

# **ENERJİ ÜRETİMİ VE SULAMA KRİTERLERİNE GÖRE REZERVUAR KAPASİTE OPTİMİZASYONU**

Burcu Ersoy<sup>1</sup>, Ronald Haselsteiner<sup>2</sup>

## **ÖZET**

Baraj tasarımlarında kriter olarak kullanılan 50 yıllık ekonomik ömür içerisinde rezervuar işletme çalışmaları hem kurulu güç hem de enerji üretimi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, danışmanlık hizmeti verilmiş olan bir baraj projesinin teknik incelemesi sırasında, yapılmış olan rezervuar kapasite optimizasyonu anlatılmıştır. Bu optimizasyonda, 45 yıllık akım ölçüm değerleri kullanılarak, kurulu güç, can suyu miktarı, sulama miktarı, ana ve etek santrallerinin türbin sayısı gibi birçok kriterin ışığında, enerji üretimini kontrol ve optimize etmek için bir rezervuar işletme modeli geliştirilmiştir.

## **1. GİRİŞ**

Türkiye hidroelektrik enerji üretim potansiyeli yüksek olan ve birçok projenin gelişim sürecinde bulunduğu bir ülkedir. Bu projeler planlama, dizayn ve birçoğu da inşaat halinde olan projeler olarak sıralanabilir. Türkiye'deki hidroelektrik projeleri incelendiğinde, genel bir prosedür olarak DSİ'ye sunulması gereken Fizibilite çalışmalarında, potansiyel enerji üretiminin olduğundan daha fazla hesaplandığı ile karşılaşılmaktadır. Bu aşamada projenin geleceği açısından ileride üretilecek enerjinin doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle projenin teknik incelemesi sırasında geliştirilen rezervuar işletme modelinin önemi çok büyüktür.

## **2. PROJE DURUMU VE GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Proje Özeti**

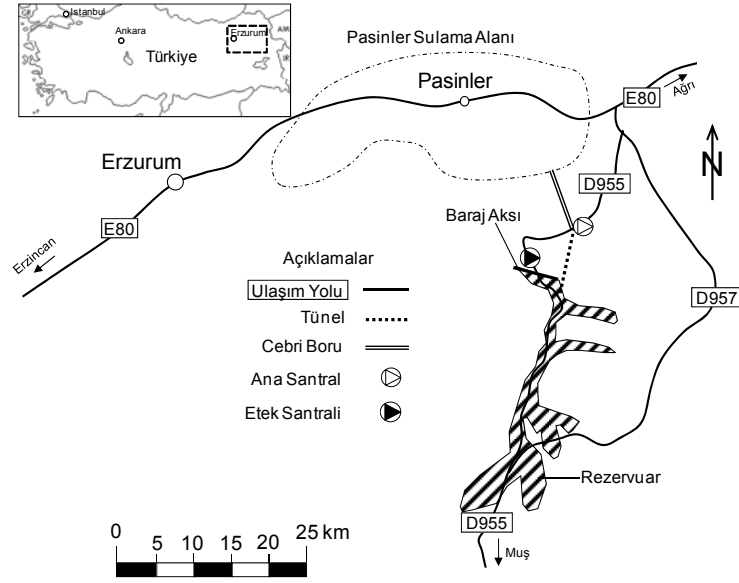
Bu çalışma sırasında yukarıda bahsedildiği gibi Söylemez Barajı ele alınmıştır. Söylemez Barajı Erzurum ili Pasinler mevkinde yer almaktadır. Aras havzasının memba kısmını teşkil eder. Şekil 1'de görüldüğü gibi proje Aras nehri üzerinde yer almaktadır. Projenin gelişimi DSİ tarafından yapılmış olup, yapılan ilk çalışma ile Pasinler ovasının sulanması için tasarlanmıştır. DSİ tarafından proje sahasında yapılan son çalışmada ise projenin enerji üretimi için de kullanılabilmesi göz önüne alınmış ve Söylemez Barajı projesi sulama ve enerji üretimi olmak üzere çok amaçlı bir proje olarak tasarlanmıştır.

