

# POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SİSTEMLER

## Ümit Ünver\*

Yrd. Doç. Dr.,  
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,  
Yalova  
umit.unver@yalova.edu.tr

## Hilal Bilgin

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,  
Yalova  
hilalbilgin@ogrenci.yalova.edu.tr

## Alpaslan Güven

MMO Uygulamalı Eğitim Merkezi,  
Kocaeli  
alpaslan.guven@mno.org.tr

## ÖZ

Endüstriyel gelişmelere paralel olarak, modern hayatın sürdürülebilmesi ve üretim faaliyetlerinin devamlılığı için güvenilir enerjinin sürekliliği oldukça büyük önem taşır. Bu, enerjinin talep anında ve ihtiyaç duyulan miktarda arz edilmesi gerekliliği anlamına gelmektedir. Termik santraller ve yenilenebilir enerji kaynakları, gün içinde dalgalanan talebe hızlı ve güvenilir yanıt veremediğinden enerjinin depolanması, ülkeler açısından üstünde durulması gereken bir konu olmaktadır. Pompaj depolamalı sistemler büyük ölçüde enerji depolayabilen hidroelektrik sistem olduğundan, enerji arz güvenilirliği konusunun önemli bir parçasıdır.

Bu çalışmada, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemlerin (PDHES) tanımı ve neden ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Pompaj depolamalı sistemlerin diğer enerji depolama sistemleri ile kıyaslaması, PDHES çeşitleri ve kıyaslamaları yer almaktadır. Ayrıca PDHES'lerin avantaj ve dezavantajları ile dünyada ve Türkiye'de PDHES'lerin durumu hakkında bilgi verilmektedir. Çalışmada, ülkemizde bu sistemlerin kurulması için ihtiyaç duyulan destek, teşvik ve mevzuat konularından da bahsedilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler, enerji depolama, hidroelektrik

# PUMPED-STORAGE HYDROELECTRIC SYSTEMS

## ABSTRACT

With parallel to industrial developments, for sustainability of modern life and duration of manufacturing activities, constancy of reliable energy is very important. This means, supplying of energy at required amount on demand. Thermal power plants and renewable energy sources, cannot respond fast and reliable to the fluctuating demand during the day. Because of this energy storage, is a necessary subject to focus on for countries. Pumped storage systems, which are the hydroelectric system that stores high amount of energy, are an important part of the reliable energy supply.

This paper aims to introduce Pump Storage Systems and determine the need to pump storage systems. The comparison with the other storage systems, the types of pump storage systems and their comparison take place. Additionally, advantages and disadvantages of pump storage systems, the situation of pump storage systems in the world and in Turkey are given. Finally, for construction of pump storage systems in Turkey, the importance of incentives and legislations are discussed.

**Keywords:** Pumped-storage hydro-electric power plants, energy storage, hydroelectric

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 25.08.2014  
Kabul tarihi : 17.04.2015

Ünver, Ü., Bilgin, H., Güven, A. 2015. "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, s. 57-64

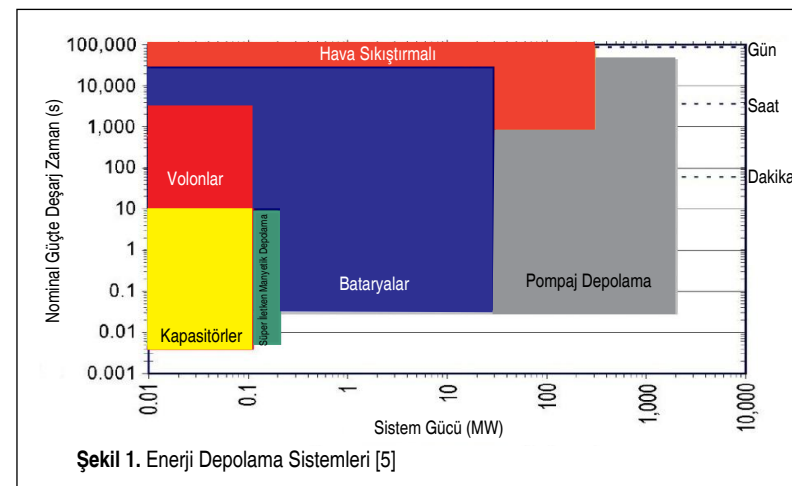
## 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal refahın ve dolayısıyla çağdaş insan yaşantısının en temel ihtiyacıdır. Bu nedenle enerji, önemle ele alınması gereken bir konudur. Enerjinin talep anında, yeter miktarda, düşük maliyetli ve güvenilir bir şekilde arz edilmesi gerekmektedir. Enerji ihtiyacının karşılanması hususunda en önemli başlıklardan biri arz güvenilirliğidir. Arz güvenilirliğinin ortaya çıkışı 1970'li yıllardaki petrol krizlerine dayanmaktadır. Bu dönemde gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir bir enerji politikası oluşturulup, dışa bağımlılığın azaltılması konularında önemli adımlar atılırken, Türkiye konuya uzak kalmıştır. Arz güvenilirliği; kısa dönemde talebin sürekli ve kaliteli bir şekilde karşılanması, uzun dönemde ise yeterli kapasite yatırımlarının yapılmasını ifade etmektedir [1]. Bundan dolayı arz güvenilirliğini sağlayabilmek için yapılacak olan yatırımların dikkatli yapılması gerekmektedir. Enerji santral tipi tercih edilirken birçok faktör göz önüne alınmalıdır.

