre). Yani enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilmelidir. Enerji çok değişik formlarda depolama yöntemleri vardır. Örneğin biyolojik depolama, kimyasal depolama, ısı depolama, elektriksel depolama, potansiyel enerji, yerçekimi potansiyel enerjisi, kinetik enerji vb. bunlardan başlıca enerji depolama yöntemleri olan kimyasal, mekaniksel, ısı ve elektriksel enerji depolama yöntemleri ele alınmıştır (Boztepe, 2006).

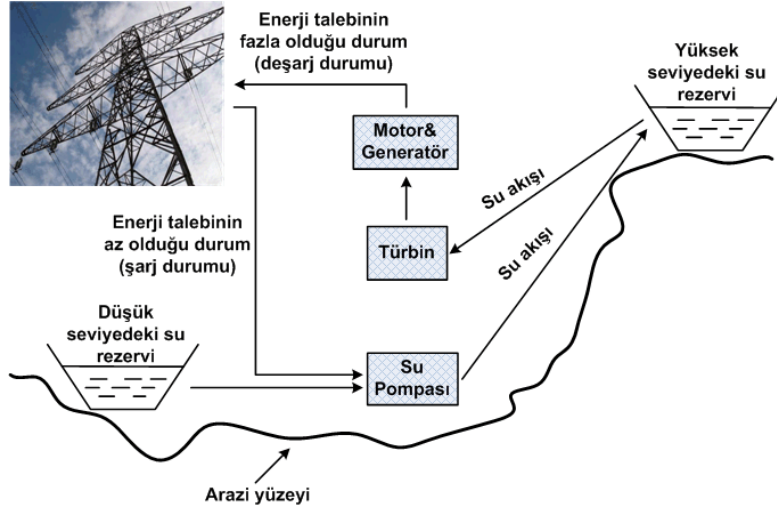
##### 4.1. Kimyasal Enerji Depolama

Enerji kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda depolanabilir ve exotermik reaksiyonlarla tekrar kazanılabilir. (NOT: ısı açığa çıkan reaksiyonlara exotermik denir) Bunun için bazen bir katalizör (Isı, enzim vs.) kullanmak gerekebilir. En çok kullanılan yöntemler; hidrojen ve amonyaktır.

Hidrojen gazı elektroliz yoluyla sudan elde edilebilir. Gaz depolanabilir, taşınabilir ve yakılarak depoladığı enerji açığa çıkarılabilir. Yanma sonucu açığa çıkan egzoz sadece sudur ve çevre dostudur. Günümüzde kullanılan hidrojenin büyük bölümü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Elektroliz ise yeni bir yöntemdir ve ~%60 verimi vardır. Elektroliz sırasında çıkan baloncuklar elektrotların iletkenliğini azaltarak kayıpları arttırmaktadırlar. Bu engellenerek verim %80'lere çıkarılabilmektedir. Hidrojenin depolanması basit değildir. Yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. Sıvı halde depolamak için (donma noktası 20°K (-253°C) olduğundan) sürekli soğut tutmaya ihtiyaç vardır. Metal hidritler olarak depolanırsa hem ısıtarak kolayca enerji geri kazanılabilir hemde büyük hacimler depolanabilir. Bu şekilde mobil araçlara enerji deposu olarak kullanılabilir. Tek sorun kullanılacak metalin ağırlığı ve maliyetidir. Ayrıca yakıt hücresi ile havadan hidrojen ve oksijen elde edilebilmektedir (Boztepe, 2006).

##### 4.2. Mekaniksel Enerji Depolama

**Hazneli Pompalı Sistemler:** Ticari hayatın tümünde şu an itibarıyla kullanılmakla beraber en eski ve en büyük enerji depolama teknolojisi olan hazneli pompalı sistemler, mevcut donanımlarla kapasitesi 1000 MW veya üzerinde olabilmektedir. Ayrıca, geleneksel hazneli pompalı sistemlerde dikey şekilde konumlanmış iki adet su rezervuarı bulunmaktadır. Şekil 1.'de de görüldüğü gibi enerji, düşük rezervuardan yüksek rezervuara çıkarılarak depolanır. Daha sonra, ihtiyaca göre düşük rezervuardan enerji geri çekilebilir. Bu haliyle depolanmış enerji, fiziğin önemli prensiplerinden olan potansiyel enerjiye dönüştürülmektedir. Şekil 1.'de tipik bir pompalanmış su tabanlı enerji depolama ünitesinin şematiği verilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir pompalanmış su tabanlı enerji depolama ünitesinin şematiği