---

<sup>1</sup> Jeofizik Müh., FICHTNER, Şişli, İstanbul (burcu.ersoy@fichtner.com.tr)

<sup>2</sup> İnşaat Müh. (Dr.), ENERJİSA, Balgat, Ankara (rhaselsteiner@enerjisa.com.tr)

Ülkemizde 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile Enerji Sektöründe yapılan değişiklikler sonucunda, özel sektörün enerji üretimi faaliyetini serbest piyasa kuralları içinde ve üretim lisansı ile yürütmesine imkan tanımıştır. Proje sahibi EPDK tarafından açılan HES ihalesini kazanarak, Söylemez Baraj ve HES projesini 49 yıllığına işletmeye hak kazanmıştır. Bunun yanı sıra projenin tamamlanması haline rezervuar alanının içerisinde bazı köyler su altında kalacağından, projenin gelişim sürecinde bu alanların kamulaştırması yapılacaktır.



Şekil 1: Projenin Genel Görünümü (Haselsteiner ve Ersoy, 2010)

## 2.2. Teknik Bilgiler

Söylemez Barajı daha öncede bahsedildiği gibi sulama ve enerji üretimi amaçlı tasarlanmıştır. Bu kapsamda projede önerilen tesisler; baraj gövdesi, dolusavak yapısı, memba batardosu, derivasyon sistemi, enerji iletim tüneli, cebri boru, santral binası, kuyruk suyu kanalı ve şalt sahasıdır. Proje tesisleri hakkında detaylı rakamsal bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Kısaca bahsetmek gerekirse, Aras nehri üzerinde 1733 m taban kotunda Söylemez Barajı ile depolanan su, yaklaşık 6047 m uzunluğundaki enerji tüneli ve 460 m uzunluğundaki cebri boru ile iletdikten sonra, 1656,52 m kuyruksuyu kotunda bulunan santral binasına düşürülmesi ile enerji üretimi amaçlanmaktadır. Santralde üretilen elektrik enerjisinin 40 km’lik bir enerji hattı ile iletimi söz konusu olacaktır.

Proje için yapılan tüm dizayn çalışmaları ve jeolojik araştırmalar DSİ tarafından yapılmış olup, tarihsel açıdan günümüzle uyumluluk sağlamamaktadır. Proje sahibi, projenin devir alma işleminden sonra, DSİ tarafından yapılan bu araştırmaların

güncellenmesi gerektiğini göz önünde bulundurarak, proje optimizasyonu için gerekli olan yeni araştırmalar planlamıştır. Bu kapsamda Tablo 1’de görüldüğü gibi iki farklı baraj tipi alternatifi söz konusudur. Kil çekirdekli kaya dolgu baraj tipi DSI tarafından önerilmiş olup, proje sahibi önyüzü beton kaplı kaya dolgu alternatifi de göz önüne almıştır. Proje ile ilgili danışmanlık hizmeti verildiğı dönem içerisinde, proje sahibi proje optimizasyonu adına yeni araştırmalar yoluna gitmiştir. Bu amaçla danışmanlık hizmeti sırasında rezervuar optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda bu makalenin içeriğini de oluşturmaktadır.

