

MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402

NİSAN/APRIL 2015 SAYI/NUMBER : 663



tmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı

www.mmo.org.tr/muhendismakina

makale article

34

Deniz Şanzıman Sistemlerinde Mukavemet Lamelli Kavrama Hesabı & Hidrolik Devre Şeması Tasarımı
Strength Calculations For Marine Transmission Systems and Hydraulic Circuit Design For Clutch Systems
Ahmet ÖVEN

40

Yüksek Performanslı Enerji Yutucular ile Taşıt Çarpışma Güvenliğinin Geliştirilmesi
Improving the Vehicle Crash Safety with High Performance Energy Absorbers
Ali Rıza YILDIZ, Emre DEMİRCİ

46

Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme
The State of Wind Energy in the World And Turkey General Evaluation
Mahmut Can ŞENEL, Erdem KOÇ

57

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler
Pumped-Storage Hydroelectric Systems
Ümit ÜNVER, Hilal BİLGİN, Alpaslan GÜVEN

DENİZ ŞANZIMAN SİSTEMLERİNDE MUKAVEMET LAMELLİ KAVRAMA HESABI & HİDROLİK DEVRE ŞEMASI TASARIMI

Ahmet Öven
ahmetoven@gmail.com

ÖZ

Bu çalışmada, şanzıman sistemlerinde kullanılan lamelli kavramalar (plakalar) deniz şanzıman sistemlerine uyarlanarak emniyet katsayısı hesabı yapılmış, güvenilirliği test edilmiş ve hidrolik devre şeması çizilmiştir. Kaplin ve kavrama sistemlerinde dünyada lider konumda olan Luk GmbH. ve GKN Stromag AG firmalarının dökümanları incelenerek bu çalışma ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Şanzımanlar için mukavemet hesaplamaları, şanzıman emniyet hesabı, şanzıman hidrolik devre şeması tasarımı, lamelli kavrama hesaplamaları, kavrama sistemleri

STRENGTH CALCULATIONS FOR MARINE TRANSMISSION SYSTEMS AND HYDRAULIC CIRCUIT DESIGN FOR CLUTCH SYSTEMS

ABSTRACT

In this study, the clutch systems (plates) are used in transmission systems, adapte to marine transmission systems and these plates are tested according to safety factor for marine transmission systems. Also hydraulic circuit is drawn. In coupling and clutch systems, Luk GmbH. and AGN Stromag AG are leader companies in the world. Their free studies and researches documents contributed to this study.

Keywords: Strength calculations for marine transmission systems, Safety factor calculation for marine transmission, hydraulic circuit design for marine transmission systems, clutch plate calculations, clutch systems

Geliş tarihi : 20.08.2014
Kabul tarihi : 13.04.2015

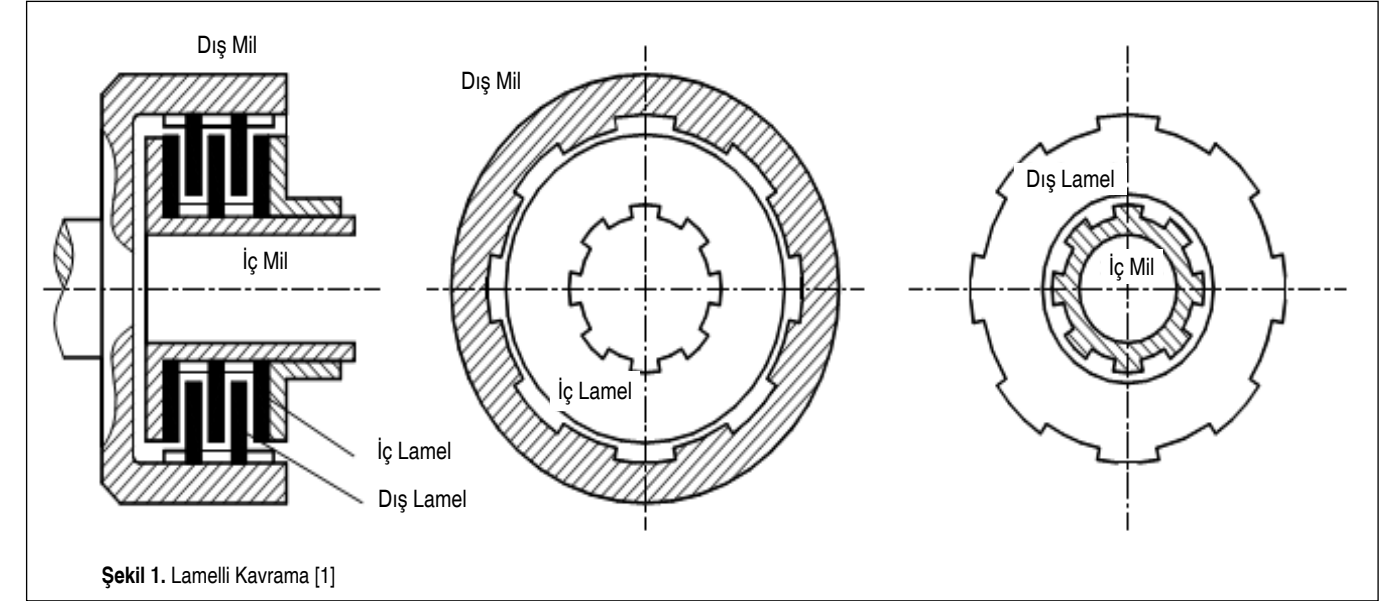
Öven, A. 2015. "Deniz Şanzıman Sistemlerinde Mukavemet Lamelli Kavrama Hesabı & Hidrolik Devre Şeması Tasarımı," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, s. 34-38.

1. GİRİŞ

Çalışmada, şanzıman sistemlerinde kullanılan lamelli kavramalar ile ilgili tasarım ve mukavemet hesaplamalarına yönelik detaylı bilgiler verilmiş, bir şanzıman modeli için de hidrolik devre şeması tasarlanmıştır. Bunların gerçekleştirilmesinde ise yabancı kaynaklardan hem pratik hem de teorik anlamda yararlanılmıştır.

diskli "lamelli kavramalar" oluşur. Yukarıda da ifade edildiği gibi diskli kavramalar, genellikle lamelli kavramalar olarak da kullanılır; ancak lamelli kavramaların daha ekonomik olduğu söylenebilir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi, bir lamelli kavrama, iç mile bağlanan kavrama parçasına dışı kamalı veya dişli mil olarak, dış milin içi kamalı veya dişli göbek olarak işlenir.

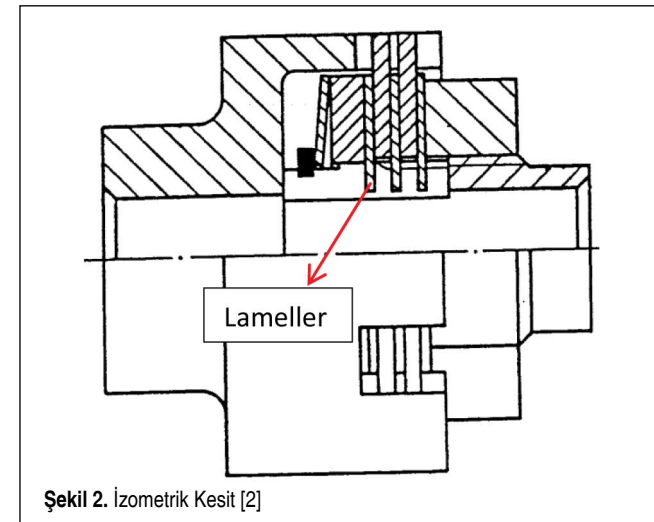


Şekil 1. Lamelli Kavrama [1]

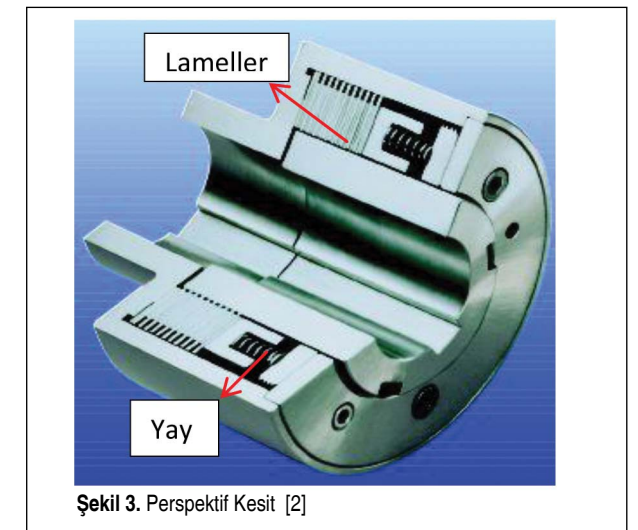
2. LAMELLİ KAVRAMA SİSTEMLERİ

Sürtülmeli kavrama grubunda yer alan lamelli kavrama sistemleri "diskli kavramalar" olarak da adlandırılmaktadır. Bu tip kavramaların en büyük avantajı, kolay ayarlanmaları ve fonksiyonlarının darbesiz yapmalarıdır. Yüzey basma kuvvetleri büyük olduğundan, sürtünme alanlarında disk sayısı çoğaltılarak büyütülür ve yüzey basıncı azaltılır. Böylece çok

Göbkle mil arasında ardışık olarak iç ve dış lameller yerleştirilir. İç lamellerin içi kamalı veya dişli göbek, dış lamellerin dışı kamalı veya dişli mil olarak işlenir. Bu şekilde yerleştirilen lameller sıkıştırılmadıkları durumda, eksenel yönde serbest hareket ederek birbirlerini etkilemezler. Normal olarak, iç mil parçası, seçilen konstrüksiyona göre lamelleri sıkıştıran ve eksenel yükü sürtünme fonksiyonu-



Şekil 2. İzometrik Kesit [2]



Şekil 3. Perspektif Kesit [2]

Tablo 1. Malzeme Çifti [1]

Çelik/Çelik, Sertleştirilmiş	Yalnız Islak veya Yağlı Çalışma
Çelik/Asbest (Amyant)	Yalnız Kuru Çalışma: İç ve dış lameller sertleştirilmemiş. Dış lamellere asbest (amyant) balata yapıştırılmıştır.
Çelik/Sinterlenmiş Bronz	Islak, Yağlı veya Kuru Çalışma: Aşınmaya karşı önlem olarak dış lameller bronzla sinterlenmiş, iç lameller sertleştirilmiştir. Sinterlenmiş sürtünme yüzeylerine verilecek şekil ile torsiyon momenti ayarlanır.

Tablo 2. Kavrama Çifti Malzeme Değerleri [1]

Balata	Karşıt Malzeme	Sürtünme Katsayısı			Max Isı °C		Emniyet Yüzey Basıncı Pem N/mm ²
		Kuru	Hafif Yağlı	Yağlı	Kısa Zaman	Devamlı	
Çelik	Sertleştirilmiş	----	----	0,1...0,03			0,7..3
Sinterlenmiş Bronz	St	0,17...0,12	----	0,11...0,06	150	100	0,5..3

nu oluşturan konstrüksiyonu taşır. Kavrama için lameller sıkıştırılır ve aksel kuvvet ile fonksiyon için gerekli sürtünme momenti oluşturulur. Böylece fonksiyon momenti bir milden diğer mile iletilir. Şekil 2 ve Şekil 3'te lamelli kavrama mekanizmasının kesit resimleri mevcuttur, lamelli kavrama sistemlerinde kullanılan malzeme çifti ve kavrama çifti malzeme değerleri ise yukarıda, Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Lamelli kavramaların çalışmasında alınacak tedbirler ve hangi alanlarda kullanıldığı aşağıdaki gibidir:

1. Sürtünmeden oluşan ısının giderilmesi için soğutma kaburgaları açılmalı veya fazla ısı için yağ ile soğutma önlemleri alınmalıdır.
2. Lamellerin yüzeyleri dalgalı "sinüs şeklinde" yapılarak

yay etkisi oluşturulmalı ve kavrama boşta çalışırken yağışma önlenmelidir.

2. Yağlı veya sıvı ortamda kullanılan lamellere, yapışmalarını önlemek için derin olmayacak biçimde spiral, eğik veya çapraz oluklar açılır.
4. Hemen hemen her türlü makinede, özellikle de takım tezgâhları ve kaldırma ve taşıma makinalarının tahriklerinde kullanılır. Bunun yanında, inşaat, ambalajlama ve tekstil makinalarının tahriklerinde de yaygın olarak kullanılır.

3. LAMELLİ KAVRAMA HESAPLAMALARI

Almanca kaynaklar baz alınarak gerçekleştirilen hesaplama-

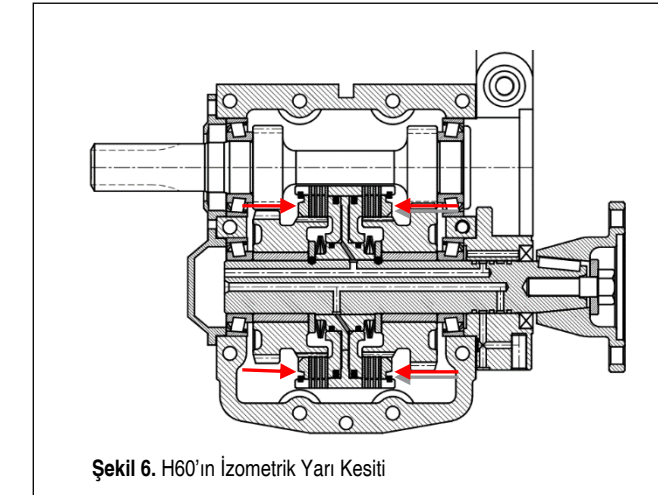
Tablo 3. Kullanılan Formüller [3]

$A = (\pi / 4) * (D^2 - d^2)$	$M_K = 2 * F_R * r_m * z$
$F_N = A * p$	$M_K = S * M_{max}$
$F_R = F_N * \mu_H$	$F_K = 2 * F_R * z$
$r_m = (D + d) / 4$	$S = 1.2-1.4$
$M_K = F_K * r_m$	$S = M_K / M_{max}$

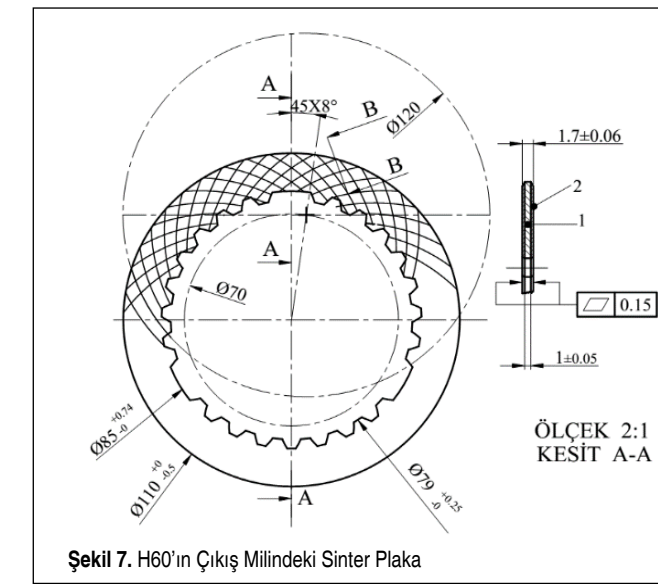
larla ilgili formüller Tablo 3'te sunulmuş, kesitler de Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.