Termik santrallerin devreye girmesinde yaşanan sorunlar, enerji talebindeki hızlı artış, ciddi boyutlara ulaşan puant yük ihtiyacı, elektrik enerjisi talebinin günlük dalgalanmaları dikkate alındığında, enerji üreticilerine önemli sorumluluklar düşmektedir. Yük dalgalanmalarının boyutunu mümkün olduğunca azaltmak ve santralleri sabit bir yük faktörüyle işletmek için, kolayca devreye alınıp durdurulabilen ve aynı zamanda kısa sürede tam kapasiteye çıkışa uyum sağlayabilen depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Öte yandan,

Tablo 1. Enerjinin Depolanma Amaçları [3]

Amaç	Zaman Aralığı	Açıklama
Enerji Kalitesini Yükseltme	Saniyeler mertebesi ya da daha kısa süreler	Enerji kalitesinin sürekliliğinin sağlanması
Güçü Destekleme	Saniyelerden dakikalara 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



Şekil 1. Enerji Depolama Sistemleri [5]

termik santrallerde oluşan atık ısı enerjisi ve belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisi depolanarak puant yük zamanlarında arz edilmesi imkânı sunan ve böylece verimli ve tasarruflu kullanım sağlayan enerji depolama sistemleri, arz güvenilirliği hususunda anahtar rol üstlenmektedir. Tablo 1'de enerjinin depolanma amaçları gösterilmektedir.

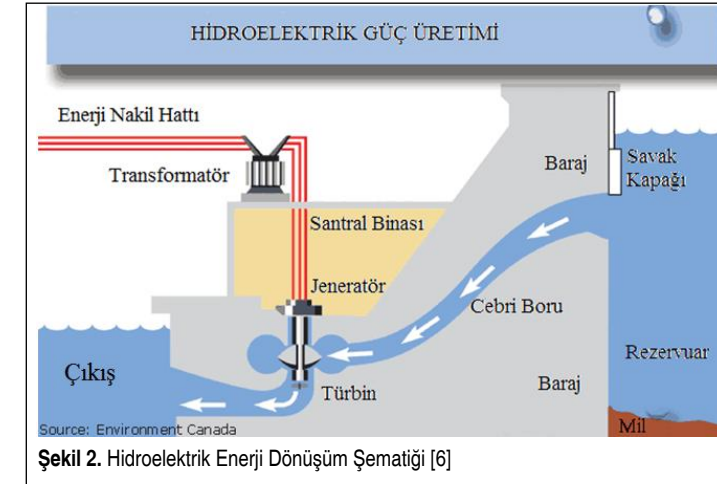
Enerjinin elektrik enerjisi olarak depolanması, ileri teknoloji gerektirmesi ve oldukça pahalı olması nedeniyle enerjinin alternatif olarak depolanması konusunda geniş kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak enerji depolama sistemleri; mekanik, elektrokimyasal, elektromanyetik ve termal prosesler olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır [4]. Diğer bir deyişle, ihtiyaç olan elektrik enerjisi, kimyasal, manyetik ve mekanik enerjiye dönüştürülerek depolanabilmektedir. Bu sistemler farklı amaçlarla kullanılabilir. Büyük miktarda enerji depolama konusunda, mekanik depolama sistemleri arasında en verimli olanları basınçlı hava depolama ve pompaj depolama sistemleridir [5]. Şekil 1'de farklı enerji depolama sistemlerinin nominal güçte deşarj zamanları ve sistem gücü bazında dakika, saat ve günlük olarak depolama kapasiteleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, bu sistemlerden pompaj depolama sistemleri MW mertebesinde ve büyük ölçekte depolama yapabilmektedir.

## 2. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SİSTEMLER (PDHES)

Hidroelektrik santraller (HES) akarsuların enerjilerini elekt-

riğe dönüştürürler. Akarsuların sahip olduğu enerji miktarı, suyun akış yüksekliği ve düşüş hızı ile orantılıdır. Büyük bir nehirde akan su, büyük miktarda potansiyel ve kinetik enerji taşır. Kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar ve türbin kanatlarına çarparak enerjisini kanatlara bırakır. Kanatlar jeneratöre bağlı olan türbin milinin dönmelerini sağlar ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu yolla, suyun enerjisinden elektrik enerjisi elde edilir. Şekil 2'de hidroelektrik santrallerin genel enerji dönüşüm şematiği görülmektedir.

Hidroelektrik santraller termik santrallerle kıyaslandığında, kolayca devreye girip çıkabilen sistemler-



Şekil 2. Hidroelektrik Enerji Dönüşüm Şematiği [6]

dir ve pik ihtiyacın karşılanmasına hızlı yanıt vermektedirler. Ciddi boyutlara ulaşan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, rezervuarlı hidroelektrik santrallerin dahi pik yük ihtiyacını