**Tablo 1: Proje Teknik Bilgileri**

HİDROLOJİ / REZERVUAR		
Nehir / Lokasyon	Aras Nehri, Pasinler, Erzurum	
Drenaj Alanı	2590	[km <sup>2</sup> ]
Ortalama Yıllık Yağış	732,21	[hm <sup>3</sup> ]
Kadastral Tařkın	3743	[m <sup>3</sup> /s]
Derivasyon Dizayn Debisi	600	[m <sup>3</sup> /s]
Türbin Dizayn Debisi	24	[m <sup>3</sup> /s]
Maksimum Su Seviyesi	1838,65	[m]
Minimum Su Seviyesi	1815,58	[m]
Toplam Depolama Hacmi	1101,1	[hm <sup>3</sup> ]
Aktif Depolama Hacmi	760	[hm <sup>3</sup> ]
BARAJ		
Baraj Tipi	Önyüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Kil Çekirdekli Kaya Dolgu	
Baraj Yüksekliğı	115	[m]
Baraj Dolgu Hacmi	2,5	[hm <sup>3</sup> ]
	1,36	[hm <sup>3</sup> ]
Baraj Kret Kotu	1843	[m]
HİDROLİK YAPILAR		
Dolusavak Kapak Sayısı	4	
Derivasyon Tipi	2 Beton Kaplamalı Tünel (Dairesel)	
Derivasyon Tünel Çapı	5,2	[m]
Derivasyon Tünel Uzunluğı	1000	[m]
Enerji Tünel Tipi	1 Basınçlı Tünel	
Enerji Tünel Çapı	4,7	[m]
Enerji Tünel Uzunluğı	6047	[km]
SANTRAL & TÜRBİN BİLGİLERİ		
Net Düşü	≈ 170	[m]
Türbin Tipi	3 x Düşey Francis Türbin	
Kurulu Güç	≈ 36	[MW]
ENERJİ ÜRETİMİ		
Yıllık Enerji Üretimi	≈ 275 / (247 <sup>1)</sup> )	[GWh/a]

Not:

- <sup>1)</sup> Gelecekteki sulama gerekliliğinin göz önüne alınması durumunda hesaplanan.

### 3. REZERVUAR İŞLETME ÇALIŐMASI

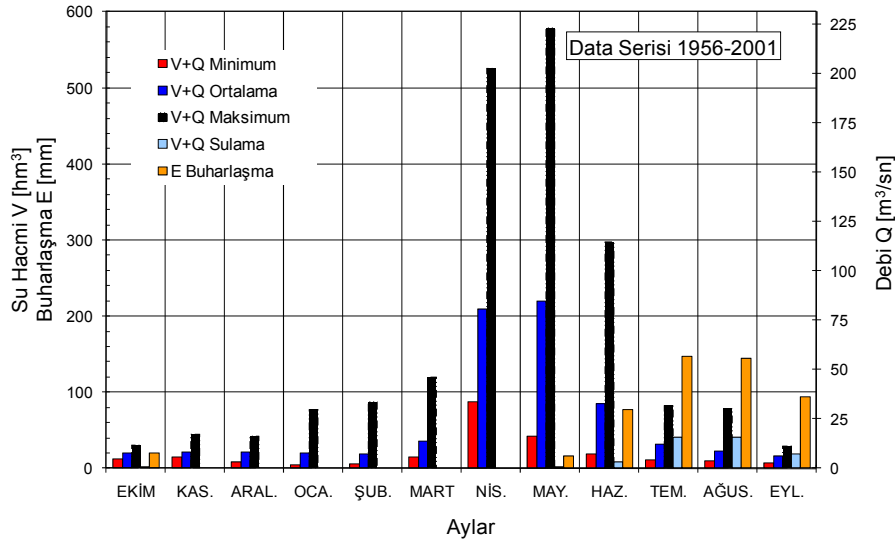
#### 3.1. Genel

Hidroelektrik projelerin ilerlemesi sırasında, DSI’den alınacak su kullanım anlaşması için gerekli olan fizibilite çalışmalarında, projenin üretebileceğı enerji olduğundan fazla hesaplanmaktadır. Bu durum projenin işletmecisi açısından, gelecekte riskler

oluşturabilir. Danışmanlık hizmeti verilen bu projede bu durumun kontrolü açısından bir rezervuar işletme modeli hazırlanmıştır. Bu model hazırlanırken başlangıç olarak, kurulu gücün değil, Söylemez barajının sahip olduğu büyük rezervuarın enerji üretiminde hakim olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Hazırlanan rezervuar modeli ile daha güvenilir sonuçlar aranmış ve elde edilen sonuçların önceden yapılan çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır.