3.1 Deniz Şanzıman Sistemlerinde Kavrama ve Emniyet Katsayısı Hesaplamaları

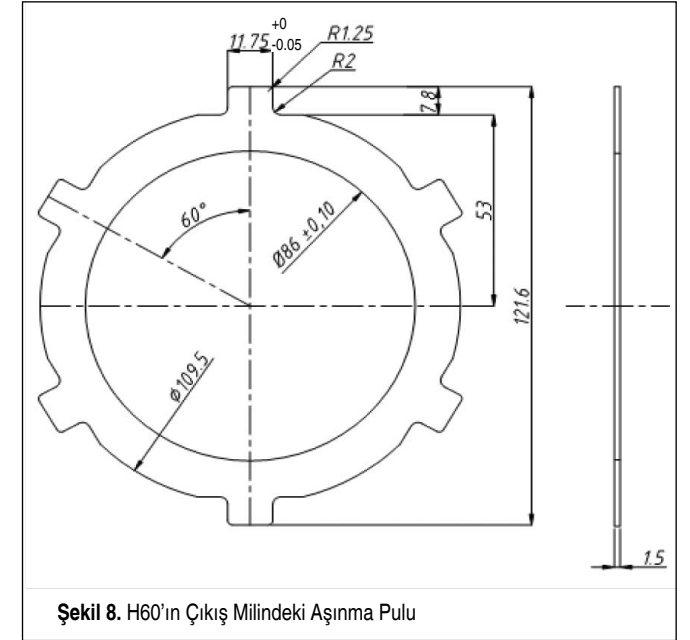
Aşağıda, Baysan Marine firmasının H60 model hidrolik şanzıman sistemi baz alınarak emniyet katsayısı hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 6). H60 şanzıman modelinde toplamda 14 adet plaka (lamel) kullanılmıştır.



Şekil 6. H60'ın İzometrik Yarı Kesiti



Şekil 7. H60'ın Çıkış Milindeki Sinter Plaka



Şekil 8. H60'ın Çıkış Milindeki Aşınma Pulu

Tablo 4. Maksimum Tork ve Güç Değerleri

Red.Oran	Maks.Tork(Nm)	Güç
2,13	125	1,76
2,63	106	1,59

Sinter plaka ve aşınma pullarının şanzıman çıkış miline(kaplin kısmı) bağlı olduğu görülmekte, reduksiyon oranlarında hesaba katılarak gerekli bilgiler aşağıda sunulmuştur.

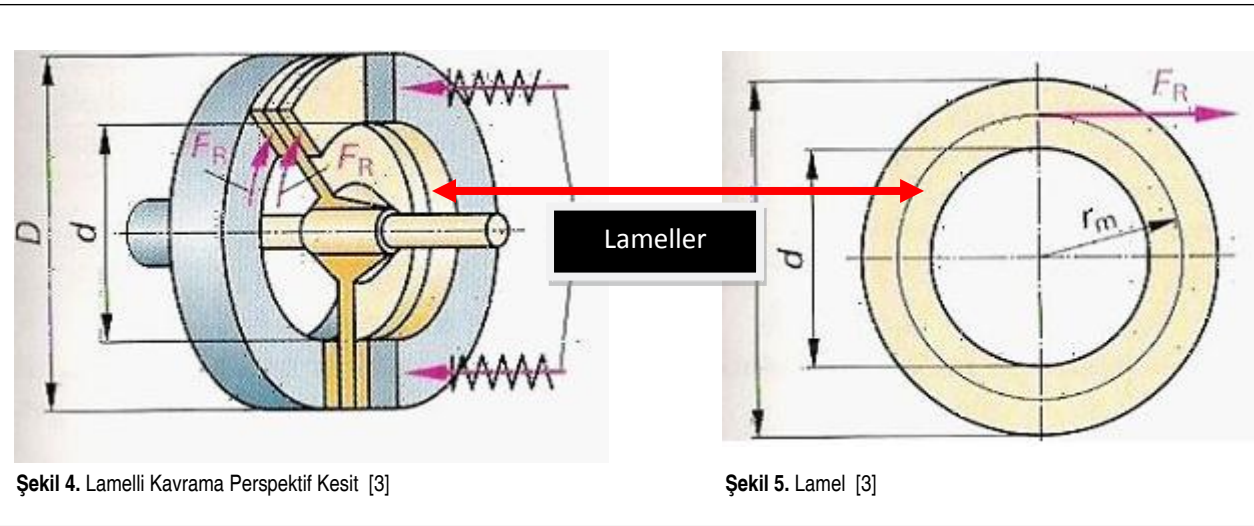
Şekil 7 ve Şekil 8'de, H60'ın çıkış milinde bulunan sinter plaka ve aşınma pulu görülmektedir. Birlikte kullanılan sinter plaka ve aşınma pulları, sistemin fren mekanizmasının işleyişini sağlamaktadır.

Sinter plakaların (lamelli kavrama) yüzeylerinin çizilerek kanal oluşturulmasının sebebi, frenleme esnasında hidrolik akışkanın akma kabiliyetini sağlamak ve plakaların yapışmasını önlemektir.

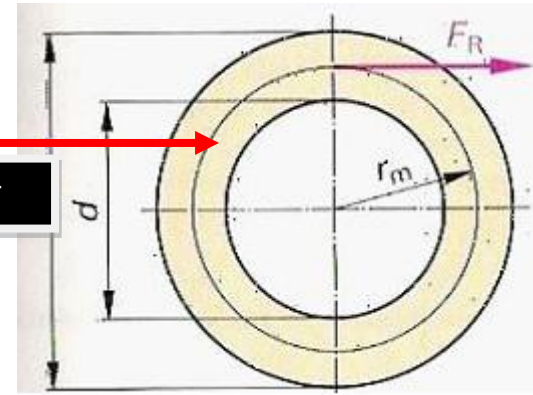
Dişliler arası reduksiyon oranlarına göre maksimum tork ve güç değerleri yukarıda, Tablo 4'te gösterilmiştir.

Kavrama malzemelerine ilişkin torsiyon momenti, birbirine bastırılan kavramanın iki yüzeyinin sürtünme kuvveti ile karşılanır. Sürtünme kuvveti sürtünme katsayısı ve yüzeyi etkileyen normal (dik) kuvvetle orantılı olduğundan, sürtünme katsayısı yüksek ve sabit olan malzemelerin kullanılması ön görülür. Seçilecek malzemenin özellikleri ise şunlar olmalıdır:

- Sürtünme katsayısı yüksek ve sabit
- Emniyetli yüzey basıncı yüksek



Şekil 4. Lamelli Kavrama Perspektif Kesit [3]



Şekil 5. Lamel [3]

Tablo 5. Hidrolik Şanzıman Lamelli Kavrama Değerleri

r_m (Ortalama Çap)	48 mm
Pem (Yüzey Emniyet Basıncı)	2 N/mm ²
μ_H (Sürtünme Katsayısı)	0,1
z (Lamelli Kavrama Sayısı)	14

- Aşınmaya ve ısıya dayanıklı
- Pislilik ve yağ etkisinde özelliğini koruma

Şanzıman sisteminde kullanılan lamelli kavramalar Tablo 1’de belirtilen “çelik/sinterlenmiş bronz” grubundandır. Yüzey emniyet basıncı ve sürtünme katsayısı değerleri Tablo 2’de belirtilen değerler baz alınarak hesaplanmış ve Tablo 5’teki değerler de aşağıdaki ilgili formülasyonlarda kullanılmıştır.

$$A = \frac{\pi}{4} (D_d^2 - D_i^2) = \frac{\pi}{4} (110^2 - 82^2) = 4222 \text{ mm}^2$$

$$r_m = \frac{D_d + D_i}{4} = \frac{110 + 82}{4} = 48 \text{ mm}$$

$$F_N = A \times p = 4222 \times 2 = 8444 \text{ N}$$

$$F_R = \mu \times F_N = 8444 \times 0.1 = 844.4 \text{ N}$$

$$M_K = 2 \times F_R \times z \times r_m = 2 \times 844.4 \times 14 \times 48 =$$

$$1134873.6 \text{ Nmm} = 1134.8736 \text{ Nm}$$

Sinter plaka ve aşınma pulları (lamelli kavramalar), çıkış miline bağlı olduğundan dolayı redüksiyon oranı baz alınarak çıkış miline gelen tork bulunur.

Tablo 5’te yer alan 125 Nm’ye karşılık gelen ilgili redüksiyon oranını baz alındığında;

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\frac{2.13}{1} = \frac{T_2}{125} \quad T_2 = 266.25$$

$$S = \frac{M_K}{M_{max}} = \frac{1134.8736}{125 \times 2.13} = 4.0708$$

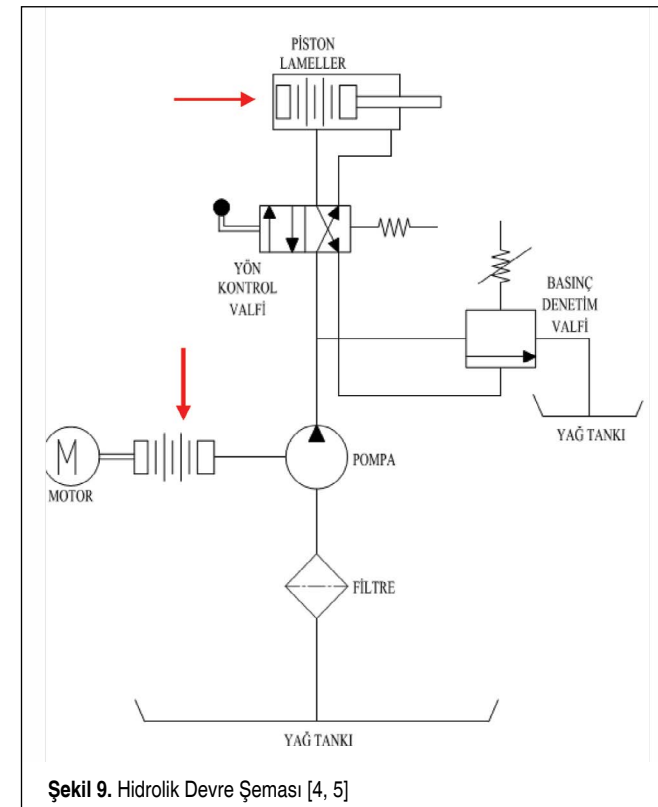
Emniyet katsayıları (S=1,2 1,5)* ile karşılaştırıldığında, S=4.0708 değerinin ilgili emniyet aralığından çok daha emniyetli olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle bu sonuç,

sistemin emniyetli olduğunu doğrulamaktadır, aksi halde 1,2 değerinden düşük olması halinde sistem, emniyetsizdir. [3]

*Yaptığımız hesaplamayı, yerli ve yabancı lamelli kavrama üreticilerinin emniyet katsayıları ile karşılaştırmak mümkündür. Ansys gibi analiz programları ile elde edilen sonuçlar, bu yapılan hesaplamalarla karşılaştırıldıklarında, tüm sistem için hem teorik hem sanal hem de üretim sahasında daha da verimli çalışmalar oluşturulacaktır. Ayrıca mukavemet hesaplamasının yanı sıra, şanzıman için hidro-dinamik bir analiz yapılmalı ve hidrolik akışkanın şanzıman içerisindeki durumu incelenmelidir.

4. HİDROLİK DEVRE ŞEMASI

Şekil 9’da, H60 şanzımanın hidrolik devre şeması ve piston kısmındaki plakaların (lameller)* oklarla belirtildiği görülmektedir. Motor kısmında ise motordan gelen tahrikle (mil momentinin etkisiyle), tahrik miline bağlı olan pompanın basıncı ile yağa hareket verildiği lamellerin piston etkisi göstererek yağın akışını sağladığı ve fren mekanizmasını çalıştırdığı aşağıdaki şemada gösterilmiştir.

**Şekil 9.** Hidrolik Devre Şeması [4, 5]

Sistemde, 2 konumlu 4 yollu yön kontrol valfi ve ayrıca basıncı ayarlamak amacıyla da basınç denetim valfi kullanılmıştır. Kaplin ve kavrama sistemlerinin dünyadaki öncülerinden Luk GmbH. ve Stromag AG de aynı şemayı kullanmaktadır.

*Sistemde, motor ve pompa arasında bulunan görsel şekiller “sinter plakalar” (Oklarla belirtilmiştir.) olduğunu ifade etmek için konulmuştur. Şekil 6’da gösterildiği gibi bunlar, motor çıkış miline bağlıdır. Ayrıca piston etkisi de bu lameller sayesinde gerçekleşmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada kısaca şunlar gerçekleştirilmiştir: Deniz Şanzıman sistemi içerisinde yer alan aşınma pulları ve sinter plakaların yer aldığı lamelli kavrama sisteminin moment hesabı ve motordan gelen tork da eklenerek emniyet katsayısı kontrolü yapılmış ve hidrolik devre şeması çizilmiştir.

SEMBOLLER

F_K	: Tork
F_R	: Sürtünme Kuvveti
F_N	: Toplam Kuvvet
μ_H	: Sürtünme Katsayısı
A	: Yüzey Alanı
P	: Yüzey Basıncı
D	: Dış Çap
d	: İç Çap
z	: Plaka Sayısı

MK	: Kavrama Momenti
M_{max}	: Maksimum Moment
r_m	: Ortalama Plaka Çapı
S	: Emniyet Katsayısı

KAYNAKÇA

1. Kutay, G. 2011. “Sürtünmeli Kavramalar,” <http://www.guven-kutay.ch/2012>, son erişim tarihi: 20.08.2014.
2. "Clutch Systems," http://www.krechina.com/docs/products/Ortlinghaus/Safety,%20slipping%20and%20starting%20clutches/gb_19.htm/ 2013, son erişim tarihi: 20.08.2014.
3. "Lamellenkupplung," <http://www.bswiki.de/mediawiki/index.php?title=Kupplung/> 2007, son erişim tarihi: 20.08.2014.
4. "Clutch Systems," http://www.stromag.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/Druckschriften_2013/UPLOAD_2013/PC_druckmittelgesch_Clutches_DE_EN_FR_10_2013.pdf/ 2013, son erişim tarihi: 20.08.2014.
5. "Kupplung," http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/automotiveaftermarket/brochure_1/downloads_5/luk_kupplungskurs_pkw_de_de.pdf/ 2012, son erişim tarihi: 20.08.2014.
6. Schwenke, T. 2013. "Lamellenkupplung /Mehrscheibenkupplung -Funktion (Animation)," <https://www.youtube.com/watch?v=XjWrVOMkCBc>, son erişim tarihi: 20.08.2014.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI)

YAZAR

HAKEM

EDİTÖR

HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ
e-Posta:
Şifre:

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mno.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz

YÜKSEK PERFORMANSLI ENERJİ YUTUCULAR İLE TAŞIT ÇARPIŞMA GÜVENLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ali Rıza Yıldız*

Doç. Dr.,
Bursa Teknik Üniversitesi,
Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik
Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
aliriza.yildiz@btu.edu.tr

Emre Demirci

Arş. Gör.,
Bursa Teknik Üniversitesi,
Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik
Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
emre.demirci@btu.edu.tr

ÖZ

Trafikteki taşıt sayısının son yıllarda artması ile birlikte, trafik kazaları da önemli ölçüde artmıştır. Bu kazaların en yaygın türü de önden çarpışmadır. Bu çalışmada, enerji yutucuların çarpışma performansı sonlu elemanlar yöntemiyle ve deneysel olarak incelenmiştir. Farklı geometrilerdeki enerji yutucular tasarlanmış ve başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucuya göre daha fazla enerji emebilen, reaksiyon kuvvetleri ve maliyetlerinin azaltıldığı yeni bir enerji yutucu modeli geliştirilmiştir. Çarpışma analizleri sonucunda, geliştirilen enerji yutucunun kütlesi 0,02 kg azaltılmış, özgül enerji emilimi ise 170 J/kg artırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli tasarım, enerji yutucu, taşıt güvenliği, önden çarpışma

IMPROVING THE VEHICLE CRASH SAFETY WITH HIGH PERFORMANCE ENERGY ABSORBERS

ABSTRACT

Depending on the increasing number of vehicles in recent years, traffic accidents have been increasing significantly. Frontal crash is the most common types of vehicle accidents. In this study, crash performances of the energy absorbers were investigated using finite element method and experimentally. Energy absorbers with different geometry are designed and a new energy absorber which has better crash performance, peak force and cost than initial design is developed. The numerical crash analysis results show that the weight reduction is 0,02 kg and increasing the amount of the specific energy absorption is 170 J/kg for the best design.

Keywords: Computer aided design, energy absorbers, vehicle safety, frontal crash

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 30.11.2014

Kabul tarihi : 10.04.2015

Demirci, E., Yıldız, A. R. 2015. "Yüksek Performanslı Enerji Yutucular ile Taşıt Çarpışma Güvenliğinin Geliştirilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, s. 40-45.

