İMO Teknik Dergi, 2015 7183-7189, Yazı 439 ***Teknik Not***

Su-Rüzgar Hibrit Sistemlerinde Su Darbesi Problemlerinin Araştırılması

Ali Ersin DİNÇER*
Zafer BOZKUŞ**

ÖZ

Su darbesi, kapalı boru sistemlerinde ani akım değişiminden dolayı oluşan, istenmeyen bir durumdur. Su darbesi oluştuğunda sonuçları çok ağır ve hatta ölümcül bile olabilir. Su darbesi, genellikle hidroelektrik santrallerin cebri borularında, isale hatlarında, su şebekelerinde vs. meydana gelir. Bu nedenle belirtilen sistemlerin işletme prensipleri doğru bir şekilde belirlenmeli ve gerekiyorsa bazı önleyici tedbirler düşünülmelidir. Bu çalışmada, pompaj-depolamalı ve rüzgar enerjisi destekli (su-rüzgar hibrit sistem) hidroelektrik santrallerdeki su darbesi sorunları araştırılmıştır. Cebri borulardaki zamana bağlı olarak değişen akım durumları, HAMMER adlı bir bilgisayar programı yardımıyla incelenmiştir. Bu program, doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin karakteristikler metodu kullanılarak çözülmesinde kullanılır. Öncelikle zamana bağlı akımlar, farklı işletim durumları için, bazı senaryolar kullanarak incelenmiştir. Bu çalışmada sadece en kritik sonuçları veren senaryo 5 anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su darbesi, zamana bağlı akım, pompaj-depolamalı hidroelektrik santraller, su-rüzgar hibrit sistem.

ABSTRACT

Investigation of the Water Hammer Problems in Water-Wind Hybrid Systems

Water hammer is an undesirable event, caused by sudden flow changes in confined pipe systems. When it occurs, its consequences can be very costly and even sometimes deadly. In general, it may be encountered in the penstocks of hydropower plants, water transmission lines, water networks, etc. Therefore, the operation guidelines of the hydropower plants should be defined correctly and if necessary, preventive measures should be considered. In the present study, water hammer problems in pumped-storage hydropower plants supported by wind energy (water-wind hybrid systems) are investigated. Time dependent flow conditions in the penstocks are studied by the use of the computer software, HAMMER. The software solves nonlinear differential equations by using method of characteristics. Firstly, hydraulic transients for various operational cases are investigated

Not: Bu yazı
- Yayın Kurulu'na 02.01.2014 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - aliersin@metu.edu.tr
** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - bozkus@metu.edu.tr

using some scenarios. In this study, only the scenario 5 which gives the most critical results is investigated.

Keywords: Waterhammer, hydraulic transients, pumped-storage hydropower plants, water-wind hybrid system.

1. GİRİŞ

Hidroelektrik santraller (HES), düşük enerji maliyetleri, düşük karbondioksit emisyonları, elektrik üretimindeki esneklikleri vb. faydalarından dolayı bütün dünyada çok büyük önem kazanmıştır. HES'lerin artması sayesinde enerji üretimi artmıştır, fakat enerjiyi depolama gereksinimine hala ihtiyaç duyulmaktadır. Enerjiyi depolamak için birçok yol olmasına rağmen en etkili yol pompaj-depolamalı hidroelektrik santrallerin (PHES) yardımı ile enerjiyi, suyun potansiyel enerjisi olarak depolamaktır. Bu sistemlerin temel mantığı, elektrik fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda suyu üst hazneye pompalamak, elektrik fiyatları yükseldiğinde ise bu suyu üstteki hazneden alttaki hazneye düşürerek türbinlerden elektrik üretip aradaki fiyat farkından kazanç sağlamaktır. ABD ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler, PHES'lere çok önem vermektedirler. Japonya'da 2009'da yapılan bir çalışmaya göre PHES'lerden 22,5 GW güç üretimi ile, ABD ise 21,5 GW güç üretimi ile dünyada birinci ve ikinci sırada yer almaktadırlar [1]. 2010 yılında bu değerler Japonya için 25,18 GW, ABD için ise 21,9 GW seviyesine ulaşmıştır [2].