### 3.2. Genel Parametreler ve Kabuller

Giriş verisi olarak, 1956 ile 2001 yılları arasında kaydedilmiş gözlemsel akım değerleri kullanılmıştır. Oluşturulan rezervuar modeli bu 45 yıllık dataların güvenilirliğine dayanmaktadır. Kaydedilen bu 45 yıllık gözlemsel akım değerleri ve diğer hidrolojik veriler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Söylemez Baraj Alanında, Hidrolojik verilerin Mevsimsel Değişimi

Rezervuar işletme modeli geliştirilirken, daha önce yapılan enerji üretimi sırasında göz önünde bulundurulmayan bazı önemli kabuller yapılmıştır. Bunlardan en önemli ikisi; mansaba bırakılması gereken can suyu miktarı ile mansap sulaması için gerekli olan sulama suyu miktarıdır. Mansaba verilmesi gereken can suyu miktarı, bakanlık tarafından belirlenen bir miktardır. Ancak model hazırlama sürecinde bu değer tam olarak bilinmemekle beraber, benzer projelerde gözlemlendiği üzere dizayn debisinin %10'una karşılık gelen değer mansaba salınacak olan can suyu miktarı olarak alınmıştır. Diğer yandan mansap sulaması için gereken sulama suyunun miktarı ve kullanılma zamanı DSİ tarafından belirlenecek bir kriterdir. Bütün bunların yanı sıra etek santralin projeye dahil edilmesi 3. kriter olarak alınmıştır. Bu kriter proje sahibi tarafından projenin ilk gelişim aşamasında göz önüne alınmamış olup, danışman tarafından önerilmiştir. Tablo 2’de rezervuar modeli için kullanılan giriş değerleri, bahsi geçen

kriterler ve yukarıda açıkça anlatılmış olan kabuller verilmiştir. Bu tablo aynı zamanda bütün bu değerler kullanılarak oluşturulan rezervuar modelinin sonucu olan çıkış verilerini de göstermektedir.

**Tablo 2: Rezervuar İşletme Çalışmasında kullanılan Giriş ve Çıkış değerleri, kabuller ve göz önüne alınan kriterler**

	No	Maddeler	Kriter
Giriş Değerleri	1	Gelen Akım	45 yıllık gelen akım değerleri
	2	Ana Santral	( $H_{net}$ : 170 m, rezervuar seviyesi 1838 m)
	3	Etek Santral	( $H_{net}$ : 110 m, rezervuar seviyesi 1838 m)
	4	Verim	$\eta_{top}=0.85$ (0.80-0.90)
	5	Türbin Yükleme Kapasitesi	20%
	6	Rezervuar Kapasitesi	Başlangıç için; 1,838 masl
Göz önüne alınmayanlar	7	Buharlaşma Kayıpları	-
	8	Rezervuar Özellikleri	-
	9	Rezervuardaki Kayıplar	Göz önüne alınmamıştır.
	10	Enerji Tüneli ve Cebri Borudaki Kayıplar	Sulama suyu taşınması sırasındaki kayıplar göz önüne alınmamıştır
	11	Türbin ve Elektromekanik Ekipmanların Bakımı	Çalışmak için yeterli debinin olmadığı kurak zamanlar
	12	Santralin Çalışmadığı zamanlar	Göz önüne alınmamıştır.
Kabuller	13	Can suyu miktarı	
	14	Etek Santral	Bu 3 kabul daha önceden yapılan enerji üretimi hesabında göz önüne alınmamıştır.
	15	Sulama için gereken su miktarı	
Çıkış Değerleri	16	Türbinlenen Su	-
	17	Ana ve Etek Santral	Ana ve Etek santraldeki enerji üretimi
	18	Gerçek Rezervuar Hacmi	-
	19	Sulama Hacmi	-
	20	Savaklanan Hacim	-