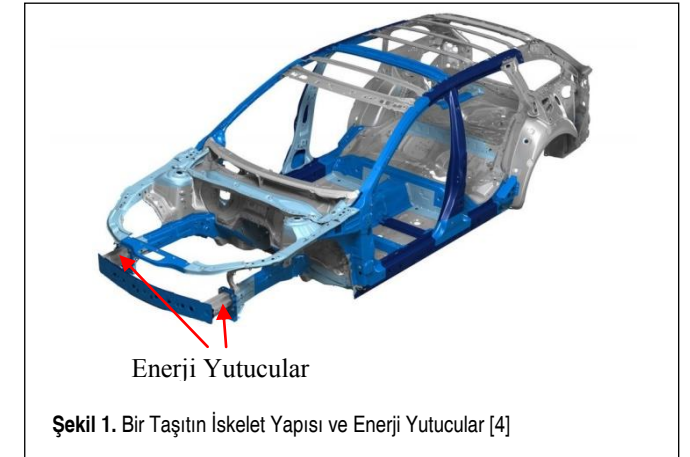
1. GİRİŞ

Günümüzde kara yolu ulaşımı, diğer ulaşım türlerine göre yaygın şekilde kullanılmakta ve kara yolu taşıtlarının sayısı da her geçen gün artmaktadır. Artan taşıt sayısına paralel olarak, meydana gelen çok sayıda trafik kazası otomotiv tasarımcılarını daha güvenli araçlar geliştirmeye yönlendirmiştir. Trafikte en çok karşılaşılan taşıt kaza türlerinden biri önden çarpışmalı kazalardır. Bu kazalar iki aracın karşılıklı önden çarpışması olabileceği gibi, bir aracın duran bir cisme veya araca çarpması şeklinde de gerçekleşmektedir. Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'nun ortak yaptığı çalışmaya göre, 2013 yılında Türkiye'de meydana gelen toplam 161.306 adet trafik kazasından, karşılıklı çarpışma sonucu meydana gelen kaza sayısı 10.297, arkadan çarpma sonucu meydana gelen kaza sayısı 14.976, duran bir cisme ya da araca çarpma sonucu meydana gelen kaza sayısı ise 14.008'dir [1]. Aynı çalışmadaki verilere göre, önden çarpışmalı kaza durumlarında toplam 1.040 kişi hayatını kaybetmiş ve 72.894 kişi de yaralanmıştır.

Otomotiv tasarımcıları, öncelikle kazaların önlenmesi ve eğer kaza kaçınılmazsa, kaza sonrası kayıpların azaltılması için taşıtlarda uygulanan birçok güvenlik sistemi geliştirmiştir. Bu güvenlik sistemleri, aktif ve pasif güvenlik sistemleri olmak üzere iki ana grup altında irdelenebilir. Aktif güvenlik sistemleri, kaza olasılığı durumunda kaza öncesinde kazadan korunmak için devreye giren güvenlik sistemleridir. Pasif güvenlik sistemleri ise aktif güvenlik sistemlerinin yetersiz kaldığı ve kazanın meydana geldiği durumlarda, kazanın hem insan sağlığı hem de maddi açıdan olumsuz sonuçlarını olabildiğince azaltmak amacıyla yapılan bütün yapısal ve tasarım özelliklerini kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında, pasif güvenlik sistemlerinden biri olan enerji yutucular ele alınmıştır. Başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucuya göre daha fazla enerji emebilen, reaksiyon kuvvetleri ve maliyetlerinin azaltıldığı yeni bir enerji yutucu modelinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. ENERJİ YUTUCULAR

Enerji yutucular, çarpışma esnasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi şekil değiştirme enerjisine dönüştüren taşıt yapısal elemanlarıdır (Şekil 1). Enerji yutucular tarafından emilen enerji, geri dönüşebilir veya geri dönüşümsüz olabilir [2, 3]. Ancak enerji yutucular için istenilen durum, kalıcı şekil deformasyonu ile çarpışma enerjisinin büyük bölümünün geri dönüşümsüz olarak sönmülmesidir. Çarpışma anında ortaya çıkan enerjinin geri dönüşümsüz olarak enerji yutucuya aktarılması, çarpışma hızına, çarpışma şekline, enerji yutucunun geometrisine, deformasyon biçimlerine ve malzeme gibi birçok parametreye bağlıdır [5- 11].



Şekil 1. Bir Taşıtın İskelet Yapısı ve Enerji Yutucular [4]

Enerji yutucuların çarpışma performansının belirlenmesi için birçok tanım ortaya konulmuştur. Tasarım parametreleri belirlenirken ve çarpışma analizi sonuçları değerlendirilirken bu tanımlamalardan faydalanılır. Bu tanımlamalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Emilen Toplam Enerji: Çarpışma anında bir enerji yutucu tarafından yutulan toplam enerji (E_T), ezilme kuvvetinin yaptığı iş olarak tanımlanır. Bu enerji, Denklem 1 ile hesaplanabilir [6].

$$E_T = \int_{S_b}^{S_s} F \cdot dS \quad (1)$$

Burada F (kN), eksenel yöndeki ezilme kuvvetini; S (mm) ise yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Özgül Enerji Emilimi: Bir enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, enerji yutucunun deforme olmamış haldeki kütlesine bölünmesi ile birim kütle başına emilen enerji, yani özgül enerji emilimi Denklem 2'deki gibi hesaplanmış olur [6, 9].

$$E_m = \frac{E_T}{m} \quad (2)$$

Burada E_m , özgül enerji emilimini; m ise çarpışma öncesindeki enerji yutucunun kütlesini ifade etmektedir. Tasarlanan enerji yutucunun çarpışma performansının iyi olması kadar hafif olması da beklenmektedir. Bu nedenle, özgül enerji emilimi önemli bir parametre olarak ele alınmalıdır.

Ortalama Ezilme Kuvveti: Denklem 1'de tanımlanan enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, eksenel yöndeki toplam ezilme mesafesi oranı ortalama ezilme kuvvetini (F_{ort}) verir [7, 9].

$$F_{ort} = \frac{E_T}{S_s - S_b} \quad (3)$$

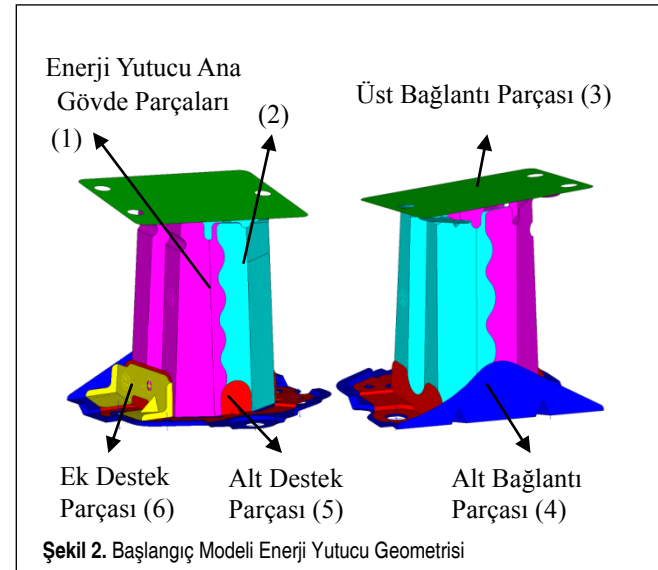
Maksimum (Pik) Ezilme Kuvveti: Çarpışma anında enerji yutucu üzerine aksel yönde gelebilecek yükler, enerji yutucuda ezilme kuvvetleri oluşturur. Genel olarak enerji yutucu üzerinde deformasyonun ilk başladığı anlarda oluşan en yüksek kuvvete maksimum (pik) ezilme kuvveti (F_{maks}) adı verilir. Maksimum ezilme kuvvetinin çok yüksek olması, enerji yutucunun işlevini yerine getirememesine ve ortaya çıkan kuvvetlerin direkt olarak taşıt iskelet yapısına, dolayısıyla taşıta içerisindeki sürücü ve yolculara aktarılmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, maksimum ezilme kuvvetinin oldukça düşük ve ortalama ezilme kuvvetine yakın bir değerde olması istenir. Çarpışma anında ezilme kuvvetinin düşük tutulması için, enerji yutucunun aksel yönde global burkulmaya maruz kalmaması ve düzgün bir ezilme karakteristiği göstermesi gerekir [12, 13]. Maksimum ezilme kuvvetini azaltmak için uygulanan bir diğer yöntem de enerji yutucu üzerine oluk benzeri yapılar eklemektir [14].

3. ENERJİ YUTUCU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

3.1 Alternatif Enerji Yutucu Tasarımları

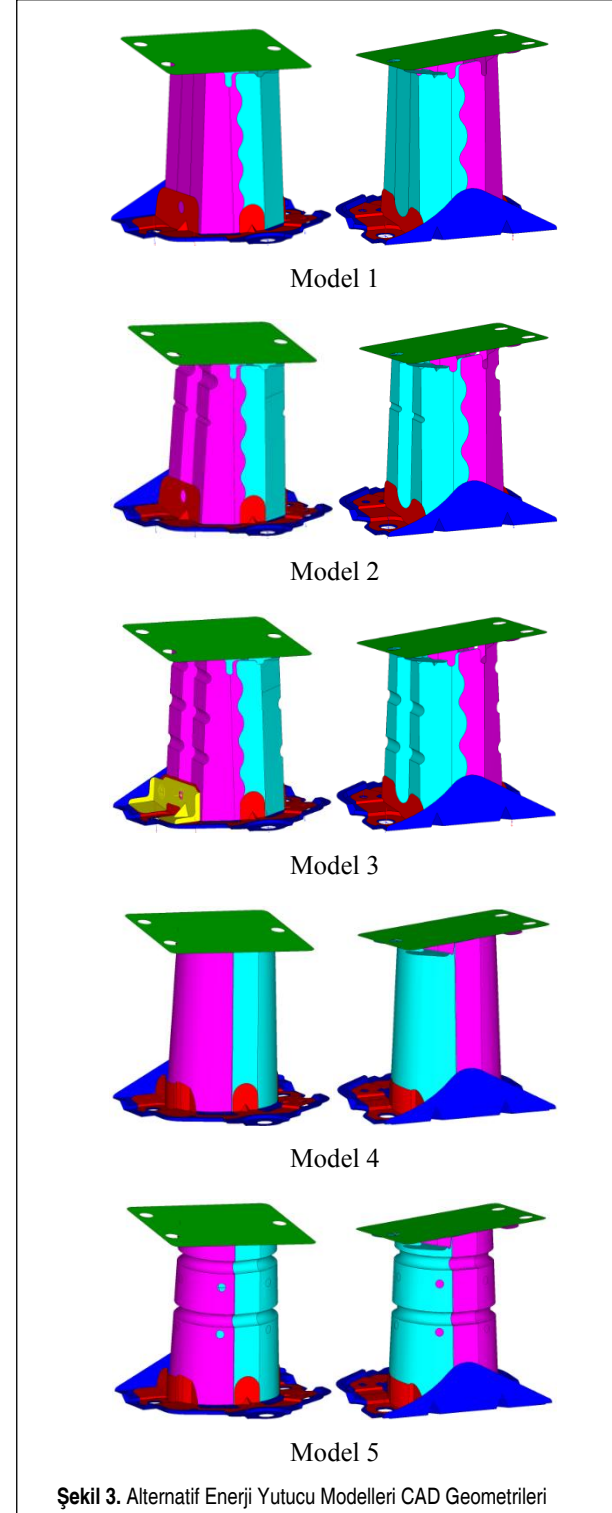
Enerji yutucuların tasarımında temel amaç, daha fazla enerji emebilen ve reaksiyon kuvvetlerinin ve ağırlığın minimize edildiği enerji yutucuları tasarlamaktır.

Bu çalışma kapsamında, mevcut enerji yutucunun enerji emilimini arttırmak ve oluşan maksimum reaksiyon kuvvetlerini düşürmek için, CAD ortamında yeniden tasarım işlemleri gerçekleştirilmiş, farklı tipte 45 adet enerji yutucu, yüzey olarak modellenmiştir. Başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucu altı farklı parçadan oluşmaktadır (Şekil 2). Bu parçalar; enerji yutucu ana gövde parçaları (1) ve (2), üst bağlantı parçası (3), alt bağlantı parçası (4), alt destek parçası (5) ve ek destek parçası (6).



ek destek parçasıdır (6). Enerji yutucuların çarpışma analizlerine, ana gövdelerin yanında, enerji yutucuyu tampona ve araca bağlayan alt ve üst bağlantı parçaları ve bağlantı destek parçaları da dâhil edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, mevcut enerji yutucunun geometrisi, et kalınlıkları ve enerji yutucu parçalarının birleştirilmesin-



Şekil 3. Alternatif Enerji Yutucu Modelleri CAD Geometrilere

de kullanılan punta kaynakların sayısı ve uygulama yerleri değiştirilmiş ve geometriye oluklar eklenmiştir. Ayrıca maliyeti azaltmak için enerji yutucu parçalarında da değişiklikler yapılmıştır. Tasarlanan alternatif enerji yutucu modellerinden seçilmiş olan 5 farklı enerji yutucunun CAD modeli geometrileri Şekil 3'te gösterilmiştir.

3.2 Sonlu Elemanlar Modeli ve Çarpışma Analizi

Başlangıç enerji yutucu modeli ve Catia yazılımında tasarlanan alternatif enerji yutucu modellerinin geometrileri HyperMesh yazılımının Ls-Dyna arayüzüne aktarılmış ve sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen enerji yutucular, ince cidarlı tüpler oldukları için yüzey olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, enerji yutucular ve bağlantı parçalarının sonlu elemanlar ağ yapısı 3x3 ağ yapısı boyutunda kabuk elemanlar ile oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, enerji yutucu malzemesi olarak SPC 440 kodlu çelik kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde malzeme tanımlaması, elasto-plastik malzeme türü ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Ls-Dyna yazılımı kütüphanesindeki *MAT 24 (Piecewise Linear Isotropic Plasticity) malzeme modeli kullanılmıştır. Çelik malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Malzemenin Yoğunluğu (RO)= 7850 kg/m³

Elastisite Modülü (E)= 206 GPa

Poisson Oranı (PR)= 0.3

Akma Gerilmesi, SIGY= 318 MPa

Kullanılan çelik malzemenin plastik bölgedeki davranışını temsil eden gerçek gerilme-gerinim eğrisine ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Enerji yutucuların yüksek hızlarda deformasyonu anında ortaya çıkan gerinim oranların, malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi Cowper-Symonds denklemi (Denklem 4) ile sonlu elemanlar modeline aktarılmıştır.

$$\sigma_y^d = \sigma_y \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad \dot{\epsilon} > 0 \quad (4)$$

Burada $\dot{\epsilon}$, gerinim hızı oranını; σ_y^d , dinamik akma gerilmesini; σ_y , statik akma gerilmesini; C ve P ise gerinim hızı parametrelerini ifade etmektedir. Abramowicz ve Jones [15, 16], yaptıkları çalışmalarda, çelik malzemenin dinamik ezilme davranışlarını incelemiş ve gerinim hızı parametreleri olarak C=6844 s⁻¹ ve P=3,91 değerlerini elde etmişlerdir. Bu

Tablo 1. Çelik Malzeme İçin Gerçek Gerilme-Gerinim Değerleri

σ [MPa]	318,0	363,4	435,3	478,4	508,2	532,1	551,6	564,6
ϵ	0	0,021	0,050	0,081	0,113	0,147	0,184	0,225

çalışma kapsamında da aynı gerinim hızı parametre değerleri kullanılmıştır.