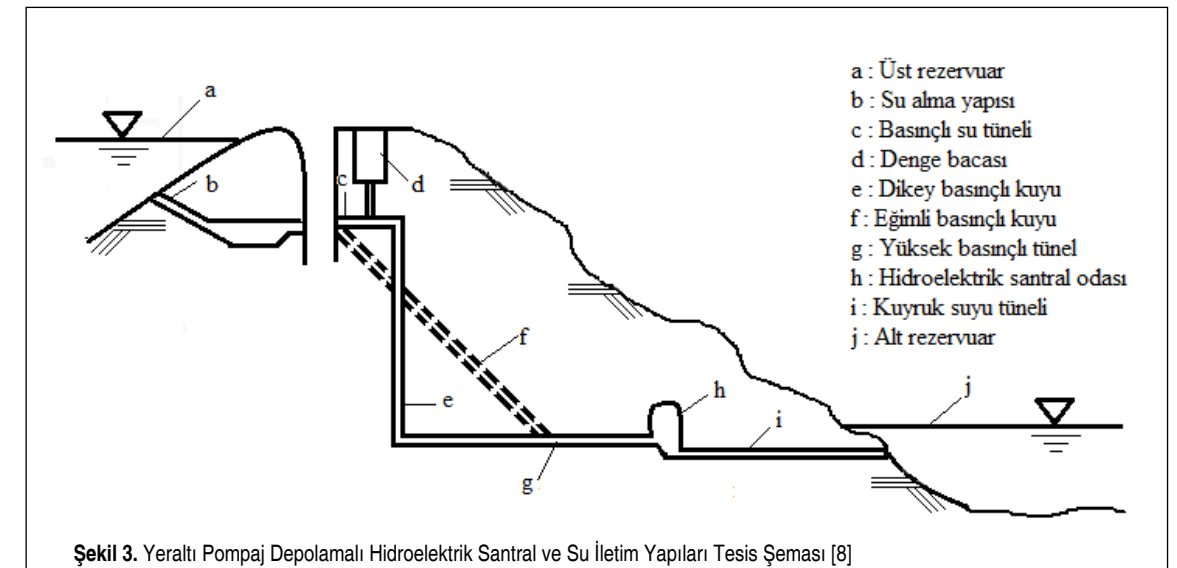
Tablo 2. Japonya'da Değişik Tipteki Santrallerin Üretime 8 Saat Ara Verildikten Sonra Çalışma ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süreleri [1]

Proje Tipi	Çalışma ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süresi
Klasik Hidroelektrik Santraller	3 – 5 Dakika
Pompaj Depolamalı Santraller	3 – 5 Dakika
Fueloil Santralleri	3 Saat
LNG-Doğalgaz Santralleri	3 Saat
LNG-Çevrim Santralleri	1 Saat
Kömür Santralleri	4 Saat
Nükleer Santraller	5 Gün

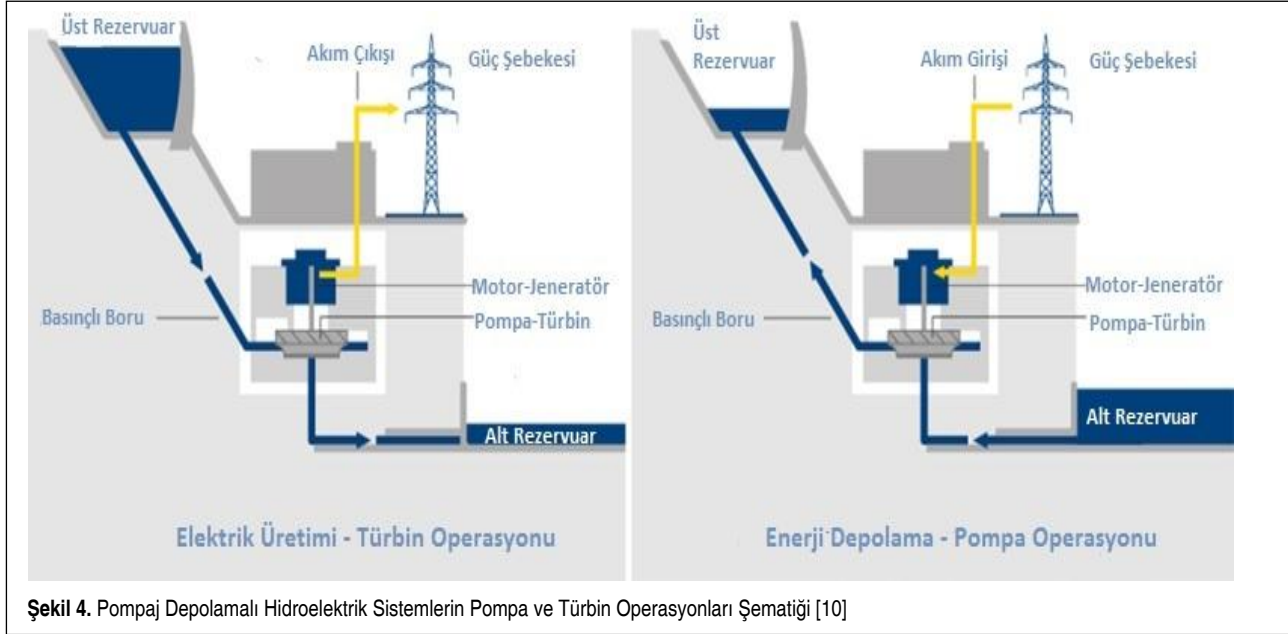
karşulamakta yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir. Değişik tipteki santrallerin çalışma ve tam kapasiteye ulaşma süreleri Tablo 2'de verilmiştir. Puant yük ihtiyacı dikkate alındığında, klasik hidroelektrik santraller ve pompaj depolamalı santrallerin diğer tüm sistemlere kıyasla daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde, alt ve üst olmak üzere iki rezervuar bulunmaktadır. Rezervuarlar nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı, deniz veya inşa edilecek yapay havuz olabilmektedir. Enerji talebinin yüksek olduğu veya elektriğin pahalı olduğu zamanlarda, üst rezervuarda biriktirilmiş olan suyun alt rezervuara düşürülmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Enerji talebinin az olduğu zamanlar veya elektriğin ucuz olduğu zamanlarda ise pompa çalıştırılarak su, alt rezervuar seviyesinden üst rezervuar seviyesine yükseltilir. Su alma yapısı üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilir. Yeraltı santrali olarak yapılan pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde su iletim yapısı olarak çoğunlukla basınçlı kuyu ve enerji tüneli kullanılmaktadır. Santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da Şekil 3'te gösterildiği üzere kuyruk suyu tüneli ile sağlanmaktadır [8].