#### 4. SONUÇLAR

Model için gerekli olan giriş değerleri ve kriterler göz önüne alınarak model hazırlanmış ve model sonuçlarında kıyaslama yapmak amacı ile değişik senaryolar geliştirilmiştir. Bunlar Tablo 3’de görüldüğü gibi 6 koşuldan oluşmaktadır. Bu koşulların içerisinde sulamanın aktif ve inaktif olduğu, etek santralinin mevcut olup, olmadığı ve can suyu salınımının olup, olmadığı durumlar bulunmaktadır. Bu durumların kullanımı ile oluşturulan rezervuar modelinin sonuç değerleri olarak enerji üretimleri verilmiştir. Danışmanlık hizmeti sırasında Tablo 3’de belirtilen Koşul 2 ve 5’in finansal analizde göz önünde bulundurulması önerilmiştir. Hesaplamalar sırasında, 3 farklı verim değeri alınmıştır. Elde edilen bütün sonuçlar içerisinde daha güvenilir sonuçlar verdiği düşünülen 0,85 için hesaplanmış enerji üretimleri dikkate alınmıştır.

**Tablo 3: Hazırlanan Rezervuar Modelinde Uygulanan farklı Durum Sonuçları**

		$\eta$ [-]	-6%	6%	
		0,85	0,8	0,9	
Durum	Ön görülen Koşullar	A [GWh/a] <sup>1)</sup>			
0 Sulama Aktif Değil	1 a. Can Suyu Salınımı Yok b. Etek Santral Yok c. Sulama Yok	<b>253,3</b>	238,4	268,2	
	2 a. Can Suyu Salınımı Var <sup>3)</sup> b. Etek Santral Var <sup>2)</sup> c. Sulama Yok	<b>245,7</b>	231,2	260,1	
	3 a. Can Suyu Salınımı Var <sup>3)</sup> b. Etek Santral Yok <sup>2)</sup> c. Sulama Yok	<b>231,7</b>	218,1	245,4	
	1 Sulama Aktif	4 a. Can Suyu Salınımı Yok b. Etek Santral Yok c. Sulama Var <sup>4)</sup>	<b>215,8</b>	203,1	228,5
		5 a. Can Suyu Salınımı Var <sup>3)</sup> b. Etek Santral Var <sup>2)</sup> c. Sulama Var <sup>4)</sup>	<b>209,3</b>	197	221,6
		6 a. Can Suyu Salınımı Var <sup>3)</sup> b. Etek Santral Yok <sup>2)</sup> c. Sulama Var <sup>4)</sup>	<b>195,7</b>	184,2	207,2

<sup>1)</sup> Ana Santral:  $H_N = 170$  m,  $Q_D = 24$  m<sup>3</sup>/sn, Aşırı Yük = 20 %

<sup>2)</sup> Etek Santral:  $H_N = 110$  m,  $Q_D = 2$  m<sup>3</sup>/sn, Aşırı yük = 20 %

<sup>3)</sup> Can suyu debisi:  $Q_R = 2$  m<sup>3</sup>/sn (Aylık ortalama debinin yaklaşık % 10'u)

<sup>4)</sup> Mansap sulama kullanımları ana santral tarafından değerlendirildiği, yalnızca Pasinler sulama projesinden dolayı enerji üretimindeki kayıp meydana geldiği durum.