Hazneli pompalı sistemler ne kadar mekanik depolama teknolojisi olarak anılsa da en fazla elektrik üretim amacıyla kullanılmaktadır. Elektriğin çok az kullanıldığı zamanlarda su düşük seviyeden yüksek seviyeye pompalanarak enerji depolanır ve ihtiyaç olduğu zamanlarda tekrar elektrik üretilebilir. Bazı seviyesi yüksek hidrolik barajlarda hazneli pompalı sistemler kullanarak depolama kapasiteleri artırılır böylece üretecekleri enerji miktarı arttırır. Yeraltı Hazneli Pompalı Sistemler akışı için mağara veya maden oyukları kullanılır ancak bu yol pahalıdır. Açık denizde eğer uygun bir yer varsa alçak rezervuardan yüksek rezervuara deniz suyu taşınarak kullanılabilir.

1999 yılında Japonya'nın Yanbaru kentinde 30 MW'lık deniz suyu pompa santrali kurulmuştur. Hazneli pompalı büyük ölçekli santrallerdedeşarj olma süresi birkaç saatle birkaç gün arasında değişmektedir. Günümüzde dünyada 90 GW'ın üzerinde hazneli pompalı depolama sistemleri çalıştırılmaktadır ve yaklaşık olarak dünya elektrik üretim kapasitesinin %3'üne karşılık gelmektedir. Hazneli pompalı depolama sisteminin en olumsuz tarafı coğrafi olarak uygun yerlerin az olması bunun yanında kurulum süresinin ve maliyetinin yüksek olması denilebilir. Ayrıca hazneli pompalı depolama sisteminin uygun maliyetli olabilmesi için çok büyük depolama kapasitesine sahip olması gerekir. Ancak birçok enerji üretim santralinde depolama sistemi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde hazneli pompalı depolama sisteminin verimliliği % 80 civarındadır. Uygun motor ve bölümlendirmeler ile titreşimler azaltılarak sistemin kullanım süresi de arttırılabilir (Linden vd., 2002).

**Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama:** Hava enerjisi 19yy.dan beri maden ocaklarındaki güç lokomotiflerinde, bir zamanlar da savaş gemilerinin torpidolarına itici güç sağlanmasına temel teşkil etmiştir. Hava enerjisi ve bu enerjiyi kullanma fikri pek de yeni sayılmaz (Christopher vd., 2004).

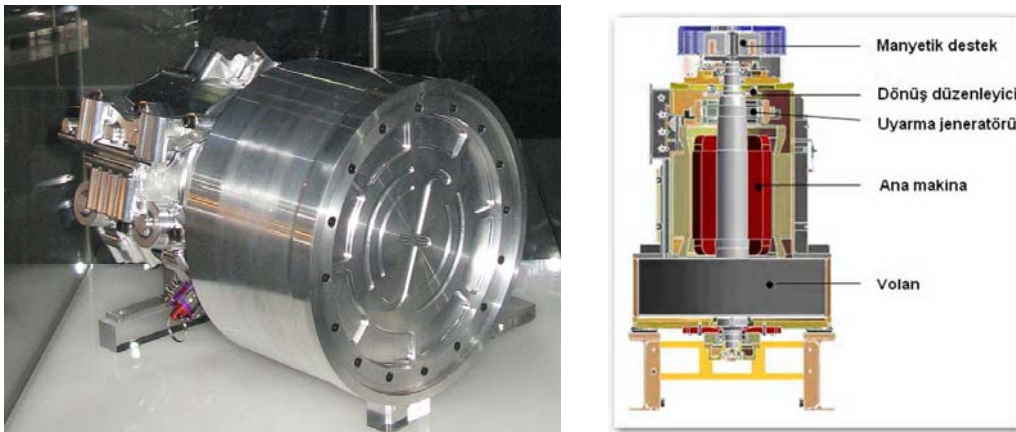
Sıkıştırılmış havayı depolama sistemi, bir hava depolanma tankının içinde enerjinin yoğun kullanımının gerektirmediği yani düşük kullanım olduğu zamanlarda bir kompresör vasıtasıyla enerjinin depolanmasını sağlar. Enerji türbinine takılmak üzere, jeneratör için gerekli biri yükleme komutu ve diğeri de boşaltma komutu olacak şekilde çifte komut vermek amacıyla sızdırmayan özel bir tutacak gereklidir. Üç rezervuar çeşidi genellikle şunları içerir: doğal yeraltı kaynakları, erimiş tuz solüsyonları ve kayalardan oluşan fiziksel oluşumlar. Şarj olma esnasında, sıkıştırılmış hava rezervuara gönderilirken santral jeneratörü kompresör ile

tersine hareket ederek mekanik enerji ihtiyacı sağlar. Santral deşarj olduğu zamanlarda ise sıkıştırılan hava içten yanmalı türbinleri çalıştırmak için kullanılır ve bu süreçte doğal gaz yakılarak aynı yolla türbinler hareket ettirilerek elektrik üretilir (Schainker, 1990).