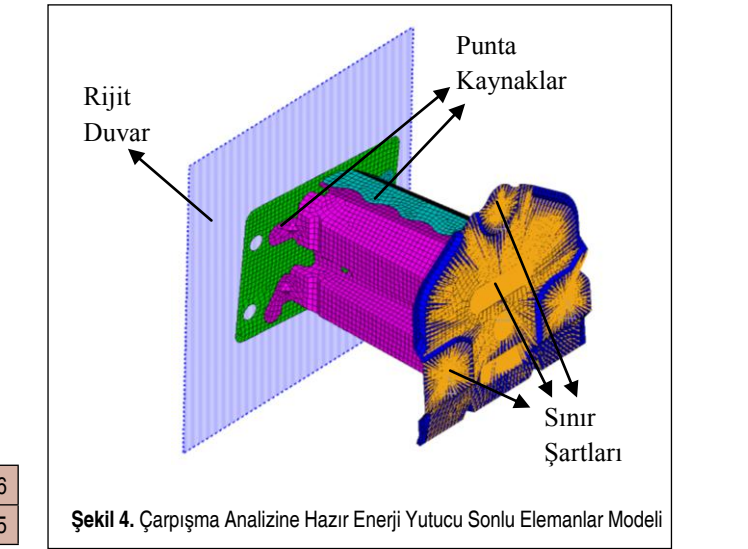
Sonlu elemanlar modelleri oluşturulan enerji yutucular, iki adet ana gövde parçasından ve taşıta bağlantı parçalarından oluşmaktadır. Bu farklı parçaların birbirleri ile birleştirilmesi punta kaynak tanımlamaları ile yapılmıştır. Tablo 2'de, başlangıç modeli enerji yutucu ve alternatif enerji yutucu modellerine ait kullanılan toplam sac parça sayısı, toplam kütle, ana gövde parçaları sac kalınlıkları ve toplam punta kaynak sayıları gibi sayısal bilgiler verilmiştir.

Enerji yutucuların çarpışma analizini gerçekleştirmek için, enerji yutucular alt parçalarından sabitlenmiş ve hareketli bir rijit duvar ile aksel yönde çarpıştırılmıştır. Rijit duvarın hızı 15,6 m/s, kütlesi ise 80 kg olarak tanımlanmıştır (Şekil 4). Enerji yutucular ve rijit duvarın çarpışması anında oluşacak temas durumları için "Automatic Single Surface" temas kartı kullanılmıştır [17].

Sonlu elemanlar modelleri oluşturulan enerji yutucu modelleri Ls-Dyna yazılımında çarpışma analizine tabi tutulmuştur. Çarpışma analizleri bütün modellerde 90 mm'lik ezilme mik-

Tablo 2. Mevcut ve Alternatif Enerji Yutucu Modellerine ait Bazı Sayısal Bilgiler

Enerji Yutucu Modeller	Sac Kalınlığı (mm)	Parça Sayısı (adet)	Kaynak Sayısı (adet)	Kütle (gram)
Mevcut	1,2	6	23	1069,09
Model 1	1,3	6	23	1014,8
Model 2	1,25	5	23	1049,11
Model 3	1,2	6	23	1070,61
Model 4	1,4	5	21	975,62
Model 5	1,6	5	21	1057,04



Şekil 4. Çarpışma Analizine Hazır Enerji Yutucu Sonlu Elemanlar Modeli

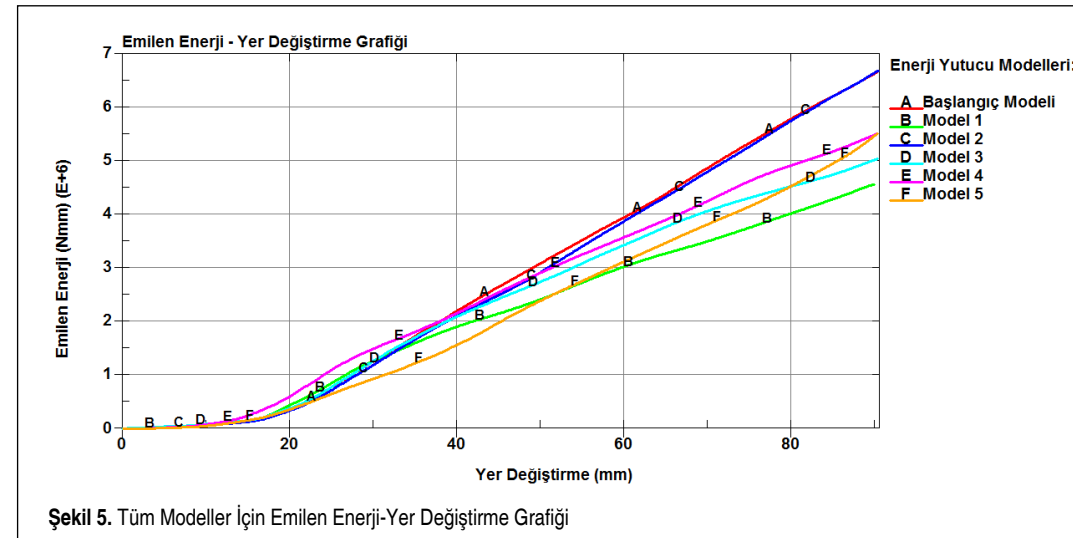
tarı için ele alınmıştır. Buna göre, toplam enerji emilimi, maksimum (pik) ezilme kuvveti, ortalama ezilme kuvveti ve birim kütle başına emilen enerji miktarı hesaplanmıştır.

4. SONUÇ

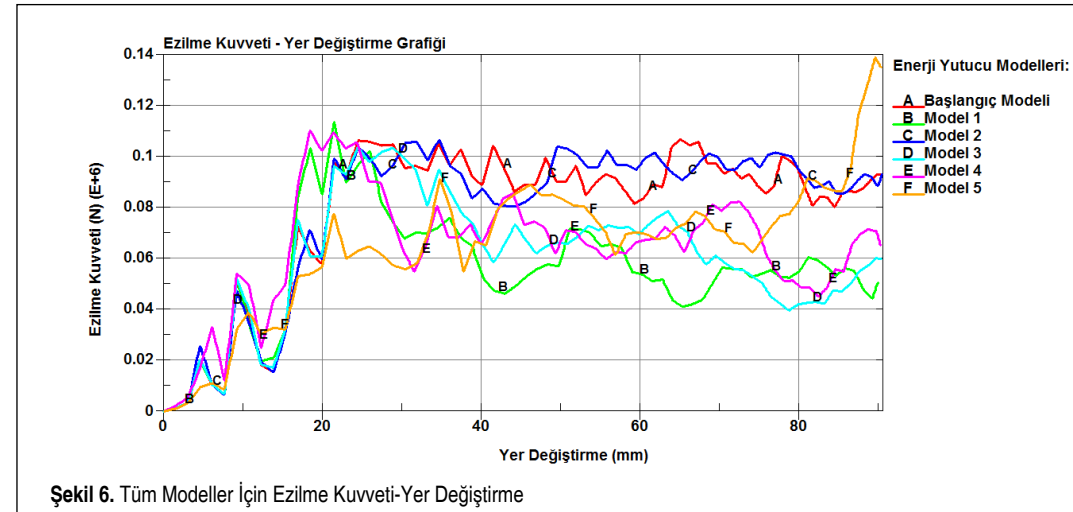
Bu çalışma kapsamında incelenen alternatif enerji yutucula-

rın özgün geometrileri, mevcut bir enerji yutucunun başlangıç modeli seçilmesi ile oluşturulmuştur. Bu nedenle, enerji yutucuların çarpışma performanslarının kıyaslanması kendi aralarında yapılmıştır.

Başlangıç modeli enerji yutucu ve 5 farklı alternatif enerji yutucunun enerji emilimleri ve maksimum (pik) ezilme kuvvetleri 90 mm deformasyon miktarı için incelenmiş ve karşılaştırılmaları grafikler üzerinden yapılmıştır. Şekil 5 ve 6'da enerji yutucuların enerji emilimleri ve ezilme kuvvetleri kıyaslanmıştır. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere, enerji yutucu ana gövde geometrisi, ana gövde sac kalınlığı ve enerji yutucu üzerine yerleştirilen oluk yapıları, emilen enerji miktarını ve ezilme kuvveti karakterini önemli derecede etkilemektedir. Enerji yutucu modellerinin çarpışma performans ve sonuçları Tablo 3'te belirtilmiştir. Enerji ve kuvvet değişimlerinde başlangıç modeli esas alınmıştır.



Şekil 5. Tüm Modeller İçin Emilen Enerji-Yer Değişirme Grafiği



Şekil 6. Tüm Modeller İçin Ezilme Kuvveti-Yer Değişirme

Tablo 3. Çarpışma Analiz Sonuçları

Enerji Yutucu Modelleri	Emilen Enerji (kJ)	Enerji Değişimi (%)	Birim Kütle Başına Emilen Enerji (kJ/kg)	Pik Kuvvet (kN)	Pik Kuvvet Değişimi (%)
Mevcut	6,65	0	6,22	107	0
Model 1	4,57	-31,28	4,50	50,78	-52,54
Model 2	6,7	3,01	6,39	106	-0,94
Model 3	5,05	-24,06	4,72	103,97	-2,83
Model 4	5,51	-17,14	5,65	110,74	3,50
Model 5	5,51	-17,14	5,21	139,18	30,08

Tablo 2 ve Tablo 3 birlikte incelendiğinde, 2 numaralı modelin, başlangıç modeline göre daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Özgün enerji emiliminde 170 J/kg artış, maksimum kuvvette ise azalış meydana gelmiştir. Böylece enerji emilimi ve reaksiyon kuvvetlerinin istenilen düzeyde kalması sağlanmıştır. Buna ek olarak, hem ağırlık 0,02 kg azaltılmış hem de bir parça eksiltilerek üretim maliyeti düşürülmüştür. Ayrıca farklı tasarımlardaki enerji yutucular için aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Enerji yutucu ana gövde et kalınlığı artırıldığında, enerji emiliminde de artış olduğu görülmüştür. Ancak bu durumun maksimum ezilme kuvvetinde de artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.
- Enerji yutucu gövdeleri üzerine yerleştirilen oluk, delik gibi yapıların maksimum ezilme kuvvetini azalttığı tespit edilmiştir.
- Çokgen kesit yapısındaki enerji yutucuların, dairesel kesitli enerji yutuculara göre daha verimli olduğu belirlenmiştir.

SEMBOLLER

- C, P : Gerinim Hızı Parametreleri
 E : Elastisite Modülü
 E_m : Özgün Enerji Emilimi
 E_T : Toplam Enerji Emilimi
 F : Eksenel Yöndeki Ezilme Kuvveti
 F_{ort} : Ortalama Ezilme Kuvveti
 F_{maks} : Maksimum (Pik) Ezilme Kuvveti
 m : Enerji Yutucu Kütleli
 S : Deformasyon Miktarı
 $\dot{\epsilon}$: Gerinim Hızı
 ρ : Malzeme Yoğunluğu
 σ_{ort} : Ortalama Ezilme Gerilmesi
 σ_y : Akma Gerilmesi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, 01348.STZ.2012-1 kodlu SANTEZ Projesi kapsamında maddi olarak destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu. 2014. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri 2013, ISBN: 978-975-19-6244-7, TÜİK, Ankara.
2. Nagel, G. 2005. "Impact and Energy Absorption of Straight and Tapered Rectangular Tubes," PhD Thesis, The School of Civil Engineering Queensland University, Queensland.
3. Nia, A. A., Parsapour, M. 2014. "Comparative Analysis of Energy Absorption Capacity of Simple and Multi-Cell Thin-Walled Tubes with Triangular, Square, Hexagonal and Octagonal Sections," Thin-Walled Structures, vol. 74, p. 155-165.

4. <http://www.boronextrication.com/2013/07/03/2014-mazda-6-body-structure/>, son erişim tarihi: 5 Ocak 2014.
5. Alghamdi, A. A. A. 2001. "Collapsible Impact Energy Absorbers: An Overview," Thin-Walled Structures, vol. 39, p. 189-213.
6. Chathbai, A. 2007. "Parametric Study of Energy Absorption Characteristic of a Rectangular Aluminum Tube Wrapped with E-Glass/Epoxy," Master Thesis, Wichita State University, Mechanical Engineering Department, Kansas, USA.
7. Jin, S. Y., Altenhof, W. 2007. "Comparison of the Load/Displacement and Energy Absorption Performance of Round and Square Aa6061-T6 Extrusions under a Cutting Deformation Mode," International Journal of Crashworthiness, vol. 12 (3), p. 265-278.
8. Yıldız, A. R., Solanki, K. 2012. "Multi-Objective Optimization of Vehicle Crashworthiness Using a New Particle Swarm Based Approach," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 59 (1-4), p. 367-376.
9. Guler, M. A., Cerit, M. E., Bayram, B., Gerçekler, B., Karakaya, E. 2010. "The Effect of Geometrical Parameters on the Energy Absorption Characteristics of Thin-Walled Structures under Axial Impact Loading," International Journal of Crashworthiness, vol. 15 (4), p. 377-390.
10. Zhang X., Zhang H., Wen Z. 2014. "Experimental and Numerical Studies on the Crush Resistance of Aluminum Honeycombs with Various Cell Configurations," International Journal of Impact Engineering, vol. 66, p. 48-59.
11. Nia, A. A., Hamedani, J. H. 2010. "Comparative Analysis of Energy Absorption and Deformations of Thin Walled Tubes with Various Section Geometries," Thin-Walled Structures, vol. 48, p. 946-954.
12. Song, J., Chen, Y., Lu, G. 2012. "Axial Crushing of Thin-Walled Structures with Origami Patterns," Thin-Walled Structures, vol. 54, p. 65-71.
13. Karagiozova, D., Jones, N. 2008. "On the Mechanics of the Global Bending Collapse of Circular Tubes under Dynamic Axial Load—Dynamic Buckling Transition," International Journal of Impact Engineering, vol. 35, p. 397-424.
14. Eyvazian, A., Habibi, M. K., Hamouda, A. M., Hedayati, R. 2014. "Axial Crushing Behavior and Energy Absorption Efficiency of Corrugated Tubes," Materials and Design, vol. 54, p. 1028-1038.
15. Abramowicz, W., Jones N. 1984. "Dynamic Axial Crushing of Square Tubes," International Journal of Impact Engineering, vol. 2 (2), p. 179-208.
16. Abramowicz, W., Jones, N. 1986. "Dynamic Progressive Buckling of Circular and Square Tubes," International Journal of Impact Engineering, vol. 4 (4), p. 243-270.
17. Livermore Software Technology Corporation, Livermore. 2012. Ls-Dyna Keyword User's Manual Volume I, California.

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ DURUMU-GENEL DEĞERLENDİRME

Mahmut Can Şenel *

Arş. Gör.,
Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı,
Samsun
mahmutcan.senel@omu.edu.tr

Erdem Koç

Prof. Dr.,
Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı,
Samsun
erdemkoc@omu.edu.tr

ÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi; temiz, güvenilir, tükenmez ve düşük işletme maliyetli bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinin dünya ve ülkemizdeki durumu analiz edilmiştir. Rüzgâr enerjisi alanında öncü olan ülkelerin rüzgâr enerjisi kurulu gücüyle ülkemiz rüzgâr enerjisi kurulu gücü karşılaştırılarak yıllar içerisinde meydana gelen gelişmeler incelenmiş ve rüzgâr enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payı değerlendirilmiştir. Ayrıca, ülkemizde işletme, inşaa ve lisans aşamasındaki rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü hakkında bilgiler verilmiş ve bu kurulu gücün artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, rüzgâr enerjisi, rüzgâr enerji potansiyeli

THE STATE OF WIND ENERGY IN THE WORLD AND TURKEY GENERAL EVALUATION

ABSTRACT

Wind energy is one of the renewable energy sources which is a clean, reliable, low operation cost, inexhaustible energy source. In this study, the state of wind energy was analyzed in the world and Turkey. Wind power installation capacity of leading countries was compared with installation capacity of our country. Recent trends in wind power capacity were investigated in the world. The share of wind energy in renewable energy sources was evaluated. Also, some information such as installation capacity of wind power plants in installation, under construction and license stages in our country were reported. Some suggestions were presented in order to increase the wind power installation capacity of Turkey.