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde pompa ve türbin elemanlarının tersinir olarak kullanılabilmesi büyük avantajlar sağlayabilir. Tersinir pompa-türbin ile puant zamanlarda sistem, türbin olarak çalıştırılarak enerji üretilirken, pompa ile su, üst rezervuara gönderilerek enerji depolanabilmektedir. Şekil 4'te, pompa operasyonu ile şebekeden akım çekilerek suyun alt rezervuardan üst rezervuara depolanması, türbin operasyonu ile de suyun üst rezervuardan alt rezervuara düşürülerek enerji dönüşümü gösterilmektedir.

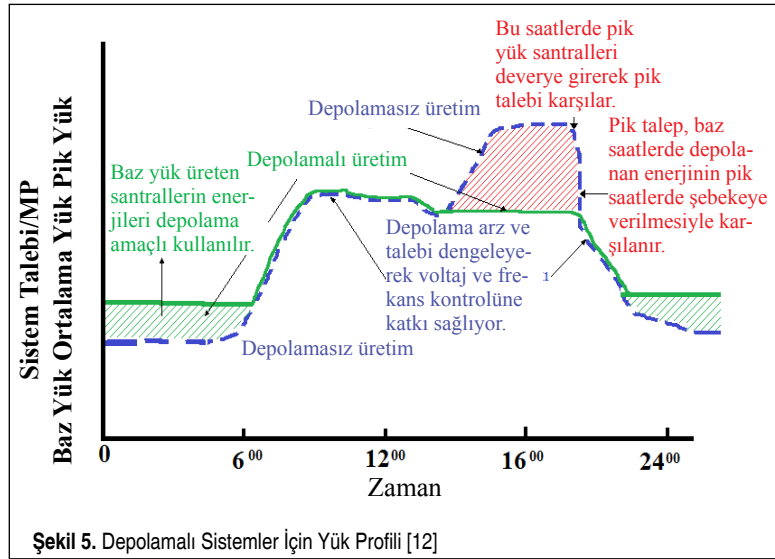


Şekil 3. Yeraltı Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral ve Su İletim Yapıları Tesis Şeması [8]



Şekil 4. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemlerin Pompa ve Türbin Operasyonları Şematığı [10]

Şekil 5'te depolama tesislerinin yük eğrisine katkısı gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, elektrik fiyatının düşük ve talebin az olduğu baz yük zamanlarında şebekeye verilemeyen santrallerdeki enerji veya santrallerin düşük kapasitede çalıştırılması gereken durumlarda veya aynı saatlerde arz edilen güneş ve rüzgar gibi kesintili enerji kaynaklarından elde edilecek elektrik enerjisi kullanılarak depolanır ve minimum yük yukarı çekilir. Talebin fazla olduğu ve elektriğin pahalı olduğu saatlerde ise elektrik üretilerek maksimum yük aşağı çekilir ve minimum yükün maksimum yüke oranı artırılır. Böylece puant yük miktarı azaltılırken, baz yük değeri artırılmakta ve puant yük dönemlerindeki tüketim minimum tüketim dönemlerine kaydırılmaktadır. Bu sayede, sistem yük faktörü yükseltilmekte ve verimlilik artırılmaktadır.

