

PORSUK HAVZASINDAKİ ÇOK AMAÇLI BARAJLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Recep BAKIŞ¹, Mehmet BİLGİN², Ahmet TUNCAN³, Metin ALTAN⁴

ÖZET: Bu makalede, Porsuk Havzasındaki mevcut çok amaçlı barajların sahip olduğu küçük hidroelektrik enerji potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanı Porsuk Havzası seçilmiştir. Porsuk Havzasındaki küçük ölçekli hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi ve bölge/ülke ekonomisine kazandırılması amaçlanmıştır. Çalışmada esas olarak, elektrik üretimi amacıyla inşa edilmeyen barajlardan bırakılan suyun (sulama, içme-kullanma ve endüstri suyu v.b) potansiyelini kullanarak, elektrik enerjisi üretilmesi konusu incelenmiştir. Bu amaçla, mevcut barajlardan çıkan suların, aylar itibari ile 20 yıldan daha uzun yıllara dayanan verileri kullanılarak, bu barajlardan üretilen elektrik enerjisi miktarı incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, bu barajlardan 6,30 MW'lık kurulu bir güçle 30,113 GWh'lık elektrik üretilebileceği ve ekonomiye önemli bir katkı sağlayacağı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELE: Elektrik Üretimi, Çok Amaçlı Barajlar, Küçük Hidroelektrik Santraller, Porsuk Havzası

INVESTIGATION OF ELECTRICITY GENERATION FROM MULTIPURPOSE DAMS IN PORSUK BASIN

ABSTRACT: In this paper, small hydropower potential of existing multipurpose dams in Porsuk River basin has been investigated. For this purpose, Porsuk River basin has been selected as the research area. The aim is to evaluate the small hydropower potential in Porsuk River basin and to make it part of the region's/country's economy. This study basically investigates the subject of electricity generation through the use of water potential released from the dams which are constructed for supplying domestic, industrial and irrigation water but not for electricity generation. For this purpose, the amount of the electricity to be generated from these dams has been investigated by using the historical data of the discharge from these reservoirs to the downstream. Historical data of over 20 years has been analyzed on a monthly basis. It has been found that the electricity generation using this potential will be 30,113 GWh/year with 6,30 MW installed capacity. This potential will contribute an important monetary value to the economy.

KEYWORDS: Electricity Generation, Multipurpose Dams, Small Hydropower Plants, Porsuk Basin

^{1,2,3} Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü 26470 ESKİŞEHİR

⁴ Anadolu Üniversitesi, Uçuş ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, İki Eylül Kampüsü 26470 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Barajlar, su kaynaklarının kontrolü ve hidroelektrik enerji üretimi için temel tesislerdir. Dünyada, 15 m'den yüksek 45.000 adet ve yüksekliği 15 m'den küçük 800.000 adet baraj bulunmaktadır. Yine dünyadaki barajların %70'inin yüksekliği, 30 m'den küçüktür. Dünyadaki barajların yalnızca %1'i, 100 m'den yüksektir [1-6]. Dünyadaki toplam teknik hidroelektrik potansiyel miktarı yaklaşık 14400 TWh/yıl ve ekonomik hidroelektrik potansiyel miktarı ise 8000 TWh/yıl (1 TWh=1.10⁹ kWh)'dir. Dünya elektrik üretiminin %20'si (2650 TWh/yıl) hidroelektrik enerjiden sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin (su, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle vb.) %97'si, su gücünden temin edilmektedir [4, 7].

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'na (ICOLD) göre dünyadaki büyük barajların %30'u çok amaçlı barajlar grubunda yer almaktadır. Genel olarak dünyadaki barajlar yapılış amaçlarına göre sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmaya göre barajların, %48'i Sulama, %36'sı Elektrik üretimi, %36'sı Su temini, %39'u Taşkın koruma, %24'ü Dinlenme, %5'i İç su yolu taşımacılığı ve %5'i Balıkçılık amaçları için projelendirilmiştir [5]. Bunların toplamı, %100 geçmektedir. Çünkü aynı baraj tipi, farklı amaçlar (Sulama, Su temini, Elektrik üretimi v.b) için kullanıldığından ilgili kategori içinde tekrar sayılmıştır.

Türkiye, hala kalkınmakta olan bir ülkedir. Tarımsal üretimin kalkınmada önemli bir yeri vardır. Ancak, son zamanlarda hızla sanayileşen bir ülke haline gelmiştir. Tarımsal üretimi artırmak için sulama çok önemli olduğundan, sulama amaçlı baraj sayısı, 1950'lerden sonra hızla artmıştır. 2007 yılı itibari ile inşası tamamlanmış irili ufaklı 1175 adet baraj veya baraj büyüklüğünde gölet bulunmaktadır [6]. Ancak ICOLD'un sınıflandırmasına göre 555 adet tesis, baraj olarak kabul edilmektedir. Geriye kalan 620 adet tesis, baraj olarak kabul edilmemektedir. Bu 620 adet tesisin çoğu çok amaçlı (sulama, taşkın koruma, su temini, mesire yeri vb) tesislerdir. Bu tesislerin çoğunun yüksekliği 20 m'den fazladır. 555 adet barajın 212'si büyük baraj ve 343'ü küçük baraj sınıfına girmektedir. Bilindiği üzere ICOLD büyük baraj tanımı için şu şartları istemektedir: a) Kret'i ile temeli arasındaki yükseklik 15 m olmalı, b) Yüksekliği 10-15 m olması halinde, kret uzunluğu >500 m, hazne hacmi >1x10⁶ m³ ve en büyük taşkın debisi >1000 m³ olmalı, c) Baraj temelinde özel sorunlar olması ve alışılmışın dışında bir projeye

sahip olması halinde büyük baraj sayılmaktadır. Türkiye'deki çok amaçlı 1175 adet barajın hizmet ettiği ana amaca göre sınıflandırılması, Tablo 1'de verilmiştir [6-8].

Tablo 1. Türkiye'deki mevcut barajların inşa amacı, sayısı ve toplam içindeki payı

Barajın Genel Yapılış Amacı	Sayısı	Toplam içindeki payı (%)
Sulama (S)	1030	88,00
İçme-Kullanma suyu (i)	49	4,20
Enerji (E)	46	3,90
Taşkın koruma (T)	46	3,90

Tablo 1'e göre, Türkiye'deki barajların %88'i sulama, %4,2'i içme-kullanma, %3,9'u enerji ve %3,9'ü taşkın koruma amaçlarına hizmet vermektedir. Ancak bu amaçlarına ilave olarak, bazı barajların aynı zamanda dinleme-mesire yeri, balıkçılık ve yer yer ulaşım amaçları için de birden fazla fonksiyonu yerine getirdiği ve bu amaçla kullanıldığı bilinmektedir. Türkiye'deki mevcut barajların hizmet fonksiyonlarına göre dağılımları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'deki mevcut kurulu barajların hizmet fonksiyonlarına göre dağılımları

	İ	S	S+E+T	S+T	S+T+İ	E	S+T	S+E	S+E+İ	S+İ	E+T	İ+T	E+İ	T	Toplam
Sayısı	29	1055	9	13	6	14	8	12	2	9	5	1	1	2	1166
Payı (%)	2,5	90,5	0,8	1,1	0,5	1,2	0,7	1,0	0,2	0,8	0,4	0,1	0,1	0,2	100,0

İ: içme-kullanma, S: sulama; T: taşkın koruma; E: enerji; Not. 9 Adet gölet'in ömrü dolmuştur (9+1166=1175).

II. HİDROELEKTRİK ENERJİ VE TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

Tüketilen enerji miktarı, ülkelerin kalkınmışlık ve refah seviyesini gösteren başlıca göstergelerden birisi olarak kabul edilmektedir. 2004 yılında Türkiye'de kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi 2100 kilovatsaat (kWh) iken, dünya ortalaması 2500 kWh, gelişmiş ülkelerde ortalama 8900 kWh (ABD'de, 12322 kWh; Çin'de 827 kWh) civarındadır. Türkiye'nin ekonomik-sosyal bakımdan kalkınması ve endüstrileşmesi bir hedef olduğuna göre enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması hayati bir önem taşımaktadır.

Türkiye’de 2005 yılı itibari ile Kurulu güç (MW) ve üretim miktarı (GWh) Tablo 3’de verilmiştir [8-10].

Ancak 21 yüzyılda ülkelerin karşı karşıya bulunduğu sorunlardan en önemlisi, temiz ve ucuz enerji teminidir [11-14]. Böyle bir sorunun çözümünde, yenilenebilir ve çevreyi kirletmeyen temiz enerjinin üretilmesi, depolanması, dağıtılması ve kullanılması için ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar büyük bir önem arz etmektedir [8, 9, 14].

Tablo 3. Türkiye’de 2005 sonu itibari ile kurulu güç kapasitesi (MW) ve üretimi (GWh) [8]

Kurulu Kapasite ve Yıllık Üretim		2003				2004			
		Kapasite		Fiili	Kapasite Kullanımı	Kapasite		Fiili	Kapasite Kullanımı
		Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh)	Üretim (GWh)	Oranı (%)	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh)	Üretim (GWh)	Oranı (%)
Termik Enerji	Kömür	8 239	53 940	32 253	60	8 923	58 391	34 558	59
	Akaryakıt	3 198	21 085	9 196	44	3 202	21 167	9 800	46
	Doğalgaz	11 510	86 154	63 536	74	12 640	94 867	59 098	62
	Diğer	28	207	116	56	27	207	76	37
Toplam		22 974	161 387	105 101	65	24 792	174 632	103 532	59
Jeotermal ve Rüzgâr Enerjisi		34	156	150	96	34	156	160	103
Hidroelektrik Enerji		12 579	45 152	35 329	78	12 654	45 435	47 614	105
Genel Toplam		35 587	206 695	140 580	68	37 480	220 223	151 306	69

Bilindiği üzere fosil kökenli enerji kaynaklarının miktarı sınırlı ve karbon gazı çıkarmaları nedeni ile iklim değişikliklerine yol açmaktadır [12-15]. Ancak bütün dünyada olduğu gibi, Türkiye’nin de enerjiye olan gereksinim her geçen gün artmaktadır [16]. Enerji ihtiyacı, ülkenin öz kaynaklarından karşılanamadığı için, ihtiyaçlar yurt dışından ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Özellikle, petrol, doğalgaz ve kömür ithalatı büyük rakamlara ulaşmış olup, son yıllardaki enerji ithalatı ve parasal değeri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Türkiye'nin son yıllardaki enerji ithalatı (Petrol, Doğalgaz ve İthal kömür) [16].