Keywords: Renewable energy, wind energy, wind energy potential

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 18.12.2014
Kabul tarihi : 17.04.2015

Şenel, M. C., Koç, E. 2015. "Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, s. 46-56.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, sanayileşme, teknolojik araç ve gereçlerin insan yaşamında yoğun bir şekilde yer alması, enerji tüketiminin çok hızlı artmasına sebep olmaktadır. Fabrikalar, atölyeler, evdeki elektronik araçlar, sokak aydınlatmaları, demiryolu taşımacılığı, hatta elektrikle çalışan otomobiller gibi birçok alanda enerji, temel girdi haline gelmiştir. Bütün bu gelişmeler, enerji tüketimini her yıl ortalama %4-5 oranında arttırmaktadır [1].

Enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan fosil yakıt rezervlerinin (kömür, petrol ve doğalgaz) azalması, fosil yakıtların işlenmesi için daha derinlere inilme zorunluluğunu getirmiştir. Fosil yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar neticesinde, dünyadaki enerji tüketim hızı fosil yakıtların oluşum hızının 300 bin katına eşit olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, bir günde yaklaşık bin yıllık fosil yakıt oluşumu tüketilmektedir. Bu durum, fosil yakıt rezervlerinin giderek tükeneceğinin bir göstergesi olup, enerji ihtiyacı duyan ülkeleri de yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir [1-2].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisidir. Bu enerji kaynaklarının, enerjinin üretimi ve dönüştürülmesi sırasında karşılaşılan çevresel sorunlara sebep olmaması nedeniyle kullanımı her geçen gün artmaktadır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmısından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, hava sıcaklığı, basıncı ve neminin farklı olmasına, bu basınç farkları da havanın hareketine neden olur. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava hareketi de rüzgârı oluşturmaktadır [1-3].

Rüzgâr enerjisi kullanımının bazı avantajları mevcuttur. Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir özelliğe sahip, taşıma sorunu bulunmayan ve enerji üretimi için çok yüksek teknoloji gerektirmeyen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca, bu enerji kaynağı atmosferde serbest ve bol bir şekilde bulunmakta ve çevre kirliliği oluşturmamaktadır. Güneş ve dünya var olduğu sürece var olacak rüzgâr enerjisinden yararlanmak için başka bir enerji şekline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için rüzgâr türbinlerinden faydalanılmaktadır [4-6]. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Son yıllarda rüzgâr türbin teknolojisinde meydana gelen gelişmeler (türbin çeşitleri, türbin yükseklikleri vb.) rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyetini düşürerek rüzgâr enerjisini fosil yakıt rezervleriyle rekabet edebilir bir duruma getirmiştir. Bu sebeple, birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke, rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme çalışmalarını devlet politikası haline getirecek her aşamada desteklemektedir [1-3].

Rüzgâr enerjisinin ülkemiz ve dünyadaki durumuna yönelik

literatürde birçok çalışma mevcuttur. Yanıktepe ve arkadaşları [7], Türkiye’de rüzgâr enerji sistemlerinin gelişimini ve rüzgâr enerji potansiyelini incelemişlerdir. 2011 yılı sonu itibarıyla Türkiye’deki ve dünyadaki rüzgâr türbini kurulu gücünün gelişimi ve günümüzdeki durumu araştırılmıştır. Kaplan [8] çalışmasında, Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan rüzgâr enerjisinin verimsiz kullanıldığından bahsetmiştir. Bu sebeple, ülkemizde rüzgâr enerji potansiyelinin daha doğru nasıl değerlendirilebileceğine yönelik önerilerde bulunmuştur. Camadan [9] yürüttüğü çalışmada, ülkemizde rüzgâr enerjisine yönelik yürütülen uygulamaları ve politikaları incelemiş, kısa ve uzun vadede öncelikleri değerlendirerek bazı öneriler sunmuştur. Dincer [10], rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminin dünyadaki mevcut durumunu, potansiyelini ve rüzgâr enerjisi politikalarını değerlendirmiştir. Rüzgâr türbini kurulu gücünü artırmaya yönelik tavsiyelerde bulunmuştur.

Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi potansiyeli ile rüzgâr enerjisinin ülkemiz ve dünyadaki durumu analiz edilerek ülkemizde işletme, kurulum ve lisans aşamasındaki rüzgâr enerji santralleriyle ilgili bilgiler verilmiştir. Ülkemizin rüzgâr enerjisi kurulu gücü, rüzgâr enerjisi konusunda öncü olan diğer ülkelerin rüzgâr enerjisi kurulu gücüyle karşılaştırılarak yıllar içerisinde meydana gelen gelişmeler değerlendirilmiştir. Ayrıca, rüzgâr enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payı üzerinde durulup, bu payın daha da artırılmasına yönelik yapılması gereken çalışmalarla ilgili bilgiler verilip tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. RÜZGÂR ENERJİSİ VE RÜZGÂR TÜRBİNLERİ SEÇİM ESASLARI

Rüzgâr türbinleri tarihçesiyle ilgili değişik dokümanlara rastlanmakla birlikte, en eski rüzgâr kuvvet makinesi olan yel değirmeninin, bundan 3000 yıl önce İskenderiye yakınlarında yapıldığı tahmin edilmektedir. Mısır, İran ve Uzak Doğu’da görülen yel değirmenleri, Orta Doğu uygarlıklarından, Haçlı seferleri sırasındaki etkileşim ile Avrupa’ya geçmiştir [11]. M.S. 12. yy’da yel değirmenleri Fransa, İngiltere ve Hollanda’da ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. M.S. 19. yy’ın sonlarında ve M.S. 20. yy’da yel değirmenleri ile kuyudan su çekmek ve elektrik elde etmek gibi uygulamalar ortaya çıkmıştır [12].

Elektrik üretme amaçlı ilk rüzgâr türbini 1891’de Dane Poul LaCour tarafından üretilmiş olmasına rağmen, modern sanayileşmenin başlarında (1900-1950’li yıllarda) rüzgâr enerjisinin yerine, daha tutarlı kaynaklar olan fosil yakıt kullanan enerji üretim sistemleri kullanılmaktaydı. Fakat bu süreçte de rüzgâr türbini teknolojisini geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. 1942 yılında üretilen 17,5 m kanat çaplı ve 50 kW nominal güçlü Smidth rüzgâr türbini ve 1957 yılında imal edilen 24 m kanat çaplı ve 200 kW nominal güçlü Gedser rüzgâr türbini buna örnek olarak gösterilebilir [11]. 1970’lerin

başlarında yakıt fiyatlarında yaşanan yükseliş elektrik enerjisi üretiminde, rüzgâr enerjisi kullanımını daha fazla gündeme taşımıştır. 1990’ların sonu itibarıyla rüzgâr enerjisi en hızlı büyüyen önemli enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Yakın zamandaki teknolojik gelişmeler, rüzgâr türbinlerinin giderek daha verimli, uygun maliyetli ve güvenilir olmalarını sağlamıştır. 50-100 kW’lık küçük-orta ölçekli sistemler yerini 1 MW ve daha büyük sistemlere bırakmıştır [13]. Hızla gelişen teknoloji sayesinde günümüzde kullanılan rüzgâr türbinlerinin güç kapasitesi 8 MW’a ve kanat çapı 164 m’ye ulaşmıştır.

Rüzgâr enerjisi; çevre üzerine olumsuz etkisi yok denecek kadar az olan yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlarla elektrik enerjisi üretmenin neden olduğu çevresel hiçbir sorun, rüzgâr enerjisinde yoktur. Yapılan araştırmalarda, 500 kW’lık bir rüzgâr türbininin 57.000 ağacın yaptığı CO₂ temizleme işine eşdeğer bir iş yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca, dünya genelindeki elektrik enerjisi ihtiyacının sadece %10’luk kısmının 2025 yılına kadar rüzgâr enerjisinden sağlanması durumunda atmosfere salınan CO₂ emisyonunun yıl da 1.41 Gton azalacağı öngörülmektedir [1].

Rüzgâr türbinleri, ilk yatırım aşamasında yüksek maliyet gerektirmesine rağmen, hammaddeye ihtiyaç duymadıklarından türbinlerin işletme maliyetleri çok düşüktür. Rüzgâr türbin teknolojisindeki gelişmelerle birlikte rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyeti giderek düşmektedir. Böylece, rüzgâr türbinleri; termik ve hidrolik gibi diğer enerji santralleriyle ekonomik açıdan rekabet edecek düzeye gelmiştir. Kilovat saat maliyeti 4.5-6 cent civarında olan rüzgâr türbinlerinde maliyetin zamanla daha da düşeceği tahmin edilmektedir. İlk yatırım maliyeti açısından yapılan değerlendirmelerde ise bir türbinin fiyatı ABD iç piyasasında en az 750 \$/kW, Avrupa’da 1000-1500 \$/kW seviyelerindedir. Dünya piyasasında rekabetin artmakta olması sebebiyle, özellikle Avrupa’da bu fiyatların 1000 \$/kW’ın altına düşeceği öngörülmektedir [1, 14]. Bir rüzgâr enerji santralının toplam maliyetinin %75’ine karşılık gelen en büyük kalemini rüzgâr türbinleri (kanatlar, kuleler, nakliye ve tesis vb.) oluşturur. Bir rüzgâr türbinini yaklaşık 8000 farklı bileşenden oluşmaktadır. Türbin ana bileşenlerinin türbin maliyeti içerisindeki payları sırasıyla; kule (%26,3), kanatlar (%22,2), dişli kutusu (%12,91), güç konvertörü (%5,01), trafo (%3,59), jeneratör (%3,44), gövde (%2,8) ve kanat açısı kontrol sistemi (%2,66) şeklindedir. Ülkemizde bu türbin bileşenlerinin büyük bir kısmı (göbek, kanatlar, jeneratör, dişli kutusu vb.) yurt dışından ithal edilmektedir. Rüzgâr türbin kuleleri ise genellikle projelerin yer aldığı yerli piyasada imal edilmektedir [15].

Toplumdaki genel yargının aksine rüzgâr enerji santralleri, diğer enerji santrallerinden daha fazla yer kaplayabilirler. Bu durum, türbinlerin birbirlerinin rüzgârını kesmemesi amacıyla seyrek yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Büyük sayılabilecek 20 adet türbin, yaklaşık 1 km²’lik bir alan kaplamak-

tadır. Ancak bu alanın gerçekte, sadece %1-1,5’lik bir bölümü türbinlerin oturduğu alandır. Geriye kalan bölüm ise tarım ve hayvancılık için kullanılabilir. Rüzgâr türbinleri ile enerji üretimi dışa bağımlılığı da azaltılmaktadır [1, 3]. Yürütülmekte olan “Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi (MİLRES) Projesi” kapsamında büyük güç kapasiteli rüzgâr türbinlerinin (>2 MW) ülkemizde de üretilmesi hedeflenmektedir. Bu sebeple, gelecekte ülkemizde bu sektörün daha da gelişeceğini tahmin etmek zor değildir.

Rüzgâr enerji santrallerinde oluşabilecek en önemli çevresel etki olarak gürültü gösterilmektedir. Bu nedenle, santraller yerleşimin olmadığı veya rakım farklılıkları nedeniyle gürültünün çok az hissedildiği yerlere kurulmaktadır. Ayrıca, türbin teknolojisindeki gelişmelerle birlikte gürültü emisyonları da giderek düşmektedir. Rüzgârların düzenli olmaması sebebiyle, rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminde kesikli bir düzen görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, rüzgârın yeterli hızda esmediği dönemlerde enerji üretimi olmamaktadır. Yüksek hızla dönen türbin kanatları, kuşların ölümlerine sebep olabilmektedir. Ancak kuş ölümlerinin çok büyük boyutlarda olmadığı bilinmektedir [1, 14].

Rüzgâr türbin sektörü, dünyada giderek büyüyen yeni bir pazar olup, türbin elemanlarının imalatı, türbinlerin kurulması ve taşınması gibi işler büyük istihdam imkanları sağlayabilmektedir. Örneğin kule üretiminde kullanılan çelik, merdiven, kablo gibi tedarik zinciri ara malzemelerinin belli kalitede ve sertifikalı olması türbin üretici firmalar tarafından istenmektedir. Ülkemizde bu nitelikteki ara malzemeler ithal edilmektedir. Bu sebeple, bu tür ara malzemelerin istenen kalitede yerli üretimi konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede, gerekli yatırımlar yapılarak ülkemizin gelişimine katkı sağlayacak yeni bir sektör oluşabilecektir [15].

3. DÜNYA’DA RÜZGÂR ENERJİSİNİN GENEL DURUMU

Rüzgâr enerjisi, kullanımı giderek artan ve potansiyeli yeni keşfedilmiş tükenmez bir enerji kaynağıdır. Dünya rüzgâr enerji potansiyelini belirleyebilmek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, 5.1 m/s üzerinde rüzgâr kapasitesine sahip bölgelerin, uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4’ünün kullanılacağı öngörüsüne dayanarak, dünya teknik rüzgâr potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan kıtalar/bölgeler sırasıyla; Kuzey Amerika (14000TWh/yıl), Doğu Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl), Afrika (10600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl) şeklindedir (Şekil 1) [16]. Bu veriler, Kuzey Amerika, Doğu Avrupa ve Rusya ve Afrika’nın dünya rüzgâr enerji potansiyelinin %66’sına sahip olduğunu göstermektedir.

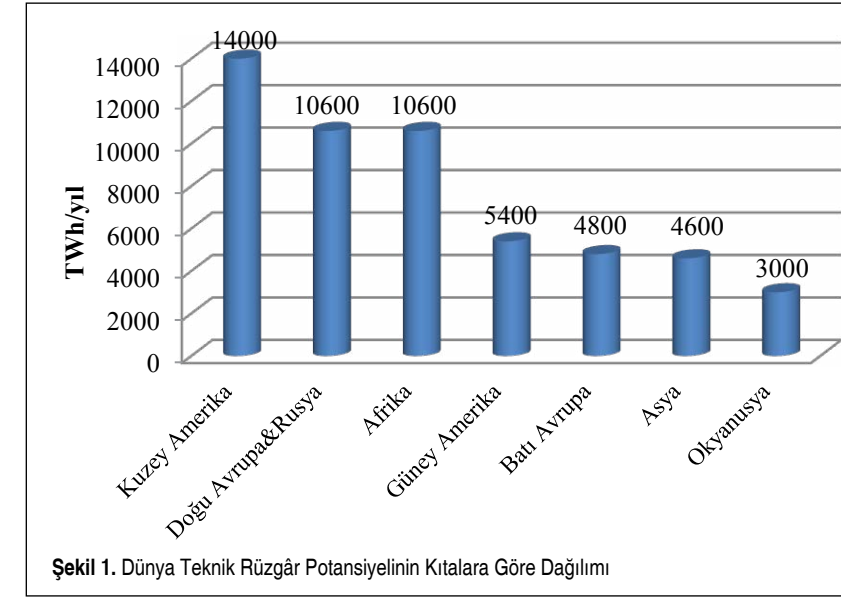
Dünya teknik rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi çalışmasında, rüzgâr hızının 4-5 m/s olduğu bölgeler dikkate alınmamasına rağmen, bu bölgeler de oldukça iyi rüzgâr potansiyeline sahiptir. Sadece Almanya’da bu potansiyelin değeri 90 TWh/yıl olarak tespit edilmiştir [16]. Ayrıca, bu hesaplamalar sadece karasal bölgeler için yapılmış olup, dikkate alınmayan açık

deniz (offshore) bölgelerinin de ihmal edilemeyecek ciddi bir potansiyeli mevcuttur.

2003-2013 yılları arasında dünya yenilenebilir enerji kurulu gücündeki değişim Tablo 1’de verilmiştir. Bu süreçte, yenilenebilir enerji kurulu gücü yaklaşık iki kat, güneş enerjisi kurulu gücü yaklaşık iki kat ve rüzgâr enerjisi kurulu gücü ise yaklaşık yedi kat artış göstermiştir. 2013 yılında dünya yenilenebilir enerji kurulu gücünün (1560 MW) %64,1’ini hidrolik enerji oluştururken, %20,4’ünü rüzgâr enerjisi oluşturmuştur [17]. Bu istatistik verilerden, dünya yenilenebilir enerji kurulu gücünde, rüzgâr türbin kurulu gücü payının her yıl giderek artmakta olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ekonomik ve endüstriyel gelişmeyle paralel olarak ülkelerin rüzgâr enerjisine öncelik vermelerinden ve enerji politikalarını bu doğrultuda geliştirmelerinden kaynaklanmaktadır.

Dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla 336327 MW’dır (Şekil 2). 2014 yılı ilk altı aylık döneminde rüzgâr enerji santrallerinin güç kapasitesinde %5,6’lık (17613 MW) bir kapasite artışı tespit edilmiştir. 2014 yılı sonunda ise rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 360000 MW’a ulaşacağı öngörülmektedir [18]. Rüzgâr enerjisine yönelik uygulanan teşvikler neticesinde, dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücünde her yıl ortalama %10’un üzerinde bir büyüme gerçekleşmiştir. Bu büyüme oranlarıyla rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en hızlı büyüyen enerji kaynağı olmuştur.

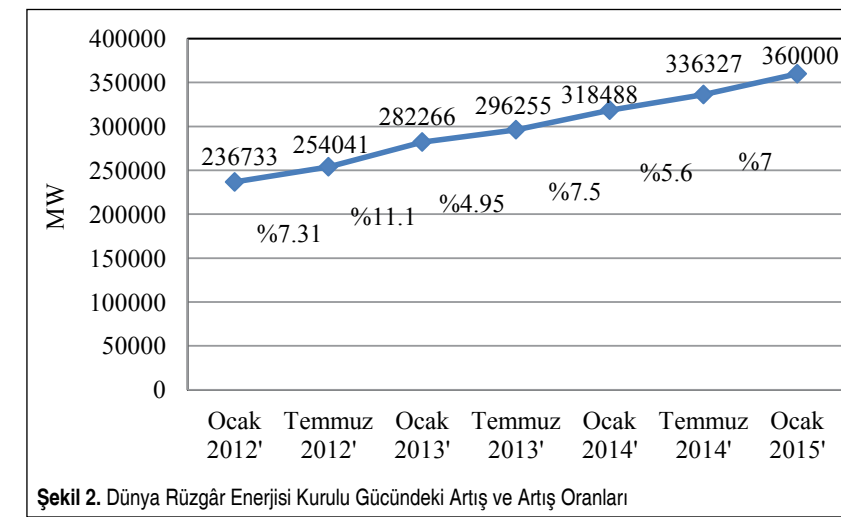
2014 yılı ilk altı ayında rüzgâr enerjisi kurulu gücündeki artışın ülkelere göre dağılımı Şekil 3’te verilmiştir. Bu süreçte, en fazla kapasite artışı gösteren ülkeler sırasıyla; Çin (7.1 GW), Almanya (1.8 GW), Brezilya (1.3 GW) ve Hindistan (1.1 GW)’dır. Brezilya, rüzgâr enerji santrallerinin güç kapasitesini en fazla artıran üçüncü ülke olmuş ve ABD’den (0.835 GW) daha fazla bir kapasite artışına ulaşmıştır. Ayrıca, 2014 yılında Çin’de gerçekleşen bu kapasite artışıyla, Çin’in rüzgâr enerjisi kurulu gücü 100 GW’a yaklaşmış ve dünya rüzgâr türbin kurulu gücündeki artış payı %41 olarak gerçekleşmiştir [18]. Bu verilerden, gelişmekte olan birçok ülkenin (Brezilya, Türkiye, Çin vb.) enerjiye olan gereksinimiyle paralel olarak rüzgâr türbin kurulu gücünü arttırdığı görülmektedir.



Şekil 1. Dünya Teknik Rüzgâr Potansiyelinin Kıtalar Göre Dağılımı

Tablo 1. Dünya Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücündeki Değişim [17]

Enerji Türleri	2003 Yılı Kurulu Gücü (GW)	2012 Yılı Kurulu Gücü (GW)	2013 Yılı Kurulu Gücü (GW)
Hidrolik Enerji	715	960	1000
Biyoenerji	<36	83	88
Jeotermal Enerji	8.9	11.5	12
Güneş Enerjisi	3	102.5	142.4
Rüzgâr Enerjisi	48	283	318
Yenilenebilir Enerji	800	1440	1560



Şekil 2. Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücündeki Artış ve Artış Oranları

Tablo 4. 50 m Yükseklikte Türkiye Kara Rüzgâr Potansiyeli [20]

Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Potansiyel (MW)
6.5-7.0	83906.96
7.0-7.5	29259.36
7.5-8.0	12994.32
8.0-9.0	5399.92
>9.0	195.84
Toplam	131756.40

Tablo 5. 50 m Yükseklikte Türkiye Deniz Rüzgâr Potansiyeli [20]

Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Potansiyel (MW)
6.5-7.0	6929.92
7.0-7.5	5133.20
7.5-8.0	3444.80
8.0-9.9	1742.56
>9.0	142.72
Toplam	17393.20

MGM tarafından 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre, Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgâr hızı 2.54 m/s, rüzgâr gücü yoğunluğu 24 W/m² olarak belirlenmiştir. Ülkemizdeki tüm bölgelerin 10 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr güç yoğunlukları Tablo 6’da verilmiş olup, rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan bölgeler sırasıyla; Marmara, Güneydoğu Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesidir. Doğu Anadolu Bölgesi, en düşük rüzgâr güç yoğunluğuna sahip bölge olduğundan, bu bölgede işletme halinde herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır.

Rüzgâr enerji santrallerinin, ekonomik yatırımlar olabilmesi

Tablo 6. 10 m Yükseklikte Bölgelerin ve Ülkemizin Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunlukları [20]

Bölge Adı	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m ²)
Marmara Bölgesi	3.3	51.91
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2.7	29.33
Ege Bölgesi	2.6	23.47
Akdeniz Bölgesi	2.5	21.36
Karadeniz Bölgesi	2.4	21.31
İç Anadolu Bölgesi	2.5	20.14
Doğu Anadolu Bölgesi	2.1	13.19
Türkiye Toplamı	2.54	24

için rüzgâr türbinin kurulacağı arazide 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızının minimum 7.0 m/s olması gerekmektedir. YEGM tarafından Türkiye’de 50 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızlarına göre illerin rüzgâr potansiyelleri belirlenmiştir (Tablo 7). Rüzgâr potansiyeli yüksek olan iller; Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Manisa, Samsun, Muğla ve Tekirdağ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca İstanbul, Bursa, Mersin, Edirne, Hatay, Kırklareli, Tokat, Aydın gibi illerin de oldukça iyi rüzgâr potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir [19]. Bu durum, rüzgâr enerjisine yönelik yatırım yapacak girişimcilerin özellikle Balıkesir, Çanakkale ve İzmir’e yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

Ülkemizde 2013 yılı sonu itibarıyla toplam kurulu güç 64007.5 MW olup, bu kurulu gücün 25591.9 MW’lık bölümünü yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kurulu gücü en yüksek olan enerji kaynakları sırasıyla; hidrolik enerji (22289 MW), rüzgâr enerjisi (2759.6 MW), jeotermal enerji (310.8 MW), biyoenerji (224 MW) ve güneş enerjisidir (8.5 MW) (Tablo 8). Ayrıca 2013 yılı toplam elektrik enerjisi üretimi 242121.1 GWh, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi 69512.7 GWh ve rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi 7557.5 GWh olarak gerçekleşmiştir [21]. Özellikle 2000 MW’lık jeotermal elektrik enerjisi potansiyeli bulunan ülkemizde 310.8 MW’lık jeotermal kurulu gücün bulunması oldukça dikkat çekmektedir.

Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) kurulu gücü ülkemizde her yıl artmakta olup, 1998 yılında kurulu gücümüz 8.7 MW iken 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla kurulu gücümüz 3424.48 MW olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5). Son üç yıl içerisinde rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücündeki artış 1620 MW’dan fazladır. Bu durum, RES’lere yönelik yapılan yatırımların önemli miktarda arttığını göstermektedir. İşletme halinde olan, yani elektrik enerjisi üretimi gerçekleştiren ülkemizde toplam 87 RES bulunmaktadır. En fazla kapasiteye sahip olan rüzgâr enerji santralleri ve buldukları iller sırasıyla; Geycek RES (Kırşehir-150 MW), Balıkesir RES (Balıkesir-143 MW), Soma RES (Manisa-140,8 MW), Gökçedağ RES (Osmaniye-135 MW) ve Karaburun RES (İzmir-120 MW)’dir [22]. Bu istatistiki verilerden, ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücünün ilerleyen senelerde daha da artacağı kaçınılmaz olarak görülmektedir.

Ülkemizde işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin Temmuz 2014 itibarıyla kurulu güç bakımından türbin markalarına göre dağılımı ve ülkemizdeki pazar payları sırasıyla; Enercon-Almanya (888.9 MW, %26), Nordex-Almanya (847.5 MW, %25), Vestas-Danimarka (738.25 MW, %21), General Electric-Amerika (526.25 MW, %5) ve Siemens-Almanya (234.5 MW, %7) şeklindedir [22]. Enercon, Nordex ve Vestas marka bu üç rüzgâr türbin üreticisinin ülkemizdeki toplam pazar payı %72 iken; bu üç türbin üreticisinin dünyadaki toplam

Tablo 7. Rüzgâr Enerji Potansiyeli Yüksek Olan İller (MW) [19]

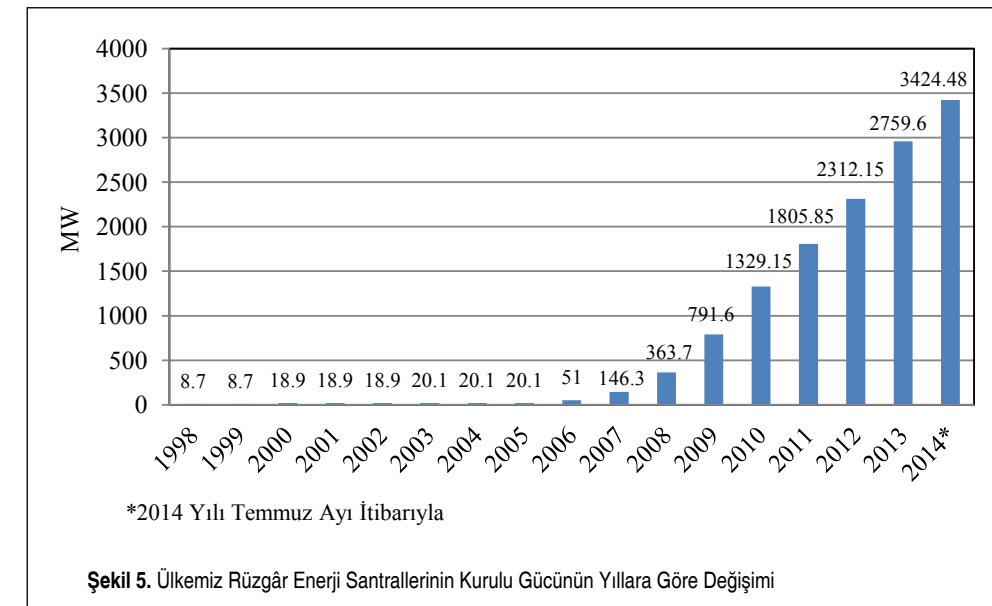
50 m’de Rüzgâr Hızı (m/s)	Balıkesir	Çanakkale	İzmir	Manisa	Samsun	Muğla
6.8-7.5	7557.12	4318.48	4665.44	2371.76	4499.92	4519.36
7.5-8.1	4254.80	4014.96	4341.52	1507.84	722.56	650.96
8.1-8.6	1422.56	3805.44	1588.40	969.28	0.00	0.64
8.6-9.5	576.16	873.68	1258.88	453.44	0.00	0.00
>9.5	16.72	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Toplam	13827.36	13012.56	11854.32	5302.32	5222.48	5170.96

Tablo 8. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2013 Yılındaki Kurulu Güçleri

Enerji Türleri	2013 Yılı Kurulu Güç (MW)	Yenilenebilir Enerjideki Payı (%)
Hidrolik Enerji	22289	87
Rüzgâr Enerjisi	2759.6	10.8
Jeotermal Enerji	310.8	1.2
Biyoenerji	224	0.9
Güneş Enerjisi	8.5	0.1
Yenilenebilir Enerji Toplamı	25591.9	100

mı Şekil 6’da verilmiştir. 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla rüzgâr enerji kurulu gücü yüksek olan iller sırasıyla; Balıkesir (767.3 MW), İzmir (613.6 MW), Manisa (393.9 MW), Hatay (277 MW), Osmaniye (185 MW) ve İstanbul (178.5 MW)’dur [22]. Kurulu gücü yüksek olan bu illerin, rüzgâr enerji potansiyelinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir.

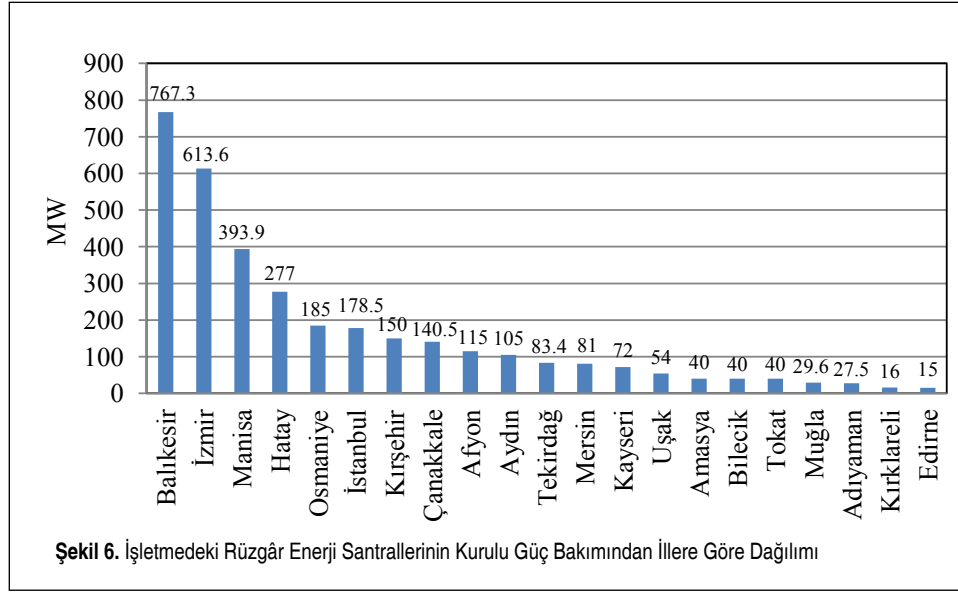
Rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından Temmuz 2014 itibarıyla bölgelere göre dağılımı incelendiğinde; işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücünün 3424.85 MW, inşa halinde olan RES’lerin toplam kurulu gücünün 1162.8 MW ve lisans aşamasında olan RES’lerin toplam kurulu gücünün 5435 MW olduğu belirlenmiştir (Tablo 9). İşletmede olan rüzgâr enerji santralleri için kurulu gücü en yüksek olan bölgeler sırasıyla; Marmara (1240.88 MW), Akdeniz (543 MW), İç Anadolu (222 MW), Ege (131.1 MW) ve Karadeniz (80 MW) şeklindedir. Ayrıca, inşa halinde olan RES’lerin rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan bölgelere (Ege-560.45 MW, Marmara-412.55 MW, Akdeniz-145.8 MW, İç Anadolu-44 MW) kurulmakta olduğu tespit edilmiştir [22]. İnşa halindeki ve lisans aşamasındaki rüzgâr enerji santrallerinin işletmeye alınmasıyla, ülkemiz rüzgâr türbini kurulu gücünün toplam kurulu güçteki payı artacak ve bu durum da enerjide dışa bağımlılığımızın azalmasını sağlayacaktır.



pazar payının sadece %26,2 olması oldukça dikkat çekicidir. Bu durum, rüzgâr türbini kurulu gücünü arttırmaya yönelik bir politika izleyen ülkelerin yerli rüzgâr türbin üreticilerini tercih etmesinden kaynaklanmaktadır.

İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin illere göre dağılı-

İnşa halinde olan RES’lerin Temmuz 2014 itibarıyla toplam kurulu gücü 1162.8 MW olup, bu santrallerin illere göre dağılımı Şekil 7’de verilmiştir. İnşa halindeki RES’ler değerlendirildiğinde, kurulu gücü en yüksek olan iller sıra-



Şekil 6. İşletmedeki Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından İllere Göre Dağılımı

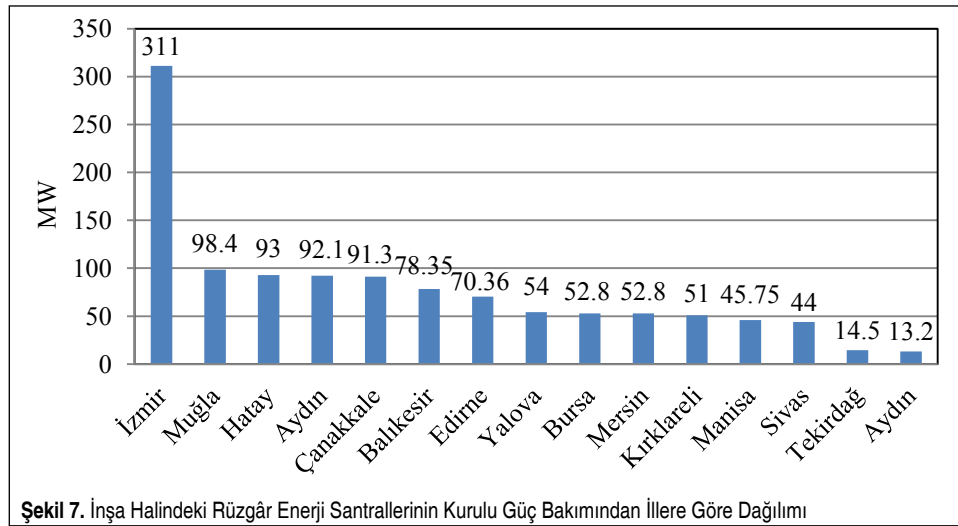
sıyla; İzmir (311 MW), Muğla (98.4 MW), Hatay (93 MW), Aydın (92.1 MW) ve Çanakkale (91.3 MW)'dir. İnşa halinde olan RES'lerin kurulu gücünün rüzgâr türbin markalarına göre dağılımı ise Vestas (365.8 MW), Siemens (219.8 MW), Nordex (191.5 MW), General Electric (97 MW), Suzlon (77.7 MW), Acciona (57 MW), Sinovel (54 MW), Alstom (51 MW) ve Gamesa (49 MW) şeklindedir [22]. İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinden toplam kurulu güçteki payı en fazla olan marka, Enercon iken, inşa aşamasında bu markaya ait herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır. Bu durum, Alman menşeli Enercon marka rüzgâr türbinlerinin yüksek maliyetleri sebebiyle ülkemizde artık tercih edilmediğini göstermektedir.

2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla lisans aşamasındaki rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü 5455 MW olup, bu RES'lerin kurulu gücünün illere göre dağılımı sırasıyla; İzmir (611.45 MW), Çanakkale (516 MW), İstanbul (389.5 MW), Kocaeli (336.5 MW) ve Balıkesir (312.2 MW) şeklindedir (Şekil 8) [22]. Bu veriler, rüzgâr enerji santrallerine yapılan yatırımların ve santrallerin toplam kurulu gücünün her geçen yıl artacağını bir göstergesidir.

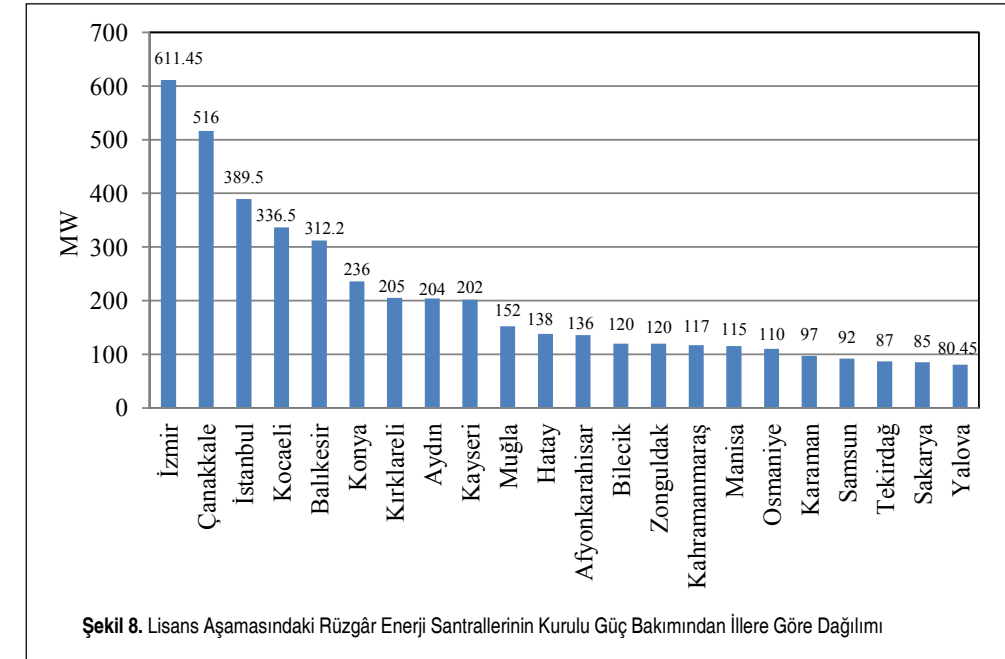
2013 yılı sonu itibarıyla ülkemiz enerji santrallerinin (hidrolik, termik, rüzgâr enerji santralleri vb.) toplam kurulu gücü 64007.5 MW olup, bu kurulu gücün 29773.7 MW'lık (%46.5) kısmını yakıt olarak dışa bağımlı olduğumuz termik santraller ve 3424.48 MW'lık kısmını rüzgâr enerji santralleri oluşturmaktadır. 2023 yılında ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin toplam kuru-

Tablo 9. Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı

Bölgeler	İşletmede Olan RES'ler		İnşa Halinde Olan RES'ler		Lisans Aşamasında Olan RES'ler	
	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)
Marmara	1240.88	55	412.55	35	2204.25	41
Akdeniz	543	24	145.8	13	512.5	9
İç Anadolu	222	10	44	4	840	16
Ege	131.1	6	560.45	48	1309.45	24
Karadeniz	80	4	-	-	495.8	9
Güney D. Anadolu	27.5	1	-	-	63	1
Doğu Anadolu	-	-	-	-	10	0
Toplam	3424.48	100	1162.8	100	5435	100



Şekil 7. İnşa Halindeki Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından İllere Göre Dağılımı



Şekil 8. Lisans Aşamasındaki Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından İllere Göre Dağılımı

lu gücünün 20000 MW olması hedeflenmektedir. Ülkemizde rüzgâr enerji santrali kurulmuş veya kurulabilecek alanların toplam rüzgâr enerji potansiyelinin 48000 MW olduğu dikkate alındığında, bu potansiyelin bir an önce değerlendirilerek enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılması oldukça önem arz etmektedir.

5. SONUÇ

Rüzgâr enerjisi; temiz, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olup, bu özelliklerinden dolayı kullanımı her yıl giderek artmaktadır. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinin ülkemiz ve dünyadaki durumu değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Dünya teknik rüzgâr enerji potansiyeli 53000 TWh/yıl olup, potansiyeli yüksek olan kıtalar/bölgeler sırasıyla; Kuzey Amerika, Doğu Avrupa ve Rusya, Afrika, Güney Amerika, Batı Avrupa, Asya ve Okyanusya'dır. Rüzgâr türbini kurulu gücü en yüksek olan ülkeler sırasıyla; Çin, ABD, Almanya, İspanya ve Hindistan'dır. Özellikle 2014 yılında dünya rüzgâr türbini kurulu gücündeki artış payının %41'le en fazla Çin'de gerçekleşmesi oldukça dikkat çekici bir husustur. Bu durum, Çin'deki ekonomik büyümeden ve dolayısıyla Çin'de enerjiye olan talebin her geçen gün artmasından kaynaklanmaktadır.
2. 2013 yılı pazar payı en yüksek olan rüzgâr türbini üreticileri; Vestas (%13,1), Goldwind (%11), Enercon (%9,8), Siemens Wind Power (%7,4) ve General Electric Wind Energy (%6,6) şeklindedir. Aynı yıl Çin menşeli rüzgâr

türbini üreticileri (Goldwind, United Power, Mingyang) ise rüzgâr türbin pazarından %18,5 oranında pay almıştır. Bu durum, Çin'in yerli üretim rüzgâr türbinlerine yönelmesinden kaynaklanmaktadır.

3. Dünya rüzgâr türbini kurulu gücü Temmuz 2014 itibarıyla 336327 MW olup, bu altı aylık süreçte (Ocak-Temmuz 2014) kurulu güçteki büyüme oranı en fazla olan ülkeler sırasıyla; Polonya (%35,8), Brezilya (%35,6), Türkiye (%28) ve İngiltere (%24,7) şeklindedir. Bu durumda ülkemiz, Ocak-Temmuz 2014 döneminde, rüzgâr türbini kurulu gücünü en fazla oranda arttıran üçüncü ülke olmuştur.

Avrupa açısından bir değerlendirme yapıldığında ise türbin kurulu gücünde en fazla artış Almanya'da (1828 MW), en az artış ise İspanya'da (11 MW) gerçekleşmiştir. İspanya'da rüzgâr enerji sektöründe yaşanan bu duraklamanın ülkedeki ekonomik kriz nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

4. Ülkemizin 7.0 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde kara rüzgâr potansiyeli 48000 MW iken; 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde ise deniz rüzgâr potansiyeli 17393.20 MW'dır. Türkiye'de deniz üstüne kurulmuş herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır. Ayrıca, ülkemizde kara rüzgâr potansiyeli değerlendirildikten sonra, deniz üstü rüzgâr potansiyelinin dikkate alınması, enerji maliyeti açısından önemli bir husus olarak görülmektedir.
5. Ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla 3424.48 MW olup, kurulu gücü yüksek olan iller sırasıyla; Balıkesir (767.3 MW), İzmir (613.6 MW), Manisa (393.9 MW), Hatay (277 MW) ve Osmaniye (185 MW) olarak gerçekleşmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan illerin kurulu gücünün de yüksek olduğu tespit edilmiştir.
6. Ülkemizde 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla, 1162.8 MW güç kapasiteli rüzgâr enerji santrali inşa halinde; 5435 MW güç kapasiteli rüzgâr enerji santrali ise lisans aşamasındadır. İnşa ve lisans aşamasındaki rüzgâr enerji santrallerinin işletmeye alınmasıyla, ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanacak ve enerjide dışa bağımlılığımız azalacaktır.

7. İşletmede olan rüzgâr enerji santralleri için kurulu gücü en yüksek olan bölgeler sırasıyla; Marmara (1240.88 MW), Akdeniz (543 MW), İç Anadolu (222 MW), Ege (131.1 MW), Karadeniz (80 MW) ve Güney Doğu Anadolu (27.5 MW) şeklindedir. Doğu Anadolu Bölgesi, rüzgâr güç yoğunluğu en düşük bölge olduğundan bu bölgede işletme halinde herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır.
8. Ülkemizde işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından türbin markalarına göre dağılımı ve ülkemizdeki pazar payları sırasıyla; Enercon-Almanya (888.9 MW, %26), Nordex-Almanya (847.5 MW, %25), Vestas-Danimarka (738.25 MW, %21) şeklindedir. Enercon, Nordex ve Vestas firmalarının ülkemizin rüzgâr türbini kurulu gücündeki toplam payı %72’dir. Ülkemizde büyük oranda Almanya ve Hollanda menşeli rüzgâr türbinleri kullanılmakta olup, bu durum oldukça dikkat çekmektedir.

Ülkemizde 50 m yükseklikteki bölgelerde 7.0 m/s’nin üzerindeki rüzgâr hızları dikkate alındığında, kara rüzgâr potansiyelimiz 48000 MW’dır. Bu mevcut potansiyelin henüz 3424.48 MW’lık kısmı değerlendirilmiştir. Bu kurulu güç, toplam potansiyelin %7,1’ine karşılık gelmektedir. Rüzgâr enerjisinde öncelikle, ülkemizin 2023 yılı hedefi olan 20000 MW kurulu güce, ilerleyen yıllarda da toplam kapasite olan 48000 MW’a ulaşılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, ülkemizde milli rüzgâr enerji santrali geliştirme çalışmaları hızlandırılarak büyük güç kapasiteli (>2 MW) rüzgâr türbinleri ve türbin elemanlarının (gövde, göbek, dişli kutusu ve jeneratör vb.) üretimi bir an önce gerçekleştirilmelidir. Bu sebeple, yerli rüzgâr türbini teknolojisi alıcı ve satıcılarına KDV ve gelir vergisi indirimleri sağlanarak yerli üretim daha fazla teşvik edilmelidir. Böylece, hem yerli rüzgâr türbin teknolojisinin gelişeceği hem de ülkemiz ekonomik büyümesine büyük katkı sağlanacağı asla göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKÇA

1. Aydın, İ. 2013. “Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi,” Eastern Geographical Review, cilt 18, sayı 29, s. 29-50.
2. Koç, E., Şenel, M. C. 2013. “Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme,” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
3. Çolak, İ., Demirtaş, M. 2008. “Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye’deki Gelişimi,” Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV) Bilim Dergisi, cilt 1, sayı 2, s. 55-62.
4. İlkılıç, C., Aydın, H. 2015. “Wind Power Potential and Usage in the Coastal Regions of Turkey,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 44, p. 78-86.
5. İlkılıç, C., Aydın, H., Behçet, R. 2011. “The Current Status of Wind Energy in Turkey and in the World,” Energy Policy, vol. 39, p. 961-967.
6. İlkılıç, C. 2009. “Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı,” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 50, sayı 593, s. 26-32.
7. Yanıktepe, B., Savrun, M. M., Koroglu, T. 2013. “Current Status of Wind Energy Policy in Turkey,” Energy Conversion and Management, vol. 72, p.103-110.
8. Kaplan, Y. A. 2015. “Overview of Wind Energy in the World and Assessment of Current Wind Energy Policies in Turkey,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 43, p.562-568.
9. Camadan, E. 2011. “An Assessment on the Current Status and Future of Wind Energy in Turkish Electricity Industry,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, p. 4994-5002.
10. Dincer, F. 2011. “The Analysis on Wind Energy Electricity Generation Status, Potential and Policies in the World,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, p. 5135-5142.
11. Özgener, Ö. 2002. “Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı,” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt 4, sayı3, s.159-173.
12. Hayli, S. 2001. “Rüzgâr Enerjisinin Önemi Dünya’da ve Türkiye’deki Durumu,” Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, cilt 11, sayı 1, s. 1-26.
13. Yılmaz, S. 2008. “Eğilme-Burulma Bağlısımlı Rüzgâr Türbini Pala Tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
14. Şenel, M. C. 2012. “Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış,” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
15. Altuntaşoğlu, Z. T. 2012. “Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar,” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 52, sayı 617, s. 56-63.
16. www.iea.org.tr, son erişim tarihi: 01.08.2014.
17. Renewables 2014 Global Status Report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), Paris.
18. World Wind Energy Association Half Year Report-2014, World Wind Energy Association, Bonn, Almanya.
19. www.eie.gov.tr, son erişim tarihi: 08.10.2014.
20. www.mgm.gov.tr, son erişim tarihi: 01.10.2014.
21. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Mavi Kitap 2014, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
22. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu-Temmuz 2014, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB), Ankara.