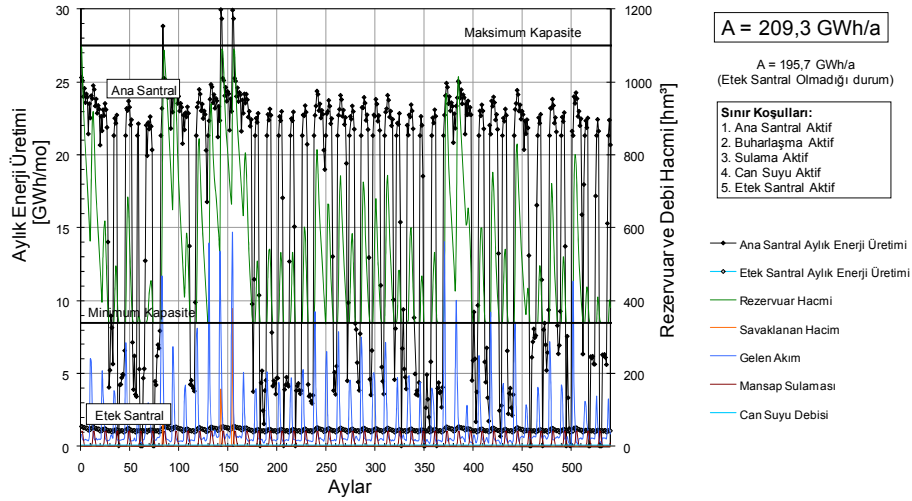
Tablo 3'de verilen sonuçlar içerisinde enerji üretiminin en yüksek olduğu, Koşul 1 incelendiğinde, 253,3 GWh/a'lık bir enerji üretim değeri ile karşılaşılmaktadır. Tablo 1'de verilen ve fizibilite aşamasında hesaplanan enerji üretimi de aynı koşullar altında hesaplanmış, sonuç olarak 275 GWh/a elde edilmiştir (YOLSU, 2005). İki değer arasında en başta bahsedildiği gibi belirgin bir farklılık vardır. Fizibilite aşamasında hesaplanan değer optimistik olarak hesaplanmış olduğundan daha büyük bir enerji üretimi elde edilmiştir. Ayrıca fizibilite sonucu hesaplanan 275 GWh/a'lık enerji üretimi, Koşul 2 sonucu hesaplanan 245,7 GWh/a'lık enerjiden %10, Koşul 5 sonucu hesaplanan 209,3 GWh/a'lık enerjiden %24 daha yüksektir.

Yukarıda bahsedilen ve danışman tarafından finansal analizde dikkate alınması önerilen koşullardan, Koşul 2, Pasinler Havzasının sulaması başlamadan önceki periyotta dikkate alınmalıdır. Koşul 5 ise sulama başladıktan sonraki dönem için güç optimizasyonuna izin verecektir.

Kaynaklar kısmında belirtilen proje dökümanlarından bir diğeri proje ile ilgili hazırlanan fizibilite çalışmasıdır (DSİ, 2010). Bu raporun içerdiği enerji üretim değeri,

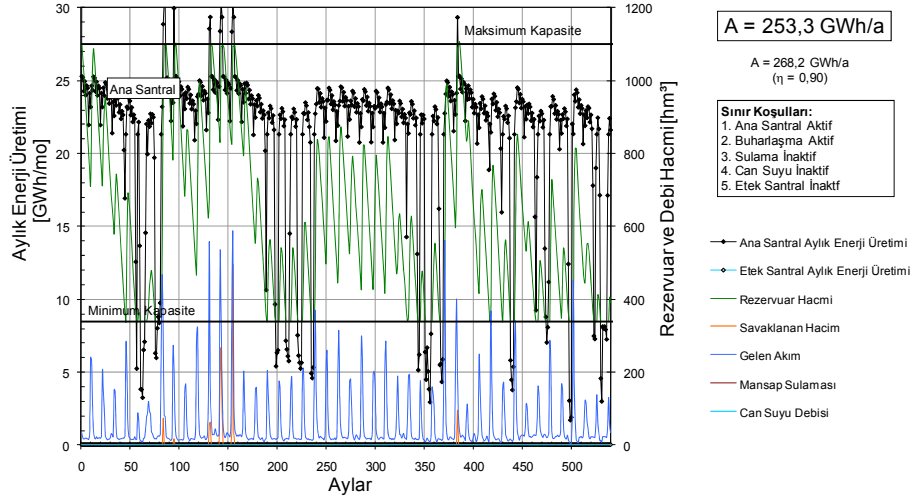
YOLSU (2005) fizibilite çalışmasında hesaplanan ve optimistik olarak değerlendirilen enerji üretim değerine çok yakındır.