Yıl	İhracatı x10 ⁶ US\$	Payı (%)	İthalatı x10 ⁶ US\$	Payı (%)	Enerji İthalatı x10 ⁶ US\$	D.Ticaret Açığı (%)
2002	0,692	1,9	9,204	17,9	8,512	54,9
2003	0,980	2,1	11,575	16,7	10,595	48,0
2004	1,429	2,3	14,407	14,8	12,978	37,8
2005	2,641	3,6	21,256	18,2	18,614	43,0
2006	3,564	4,2	28,859	20,7	25,292	46,8
2007	5,417	5,1	33,876	19,9	28,459	45,3

Nüfus artışı ve gelişen teknoloji sonucu ortaya çıkan enerji gereksinimini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Temiz enerji kaynakları arasında en önemli olanı, hidroelektrik enerjidir [2, 17-20]. Türkiye'nin kalkınmasında su kaynaklarının ve hidroelektrik enerji potansiyelinin büyük önemi vardır. Ancak mevcut su potansiyeli yeterince değerlendirilememekte ve yılda 86×10^9 kWh enerji denizlere boşuna akmaktadır. Bu enerjinin parasal değeri 6×10^9 US\$'dir [8]. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık %1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin yaklaşık %17'sini oluşturmaktadır (Tablo 5) [9]. Türkiye'nin toplam teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh'tir. Bilindiği gibi, bir ülkeye ait bütün tabii akışların %100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak hesaplanan su potansiyeline, o ülkenin brüt teorik hidroelektrik potansiyeli denir. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tamamının kullanılması mümkün olmadığından, mevcut teknolojilerle değerlendirilebilecek azami potansiyele teknik hidroelektrik potansiyel denir. Öte yandan teknik yapılabirliği olan her tesis ekonomik tesis değildir. Teknik potansiyelin mevcut şartlar içinde geliştirilebilecek bölümü ekonomik hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin % 1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin % 16'sıdır. Teknik hidroelektrik potansiyeli 216 milyar kWh'dir. Halen, ekonomik olarak değerlendirilebilir toplam hidroelektrik potansiyel yaklaşık 129,5 milyar kWh'tir. Oysa, 2005 yılı itibari ile bu potansiyelin ancak, 45,3 milyar kWh'i üretilebilmiştir [7, 8]. Türkiye'de, boşa akan suların kontrol edilmesi ve enerjiye dönüştürülmesi için havza bazında, mevcut su potansiyellerinin yeniden araştırılması ve gözden

geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü ekonomik görülmeyen pek çok akarsu potansiyeli, enerji fiyatlarının çok arttığı bu dönemde ekonomik hale gelmiştir.

Tablo 5. Dünya'da ve Türkiye'de hidroelektrik (HES) potansiyel miktarı [9]

Kapsam	Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)
Dünya	40 500 000	14 300 000	8 100 000
Avrupa	3 220 000	1 225 000	775 000
Türkiye	433 000	216 000	129 907

2006 yılı itibari ile Hidrolik enerji potansiyelinin proje seviyelerine göre dağılımı Tablo 6'da verilmiştir [8-10]. Bu anlamada, kazanılacak her türlü hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi son derece önemli bir hale gelmiştir [21-25]. Türkiye'de mevcut kalkınma hedefleri doğrultusunda, büyük barajlar dikkatte alınırken, küçük ölçekli su potansiyelleri bu güne kadar ihmal edilmiştir [10, 11, 18-20].

Tablo 6. Türkiye'nin 2006 yılı hidroelektrik enerji potansiyelinin proje seviyelerine göre dağılımı [8, 20]

Hidroelektrik Santral Projelerinin Mevcut Durumu	Proje Sayısı	Kurulu Güç (MW)	Toplam Yıllık Hidroelektrik Enerji Üretimi				
			Güvenilir Enerji (GWh)	Toplam Enerji (GWh)	Oran (%)	Kümülatif Enerji (GWh)	Oran (%)
1- İşletmede	142	12 788	33 560	45 930	35,5	45 930	35,5
2- İnşa Halinde	41	3 397	8 817	14 351	11,1	60 281	46,6
3- Gelecekte İnşa Edilecek	589	29 359	37 335	69 173	53,4	*	*
3.1 Kesin Projesi Hazır	13	2 356	4 630	6 919	5,3	67 200	51,8
3.2 Planlaması (Fizibilitesi) Hazır	176	7 269	13 293	26 415	20,4	93 615	72,3
3.3 Master Planı Hazır	99	5 260	10 773	18 280	14,1	111 895	86,4
3.4 İlk Etüdü Hazır	301	4 474	8 693	17 559	13,6	129 454	100,0
Toplam Potansiyel	772	36 544	79 712	129 454	100,0	129 454	100,0

*EİE 2009, WEB sayfasından güncellenmiştir [20]. Bu satırdaki baraj sayısının sürekli değişmesi nedeni ile * rakamları belli değildir.

Türkiye’de, 101 kW-10 MW arasındaki hidroelektrik santraller küçük hidroelektrik enerji sınıfında kabul edilmektedir. 2008 yılı itibari ile gücü 10 MW’ın altında olan hidroelektrik santrallerin Türkiye genelinde toplam kurulu gücü 1143 MW olup, yıllık güvenilir enerji üretimleri toplamı 1591 GWh ve yıllık ortalama enerji üretimleri ise 5163 GWh’dır. Ancak, söz konusu santrallerin 130 MW kadarı işletilmekte olup, bunların yıllık güvenilir üretim miktarı 225 GWh, yıllık ortalama enerji üretimleri de 450 GWh düzeyindedir [20]. Burada güvenilir üretimden kasıt, her şartta üretilecek yıllık enerji miktarıdır. Türkiye’de potansiyel ve üretim karşılaştırması yapıldığında, küçük hidroelektrik santrallerin göz ardı edildiği görülmektedir. Proje seviyesindeki hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerine göre sınıflandırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerine göre sınıflandırılması [8, 20].

Kurulu Güç Sınıfı (MW)	Hidroelektrik Santral Sayısı	Toplam Kurulu Güç (MW)	Toplam Güvenilir Enerji (GWh/yıl)	Yıllık Ortalama Enerji (GWh/yıl)
10 MW altı	307	1143	1591	5163
10-50 MW	185	4558	8787	18301
50 MW üstü	97	13658	26956	45709
Toplam	589	19359	37335	69173

Türkiye’de ilave Hidroelektrik Potansiyel belirleme çalışmaları devam etmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Türkiye genelinde “MEKDEP Projesi- Mini enerji kaynakları değerlendirme projesi”, adı altında, Tablo 8’de verilen ilave Hidroelektrik Santral (HES) potansiyelini tespit etmiştir [20].

Tablo 8. Türkiye’de, MEKDEP Projesi ile tespiti yapılan ilave HES potansiyeli [20]

Havza adı	Tespiti yapılan projeler		Rantabl kabul edilen projeler	
	Proje sayısı	Üretilecek toplam enerji miktarı (GWh)	Proje Sayısı	Üretilecek enerji miktarı (GWh)
Susurluk Havzası	15	111	2	23
Ege Suları	5	20	-	-
Gediz Havzası	7	166	2	116
Büyük Menderes	2	16	2	16
Batı Akdeniz	9	112	5	100
Orta Akdeniz	20	279	13	260
Batı Karadeniz	15	109	4	40
Doğu Karadeniz	59	887	41	718

III. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

Çalışma alanı Porsuk Havzasıdır. Porsuk Havzası, Sakarya Havzasının bir alt havzası olup, kuzeybatı Anadolu’da 11325 km²’lik bir alanı kapsamaktadır. Havza, 29° 38’-31° 59’ doğu boylamları ile 38° 44’-39° 99’ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Havzanın %60’ından fazlası dağlıktır. Porsuk Havzasının yüzey suları, Porsuk Çayı ve yan kolları tarafından toplanır ve havza içinde 435,8 km yol kat ettikten sonra, Sazlılar mevkiinde, 660 m kotunda, Sakarya nehrine dökülür [17, 19, 26]. Porsuk Havzasının uzun süreli yıllık ortalama yağış yüksekliği 450 mm’dir. Dolayısıyla, su potansiyeli azdır. Havzanın toplam yıllık su potansiyeli 481 hm³tür [8, 19, 26, 27]. Yani, kurulu gücü büyük olan santrallerin çalışması için yeterli hidrolik potansiyel mevcut değildir. Ancak, küçük hidrolik santrallerin kurulması bakımından uygun bulunmuştur.

III. 1. Havzada Hidroelektrik Enerji Üretimi İçin Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Porsuk Havzasında hidroelektrik enerji üretimi amacı ile “Porsuk Eskişehir Projesi, Porsuk Barajı HES ve Gökçekısık HES Planlama Çalışmaları” adı altında 1980 yılında, DSİ III. Bölge Müdürlüğü tarafından bir planlama çalışması yapılmış, ancak bir türlü hayata geçirilmemiştir. Çalışmaya göre, Porsuk Barajı üzerinde 2 MW kurulu güç ve yıllık üreteceği enerji miktarı yaklaşık 20 GWh’lik bir küçük Hidroelektrik santral planlaması yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında Gökçekısık HES adı altında bir nehir tipi santral inşası da planlanmıştır. Nehir tipi santralin kurulu gücü 2 MW ve toplam üreteceği yıllık enerji miktarı da, 9.03 GWh’tir [27, 28].