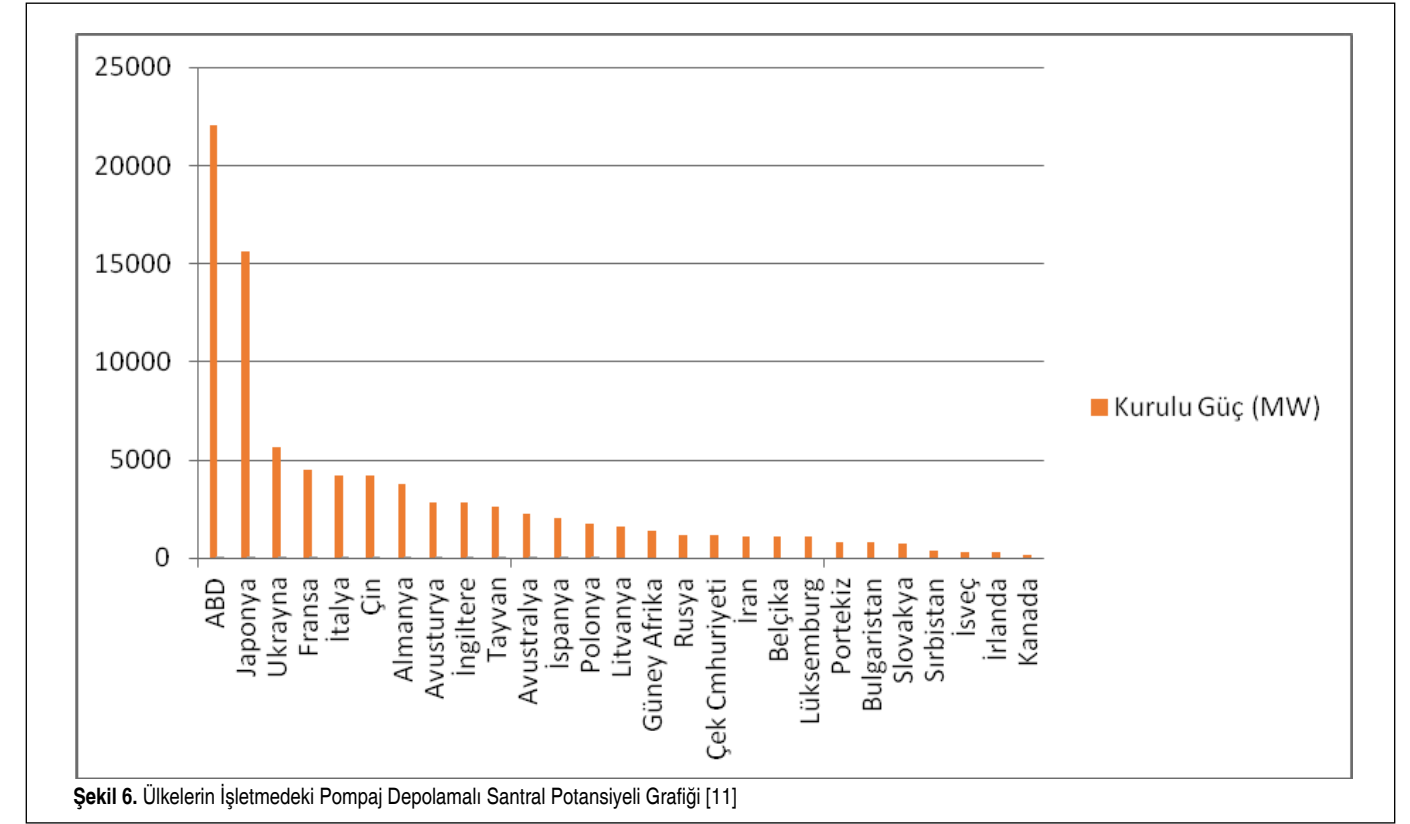


Şekil 5. Depolamalı Sistemler İçin Yük Profili [12]

Pompaj depolamalı santraller elektrik enerjisi üretmekten ziyade, puant zamanlarda gereken enerjinin, ihtiyacın düşük olduğu zamanlarda depolanması ve talebin arttığı zamanlarda arz edilmesi yöntemidir. Ayrıca, ihtiyacın düşük olduğu zamanlarda elektrik enerjisi şebekeye verilemediğinden, santraller düşük kapasitede çalıştırılmak zorunda kalmaktadır. Pompaj depolamalı sistemler ile diğer santraller tam kapasitede çalıştırılarak arz fazlası enerji depolanabilmektedir. Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler, hidrolik, termik, nükleer ve rüzgar santrallerinden kurulu enterkonnekte sistemin günlük, haftalık veya sezonluk işletme şartlarını düzenlemektedir. Normal hidroelektrik santrallerde olduğu gibi, talebin az olduğu ve enerji üretimine gerek olmadığı durumlarda sistem durdurulabilir [2, 11]. Pompaj depolamalı sistemler, üretilen enerjinin güvenilir hale getirilmesi amacıyla güneş ve rüzgar enerjisi gibi kesintili üretim yapan yenilenebilir enerji santrallerine, termik santrallere ve hidroelektrik santrallere entegre edilebilmektedir. Entegre sistemlerin inşası ile uzun dönem arz güvenilirliği de sağlanabilmektedir.

### 3. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SİSTEMLERİN DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

İlk pompaj depolamalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'dedir. 1930'larda tersinir hidroelektrik türbinler geliştirilmiştir. İlk zamanlarda, 10 MW civarında depolama yapılmasına rağmen, kapasite artırma çalışmaları ile günümüzde pom-



Şekil 6. Ülkelerin İşletmedeki Pompaj Depolamalı Santral Potansiyeli Grafiği [11]

Tablo 3. Ülkelerin İşletmedeki Pompaj Depolamalı HES Potansiyeli [11]

Sıra Numarası	Ülke Adı	Kurulu Güç (MW)	Sıra Numarası	Ülke Adı	Kurulu Güç (MW)
1	ABD	22047	15	Güney Afrika	1400
2	Japonya	15606	16	Rusya	1200
3	Ukrayna	5629	17	Çek Cumhuriyeti	1145
4	Fransa	4520	18	İran	1140
5	İtalya	4244	19	Belçika	1100
6	Çin	4200	20	Lüksemburg	1100
7	Almanya	3803	21	Portekiz	820
8	Avusturya	2877	22	Bulgaristan	800
9	İngiltere	2833	23	Slovakya	735
10	Tayvan	2620	24	Sırbistan	364
11	Avustralya	2240	25	İsveç	334
12	İspanya	2040	26	İrlanda	292
13	Polonya	1738	27	Kanada	174
14	Litvanya	1600		<b>Toplam</b>	<b>86601</b>

paj depolamalı sistemlerin kapasitesinin 2000 MW'a kadar ulaşması planlanmaktadır [13]. Dünyadaki pompaj depolamalı hidroelektrik sistem durumuna bakıldığında, mevcut maksimum toplam güç 99.663 MW, planlanan toplam güç

43.796 MW'tır. İnşa halindeki 42 adet pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin kurulu gücü ise 30.000 MW'tır. Ülkelerin pompaj depolamalı hidroelektrik santral potansiyeli Şekil 6'da gösterilmektedir.