Bir CAES santralının depolama net verimliliği sıkıştırmada meydana gelen sıcaklıktan dolayı sınırlanır. Enerji depolama verimliliği yaklaşık %75 civarındadır. CAES tesisleri, yanma olmadan çalıştırılmaz çünkü egzoz havası çok düşük sıcaklıklarda çıkacak ve bu durum malzemelerde kırılabilirlik veya donmaya sebep olacaktır. Eğer %100 yenilenebilir enerji üretimi olması istenirse, biyoyakıtlar gaz türbinlerinde kullanılabilir. Sistemden karbon salınımı, sıfır konumuna gelecektir ancak diğer emisyonlar hala salınmaya devam edecektir. Sıkıştırılan hava, yeraltında uygun olan maden ocaklarında, büyük mağaralarda, tuzlu kayaların içinde depolanabilir. İlk ticari CAES tesisi, 1978’ de Almanya’nın Hundorf şehrinde inşa edilen 290 MW’ lık bir ünedir (Yağcıtekin, 2008).

**Volanlar:** Temel, basit volanların kullanımı ile kinetik enerji depolanması yüzyıllardır uygulanmakta olan bilinen en eski yöntemlerden biridir. 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 artarken 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 (Bryan vd., 2004). Şekil 2.’de modern yüksek hızlı volan sistemi verilmiştir.



Şekil 2. Modern yüksek hızlı volan sistemi

### 4.3. Isıl Enerji Depolama

Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve atomik veya moleküler titreşimler sonucu oluşur. Isı enerjisi, maddenin iç

enerjisindeki değişme ile duyulur ısı, gizli ısı, tepkime ısısı ya da tüm bunların birleşimi olarak depolanır. Duyulur ısı depolama metodunda, depolama maddesinin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanır. Gizli ısı depolamasında, faz değişimi gösteren maddeler kullanılır. Depolamaya uygun sıcaklık aralığında depolama maddesinin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısı belirlenir. Bu amaçla belirli sıcaklıklarda ergime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan maddelerden yararlanır. Termokimyasal depolama metodunda ise ısı enerjisi bir bileşiğin bağ enerjisi olarak depolanabilir ve aynı enerji tersinir kimyasal tepkimelerle serbest bırakılabilir. Şekil 3.'de duyulur ısı depolama örneği verilmiştir.



Şekil 3. Duyulur ısı depolama

Isı enerjisi depolaması kullanım süresine göre ikiye ayrılır. Bunlar kısa süreli depolama (gece-gündüz) ve uzun süreli depolama mevsimlik (yaz-kış)'dır. Kullanım amacına ve sıcaklığına göre sıcak depolama, soğuk depolama veya her iki amaç için sıcak ve soğuk depolama yapılabilir. Uzun dönem depolama ile hedeflenen, yazın sıcaklığını depolayıp kışın kullanmak, veya kışın soğukunu depolayıp yazın kullanmaktır. Isı enerjisinin depolaması, enerjinin elde edilmesiyle kullanımı arasındaki yer ve zaman farkını kapatarak, hem ısıtma hem de soğutma için alternatif çözümler verir. Konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulanan depolama, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır.

Isı depolama, enerji verimliliği ve enerjinin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir ve uygulama açısından kullanılmakta olan başlıca depolama yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Katılarda depolama
- Sıvılarda depolama
- Mevsimsel depolama
- Kimyasal depolama
- Faz değişimli maddelerle depolama

Depolamanın yapılabilmesi için bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Bu ısı kaynağı bir santralin atık ısısı olabileceği gibi güneş enerjisi, jeotermal enerji vb. ısı kaynaklı sistemler olabilir. Güneş enerjisi zamana bağlı olarak değişim gösteren ve kesikli yapıya sahip bir enerji türüdür. Bu özelliği nedeni ile güneş enerjisine bağlı olarak çalışan sistemlerin yük faktörü kesikli yapıya sahip enerji türlerine göre daha düşüktür. Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin depolanması ile yük faktörü artmakta, bunun sonucunda da sistemlerin geri ödeme süreleri kısalmakta ve sistemler ekonomik hale gelmektedir.