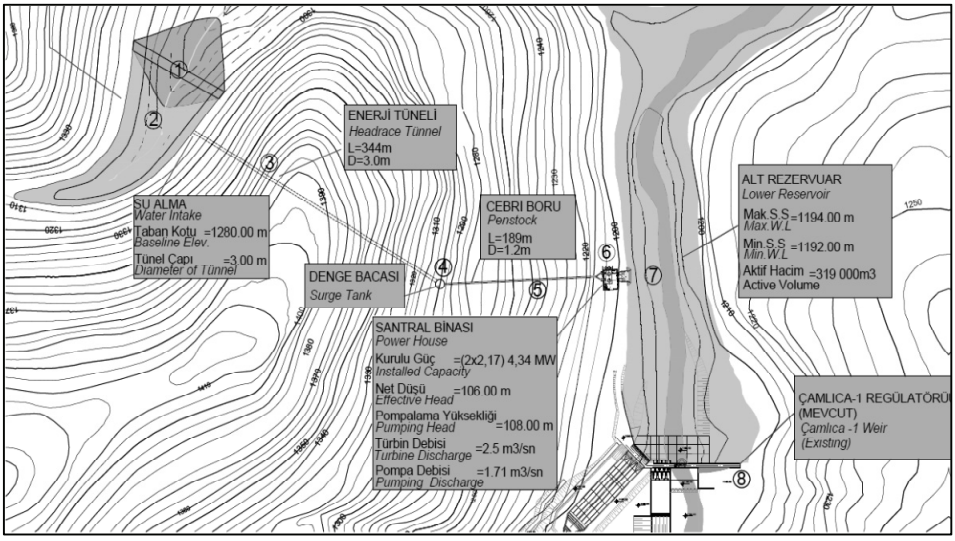
Verimli ve sürekli enerji elde etmek için, PHES'lerin tasarım ve yapım aşamaları önem arzetmektedir. Bunun yanı sıra, PHES'lerin işletim koşulları da en az tasarım ve yapım aşamaları kadar önemlidir. Tasarım aşamasında, ileride herhangi bir sorun çıkmaması için, bütün işletim koşulları araştırılmalıdır. Düzenli akım durumunda, akım şartları değişmediği için, işletim sırasında pek bir sorunla karşılaşılmaz. Fakat debi ve basınç yüksekliği gibi değişenlerin sabit olmadığı zamanla değişen akım durumu için, işletim koşulları sorunlu olabilir. Bu gibi durumlarda, su darbesi ile karşılaşılabilir. Su darbesi, zamanla değişen akım durumunda cebri boru boyunca basınç yüksekliğinin dalgalanması olayıdır. Su darbesi nedeniyle sistemde ciddi hasarlar meydana gelebilir. Bu durumdan kaçınmak için sistemin tasarımı doğru olmalı ve çalışma koşullarına uygun olarak işletilmelidir. Su darbesi problemi ayrıntılı olarak Chaudhry'nin ve Wylie'nin çalışmalarında incelenmiştir [3, 5].

Bu çalışmanın [7] amacı, pompaj-depolamalı hidroelektrik santrallerin cebri borularında su darbesi durumunun incelenmesidir.

2. YAHYALI SU-RÜZGAR HİBRİT SANTRALİ

Bu çalışmada kullanılan Yahyalı PHES'inin Türkiye'nin Kayseri iline kurulması planlanmaktadır. Bu santral, Türkiye'de yapılması planlanan ilk PHES ve de ilk su-rüzgar hibrit santralidir. PHES'lerde hem altta hem de üstte hazne olması gerekmektedir. Yahyalı Hibrit Santrali'nde alt hazne olarak, işletmede bulunan Çamlıca-1 HES'nin mevcut haznesi kullanılacaktır. Sadece üst hazne inşa edileceği için, maliyet kayda değer oranda düşecektir. Bu santralin genel yerleşim planı Şekil 1'de, fiziksel özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere, su, 3.0 m çaplı ve 344 m uzunluğunda betonarme bir tünel

yardımıyla üst hazneden alınacaktır. Enerji tüneli ve cebri borular arasına 5.0 m çaplı bir denge bacası yapımı planlanmaktadır. Bu denge bacasının gerekli olup olmadığı yapılan bu çalışmada gösterilecektir. Denge bacası ve elektrik santrali arasında, toplam uzunluğu 245 m ve ortalama çapı 1.1 m olan cebri borular inşa edilecektir. Enerji elde etme durumunda, türbinlerden çıkan su yine cebri borular yardımıyla alt hazneye iletilecektir. Enerji depolama durumunda ise, bu cebri borular alt hazneden suyu pompalara iletmek için kullanılacaktır. Cebri borular, elektrik santralinden önce, 0.8 m çaplı özdeş iki kola ayrılacaktır. Bu özdeş boruların boyunun 189 m olması planlanmıştır. Cebri boruların fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda su enerji tüneli (P1) ile üst hazneden P2 cebri borusuna taşınır ve ardından P2, P3 ve P4 cebri borularını geçerek, iki kollu branşmana girer. Bundan sonra akım özdeş iki koldan devam eder. Diğer bir deyişle, P5 ile P6, P7 ile P8 ve P9 ile P10 özdeş borulardır. P5, P6, P7 ve P8 borularından sonra Francis pompa-türbin sistemleri bulunur. Bu pompa-türbin sistemleri ile alt hazne P9 ve P10 boruları ile bağlanmıştır.