Projenin gelişim sürecinde çevre sektöründe meydana gelen gelişmeler gözlemlenmelidir. Çevresel kanunlarda meydana gelebilecek son değişiklikler can suyu miktarı gibi projeyi yakından ilgilendiren çevresel koşulları etkileyebilir. Danışman tarafından önerilen etek santralin, yüksek düzeyde karlı olduğuna dikkat çekilmiştir. Çünkü gerekli ekipman ve yapı az miktarda ve belli bir limit içerisindedir. Aynı zamanda yıllık maksimum işletme saatini belirlemedeki en önemli kriter olan debide bunun için yeterlidir.



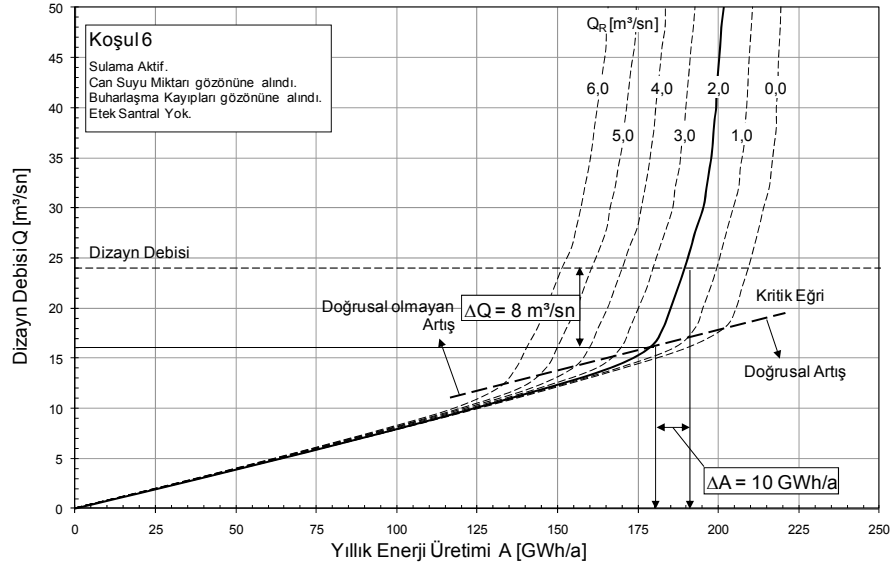
**Şekil 3: Söylemez Barajı rezervuar çıkış modeli (1); Tüm koşulların aktif olduğu durumdaki enerji üretim modeli (Koşul 5)**

Şekil 3 ve Şekil 4, modelin çalıştırılmasından sonra elde edilen, Aylık enerji üretimlerini, Rezervuar hacmini, Savaklanan hacmi, Gelen akım miktarlarını, Mansap sulamalarını ve Can suyu miktarını göstermektedir. Şekiller aynı zamanda Koşul 1 ve 5'deki enerji üretimi durumlarını temsil etmektedir. Koşul 1, proje için hazırlanan fizibilite çalışmasındaki değerler göz önüne alınarak yapılmıştır. Yani sulama ve etek santral yoktur; can suyu salınımı söz konusu değildir. Koşul 5 ise bunun tam tersidir. Her iki Şekilde de görüldüğü gibi aylık gelen akım ile enerji üretim miktarı birbirine uyumlu ve doğrusal bir şekilde hareket etmektedir. Bu durum hazırlanmış rezervuar modeline olan güvenilirliği arttırmaktadır.



**Şekil 4: Söylemez Barajı rezervuar çıkış modeli (2); Can suyu ve Etek Santralini olmadığı koşullardaki enerji üretim modeli (Koşul 1)**

Şekil 5’de yıllık enerji üretimine karşılık gelen dizayn debisi grafiği görülmektedir. 0,0 – 6,0 m<sup>3</sup>/sn ( $Q_R$  [m<sup>3</sup>/sn]) arasında değişen farklı can suyu miktarlarının, ana santral için olan dizayn debisinde oluşturacağı değişimler incelenmiştir. Etek santral göz önüne alınmamıştır (Koşul 6).