Bu depolama işleminin gerçekleştirilmesinde birçok parametre etkin olmaktadır. Depolama işlemi için seçilecek ortam, yapılacak işlem türü ile doğrudan ilgilidir. Örneğin, su ısıtma sisteminde duyulur ısı yolu ile depolama, hava ısıtma sisteminde ise çakıl taşı yatakları daha etkindir. Bir binanın pasif olarak ısıtılması işleminde ısı enerjisinin bina duvarlarında depolanması gerekir (Yılmazoğlu, 2010).

#### 4.4. Elektriksel Enerji Depolama

**Ultrakapasitörler / Süperkapasitörler:** Elektrik enerjisi kondansatörlerde depolanabilir. Kondansatörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitörler iki tane iletken plaka ile bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkanlardan oluşmaktadır. Dielektrik malzeme iki levha arasında ark oluşmasını önleyerek daha fazla şarj yapılmasına yardım eder. Klasik kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir (yaklaşık olarak  $10^{12}$  W/m<sup>3</sup>). Fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür (yaklaşık olarak 5 Wh/m<sup>3</sup>). Klasik kapasitörler genel olarak elektrolitik kapasitörler olarak adlandırılırlar. Süperkapasitörler (Ultrakapasitör diye de adlandırılır) ise klasik kapasitörlerin geliştirilmiş olanlarıdır. Bu kondansatörlerin güç yoğunlukları  $10^6$  W/m<sup>3</sup> ve enerji yoğunlukları  $10^4$  Wh/m<sup>3</sup> değerindedir. Enerji yoğunlukları az fakat deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü daha fazladır. Ancak kapasitörlerin asıl olarak boyut problemleri vardır. Kapasitörlerin kapasitesi ve dielektrik malzeme arasında lineer bir bağlantı vardır. Bu yüzden büyük kapasite gerekli olduğunda zorunlu olarak dielektrik malzeme de büyük olmak durumunda olmalıdır. Süperkasitörler yapıldıktan sonra çok büyük kapasiteler gayet küçük boyutlardaki kapasitörlerle yüksek enerji depolamaya olanak sağlanmıştır (Christopher vd., 2004).

**Süperiletken Manyetik Enerji Depolama:** Bu sistemlerde depolama şekli en basit anlatımla, süperiletken bobin içerisindeki akan akım ile oluşan manyetik alan içerisinde enerjinin depolanmasıdır. Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES) sisteminin temel olarak içinde şu bileşenler vardır; süperiletken bobin (cryostat), enerji dönüşüm sistemi (bobin içi ve dışına enerji transferi için) ve soğutma sistemidir. SMES'nin avantajları, çok yüksek verimlilik (yaklaşık %97–98), çok kısa sürede isteklere cevap verme (20–30 ms), aktif ve reaktif gücün bağımsız kullanılabilmesi, uzun ömürlü olmaları diye sıralanabilir. Yukarı da bahsedilen özellikleri ile birçok alanda kullanılan depolama tekniğidir. Özellikle elektrik şebeke sisteminde pik yüklerin karşılanması, frekans kontrolü, sistem kararlılığı ve yük akışı kontrolü gibi önemli noktalar için kullanılacak özellikleri ile diğer depolama tekniklerinden ayrılan yegâne depolama birimi denilebilir (Kuşdoğan vd., 2002).

**Yakıt Hücreleri:** Yakıt hücrelerinin geçmişi bataryalardan çok daha eskiye uzanır. İlk olarak İngiltere'de Grove tarafından 1839'da hidrojen – oksijen hücre prensibi tanıtılmıştır. Yakıt hücreleri bataryalar gibi yakıt ve yakıcılarını bünyelerinde barındırmazlar. Bunun yerine bu iki kimyasal depo edildikleri harici bir kaynaktan sürekli olarak alırlar. Oysa bataryalar yakıt ve yakıcılarını kendi içyapılarında bulundurlar. Mesela, kursun – asit pillerinin yakıtı (kursun) anotta bulundurulurken, yakıcı maddesi (kursun dioksit) katotta bulundurulur, depo edilir. Yakıt hücresi özgül enerji değeri açısından bataryalardan daha yüksek bir değeri sağlayabilirken özgül güç bakımından daha kötü bir değere sahiptir. Bunun da ötesinde, yakıt hücreleri oldukça pahalıdır (1500 \$/KW, 1999 fiyatlarıyla) ve yük değişimlerine hızla adapte olamamaktadırlar. Bu sebeplerden burada tartışılan diğer teknolojilerle karşılaştırıldıklarında yüksek güç kapasitesine sahip değildirlir (Holm vd., 2002).