Şekil 1. Yahyalı Santrali'nin yerleşim planı

Tablo 1. Yahyalı Hibrit Santrali haznesinin fiziksel özellikleri

Hazne	Aktif Hacim (m^3)	Maksimum Su Kotu (m)	Minimum Su Kotu (m)
Üst	181000	1304	1285
Alt	319000	1194	1192

Yahyalı PHES'inde, PHES'ler için çok yaygın bir türbin türü olan Francis pompa-türbini kullanılması planlanmaktadır. Sistemde her biri 2.17 MW kurulu gücü olan iki adet Francis pompa-türbini bulunmaktadır. Atalet momentleri 702,000 kgm^2, çapları 1165 mm ve

devinimleri 750 rpm'dir. Çalışmadaki hesaplamalar yapılırken, en kritik sonucu elde etmek için, sistemin maksimum verimlilikle (%92) çalıştırılacağı düşünülmüştür. Türbin ve pompa debileri, sırası ile, 2.5 m^3/s ve 1.71 m^3/s'dir. Çoğu ikincil kayıplar, türbin ve pompa durumlarında aynı şekilde hesaplanmıştır. Suyun akış yönüne göre, giriş kayıpları ve cebri borulardaki daralma ve genişleme kayıpları farklılık göstermektedir. Bunlar dikkate alınarak, sürtünme kayıpları ve ikincil kayıplar, analiz için kullanılan HAMMER[6]. programına girilmiştir. Matematiksel model olarak, hiperbolik, doğrusal olmayan, zamana bağlı, kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde karakteristikler metodu kullanılmıştır[4, 5].

Tablo 2. Cebri boru özellikleri

Boru Adı	Uzunluk (m)	Çap (m)	Basınç Dalgası Hızı (m/s)
P1 (Enerji tüneli)	344	3.00	1156
P2	70	1.10	972
P3	105	1.10	972
P4	14	1.10	972
P5	15	0.80	1057
P6	15	0.80	1057
P7	13	0.80	1057
P8	13	0.80	1057
P9	17	1.20	947
P10	17	1.20	947