**Tablo 4.** İlk Etüt Seviyesinde Çalışılan Pompaj Depolamalı Santral Projeleri [14]

Proje Adı	Yeri	Kurulu Güç (MW)	Proje Debisi (m <sup>3</sup> /s)	Düşü (m)
Kargı PHES	Ankara	1000	238	496
Sarıyar PHES	Ankara	1000	270	434
Gökçekaya PHES	Eskişehir	1600	193	962
İznik I PHES	Bursa	1500	687	255
İznik II PHES	Bursa	500	221	263
Yalova PHES	Yalova	500	147	400
Demirköprü PHES	Manisa	300	166	213
Adıgüzel PHES	Denizli	1000	484	242
Burdur Gölü PHES	Burdur	1000	316	370
Eğirdir Gölü PHES	Isparta	1000	175	672
Karacaören II PHES	Burdur	1000	190	615
Oymapınar PHES	Antalya	500	156	372
Aslantaş PHES	Osmaniye	500	379	154
Bayramhacılı PHES	Kayseri	1000	720	161
Yamula PHES	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu PHES	Samsun	1000	204	570

Tablo 3'te ülkelerin işletmede olan pompaj depolamalı HES potansiyelleri MW cinsinden gösterilmektedir. Bu tabloya göre Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Japonya, pompaj

depolama konusunda oldukça ilerleme kaydetmiş görünmektedir.

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 4'te bu projeler gösterilmektedir.

2011 yılında sonuçlanan "Türkiye Pik Talebin Karşlanması İçin Optimal Güç Üretimi" Projesinde devreye alınması düşünülen pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin kapasiteleri ve devreye alma sürelerinin tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada, Türkiye için 2010-2030 yılları arasındaki pik güç üretim planı da incelenmiştir.

Türkiye için potansiyel pompaj depolamalı hidroelektrik santral yerleri, talebin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterler açısından araştırılmıştır. Kademeli eleme sonucunda, alt rezervuarları Gökçekaya Barajı ve hidroelektrik santral olan Gökçekaya Pompaj Depolamalı HES (1400 MW) ve Altınkaya Pompaj Depolamalı HES'in (1800 MW) kavramsal tasarımı yapılmıştır [13]. 12 Şubat 2014 tarihinde de resmi olarak Gökçekaya PDHES fizibilite çalışmaları başlamıştır.

#### 4. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN UYGULAMALARI

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler, yenilenebilir enerji santrallerine entegre edilebilmektedir. Dünyada rüzgar enerjisi ile pompaj depolamalı sistemlerinin entegrasyon

örnekleri mevcuttur. Şekil 7'de, rüzgâr santrali ve pompaj depolamalı sistemlerin entegre olarak çalışma prensibi gösterilmektedir.

Rüzgâr santraline entegre hibrit projede, rüzgâr enerjisinden üretilen ve satılan elektriğin arzı, pompaj depolamalı sistem ile garanti altına alınabilmektedir. Rüzgâr hızının arttığı zamanlarda üretilen fazla elektrik enerjisi ile pompası yardımıyla su, alt rezervuardan üst rezervuara depolanmakta, rüzgâr hızının azaldığı veya elektrik ihtiyacının arttığı zamanlarda da hidrolik türbin çalıştırılarak elektrik üretilerek şebekeye beslenebilmektedir. Böylece rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin dengesiz ve dalgalı yapısı stabil hale getirilebilmektedir. Türkiye'de de benzer olarak, Yahyalı Hibrit Projesi başlığı altında pompaj depolamalı sisteme entegre edilmiş rüzgâr santrali projesi için fizibilite raporu hazırlanmıştır [13].

Pompaj depolamalı sistemlerin deniz suyu ile kullanımı da mümkündür. Bu uygulamaya örnek, Japonya'nın Okinawa Adasının kuzeyinde kurulan santral, ilk yüksek düşü ve deniz suyu kullanan pompaj depolamalı hidroelektrik santraldir. Deniz suyu PDHES, alt rezervuar inşaatına gereksinim bulunmaması, büyük ölçekli termik veya nükleer santrallerin yakınına kurulabilmesi ya da güç talebi artan meskûn alanlarda kurulabilmesi gibi avantajları sayesinde, maliyet ve sistem işletmesi açısından normal bir PDHES'e göre üstündür. Bununla beraber, denizdeki bitki ve hayvan ekolojisine zarar vermesi, çeşitli etkilerle üst rezervuardan deniz suyunun etrafa saçılması sonucu, çevre yaşamının etkilenmesi, organizmaların sisteme ve türbinlere yapışmasıyla güç üretimi ve pompalama veriminin düşmesi, pompa-türbinin oluşturduğu yüksek basınç ve yüksek akış hızı altındaki deniz suyunun metal malzemelere teması ile malzemelerde korozyon gibi dezavantajları da vardır. Bu problemleri azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla, üst rezervuar suyunun toprağa veya yeraltı suyuna sızmasının önlenmesi ve stabil güç çıkışı sağlamak amacıyla deniz suyunun yüksek dalgalara karşı deşarj edilmesi tavsiye edilmektedir [16].

#### 5. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

**i. Hızlı Yanıt/Hızlı Devreye Girme:** İletim sistemi işletmecilerinin, elektrik şebekesini regüle edebilmek için sistemi saniye, dakika ve saat süreleri içinde yedek elektrik ile besleme yeteneğine sahip olmaları gerekir. Hidroelektrik santraller birkaç dakika içinde yük talebini karşılayabilmeleri nedeniyle yüksek değerli bir enerji sağlarlar.

**ii. Yükün Dengelenmesi:** Yükün istikrarlı olmaması durumunda, değişen gerilim ve frekansa rağmen şebekenin stabil kalması oldukça önemlidir. Bu gibi durumlarda pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerden yararlanarak yük dengelenebilir.