**Lityum-İyon:** Günümüzde bu çeşit piller elektronik cihazların yaklaşık hepsinde kullanılmaktadır. Lityum iyon pil, yüksek enerji depolama kapasiteleri, düşük iç direnç ve %90'ın üzerinde verimliliğe sahip olmalarından dolayı kullanımları yaygındır. Teknik olarak uygun sıcaklık ve maksimum kapasitelerine dikkat edilerek çalıştırılmalı aksine halde lityum iyon pillerin verimleri azalır. Yüksek verimleri ve enerji yoğunlukları ile lityum iyon piller enerji kalitesinin önemli olduğu yerlerde, dağıtım sistemlerinde ve otomotiv alanlarında kullanım için çok uygundur. Teknik yapısı ise; pilin eksi kutbu lityum metal oksit ve artı kutbu grafik karbon tabakası ile yapılmıştır. Lityum tuzu içeren elektrotlar organik karbonatlarla çözülmektedir.

Pil şarj edilirken, katottaki lityum atomları iyonlaşır ve elektronlar ile birleşirler daha sonra lityum atomları olarak karbon tabakaları arasında depolandıkları karbonlar anot yönünde elektrolit boyunca ilerlerler. Bu süreç boşalma süresince tersine hareket eder/ettirilir. Lityum iyon pillerinin birçok avantajı vardır. Bunlar; uzun süreli kullanım ömrü, yüksek enerji yoğunluğu, küçük taşınabilir olmaları, bakım gerektirmemesi, geniş sıcaklık aralığında çalışabilme diye sıralanabilir. Dezavantajları ise yüksek kurulum maliyeti ve kapasiteden fazla şarj olma tehlikesi denilebilir (Hammerschlag vd., 2007).

**Kurşun Asit:** Kurşun asit pilleri en eski ve olgun teknolojiye sahiptir. Temel formda, negatif elektrotta kurşun içerir, pozitif elektrotta kurşun dioksit ve elektrik yalıtım tabakası bulunur. Deşarj için sulandırılmış sülfürik asit sülfat iyonları sağlar.

Güç kalitesi için düşük maliyetli depolama uygulamalarında genellikle kurşun asit piller kullanılır. Uygulamaları sınırlıdır çünkü kısa bir kullanım ömrü vardır. Kurşun asit piller otomobillerde, motosikletlerde, botlarda ve çeşitli diğer endüstrilerde, çalışma, aydınlatma ve ateşleme amacı ile kullanılır. Avantajları ise düşük maliyeti, yüksek güç yoğunluğu, düşük ve yüksek sıcaklıklarda yüksek performans, servis ağının yüksek olması ile bakımının kolay olmasıdır. Dezavantajları ise kısa süreli kullanım ömrü, enerji saklama süresinin az olması (kendi kendine deşarj olması) ve deşarj olurken depolama yapmadaki zayıflığı diye sıralanabilir (Yağcıtekin, 2008).

**Nikel-Kadmiyum:** Nikel kadmiyum pilleri kullanım olarak çok yaygın değildir ve yaklaşık olarak verimlilikleri %75'tir. Nikel kadmiyum pilleri (NiCd) kadmiyum adı verilen malzeme ile kaplıdır. Kadmiyum zehirli ağır bir metaldir ve son 30 yıla bakıldığında dünya üzerindeki kadmiyumun 2/3'ü NiCd pilleri yapımında kullanılmıştır. Kasım 2003'te Avrupa Komisyonun yeni pil direktifleri ile NiCd pillerinin %75 oranında geri kazanımı amaçlanmıştır. Ancak NiCd'dan şarj edilebilir pil yapılmasının yasaklanmak istenmesine rağmen hala kullanılmaya devam edilmektedir ve gelecek yıllarda da kullanılmaya devam edileceği öngörülmektedir. Nikel-kadmiyum pillerinin devamlı şarjda tutulup kısa süreler için kullanılması çalışma verimini azaltır. Eğer devamlı kullanılıp tam deşarj ve ardından şarj edilmiyorsa belirli aralıklarla tam olarak deşarj edilmesi gerekir, aksi halde hücrelerdeki plakalar üzerinde kristalleşme oluşur (buna aynı zamanda hafıza etkisi de denir) ve bunun sonucu olarak zamanla pilin verimi düşmeye başlar. NiCd pilleri hala çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Örneğin acil aydınlatmalar, telekomünikasyon sistemi, güneş enerji istasyonlar, uzay araçları vs. diye sıralanabilir (Broussely vd., 2007).