IV. HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Porsuk Havzasında inşası tamamlanmış veya halen devam eden çok amaçlı barajlarda (içme kullanma suyu, sulama suyu, taşkın koruma, mesire vb) biriktirilen suların dip savaklarından veya bir cebri boru ile mansaba savaklanan suyun enerjisi kullanılarak, elektrik enerjisi elde edilebilir. Enerji miktarını tespit etmek için, ölçümü yapılmış, her bir baraja ait akımların, uzun yıllara ait debi çıkış değerlerinin bilinmesi gerekir. Porsuk Havzasında mevcut çok amaçlı barajlara ait ölçülmüş ortalama aylık debi değerleri, DSİ III. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Bu barajların havzadaki konumları Şekil 2’de verilmiştir. Porsuk Havzasında bulunan barajların ortalama aylık akım değerleri, aylara bağlı olarak Şekil 3’ten görülebilir. Aynı şekiller üzerinde, barajlara ait ortalama göl suyu yükseklikleri (H_b : brüt göl suyu yükseklikleri (m)) gösterilmiştir. Araştırma alanı, Yukarı Porsuk Havzası, Orta Porsuk Havzası ve Aşağı Porsuk Havzası olarak üç kısımda incelenmiştir. Yukarı ve Orta Porsuk Havzasında, DSİ tarafından inşası tamamlanmış veya halen devam eden barajlar şunlardır:

Yukarı Porsuk Havzasında bulunan barajlar: Akçaköy Barajı, Kureyşler Barajı, Beşkarış Barajı, Enne Barajı, Dodurga (Daridere) Barajı, Aşağıkuzfındık Barajı.

Orta Porsuk Havzasında bulunan barajlar: Porsuk Barajı, Musaözü Barajı, Karacaşehir Regülâtörü

Aşağı Porsuk Havzasında bulunan barajlar: Bu bölgede, uygun baraj yoktur (Beylikova Göleti, enerji üretimi için uygun değildir).

Porsuk havzasında mevcut kurulu/inşaata devam eden çok amaçlı barajların, adı, bulunduğu pafta numarası, mevkisi ve koordinatları Tablo 9'da verilmiştir. Benzer şekilde, barajların karakteristik özellikleri, Tablo 10'dan görülebilir. Tablo 10'da, özellikle net düşüm yüksekliğinin elde edilmesi için baraj yüksekliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

IV.1. Su Gücü Hesabında Önemli Kriterler

Ağırlığı G kgf (kgf=kilogramkuvvet) olan bir cismin, H (m) yüksekliğinden düşmesi ile yapacağı iş, E (kgfm)= $G.H$ değerine eşittir. İşletme debisi Q (m^3/sn) olan ve t (sn) zamanı içinde toplanmış bir suyun H (m) yükseklikten düşmesi halinde sahip olduğu potansiyel enerji (1), denklemi ile hesaplanabilir [29, 30]. Burada, suyun birim hacim ağırlığı, $\gamma=1000$ kgf/ m^3 , t (zaman),

$$E=\gamma.Q.H.t \text{ (kgfm)} \quad (1)$$

Dolayısı ile hidroelektrik santral seçiminde şu hususların bilinmesi gerekir.

Q, Debi (m^3/sn , lt/sn): Akarsuyun debisi veya baraj çıkış debisinin bütün yıl içindeki veya uzun yıllar içindeki değişimi bilinmelidir. Tasarım debisi olarak debi-zaman eğrisinin uzun yıllar boyunca ölçülmüş akım değerlerine ait zamanın %50'sine karşı gelen debi, ilk tasarım debisi seçilebilir [31, 32].

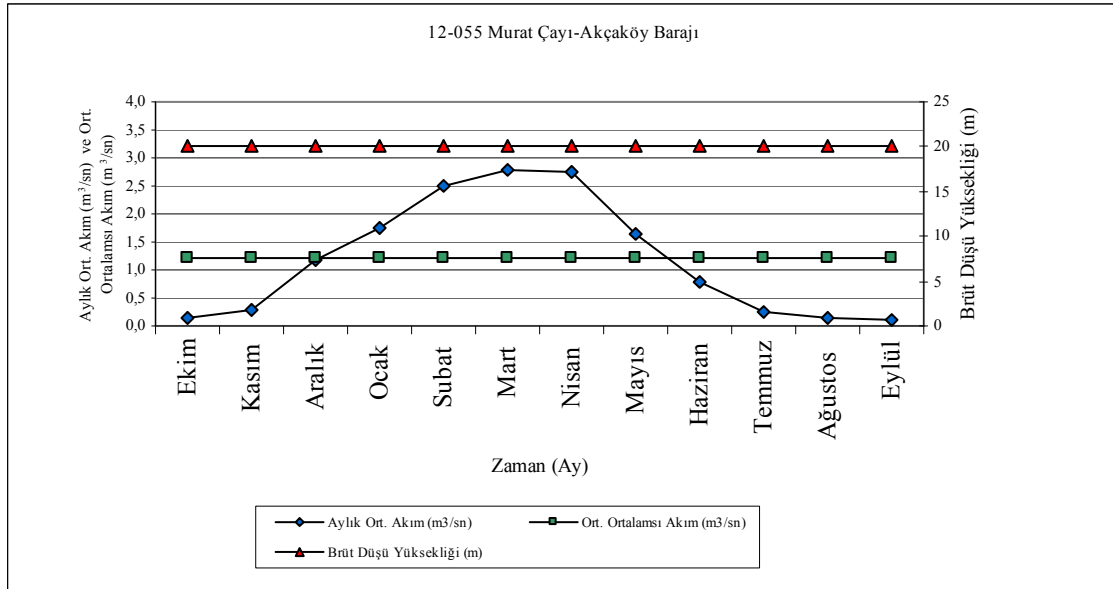
H_N , Net Düşüm (m) Yüksekliği: Suyolunda meydana gelen toplam kayıplar, toplam düşüm yüksekliğinden çıkarılır ise net düşüm yüksekliği elde edilir. Bu yükseklik, kurulacak santralin yatırım maliyetinin belirlenmesinde çok önemlidir.

η , Toplam Verim Katsayısı (%): Türbin, jeneratör ve transformatörde ısı enerjisine dönüşerek kaybolan enerji, HES in toplam verim katsayısı ($\eta=\eta_t.\eta_j.\eta_{tr}$) ile ifade edilir. DSİ' deki kabullere göre, η_t : Türbin verimi (%92); η_j : Jeneratör verimi (%95); η_{tr} : Trafo verimi (%98)'dir. Toplam verim katsayısı= $\eta=\eta_t.\eta_j.\eta_{tr}=0,92.0,95.0,98=0,87$ 'dir, ve $\eta.g\geq 8,0$ alınmıştır [32-35]. (1)'den hesaplanan potansiyel enerji karşılığı elde edilecek elektrik enerjisi miktarı (2) denklemi ile ifade edilir.

$$E=\eta.\gamma.Q.H.t \text{ (kgfm)} \quad (2)$$

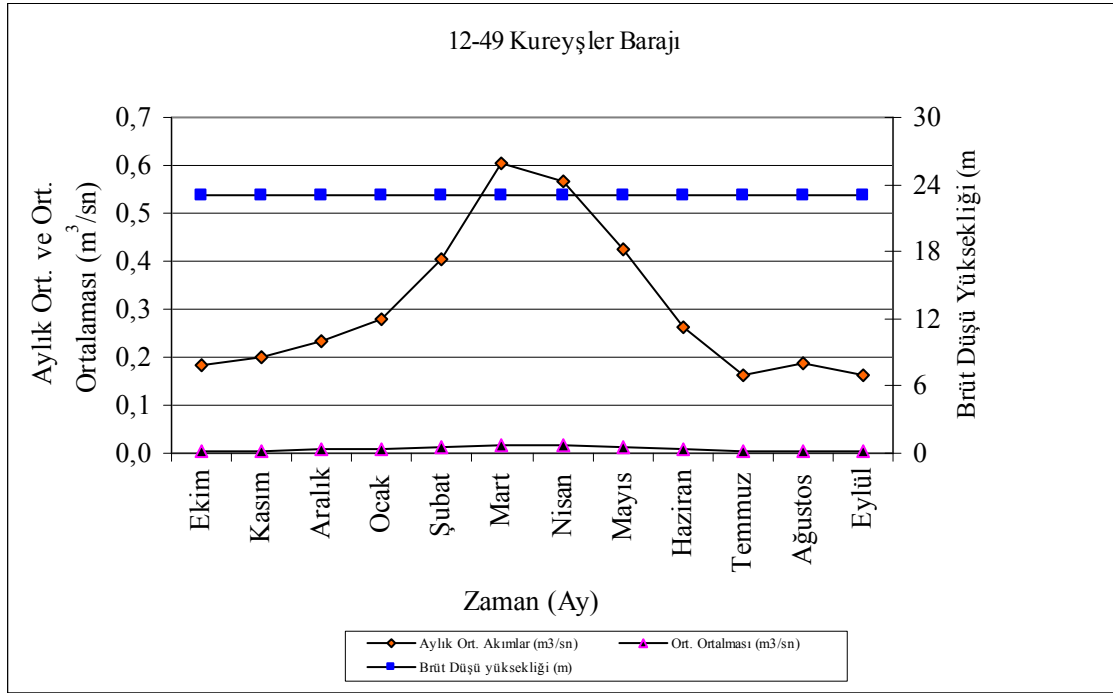
Bu çalışmada, kurulu güç hesabında, $\eta=0,82$ alınarak, (2) denklemine göre, her ayda, her bir barajın üreteceği enerji miktarı hesaplanmıştır.