**Şekil 5: Farklı miktardaki can suyunun göz önüne alınması ile Dizayn debisi ve Enerji Üretiminin değişimi.**



Verilen grafikte görüldüğü gibi dizayn debisinin [ $Q_D$ ] 15 m<sup>3</sup>/sn'den 18 m<sup>3</sup>/sn'ye yükselmesi enerji üretimindeki lineer artışın sonucudur. Eldeki son fizibilite raporuna göre ana santral için dizayn debisi 24 m<sup>3</sup>/sn olarak seçilmiştir. Can suyu miktarının 2,0 m<sup>3</sup>/sn [ $Q_R$ ] olduğu eğri göz önüne alındığında, dizayn debisinin 16 m<sup>3</sup>/sn'den 24 m<sup>3</sup>/sn'ye olan artışı (+50 %) sonucunda enerji üretiminde de 180 GWh/a'dan 190 GWh/a'a doğru bir artış (+5 %) görülmektedir. Kısaca dizayn debisinde meydana gelen %50'lik artış, enerji üretiminde yalnızca %5'lik bir artış meydana getirmiştir. Bu durumda maliyet-fayda analizi gözden geçirilmelidir. Yapılacak olan yapı, inşaat ve elektromekanik ekipman yatırımlarının, 16 m<sup>3</sup>/sn'lik dizayn debisinin seçilmesi ile kaybedilecek 10 GWh/a'lık enerji üretimi ile mi daha karlı, yoksa 24 m<sup>3</sup>/sn'lik dizayn debisi seçilerek üretilecek enerji ile mi daha karlı olacağına karar verilmelidir.

Uygulanan farklı can suyu değerleri kritik eğrinin olduğu alanda yüksek can suyu miktarları için düşük dizayn debisine doğru bir eğilim göstermektedir.  $Q_D < 10-15$  m<sup>3</sup>/sn olduğu durumlarda, can suyu miktarının ana santraldeki enerji üretimini etkilemediği Şekil 5'de görülmektedir. Bu durum can suyu miktarı ile ilgili bir gelişim çalışmasının yapılmama sebebini oluşturabilir.

Sonuç olarak, teknik araştırma raporu (FICHTNER, 2010), yıllık enerji üretiminin yeniden hesaplanması ve elektromekanik ekipmanların dizayn kriterleri için birçok öneri ortaya koymuştur. Yapılan tüm çalışmalar ve hesaplanan tüm enerji üretim değerleri, değişik durumların oluşturacağı farklılıkları göstermek ve proje sahibine proje işletmesi açısından farklı alternatifler sunmak amacı ile yapılmıştır. Bunun yanı sıra, proje geliştiricileri ve sahibi pik enerji üretimindeki değişimlerin oluşturacağı karlılığı incelemeye devam etmektedir.

#### **KAYNAKLAR**

- 1.Haselsteiner, R., Ersoy, B. (2010) "Untersuchung der Bewirtschaftung eines Jahresspeichers in der Türkei zur Verifizierung und Optimierung der Energieerzeugung mit Hilfe eines Speichermodells", Water Resources Journal, ss.220-226, Austria.
- 2.FICHTNER (2010) Söylemez Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi, Teknik İnceleme Raporu ve Danışmanlık Servisi, Yayınlanmamış.
- 3.YOLSU (2005) Pasinler Projesi, Söylemez Barajı ve Hidroelektrik Santral, Revize Fizibilite Raporu, Yayınlanmamış, DSİ (2000) doğrultusunda hazırlanmış.
- 4.DSİ (2000) 'Pasinler Projesi, Söylemez Hidroelektrik Santral Projesi ve Sulama Planlama Raporu', Yayınlanmamış, Revizyon Tarihi: Eylül, 2001.