**Nikel-Metal Hidrit:** Nikel metal hidrit (NiMH) pillerin yüksek enerji yoğunluğu ve içlerinde çevreyi kirletmeyen bileşim ve metaller bulunması en önemli özelliğidir. Günümüz nikel-metal hidrit pili normal bir nikel-kadmiyum pille karşılaştırıldığında %40 daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Aslında bileşimleri göz önüne alındığında daha da yüksek verim elde

edilebilir ama bu kazanç ne yazık ki bazı yan etkileri de ortaya çıkardığı için tercih edilmemektedir. Hala bu piller yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ancak diğer pil teknolojileri ( lityum iyon gibi ) çıkmasıyla birlikte aynı piyasada yer almaları kendi önünde bir engel oluşturabilir. NiMH pillerin avantajlarına bakılacak olursa: Nikelkadmiyum pillerden % 30–40 daha fazla kapasite ve bunun yanında bu değerlerin çok daha üstünde bir enerji yoğunluğuna erişilebileceği de öngörülmektedir. Hafıza etkisine nikel-kadmiyum pillerden daha az eğilimlidir ve daha az sayıda periyodik deşarj-şarj döngüsü gerektiriyor. Çevre dostu - çok hafif zehirli madde içerir; geri dönüşümü kolay ve etkindir, kullanım alanları çok geniştir (Kiehne vd., 2003).

## 5. 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 bakımından 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. Çizelge 1.'de büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu çizelgedeki verilere göre basınçlı hava depolama yöntemi yatırım maliyeti açısından en ekonomik yöntemdir. Kapasite ve ömür dikkate bakımından ise en ideal yöntem hidroelektrik depolama yöntemidir.

Çizelge1. Büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması

Depolama Yöntemi	Yakıt Hücresi	Volanlar (Düşük Hız)	Volanlar (Yüksek Hız)	Hidroelektrik Depolama	Basınçlı Hava Depolama	Süperiletken Manyetik Enerji Depolama	Süper Kapasitör
Yatırım Maliyeti/ MW	\$ 15.000	\$ 300.000	\$ 25.000.000	\$ 7.000	\$ 2.000	\$ 10.000	\$ 28.000.000
Ağırlık/ MWh	30 kg	7.500 kg	3.000 kg	-	2,5 kg	10 kg	10.000 Kg
Verim	0,45–0,8	0,9	0,93	0,8	0,85	0,97	0,95
Bakım Maliyeti/ MWh	\$ 10	\$ 3	\$ 4	\$ 4	\$ 3	\$ 1	\$ 5
Kapasite	0,3-2.000 kWh	50 kWh	750 kWh	22.000 kWh	2.400 kWh	0,8 kWh	0,5 KWh
Ekonomik Ömrü	10 yıl	20 yıl	20 yıl	40 yıl	30 yıl	40 yıl	40 yıl

**Yakıt hücrelerinin** gelecekte çok geniş kullanım alanına sahip olacakları düşünülmektedir. Yakıt hücre ürün grubu içinde birçok farklı alt teknoloji bulunduğundan, kapasite bakımından oldukça geniş bir spektruma sahiptirler. Öte yandan sık aralıklarla yenilenmeleri gerektiğinden bakım maliyetleri yüksektir.

Yakıt hücrelerinin yakıt girişleri temiz, atıkları ise oldukça düşük kirletici maddelerdir. Bu nedenle ABD'nin birçok eyaletinde emisyon kriterlerinden muaf tutulurlar. Dolayısıyla yakıt pilleri bu özellikleriyle çevre kriterlerini gerçekleştirmişlerdir.

Yakıt hücreleri, elektrokimyasal prosesleri nedeniyle yüksek verime sahiptirler. Diğerlerinin gerektireceğinden daha az yakıtla aynı enerjiyi üretirler. Bu da aynı miktar enerji için daha az karbon emisyonuna neden olmak demektir.