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

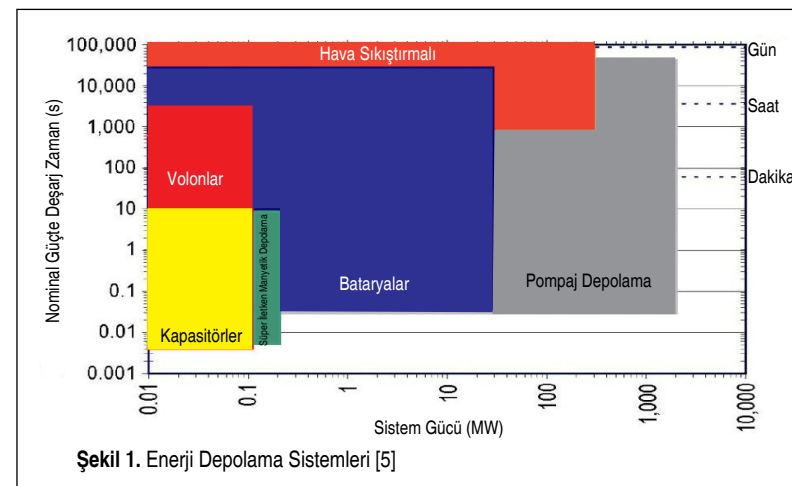
1. GİRİŞ

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 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



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.

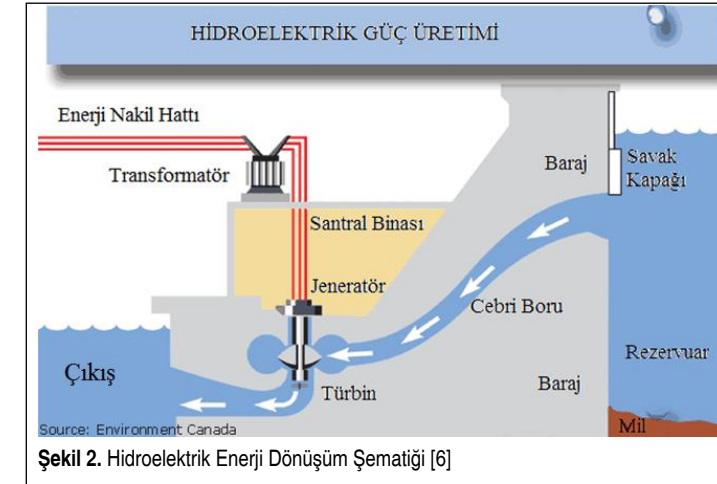
Enerjinin elektrik enerjisi olarak depolanması, ileri teknoloji gerektirmesi ve oldukça pahalı olması nedeniyle enerjinin alternatif olarak depolanması konusunda geniş kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak enerji depolama sistemleri; mekanik, elektrokimyasal, elektromanyetik ve termal prosesler 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

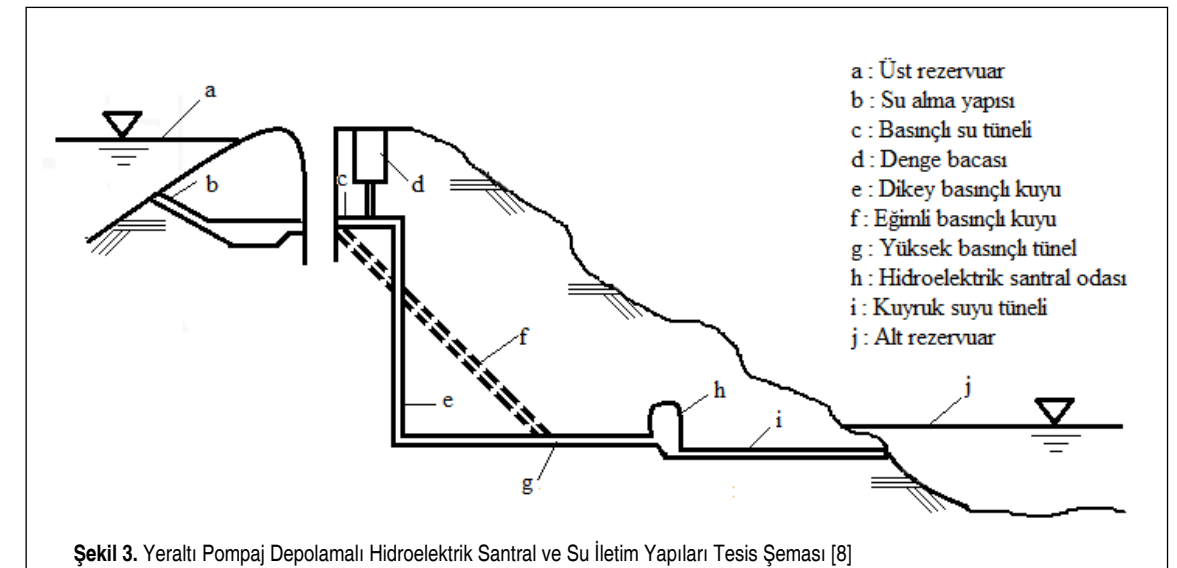
Tablo 2. Japonya'da Değişik Tipteki Santrallerin Üretime 8 Saat Ara Verildikten Sonra Çalışma ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süreleri [1]

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

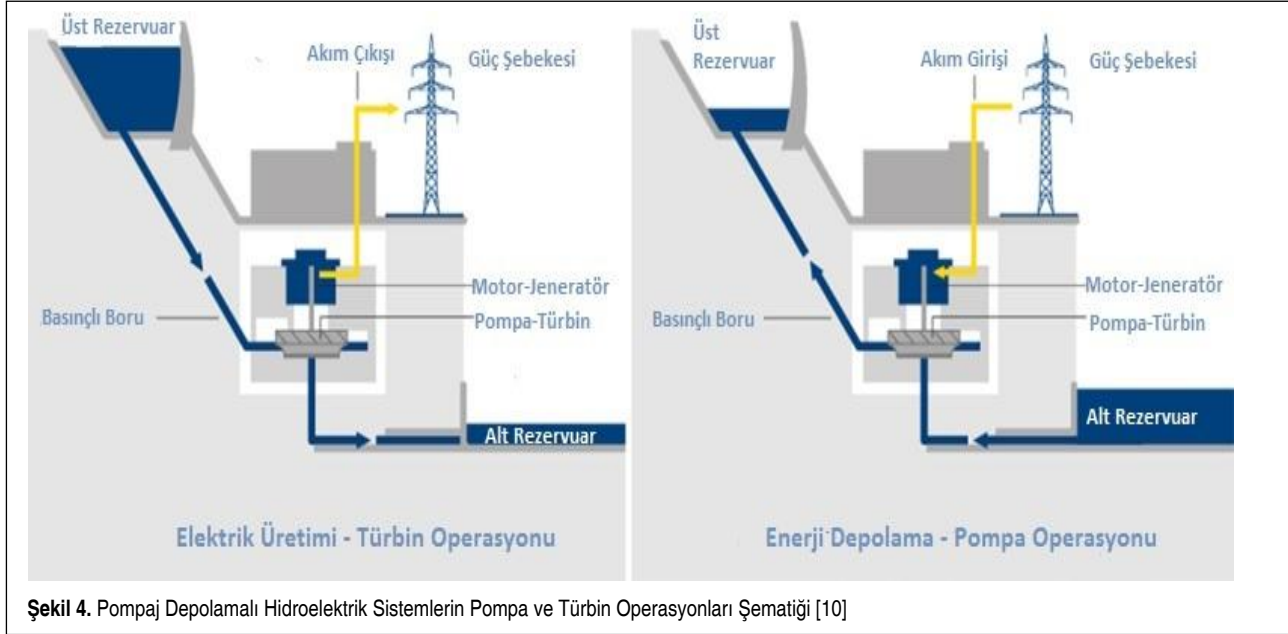
karşulamakta yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir. Değişik tipteki santrallerin çalışma ve tam kapasiteye ulaşma süreleri Tablo 2'de verilmiştir. Puant yük ihtiyacı dikkate alındığında, klasik hidroelektrik santraller ve pompaj depolamalı santrallerin diğer tüm sistemlere kıyasla daha avantajlı olduğu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

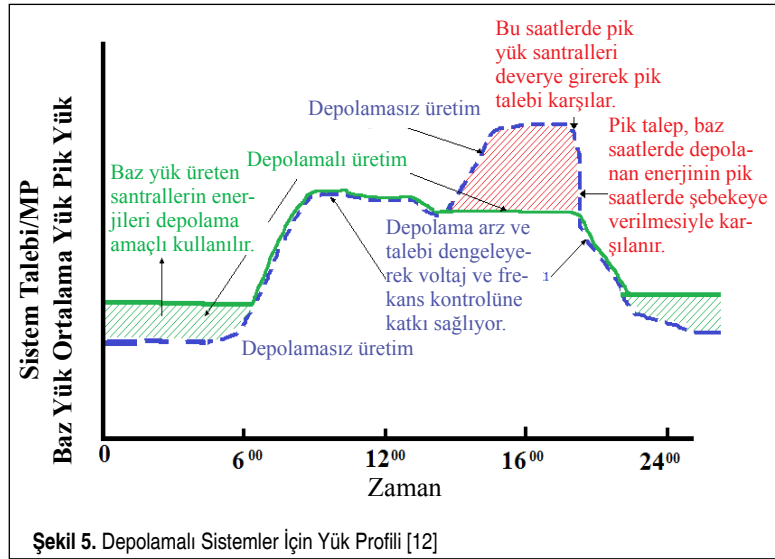


Şekil 3. Yeraltı Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral ve Su İletim Yapıları Tesis Şeması [8]



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.

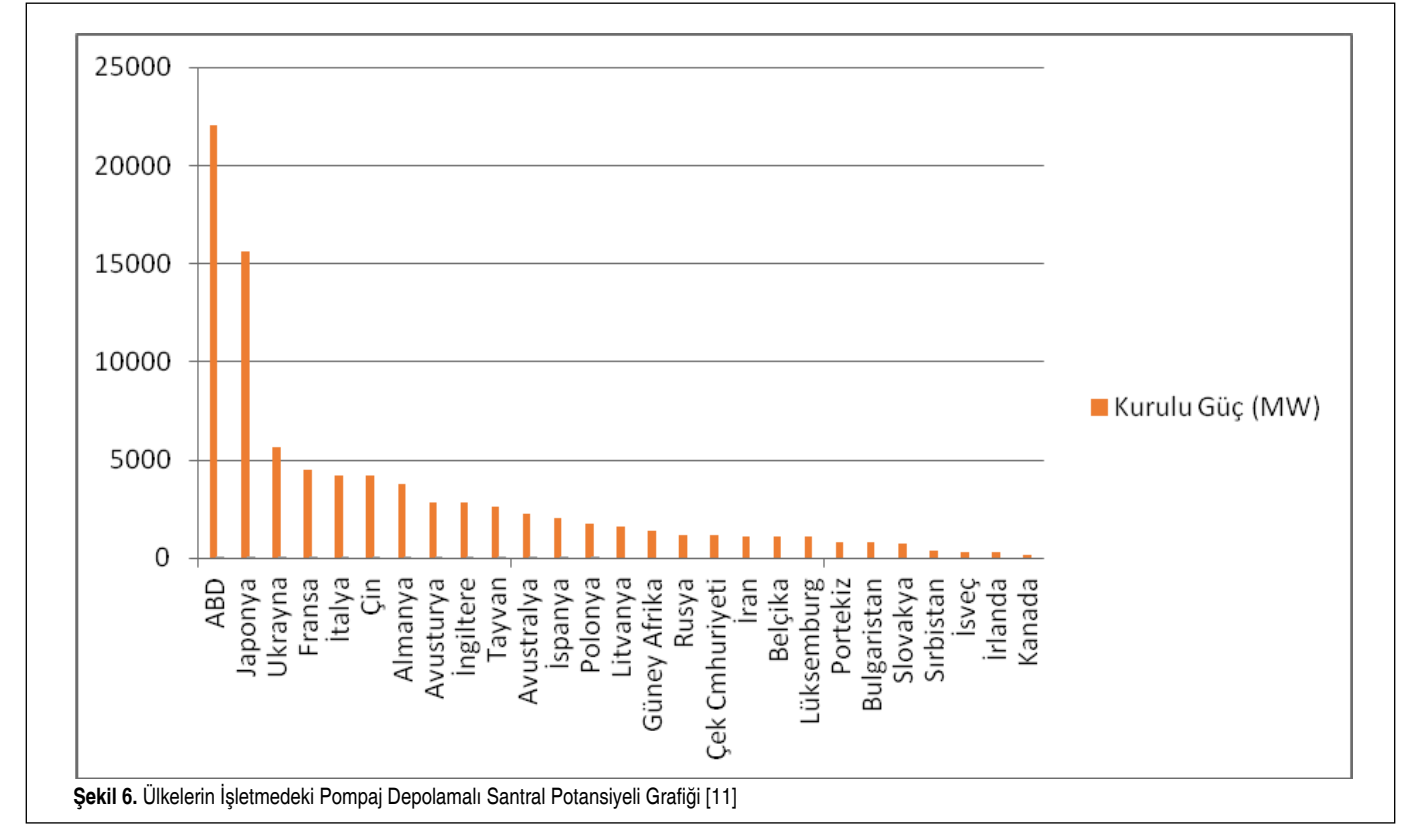


Şekil 5. Depolamalı Sistemler İçin Yük Profili [12]

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		Toplam	86601

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 ³ /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 Karşılama 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.

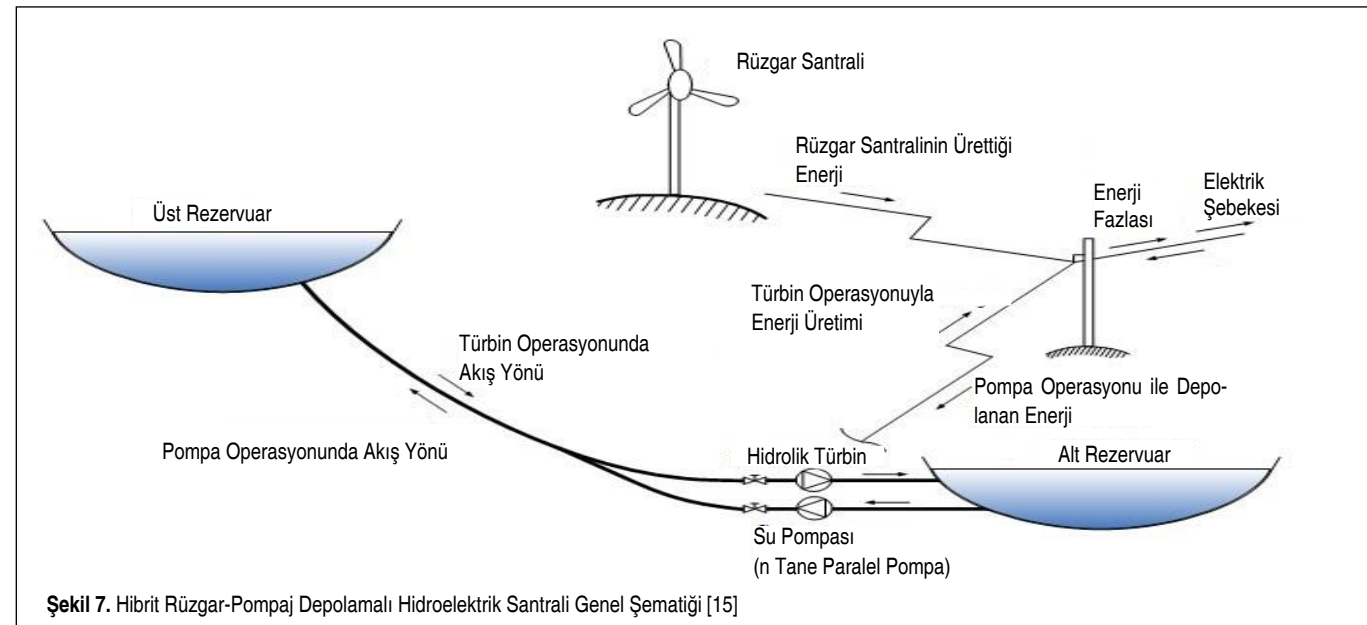
v. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin rezervuarları arasındaki ulaşım sorunu da dezavantajlar oluşturmaktadır [16].

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, 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, 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, son erişim tarih: 04.07.2014.
13. **YEGM Pilot Projeler ve Uygulamalar,** 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, 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.