Akçaköy Barajı

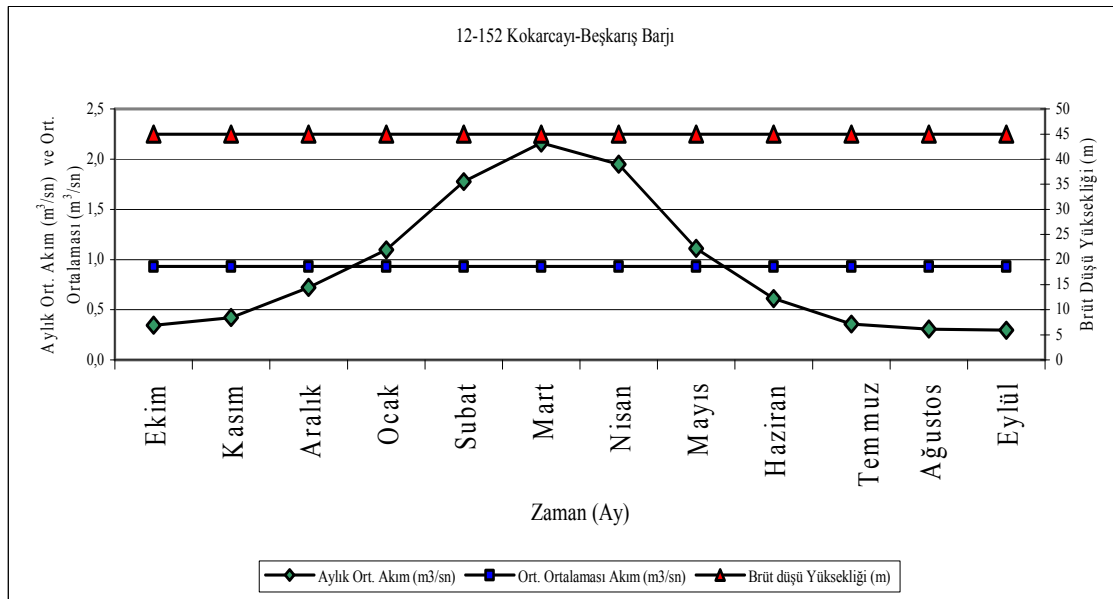


Şekil 3. Porsuk Havzasındaki barajlara ait ortalama aylık akım değerleri (m³/sn).

Kureyşler Barajı

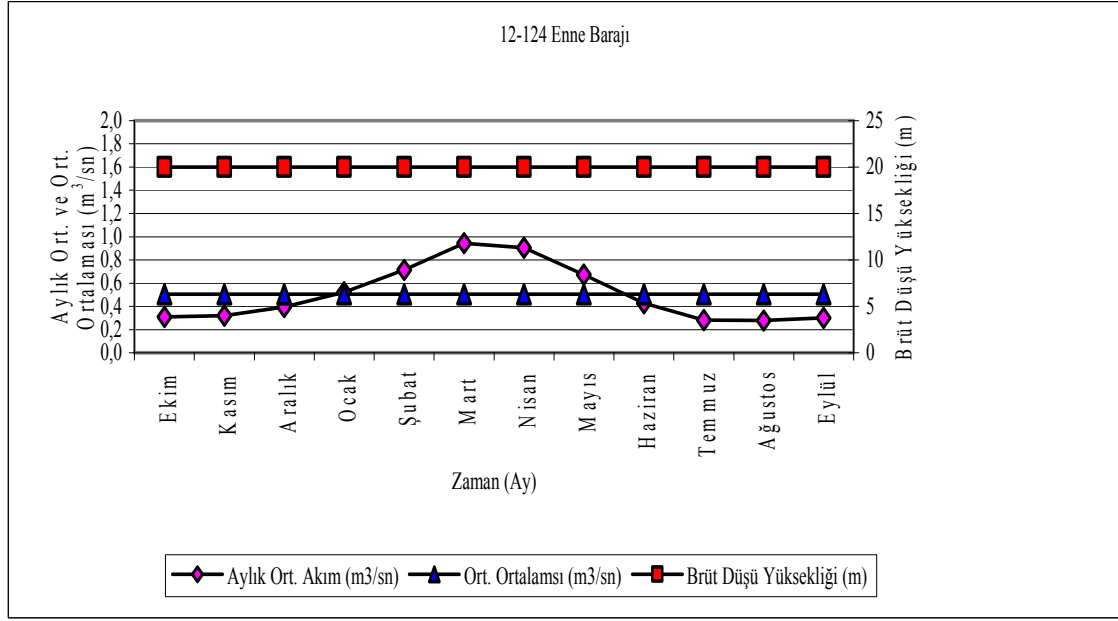


Beşkarış Barajı

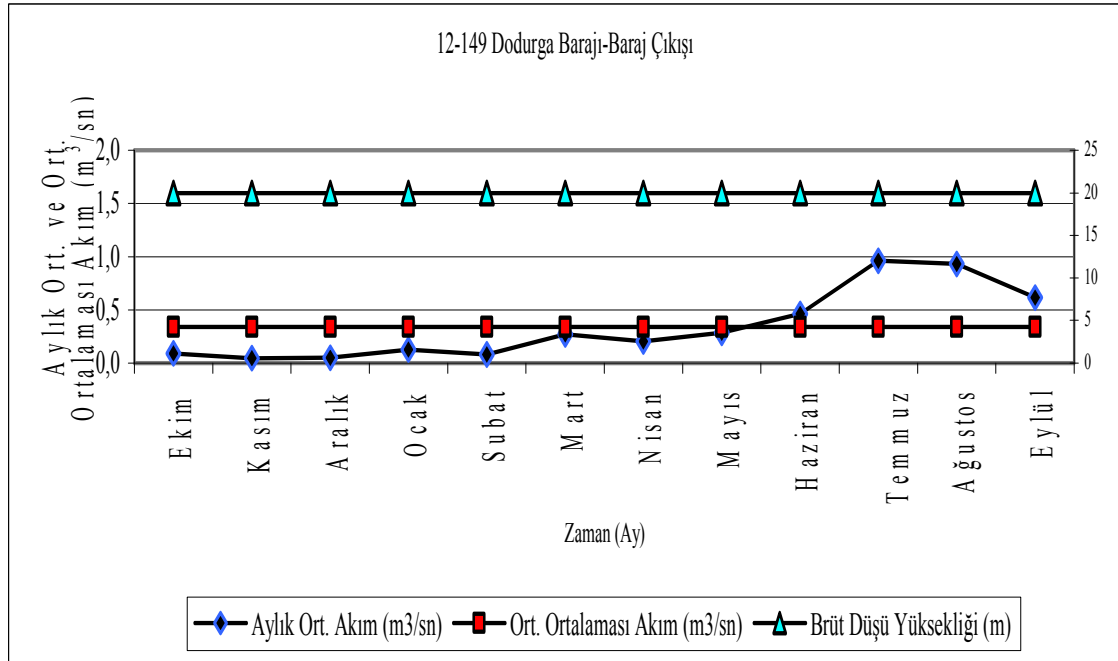


Şekil 3 (Devamı). Porsuk Havzasındaki barajlara ait ortalama aylık akım değerleri (m³/sn).

Enne Barajı

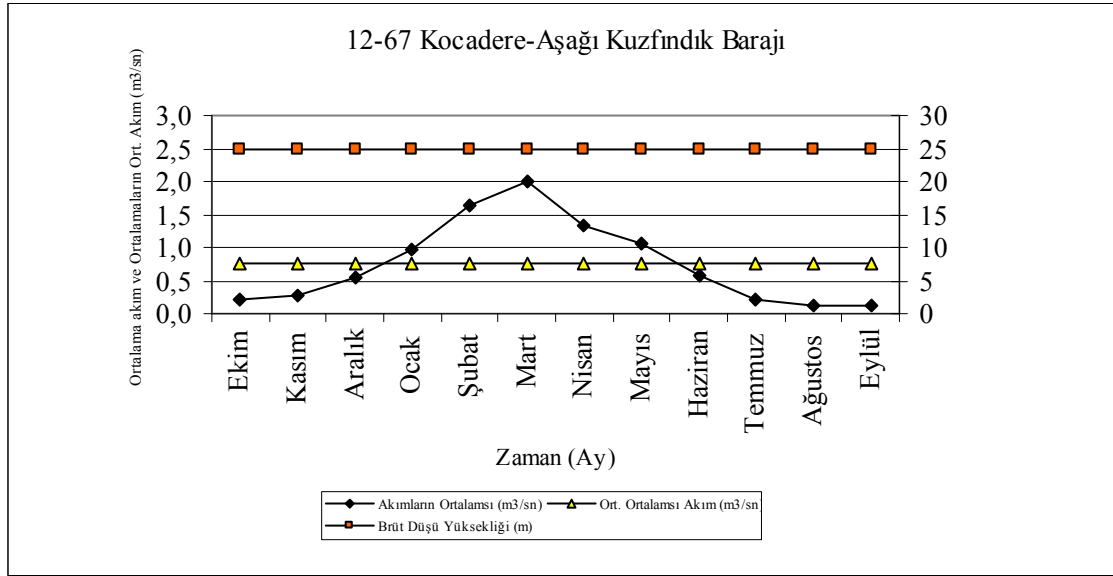


Dodurga (Daridere) Barajı

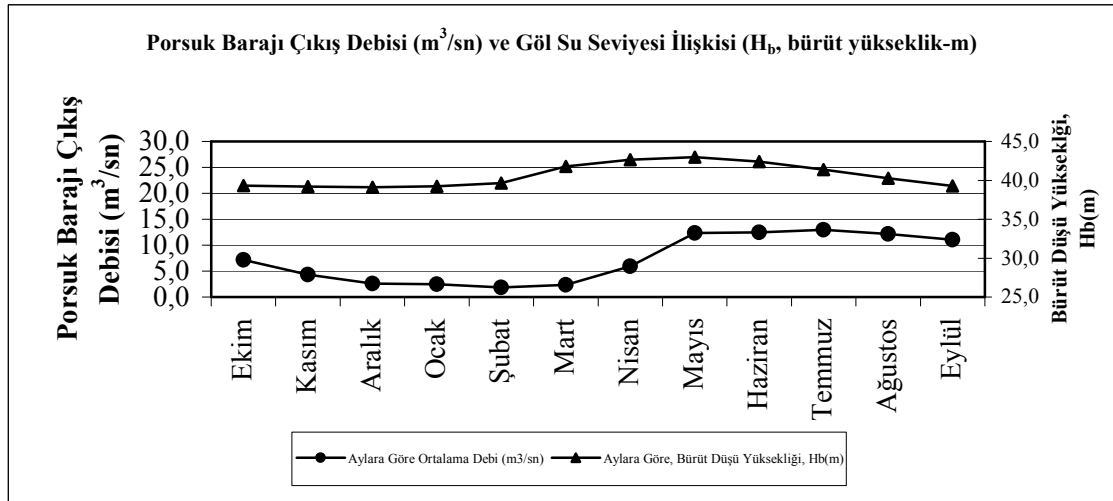


Şekil 3 (Devamı). Porsuk Havzasındaki barajlara ait ortalama aylık akım değerleri (m³/sn).