**iii. Black-Start Yeteneği:** Birçok farklı santral işletmeye geçmek için elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Elektrik şebekesinin tamamen devre dışı olması halinde, hidroelektrik santraller, genellikle şebekeden beslenmeden işletmeye alınabilmektedir.

**iv. Enerjinin Depolanması:** Pompaj depolamalı sistemlerin elektrik fiyatının düşük olduğu zamanlarda depoladığı suyu, fiyatın yüksek olduğu puant zamanlarda elektrik enerjisine dönüştürmesi yöntemi ile enerji sistemindeki pik yükler seviyelendirilmektedir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

**i.** Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek ve geri ödeme süresi uzun olmaktadır.

**ii.** Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerin kurulması için jeolojik konum önem arz etmektedir.

**iii.** Santralin kurulacağı bölgede erozyon olasılığı dezavantaj olarak görülmektedir.

**iv.** Deniz suyu kullanan pompaj depolamalı sistemlerde ekoloji olumsuz etkilenebilmektedir.

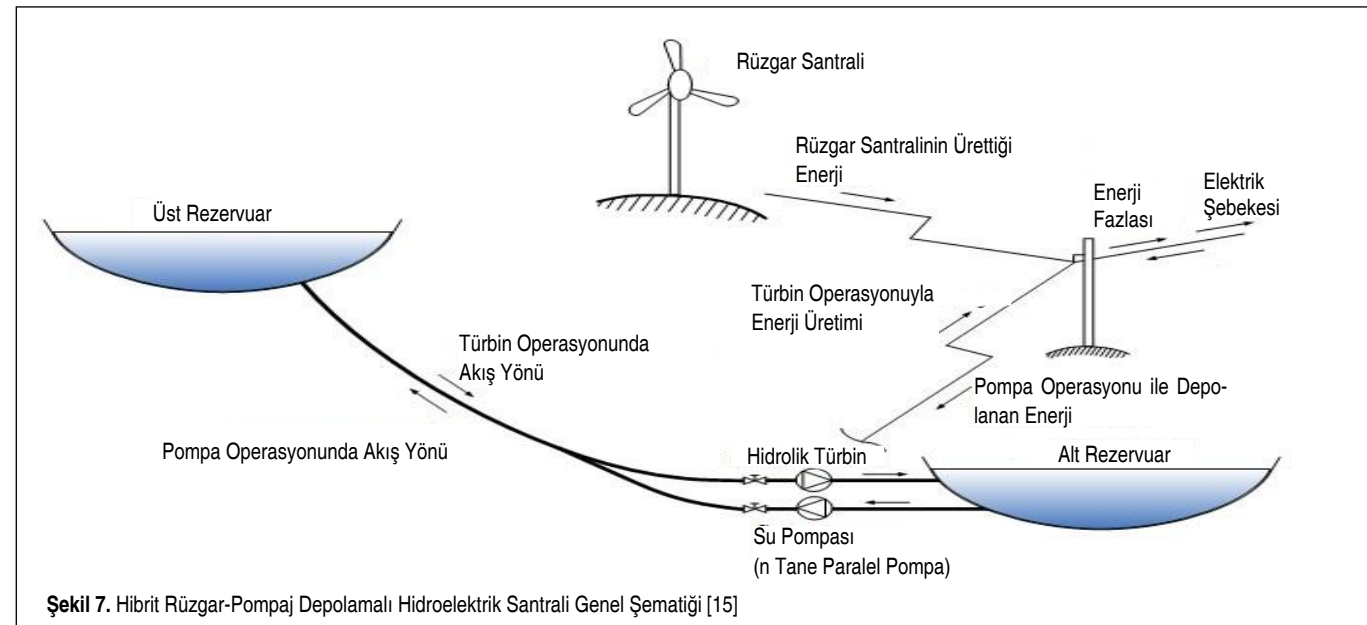
**v.** Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin rezervuarları arasındaki ulaşım sorunu da dezavantajlar oluşturmaktadır [16].

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin kullanılması, puant yük elektrik fiyatının ve güvenilir olmayan enerji arzından dolayı oluşan kayıpların azalması sayesinde tüketici açısından olumlu görünmektedir. Ancak pompaj depolama yapan üreticiler için durum çok avantajlı değildir. Talep ile arzın eşleştirilmesiyle serbest elektrik piyasası pazarında fiyat avantajı tüketici lehine değişmektedir. Her hangi bir ticari işletmenin birincil amacının kar maksimizasyonu olduğu unutulmamalıdır. Bu durumda;

**a.** Üretici, baz yük zamanlarında pompalama işlemi yapacağından elektrik üreterek kazanmak yerine tüketerek karından kaybedecektir.

**b.** Pik saatlerde elektrik fiyatı artmayacağından üretici daha az kar edecektir. Bu da yatırım süresinin uzaması anlamına gelmektedir.

**c.** Üretici işletmelerin, geri ödeme süresi 10 yıldan fazla olan [17] ve puant saatlerde enerji fiyatının düşmesine neden olacak bir uygulamayı devreye alması makul olmayacaktır.

**Şekil 7.** Hibrit Rüzgâr-Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali Genel Şematiği [15]

Enerji arz güvenliği gibi bir altyapı sorunu hiç şüphesiz devletin sorumluluğudur. PİK saatlerde meydana gelen fiyat dalgalanmalarını önlemek amacıyla yapılacak altyapı da yine devletin sorumluluğundadır. Bu bakımdan, çıkarılacak yeni kanun ve teşviklerle pompaj depolamalı sistemlerin cazip hale getirilmesi, hatta mevcut santraller içerisinde uygun olanların tespit edilerek pompaj depolamalı santrallere dönüşüm yatırımının gerçekleştirilmesi yine devletin destekleriyle mümkün olabilecektir.