**Volanlar**, az sayıda fakat özel bazı uygulamalar için önemli potansiyele sahiptirler. Özellikle otomobiller, elektrikli raylı ulaşım sistemleri, ticari/endüstriyel asansör, vinç uygulamaları vs. gibi kısa sürelerde büyük güçlerin üretilip/tüketilmesine uygun karakteristikli yük sistemlerinde önemli gelişme sağlayacaklardır. Fakat geniş çaplı enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktırlar.

Volanların performansı dönme hızlarına bağlıdır. Bunun için de yüksek gerilime ve mekanik kararlılığa dayanacak malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bu, daha düzgün ve verimli çalışma sağlayacaktır. Volan enerji depolama sistemleri yaklaşık 10 kW-10 MW güçlerde yaklaşık 300 \$/KW'lık maliyet ile kurulabilmektedir (Cheung vd., 2003). Buda volan teknolojisini incelenen enerji depolama teknolojileri içinde bataryalardan sonra en ucuz ikinci depolama sistemi yapmaktadır.

3,6 s – 6 d sürede tamamen deşarj olabilirler. Bu özellik onların kısa süreli yüksek genlikli güç kaynağı olarak kullanılabilmelerini olanaklı kılar. Bu nedenle de kısa süreli güç transfer depolamanın üst sınırından, uzun süreli güç transfer bölgesine kullanıma uygundur.

Bunlardan öte volanların çevre dostu bir teknoloji olması, uzun yıllar kullanımları nedeniyle haklarında deneyim sahibi olunması ve uzun ekonomik ömürleri bulunması önemli avantajlarındandır. Karışık yapıları nedeniyle kompleks güç ve kontrol elektroniği sistemlerine ihtiyaç duymaları, birçok elemanın belli aralıklarla bakıma ihtiyaç duyması (rulmanlar, vakum pompaları, soğutma fanları, kontrol sensörleri vs), bekleme anındaki yüksek kayıpları (<5%) ve de patlama riskleri sayılabilecek olumsuz özellikleridir.

**Süperiletken manyetik enerji depolama sistemleri**, enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamaktan öte enerji kalitesini iyileştirici uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. Bunun nedeni, gerilim değişimlerine karşı çok hızlı cevap verebilmeleri ve sahip oldukları büyük özgül enerji ve özgül güç değerleri nedeniyle çok kısa süreli muazzam miktarlarda akım verme/alma kabiliyetlerinin olmasıdır. Süperiletken manyetik enerji depolama sistemlerinde süperiletkenliği sağlayan kritik sıcaklık değerlerinin aşılması önemli tehlikelere ve kayıplara neden olur. Direnç kayıplarında ve soğutma için gerekli enerji konularında iyileştirmeler yapılabilir. Düşük sıcaklıkta bobin komponentlerinin büyük elektrodinamik güçlere karşı kararlılığı henüz yeterince incelenememiştir. SMES temelli sistemler diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında daha pahalı ve daha büyük çalışma hacmine ihtiyaç duymaktadırlar.

**Süperkapasitörler**, elektrik enerjisini iki karbon elektrot arasında oluşturdukları elektrik alanda depolarlar. Yeniden kullanılacağı zaman bir dönüşüm işlemi olmadan buna izin verir. Süperkapasitörleri sınırlandıran elektronik devre tasarımıyla ilgili sınırlamalardır ve bu nedenle de elektronik tasarımları ve temelleri geliştirilmesi gereken ana konulardır. Süperkapasitörler, süperiletken manyetik enerji depolama sistemleri gibi çok yüksek özgül güç değerlerine sahiptir. Bu nedenle enerji kalitesi uygulamalarında kullanılabilirler.

Öte yandan süperkapasitör teknolojisinin sahip olduğu diğer avantajlar su şekilde sıralanabilir: Çevre dostu bir teknolojidir. Çalışma prensipleri nedeniyle bünyelerinde kimyasal bir reaksiyon oluşmadığı için bataryalarda olduğu gibi toksinler, ağır metaller gibi tehlikeli atıklar üretmezler. Hareket eden parçaları yoktur. Bakım masrafları düşüktür.

Bekleme anındaki kayıpları 0,2%'nin de altındadır (Furlong vd., 2003). Cebri soğutmaya gerek duymazlar. Enerji depolama/kullanma çevrimleri basittir, kompleks güç elektroniği sistemlerine gerek duymazlar.

Pratik uygulamalar için birçok modülün beraber (seri, paralel bağlı) kullanılması nedeniyle gözlenmesi gereken birçok elemandan oluşmaları, henüz yeni bir teknoloji olması nedeniyle haklarında fazla deneyimin oluşmamış olması ve ömürleri konusunda onaylanmış uygulamalarının olmayışı süperkapasitör teknolojisinin dezavantajlarıdır.