Aşağıkuzfındık Barajı

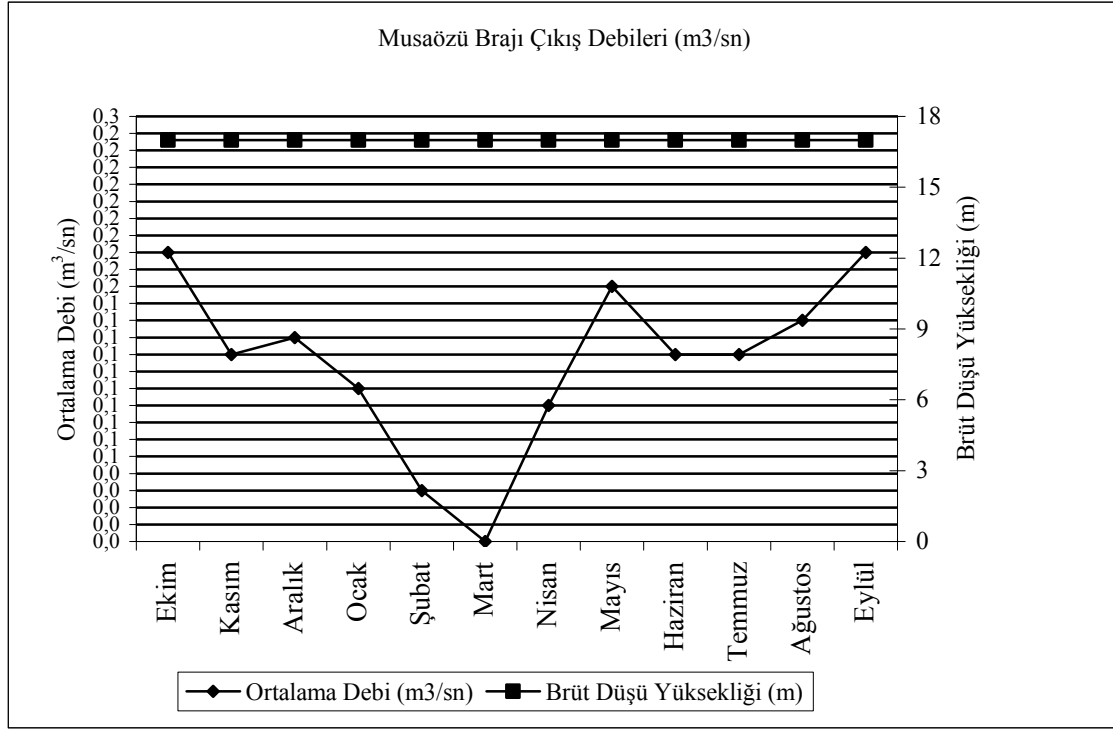


Porsuk Barajı

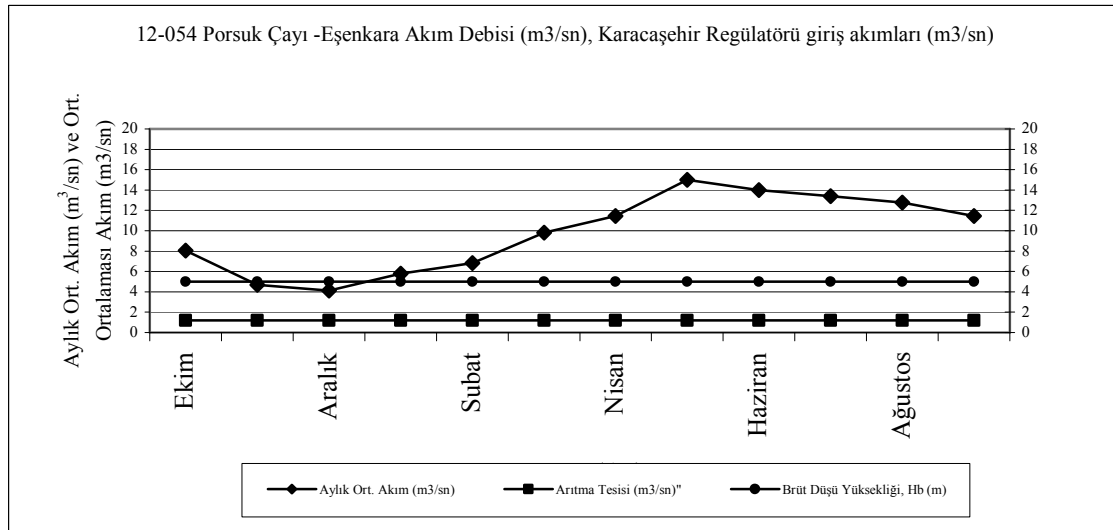


Şekil 3 (Devamı). Porsuk Havzasındaki barajlara ait ortalama aylık akım değerleri (m³/sn).

Musaözü Barajı



Karacaşehir Regülatörü



Şekil 3 (Devamı). Porsuk Havzasındaki barajlara ait ortalama aylık akım değerleri (m³/sn).

Tablo 9. Porsuk Havzasında kurulu barajların adı, mevkisi ve koordinatları

Baraj Adı	Bulunduğu Pafta	Mevkii	Koordinatları
Akçaköy Barajı	Eskişehir J24-d4	Akçaköy civarı	30 ⁰ 02.495D, 39 ⁰ 03.527K
Kureyşler Barajı	Kütahya J23-b4	Kureyşler Köyü	<u>29⁰849722D,</u> <u>39⁰30.278K</u>
Beşkarış Barajı	Afyon k24-a2	Beşkarış Köyü	X=253250, Y= 4317400
Enne Barajı	Kütahya J23-b1	Yoncalı civarı	29 ⁰ 52.003D, 30 ⁰ 28.283K
Dodurga (Daridere) Barajı	Kütahya İ23-b3	Dodurga kasabası	29 ⁰ 57986D, 39 ⁰ 47.540K
Aşağıkuzfındık Barajı	Eskişehir i24-d1	Aşağıkuzfındık köyü	30 ⁰ 03064D, 49 ⁰ 41.567K
Porsuk Barajı	Eskişehir i24-c1-d2	Eskişehir	30°46'47D, 39°38'.630K
Musaözü Barajı	Eskişehir İ24-c1	Eskişehir	30 ⁰ 19444D, 39 ⁰ 41.845 K
Karacaşehir Regülâtörü	Eskişehir İ24-c2	Eskişehir	30 ⁰ 27959 D, 39 ⁰ 44650 K

Tablo 10. Porsuk Havzasında kurulu barajların karakteristik özellikleri [8, 26-27]

Karakteristik	Beşkarış Barajı	Enne Barajı	Küreşler Barajı	Akçaköy Barajı	Aşağı Kuzfındık Barajı	Dodurga (Darıdere) Barajı	Porsuk Barajı	Musözü Barajı	Karacaşehir Regülatörü
Amacı	Sulama	Seytömer Termik Santrali'ne Su Temini	Sulama	Sulama	Sulama	Sulama	İçme Kullanma, Taşkın, Sulama	Sulama	Sulama
Yağış Alanı (km ²)	216	291	112,70	300+152,50	156,7	-	5018	43	5150
Tipi	Toprak Dolgu	Toprak Dolgu	Zonlu toprak dolgu	Toprak Dolgu	Zonlu toprak dolgu	Zonlu Toprak Dolgu	Beton Ağırlık	Toprak Dolgu	Betonarme
Talveg Kotu (m)	1075,00	974,00	1091,0	1025,00	957,0	-	844,65	885	803
Yükseklik (m)	54,35	24,00	40,92	26,6	30,76	26,9	49,70	19,00	7
Ölü Hacim (x10 ⁶ m ³)	2,1	2,3	1,50	2,3	1,2	-	-	-	-
Aktif Hacim (x10 ⁶ m ³)	73,50	4,555	28,0	140,1	19,80	21,72	431	1,67	-
Toplam Depolama Hacmi (x10 ⁶)	75,6	6,85	29,2	142,4	21,1	31,586	431	1,67	-
Maksimum Rezervuar Alanı	5,12 km ²	100 ha	2,5 km ²	11,40 km ²	2,9 km ²	2,45 km ²	23,4 km ²	0,43 km ²	-
Kret Kotu (m)	1129,35	988,50	1131,92	1051,6	987,76	1057,42	894,35	904	810
Kret Uzunluğu	393	250	215,0	287	348	215	258	250	20

Ancak, muhtemelen kullanılacak Francis Türbinlerinin verimleri her ne kadar $\eta_t=0,92$ değerine kadar çıkabiliyorsa da, türbine gelecek esas debilerin proje debisinden daha az olması durumunda, η_t değerleri, daha aşağı düşmektedir. Bu nedenle hesaplarda, ortalama $\eta_t=0,88$ alınması daha uygun görülmüştür.

Türbin Tipi: Türbin tipi, kurulacak santral için en önemli kıstaslardan biridir. Yatırım döneminde, maliyet analizi yapılırken, türbin verimleri göz önüne alınmalıdır. Türbinler, genel olarak tasarım debisinde maksimum verime ulaşırlar. Bazı türbinlerde, ilk çalışma debisi yüksektir. Mesela; Pelton ve Banki türbinleri, maksimum debisinin yaklaşık %6'sında çalışmaya başlar ve debi maksimum olana kadar genel verimleri değişmez. Francis türbinleri, tasarım debisinin %20'si civarında ve kaplan türbinini ise tasarım debisinin yaklaşık %36 civarında çalışmaya başlarlar. Francis ve Kaplan türbinlerinin minimum çalışma debisi ile maksimum çalışma debisi arasındaki verimleri sabit değildir, maksimum çalışma debisine yaklaştıkça verimde artar [36].