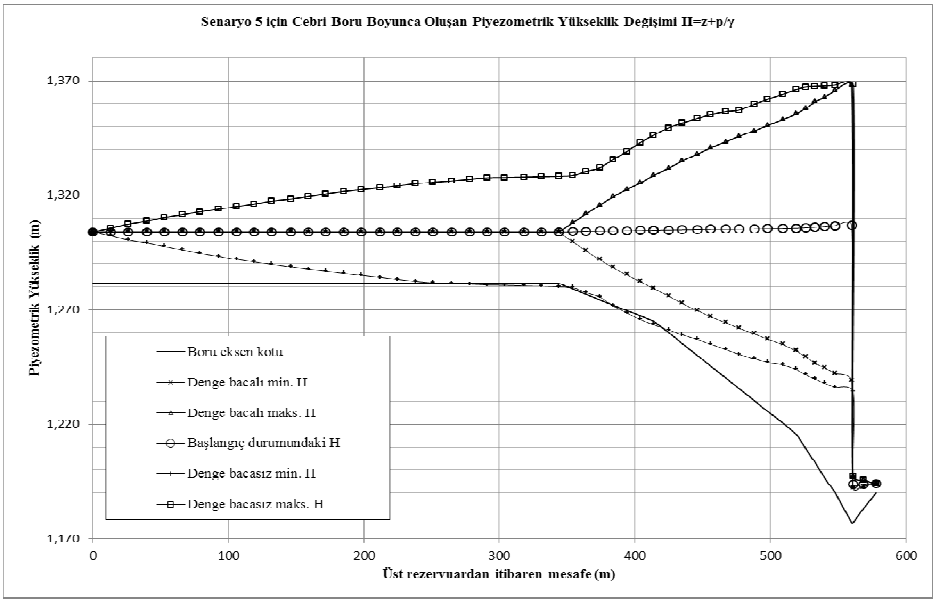
3. SU DARBESİ ANALİZLERİ

3.1 Su Darbesi Analizinde Kullanılan Senaryo ve Sonuçları

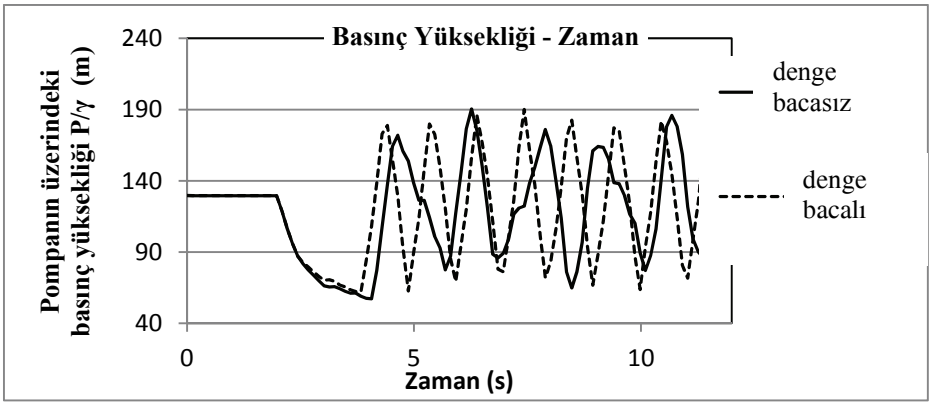
Bu çalışmada sadece en kritik sonuçları veren Senaryo 5'in sonuçları (yani iki pompanın aniden kapanması durumu) verilmiştir. Diğer senaryolar daha kapsamlı bir şekilde Dinçer tarafından hazırlanmış tez çalışmasında görülebilir [7].

Sistemde oluşan herhangi bir arıza durumunda, pompalar kapanır ve sistemde basınç değişimi gözlenir. Pompaların kapanması durumunda en çok negatif basınçlar tehlike yaratır. Cebri boru içinde herhangi bir noktada lokal olarak, basınç su buharı basıncının altına düşerse su kabarcıkları oluşmaya başlar ve boruda kolon ayrışması gözlenir. Kolon ayrışmaları, borularda patlama veya bozulmaya neden olabilir. Bu nedenle, sadece pompa veya türbinin olduğu yerdeki basınç değişimlerine bakmak yanıltıcı olabilir. Şekil 2'de Senaryo 5 durumu için, üst hazne ile alt hazne arasındaki cebri borularda oluşan piyezometrik yükseklikler ($H = z + p/\gamma$), Şekil 3'te ise yine benzer durum için basınç yüksekliği (p/γ) değişimleri verilmiştir. Bu ifadelerde z, bir referans düzlemine olan düşey mesafeyi, P basıncı, γ ise suyun özgül ağırlığını göstermektedir. Şekil 2'de piyezometrik yüksekliklerdeki artış çok ciddi boyutlarda değildir. Fakat piyezometrik yükseklikler, denge bacasız durumda, üst hazneden itibaren 205'inci ve 450'nci metrelerde boru eksen çizgisinin altına düşmektedir. Bu kritik durumdan kurtulmak için, sistemde denge bacası kullanılması önerilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere denge bacası kullanıldığı durumda

piyezometrik yükseklikler hiçbir zaman boru eksen kotunun altına düşmemektedir. Pompadaki basınç yüksekliği artışı %47 olarak hesaplanmıştır. Denge bacası bu artışı etkilememektedir. Basınç yüksekliğindeki azalma ise, denge bacasız durumda %56, denge bacası kurulduğunda ise %52'dir. Denge bacası pompanın üstündeki pozitif basınç yüksekliğindeki azalım veya artışı pek etkilememektedir. Cebri borunun dayanımı, bu değişimleri karşılayacak yüksekliktedir.