## 6. SONUÇ

Depolama sistemleri, güvenilir enerji ihtiyacının karşılanmasında bir çözüm niteliği taşımasından dolayı önemli bir konudur. Pompaj depolamalı sistemler, enerji talebindeki dalgalanmaları dengeleyebilmesi nedeni ile kısa dönem arz güvenilirliğini garanti altına almaktadır. Bu santrallerin inşası ile de uzun dönem arz güvenliği ve istikrarlı enerji yönetimine de katkı sağlanabilecektir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, depolama sistemleri sayesinde yüksek kapasitede enerji depolayabilme potansiyeline sahip ve diğer santrallere kıyasla pİK talebe daha hızlı yanıt verebilen sistemlerdir. Bu santraller, kesintili üretim yapan yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilerek enerji arzını güvenilir hale getirmektedir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerinde birim enerji başına yapılması gereken yatırım yüksektir. Devlet destekleriyle ve çıkarılacak yeni kanun ve teşviklerle pompaj depolamalı sistemlerin cazip hale getirilmesi gerekmektedir. Yatırım kararını üreticiye bırakmamak için, mevcut santraller içerisinde teknik ve ekonomik olarak uygun olanların pompaj depolamalı santrallere dönüşüm yatırımının gerçekleştirilmesi yine devlet destekleriyle mümkün olabilecektir.

## KAYNAKÇA

1. **Pasin, S., Tutuş, A.** 2009. "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller," Türkiye 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim 2009, İzmir, <http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=MTYx>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
2. **Yorgancılar, N. S., Kökçüoğlu, H.** 2009. "Pompaj Depolamalı Santrallerin Türkiye'de Geliştirilmesi," Türkiye 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim 2009, İzmir, <http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=MTYx>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
3. **Mazman, M., Kaypmaz, C., Uzun, D., Biçer, E., Yıldız, A., Tırış, M.** 2010. "Yenilenebilir Enerji İçin Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri," Solar Future 2010 Bildiriler Kitabı, Proceedings Book, İstanbul. s. 113-118.
4. **Ma, T., Yang, H., Lu, L.** 2014. "Feasibility Study and Economic Analysis of Pumped Hydro Storage and Battery Storage for a Renewable Energy Powered Island," Energy Conv. and Mngment, vol. 79, p. 387-397.
5. **Energy Storage: Super Conducting Magnetic Energy Storage (SMES),** <http://www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-ee>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
6. **Hydroelectric Power Water Use,** <http://water.usgs.gov/edu/wuhy.html>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
7. **TMMOB Makina Mühendisleri Odası,** [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/df07ecf4cea616e\\_ek.pdf](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/df07ecf4cea616e_ek.pdf), son erişim tarihi: 04.07.2014.
8. **Özarslan, A.** 2012. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Büyük Ölçekli Enerji Depolama Yöntemleri," DEKTMK Türkiye 12. Enerji Kongresi, 14-16 Kasım 2012, Ankara, <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjikongresi12/69-Yrd.Doc.DrAhmetOzarslan.pdf>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
9. **Brekke, T. L., Ripley, B. D.** 1993. "Design of Pressure Tunnels and Shafts," Comprehensive Rock Engineering, vol. 2, p. 349-368.
10. **Pump Storage Power Plants,** <http://www.thehea.org/hydro-power/special-focus/pump-storage-power-plants/>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
11. **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, [http://www.emo.org.tr/ekler/05c493149542899\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/05c493149542899_ek.pdf), son erişim tarihi: 04.07.2014.
12. **Tanrıöven, K.** 2013. "Enerji Depolama Sistemleri ve Yeni Açılımlar," 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013, EMO Kocaeli Şubesi, [http://www.emo.org.tr/ekler/0127baf5fe4a68f\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/0127baf5fe4a68f_ek.pdf), son erişim tarih: 04.07.2014.
13. **YEGM Pilot Projeler ve Uygulamalar,** [http://www.eie.gov.tr/projeler/p\\_uygulamalar.aspx](http://www.eie.gov.tr/projeler/p_uygulamalar.aspx), son erişim tarihi: 04.07.2014.
14. **Sağlam, Y. N., Kökçüoğlu, H.** 2012. "Pompaj Depolamalı Santrallerin Türkiye'de Geliştirilmesi," DEKTMK Türkiye 12. Enerji Kongresi, 14-16 Kasım 2012, Ankara, [http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji\\_kongresi\\_11/111.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/111.pdf), son erişim tarihi: 04.07.2014.
15. **San Martín, J. I., Zamora, I., San Martín, J. J., Aperribay, V., Eguía, P.** 2011. "Energy Storage Technologies for Electric Applications," International Conference on Renewable Energies and Power Quality, 13-15 April 2011, Las Palmas de Gran Canaria (Spain), <http://www.sc.ehu.es/sbweb/energi-as-renovables/temas/almacenamiento/almacenamiento.html>, son erişim tarihi: 04.07.2014.
16. **Büyükyıldız, D.** 2012. "Rüzgar Enerjisi Destekli Aslantaş Pompaj Biriktirmeli Hidroelektrik Santrali Örnek Çalışması," Yüksek Lisans Tezi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İTÜ.
17. **Ünver, Ü., Direk, M., Erarslan, G.** 2014. "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral Uygulanabilirlik Analizi: Cevher Hes Uygulaması," Uluslararası Enerji ve Güvenlik Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-24 Eylül 2014, Kocaeli, s. 1035-1046.