Generatör Seçimi: Generatör; alternatör veya jeneratör olarak ta adlandırılmaktadır. 1-10 kW güçlerde, bir ve üç fazlı olarak; 10-100 kW güç aralığında üç fazlı olarak imal edilmektedir.

IV.2. Projelendirmede İzlenen Yöntem

Porsuk Havzasında bulunan çok amaçlı barajların hidroelektrik enerji potansiyellerinin tespiti amacıyla, DSİ'den barajların çıkış akımlarına ait uzun süreli yılların, aylık ortalama akımları (m^3/sn) alınmıştır. Yıllık esasta, ortalama aylık debilerin, debi-zaman eğrileri çizilmiştir. Söz konusu barajlara ait debi-zaman eğrisinden faydalanılarak debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu, debi-zaman yüzdeleri hesaplanmış ve debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerden faydalanarak, güvenilir (firm) güç hesaplarında, zamanın %50'sinde var olan debi esas alınmıştır [31, 32, 34, 37]. Zamanın geriye kalan %50'sinde ise güvenilir olmayan (Sekonder) güç üretiminde kullanılan debinin olduğu kabul edilmiştir. Aylık ortalama debiler $Q(m^3/sn)$, türbin dahil, meydana gelecek toplam kayıplar (ΔH) hesaplanmıştır. Barajların dip savak çapı, D (m), cebri boru uzunluğu L (m) ve güvenli tarafta kalmak için boru izafi pürüzlülüğü $ks=1,15$ mm, ve çelik boru alınarak, toplam kayıplar hesaplanmıştır. H_b brüt düşü

yüksekliği ve meydana gelecek enerji kayıpları (ΔH) değerlerinden, H_N (net düşü yüksekliği) hesaplanmıştır. Porsuk havzasındaki mevcut çok amaçlı barajlardan elektrik üretimi için, gerekli kurulu güç, aylık esasta üreteceği elektrik enerjisi miktarı ve yapılması gereken yatırımlara örnek olması için, aşağıda Porsuk Barajına ait örnek çözüm verilmiştir.

V. PORSUK BARAJINA AİT KURULU GÜÇ VE ÜRETECEĞİ ELEKTRİK ENERJİSİNİN HESABI

Bir tesisten üretilecek hidroelektrik enerji miktarını hesaplamak için; Suyun brüt düşüm yüksekliği $=H_b$ (m), debi miktarı $=Q$ (m^3/sn), Suyun birim hacim ağırlığı $=\gamma$: (kg/m^3), net düşü yüksekliği $=H_N$ (m), toplam kayıplar $=\Delta H + \Delta H_k'$ (m), türbin verimi $=\eta_t$: (%), jeneratör verimi $=\eta_g$: (%) ve trafo verimi $=\eta_{tr}$: (%)'nin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada, genel olarak sudan elde edilecek enerji miktarı aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [30, 32, 33, 37].

$$E = \frac{\eta \cdot \gamma \cdot (H_b - \Delta H) \cdot Q}{75} \quad (\text{Buhar Beygiri}=BG) \text{ veya } E = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_N \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

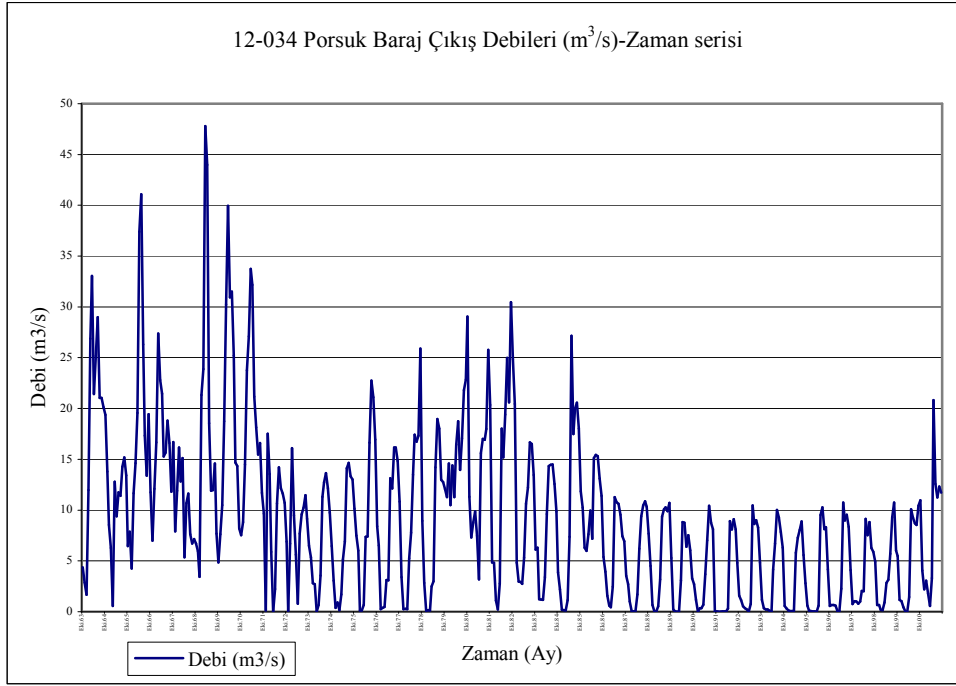
$$H_N = H_b - \Delta H \quad (\text{m}) \quad \text{Net düşü yüksekliği} \quad (4)$$

$\Delta H = \Delta H_k + \Delta H_k'$, ve bunun açılımı ise:

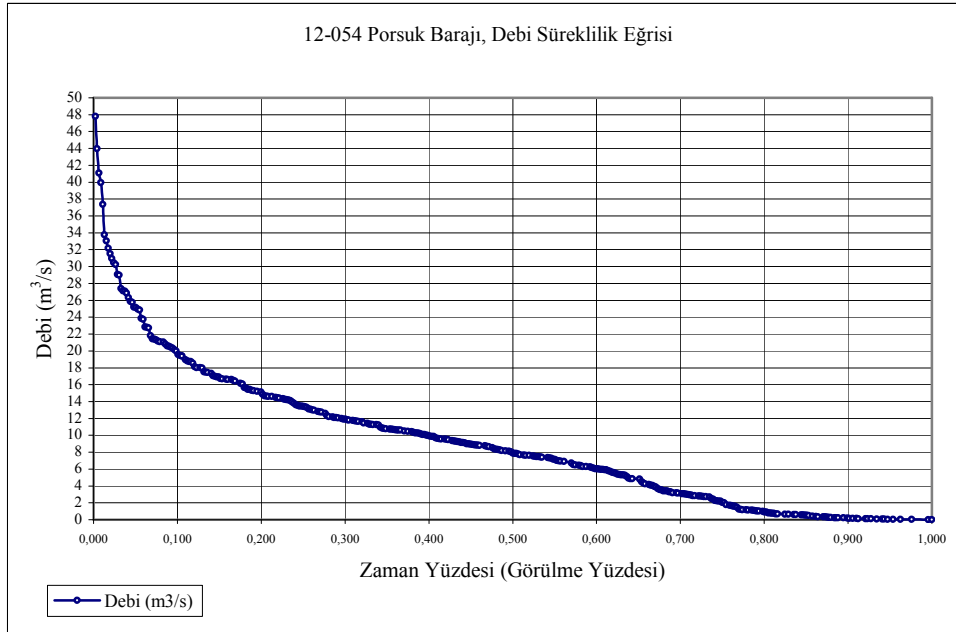
$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \xi \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \quad \text{Toplam verim} \quad (6)$$

Burada: γ : Suyun birim hacim ağırlığı (1000 kgf/m^3) ve DSİ'deki kabullere göre, η_t : türbin verimi (%92); η_g : Jeneratör verimi (%95); η_{tr} : Trafo verimi (%98)'dir. Toplam verim katsayısı $=\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} = 0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,87$ ve (3) denkleminde kullanılan $\eta \cdot g \cong 8,0$ alınmıştır. Porsuk Barajı dip savağından mansaba verilen 38 yıl'a ait ortalama aylık debiler Şekil 3'te verilmiştir. Yine baraja ait Debi-Zaman grafiği ve Debi Süreklilik Eğrisi Şekil 4 ve Şekil 5'ten, görülebilir.