Şekil 2. Cebri Boru Boyunca Oluşan Piyezometrik Yükseklik Değişimi



Şekil 3. Denge bacalı ve denge bacasız basınç yüksekliği değişimleri (Senaryo 5)

Pompanın üstündeki basınç yüksekliğinin zamanla değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Düzenli akımdaki basınçları gösterebilmek için, model oluşturulurken elektrik arızasının analizlere başlandıktan 2 s sonra olduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle, Şekil 3'te düzenli akımdaki basınç durumları ilk 2 saniye boyunca gözlemlenebilir. Denge bacasız durumda, basınç yüksekliğindeki maksimum azalış, elektrik arızasından 2 s sonra, maksimum artış ise elektrik arızasından yaklaşık 4 s sonra oluşmaktadır. Denge bacası varken, basınç yüksekliğindeki değişimler Şekil 3'te görüleceği üzere bir miktar azalmakla beraber önemli miktarda değildir. Maksimum artış ise denge bacasız durumdan 1 s daha sonra oluşmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye'de yapılması planlanan ilk su-rüzgar hibrit santrali olan, Yahyalı Hibrit Santrali için su darbesi analizleri yapılmıştır. Analizlerde, Yahyalı Hibrit Santrali pompaj depolamalı hidroelektrik santral olarak düşünülmüştür. Santralde cebri boru uzunlukları diğer santrallere kıyasla daha azdır. Bu nedenle analiz yapılmadan, su darbesinin kritik olmayacağı düşünülebilir. Fakat mevcut güzergahta sistemin denge bacasız düzgün çalışamayacağı yapılan analizlerde görülmüştür. Buna ek olarak, yapılan su darbesi analizlerinde, genelde sadece pompa ya da türbin üzerindeki basınç değişimleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmadan da görüleceği üzere, maksimum basınç yüksekliği değişimi pompa ya da türbinin üzerinde olmasına rağmen, bütün cebri boru profilindeki basınç değişimi incelenmelidir. Burada, piyezometrik yüksekliğin (hidrolik eğim çizgisinin) boru eksen kotunun altına düştüğü yerler gözlemlenmiştir, Şekil 2. Boru hattının pompanın üzerinde oluşan maksimum pozitif basınç değişimine dayanabilmesine rağmen, negatif basınç durumunda, sistemin tehlikeye girebileceği ve denge bacasına ihtiyaç duyulduğu gösterilmiştir.

Bir başka alternatif çözüm ise, su darbesi etkisinin kendisini negatif basınç olarak gösterdiği bölgede boru güzergahının kotunun düşürülmesi (hat boyunca belirli bir mesafede kazı yapılarak) olabilir. Böylece, hidrolik eğim çizgisinin boru ekseni üzerinde kalması sağlanarak, negatif basınçlardan, dolayısı ile kolon ayrışması probleminden kaçınılabilir. Bu iki çözümün yani sisteme denge bacası ilave edilmesi ya da boru güzergahının belirli bir kesiminde boru eksen kotunun bir miktar düşürülmesinin ekonomik analizleri yapılarak, uygun çözüme karar verilebilir. Bu durum, aslında bir sistemin arazide inşaası öncesinde, daha tasarım aşamasında su darbesi analizlerinin yapılması gerekliliğini net olarak göstermektedir.

Semboller

a : Boru boyunca sıvı içinde basınç dalga hızı (m/s)

A : Boru en kesit alanı (m^2)

D : Borunun çapı (m)

f : Sürtünme katsayısı

g : Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s^2)

H : Piyezometrik yükseklik (m)

P : Basınç (N/m^2)

Q : Borudaki debi (m^3/s)

t : Zaman (s)

V : Boru enkesitindeki ortalama hız (m/s)

x : Akım yönündeki mesafe (m)

ρ : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)

τ_w : Duvarda oluşan kayma gerilmesi (N/m^2)

θ : Borunun yatayla yaptığı eğim açısı

Δt : Zaman aralığı (s)

Δx : Mesafe aralığı (m)

γ_w : Suyun özgül ağırlığı (N/m^3)

Teşekkür

EİE İdaresi Proje Dairesi eski başkanı Sn. Maksut Saraç'a gerek çalışmada kullanılan verilerin temininde gerekse de tez jürisinde verdiği katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Deane, J. P. Gallachoir, B. P. and McKeogh, E. J. Techno-economic Review of Existing and New Pumped Hydro Energy Storage Plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1293-1302, 2009.

[2] Yang, C. Pumped Hydroelectric Storage. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 1, 839-844, 2010.

[3] Chaudhry, M. H. Applied Hydraulic Transients. New York. Van Nostrand Reinhold Company Limited, 1987.

[4] Wylie, E. B. Fundamental Equations of Waterhammer. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 539-542, 1994

[5] Wylie, E. B. and Streeter, L. Victor, Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, 1993.

[6] Bentley HAMMER. HAMMER-Water hammer and transient analysis software. http://www.bentley.com/en/US/Products/HAMMER/Product□Overview.htm. Nisan 2010.

[7] Dinçer, A. E. Investigation of Waterhammer Problems in the Penstocks of Pumped-Storage Power Plants, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 2013.