**Büyük ölçekli enerji santrallerinde enerji depolama** için kullanılacak en uygun metotlar yeraltı termal enerji depolama, hidroelektrik enerji depolama ve basınçlı hava enerji depolama yöntemleridir. Her üç yöntemin de enerji kayıplarının çok az olması bunların yıllık enerji dalgalanmalarını kararlı kılmada bile kullanılabilmelerine imkan tanır.

Basınçlı hava ile enerji depolama endüstride oldukça geniş kullanım alanı bulmuştur. Öte yandan küçük ölçekli basınçlı hava enerji depolama sistemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar daha çok sistem tasarımları ve kontrol stratejileri üzerinde yoğunlaşmıştır. Yeraltı termal, hidroelektrik enerji depolama ve basınçlı hava enerji depolama sistemleri büyük çaplı sistemlere daha uygundur. Büyük projeler için kullanılmalı ve bu nedenle de büyük yatırımlar gerektirirler. Dolayısıyla uygulama için daha geniş alana ihtiyaç duyarlar. Öte yandan bu üç depolama sisteminin belli jeolojik özelliklere bağımlı olduğu ve sadece coğrafyanın imkan verdiği ölçüde inşa edilebilecekleri unutulmamalıdır (Gemici, 2006).

## Kaynaklar

1. Anonim, 2012, Elektrik Üretim A. Ş. <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/EnerjiCesitleri.aspx>, 21.03.2012
2. Boztepe, M., 2006, "Enerji Depolama", [http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/cgi-bin/load.cgi?gee591\\_lecture6.pdf](http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/cgi-bin/load.cgi?gee591_lecture6.pdf), 23.03.2012
3. Broussely, M., Pistoia, G., 2007, Industrial Applications of Batteries, Chapter 2, G. Pistoia, Elsevier, UK
4. Bryan, B. P., Andrews, J. A., 2004, "Advence in Flywell Energy Storages Systems", Tezas.
5. Cheung, Y. C. K., Cheung, T. H. S., De Silva, R. G. N., Juvonen, M. P. T., Singh, R. ve Woo, J. J., 2003, Large Scale Energy Storage Systems, Imperial College, London.
6. Christopher Schaber, Patrick Mazza and Roel Hammerschlag, 2004, Utility-Scale Storage of Renewable Energy, The Electricity Journal, 17, 21-29

7. Furlong, E. R., Piemontesi, M., Prasad, P. ve Sukumar, D., 2003, “Advances in Energy Storage Techniques for Critical Power Systems”, General Electric, Atlanta.
8. Gemici, S. S., 2006, “Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Enerji Depolama Yöntemlerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
9. 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):1513–1522.
10. Hammerschlag, R., Schaber, C. P., 2007, Chapter 15 Energy Storage Technologies, Energy Conversion, Taylor & Francis Group, LLC.
11. Holm, S. R., Polinder, H., Ferreira, J. A., van Gelder, P. ve Dill, R., 2002, “A Comparison of Energy Storage Technologies as Energy Buffer in Renewable Energy Sources with Respect to Power Capability”, IEEE Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering, Theme: Distributed Generation., (pp. 1-6)., Piscataway, NJ, USA.
12. Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J., 2008, “Energy storage systems—Characteristics and Comparisons”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(5):1221–1250.
13. Kiehne, H. A., Dekker, M., 2003, Battery Technology Handbook, H. Franke, Ebooks corp. New York. USA.
14. Kuşdoğan, Ş., Kurt, G., Arsoy, A., 2002, “Süperiletken Manyetik Enerji Depolama Sisteminin Ancehlenmesi ve Teknolojik Değerlendirilmesi”,
15. Linden, D., Reddy, T. B., 2002, Handbook of Batteries, Chapter 30, M. Fetcenko, McGraw-Hill, New York, USA
16. Sarı, A., 2011, “Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar”, Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Çalıştayı, 20-28 Temmuz, Çanakkale.
17. Schainker, R. B., 1990., CAESScope 13(2). Electr. Power Res. Inst., Palo Alto, CA
18. Yağcıtekin, B., 2008, “Rüzgar Enerjisi Üretiminde Depolama Tekniği ve Tahmin Sistemleri Kullanılarak Enerji Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
19. Yılmazoğlu, M. Z., 2010, “Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması”, Politeknik Dergi, 13(1), 33-42