Şekil 4. Porsuk Barajı (38 yıl=456) Debi (m^3/s)-Zaman grafiği



Şekil 5. Porsuk Barajı (38 yıl=456 ay) debi süreklilik eğrisi

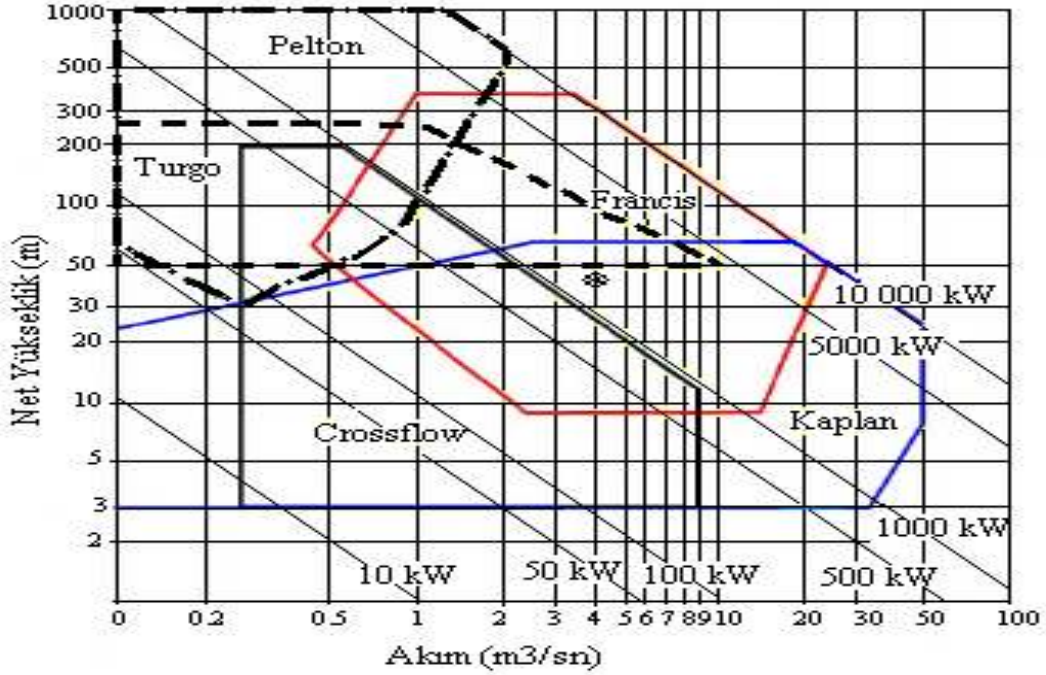
Porsuk Barajına ait 1963-2000 yılları arası aylık ortalama debilerin ortalaması $9,12 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Şekil 3'ten görüldüğü üzere, Nisan 15-Eylül 15 tarihleri arasında, Porsuk Barajından sulama amaçlı bırakılan ortalama su miktarı $12 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'den fazladır. Debi-zaman eğrisinde, zamanın %50'sine karşılık gelen debi miktarı ise, $Q_{50}=7,91 (\approx 8) \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Aynı şekilden $7,91 (\approx 8) \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye karşı gelen ay sayısı 228'dir. Buna göre Porsuk Barajından 228 ay boyunca deşarj edilen debi $7,91 (\approx 8) \text{ m}^3/\text{sn}$ civarındadır. Literatürde, Güvenilir güç hesabında, kurulu güç için Q_{50} ve maksimum tasarım debisi Q_{15} olarak verilmiştir. Başlangıç tasarım debisi, zamanın %15-%30'a karşı gelen değer olarak alınabileceği ifade edilmektedir [31, 32, 34]. Burada, tasarım debisi $Q_{50} \approx 8 \text{ m}^3/\text{s}$ alınmıştır. Ayrıca, Sulama mevsiminde Sulama amaçlı verilen fazla suyun potansiyelini değerlendirmek için $12 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile tasarım debisi $8 \text{ m}^3/\text{sn}$ arasındaki farkın göz önüne alınması gerekir. Bu aynı zamanda, mansaba bırakılan fazla kış (taşkın) sularının potansiyelinin değerlendirilmesi anlamına da geliyor. Bu amaçla, Porsuk Barajından minimum, ortalama ve maksimum debilerin çıkması durumuna göre (Şekil 3), 1 türbinin çalışması halinde $4 \text{ m}^3/\text{sn}$, 2 türbinin çalışması halinde $8 \text{ m}^3/\text{sn}$ (bu aynı zamanda tasarım debisi) ve 3 türbinin çalışması halinde $12 \text{ m}^3/\text{sn}$ (15 Nisan-15 Mayıs arası verilen sulamam amaçlı fazla su veya kış (taşkın) suları) debinin, $L=230 \text{ m}$ uzunluğunda bir cebri borudan (Porsuk Barajının mansabında, türbinlerin yerleştirileceği en uygun yere göre, alınan mesafedir) geçeceği varsayılan debilere göre, meydana gelecek ΔH kayıpları, (5) denklemine göre hesaplanmıştır. Porsuk Barajı dip savak çapı $2,30 \text{ m}$ olup, cebri boru uzunluğu 230 m ve güvenli tarafta kalmak için boru izafi pürüzlülüğü $ks=1,15 \text{ mm}$, cebri boru çapı $2,30 \text{ m}$ ve çelik boru alınarak, toplam kayıplar hesaplanmıştır. (5) denklemindeki yersel kayıpların hesaplanmasında, boru, dirsek, vana vs. meydana gelen kayıpların toplam katsayısı, $\xi=3,3$ alınmıştır. Hesap sonuçları Tablo 11'da verilmiştir. H_b brüt düşü yüksekliği ve meydana gelecek enerji, kayıpları (ΔH) değerlerinden, H_N (net düşü yüksekliği) bulunmuştur (Tablo 12). Porsuk Barajından elektrik üretimi amacıyla yapılan bu çalışmanın sonunda, takriben $3 \times 1,3 = 3,9 \text{ MW}$ kurulu gücündeki türbinlerle, en yüksek verimde elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu türbin üniteleri ayda 720 saat (bir ay ortalama 30 gün kabul edilerek) çalıştırılabildiği takdirde, üretebilecekleri potansiyel elektrik enerjisi miktarı aylara göre hesaplanmış ve Tablo 12'de verilmiştir. Bu kurulu güç, $7,91 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve $H_N=40 \text{ m}$ net düşü'ye göre de, Şekil 6'dan da bulunabilir.

Tablo 11. Çeşitli debiler geçmesi halinde meydana gelen (ΔH) toplam enerji kayıpları

Debi Q (m ³ /sn)	Hız V (m/sn)	Reynold's Sayısı Re (x10 ⁶)	Boru İzafi Pürüzlülüğü k _s /Dx10 ⁻⁴	Moody Sürtünme katsayısı, f	L/D	Hız Yüksekliği V ² /2g (m)	Sürekli Enerji kayıbı, H _k (m)	Yersel Enerji kayıbı, (m) H _k	Toplam kayıp $\Delta H = H_{k+} + H_k$ (m)
4	0,963	2,21	5	0,0169	100	0,0472	0,08	0,16	0,24
8	1,925	4,43	5	0,0168	100	0,1889	0,32	0,62	0,94
12	2,888	6,64	5	0,0168	100	0,4251	0,71	1,40	2,11

Tablo 12. Porsuk Barajından aylara göre, elektrik üretimi

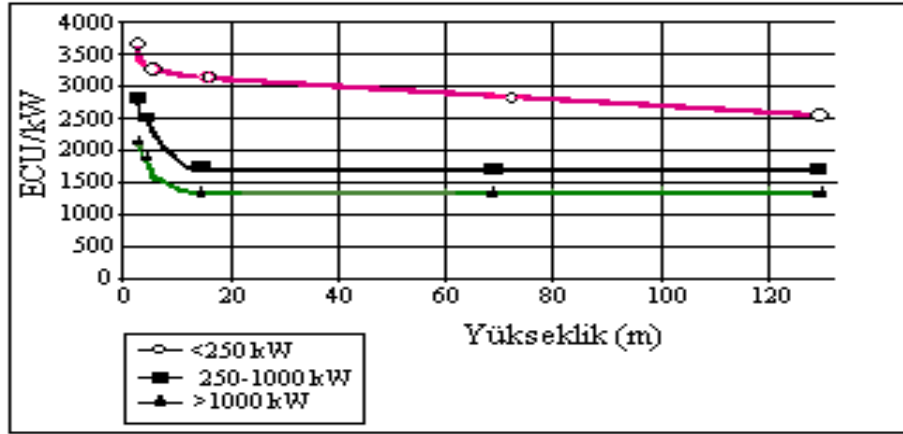
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Porsuktan Çıkan Debi: Q (m ³ /sn)	7,18	4,30	2,59	2,45	1,83	2,38	5,92	12,37	12,49	12,93	12,19	11,02	
Brüt su yüksekliği: H _b (m)	39,32	39,20	39,12	39,24	39,65	41,80	42,67	43,00	42,39	41,36	40,25	39,27	
Enerji kaybı: ΔH	0,94	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,94	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	
Net Düşü Yüksekliği: H _N =H _b - ΔH	38,18	38,96	38,88	39,00	39,41	41,56	41,73	40,89	40,28	39,25	38,14	37,16	
Elde edilebilecek Güç (kW cinsinden) (MW cinsinden)	2190 2,19	1340 1,34	810 0,81	760 0,76	580 0,58	790 0,79	1970 1,97	4050 4,05	4030 4,03	4060 4,06	3720 3,72	3720 3,72	
Kurulu Güç: N (MW)	(2x1,3)	(1x1,3)	(1x1,3)	(1x1,3)	(1x1,3)	(1x1,3)	(2x1,3)	(3x1,3)	(3x1,3)	(3x1,3)	(3x1,3)	(3x1,3)	3,9
Ayda Üretilen Enerji: E (GWh)	1,58	0,96	0,58	0,55	0,42	0,57	1,42	2,91	2,90	2,92	2,68	2,36	19,85



Şekil 6. Debi-net düşü'ye göre türbin seçimi [15].

V.1. Yatırım Maliyeti

Porsuk Barajı, hâlihazırda kurulmuş ve işletmede olan çok amaçlı bir barajdır. Böylesi, tamamlanmış ve hazır bir tesisten ilave olarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla yapılması gereken takribi maliyetler, yeniden kurulacak bir hidroelektrik tesisinin maliyetlerine göre son derece az olacaktır. Küçük hidroelektrik santrallerin maliyeti ile ilgili olarak European Small Hydropower Association (ESHA), düşü yüksekliğine bağlı olarak, ECU/kW cinsinden, Şekil 7 kullanılarak, takribi yatırım maliyetlerinin bulunabileceğine işaret etmektedir [37, 38]. Bu maliyetler, yeni kurulacak santraller için geçerlidir. Porsuk Barajı gibi hazır kurulu bir tesisten elektrik üretmek için yapılacak yatırım ise daha az olacaktır. Piyasadaki maliyetler dikkate alındığında [39], böylesi hazır bir tesis için gerekli olan yatırım miktarı Tablo 13'te verilmiştir.



Şekil 7. Debi ve düşü yüksekliğine göre, küçük hidroelektrik santrallerde maliyetler [37].

Tablo 13. Porsuk Barajından elektrik üretimi için yapılacak takribi yatırım maliyeti.

Harcama kalemleri	Fiyatı Euro (€)
Cebri boru Mesnetler Boru Enstrümanları dahil toplam fiyat	460.000
(3x1,3) türbin grubu Elektromekanik aksamın tümü	1.500.000
Santral binası ve diğer inşaat işleri	540.000
Vergi, faizler ve sigorta vs.	380.000
Toplam Harcama	2.880.000

VI. SONUÇLAR

Büyük hidroelektrik santral uygulamaları, Türkiye’de başarı ile yürütülmektedir. Ancak, küçük hidroelektrik santraller yoluyla üretilen enerji uygulamaları son derece azdır. Güçleri 10 MW’ın altında kalan ve çoğunlukla birkaç MW’ı aşmayan bu tür potansiyellerin değerlendirilmesi de son zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Bütünü ile yerli teknoloji kullanılarak değerlendirilebilecek bu tür olanakların araştırılması ve hayata geçirilmesi gerekir.

Bu makalede, Porsuk Havzasında inşaatı tamamlanmış/devam eden çok amaçlı barajların hidroelektrik enerji potansiyelleri araştırılmıştır. Porsuk Havzasına ait su kaynaklarının

geliştirilmesi ve bölgede sürdürülebilir bir kalkınma için, mevcut akarsu potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi, su potansiyellerinin daha efektif olarak kullanılması amacıyla, Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde kurulmuş küçük hidroelektrik santrallerin yapılabilir olup olmadıkları konusu araştırılmış ve elektrik üretme imkanının bulunup bulunmadığı ve ekonomisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 14'te özetlenmiştir.

Tablo 14. Porsuk Havzasındaki çok amaçlı barajlardan üretilecek elektrik enerjisi miktarı ve yapılması gereken yatırımlar.

Baraj Adı	Kurulu Güç (MW)	Üreteceği Elektrik Miktarı (GWh/yıl)	Gerekli Yatırım Miktarı ($\times 10^6$ US\$)
Akçaköy Barajı	4x0,10 = 0,40 MW	1,380 GWh/yıl	0,4975
Kureyşler Barajı	4x0,025 = 0,100 MW	0,462 GWh/yıl	0,2975
Beşkarış Baraj	6x0,125 = 0,75 MW	2,793 GWh/yıl	0,940
Enne Barajı	2x0,05 = 0,100 MW	0,62 GWh/yıl	0,2975
Dodurga (Daridere) Barajı	4x0,025 = 0,100 MW	0,41 GWh/yıl	0,2975
Aşağıkuzfındık Barajı	4x0,100 = 0,40 MW	1.283 GWh/yıl	0,4475
Porsuk Barajı	3x1,30 = 3,9 MW	19,85 GWh/yıl	3,750
Musaözü Barajı	3x10 = 30 kW = 0,03 MW	0,123 GWh/yıl	0,210
Karacaşehir Reülatörü	2x0,26 = 0,52 MW	3,192 GWh/yıl	1,060
Toplam	6,30 MW	30,113 GWh/yıl	7,7975~8

Porsuk Havzasında 9 adet kurulu barajdan elektrik üretmek için yapılması gereken yatırım maliyeti toplamı $\sim 8 \times 10^6$ US\$'dir. Bu barajların toplam kurulu güçleri, 6,30 MW ve yılda üretecekleri elektrik miktarı, su potansiyellerinin %70 olması halinde bile 30,113 GWh/yıl olacaktır. 1 kWh'lik enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0.05 cent olduğu kabul edilirse, yıllık

enerji üretim bedeli, $30.113 \times 10^6 \times 0.05 \cong 1505650$ US\$ olacaktır. Bu durumda, toplamda elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, $8 \times 10^6 / 1505650 = 5,313$ yıl'da kendini amorti edecektir. Yatırım bedeli çıkarıldıktan sonra, üretilecek enerji maliyeti sadece işletme, bakım ve tamirat giderlerini kapsayacağından, kWh enerji maliyeti bedeli, 0,01~0,02 cent'e düşecektir. Ancak, 1 kWh'lik enerjinin trafo çıkışında değil de, doğalgazda olduğu gibi, satış değeri 0.14 cent kabul edilir ise, $30.113 \times 10^6 \times 0.14 \cong 4215820$ US\$/yıl olacaktır. Bu durumda, elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, toplamda, $8 \times 10^6 / 4215820 = 1,89$ yıl'da kendini amorti edecektir. Genelde 1 kWh elektriğin tüketiciye maliyeti düşünüldüğünde, bu tesisler yılda, $4,21582 \times 10^6$ US\$'lık bir katkısı olacaktır. Enerjinin gelecekte daha da pahalı olacağı öngörüldüğünden, yatırım maliyetlerini daha kısa zamanda amorti edeceği açıktır. Bu planlamanın gerçekleştirilmesi halinde, bölgeye ve ülkeye tarım, enerji, çevre ve işsizlik anlamında önemli katkıları olacaktır.

VII. TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 050247/2008).

VIII. KAYNAKLAR

- [1] A. Bartle, Dams and Water. "2nd World Water Forum-The Hague", The Netherlands, 2000.
- [2] D. Altınbilek, Hydroelectric development plans in Turkey, DSI, The General, Directorate of State Hydraulic Works of Turkey (<http://www.dsi.gov.tr>), 2000.
- [3] WCD, World Commission on Dams, Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. The Report of the World Commission on Dams, 2000.
- [4] WEC., World Energy Council, Survey of Energy Sources, 2001.
- [5] R. Chris, Multipurpose Dams, Contributing Paper, (World Commission on Dams Thematic Report) Prepared for Thematic Review III.2, Head Kinght Piesold, Limited, UK, 1999.
- [6] DSA, Dam Safety Association of Turkey, (<http://www.barajguvenligi.com>), 2005.
- [7] R. Bakış, Electricity Generation from Existing Multipurpose Dams in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation*, Volume 23, Number 6, pp.495-516, 2005.

- [8] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (<http://www.dsi.gov.tr>), Ankara, 2006.
- [9] İTÜ , Türkiye’de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü, Editör: Abdurrahman SATMAN, 182 s. İstanbul, 2007.
- [10] R. Bakis and A. Demirbaş, “Sustainable Development of Small Hydropower Plants (SHPs)”, Energy Sources, Volume 26, Number 12, pp. 1105-1118, 2004.
- [11] R. Bakış ve H. Tip, “Zap Suyu Havzası Hidroelektrik Potansiyelinin Araştırılması”, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt XX, S. 2, ss. 15-42, 2007.
- [12] BHA, “A Guide to UK Mini-Hydro Developments”, The British Hydropower Association, p. 29, 2005.
- [13] IHA, “The Role of Hydropower in Sustainable Development”, p. 162 International Hydropower Association (IHA), IHA White Paper, 2003.
- [14] IHA, “Hydropower and the World's Energy Future, The role of hydropower in bringing clean, renewable, energy to the world”, International Hydropower Association (IHA), p.15, 2000.
- [15] ESHA, European Small Hydropower Association -info@esha.be, 2008.
- [16] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2008.
- [17] R. Bakis, “Electricity Production Opportunities from Multipurpose Dams (Case Study)”, Renewable Energy, 32, 1723-1738, 2006.
- [18] F. Adıgüzel, A. Tutuş, “Small hydroelectric power plants in Turkey”, Hydro 2002, Development, Management Performance, Proceedings, pp. 283-292, Kiriş Turkey, 2002.
- [19] R. Bakış and M. Bilgin, “The examination of Potential Electricity Production at Porsuk Dam and Other Planned Concrete Faced Rockfill Dams in Porsuk Basin”. Symposium on Concrete Face Rockfill Dam and the 20th Anniversary of China's CFRD Construction 19-26 September Yichang, China, 2005.
- [20] EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, (<http://www.eie.gov.tr>), 2008.
- [21] ISHA, International Small Hydro Atlas, (<http://www.small-hydro.com>), 2003.
- [22] IASH, International Association for Small Hydro, (<http://www.iash.info>), 2003.
- [23] WEC, World Energy Council (<http://www.worldenergy.org>), 2008.
- [24] WCD, Trend in the Financing of Water and Energy Resources Projects. Thematic Review III.2, Economic and financial issue, p. 67., 2000.

- [25] UNIDO., United Nations Industrial Development Organization (<http://www.unido.org>), 2003.
- [26] DSİ, Porsuk Havzası Su Yönetim Planı Projesi, Hidroloji Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) III. Bölge Müdürlüğü (Hazırlayan: SU-YAPI Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.) Eskişehir, 2001.
- [27] DSİ, Porsuk Havzası Su Yönetim Planı Projesi, Nihai Rapor, Cilt 1/3, Cilt 2/3, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) III. Bölge Müdürlüğü (Hazırlayan: SU-YAPI Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.) Eskişehir, 2001.
- [28] DSİ, Porsuk Eskişehir Projesi Porsuk Barajı HES ve Gökçekısık HES Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1980.
- [29] R. Bakış, “Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Yönünden Araştırılması”, Araştırma Projesi No.: AUBAP 050247, 255 s., Eskişehir, 2008.
- [30] C. Erkek ve N. Ağırlioğlu, “Su Kaynakları Mühendisliği”, İTÜ, İstanbul. 1986.
- [31] Bayazıt, M., Hidroloji, İTÜ, İstanbul, 1985.
- [32] A.M. Yanmaz, “Applied Water Resources Engineering”, p. 606. METU, Ankara, 2006.
- [33] K. Yıldız, “Hidroelektrik santraller, hesap esasları ve projelendirilmesi”, DSİ Barajlar ve HES Dairesi-HES Şube Müdürü, Ankara, 1992.
- [34] R.S. Gupta, “Hydrology and Hydraulic Systems, Second Edition”, p. 867, University, Bristol, 2001.
- [35] R.K. Linsley and J.B. Franzini, “Water Resources Engineering”, McGraw-Hill Kogakusha LTD, London, 1976.
- [36] YEK Enerji, Küçük Sular Üzerine Kurulan Su Santrali (<http://www.susantrali.com>), 2008.
- [37] ESHA, Layman’s Guidebook, on how to develop a small hydro site, second edition, European Small Hydropower Association (ESHA) (Author, Celso Penche), p.204, DG XVII-97/010, European Commission, Belgica, 1998.
- [38] C.R. Head, “Multipurpose Dams, Contributing Paper”, Draft I, pp. 1-4, Knight Piesold Limited, UK (For further information see <http://www.dams.org>), 1999.
- [39] TEMSAN, Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş., 2005.