

Makalenin Geliş Tarihi : 15.04.2008
Makalenin Kabul Tarihi : 04.11.2008

PORSUK HAVZASI SU POTANSİYELİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Recep BAKIŞ¹, Metin ALTAN², Elif GÜMÜŞLÜOĞLU², Ahmet TUNCAN¹,
Can AYDAY², Hızır ÖNSOY³, Kemal OLGUN⁴

ÖZET: Bu makalede, Porsuk havzasına ait 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. Araştırmada, Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde yeni planlaması yapılabilecek küçük hidroelektrik santrallerin yapılabilir olup olmadıkları araştırılmıştır. Makale’de, 1/25.000’lik haritalardan, baraj yerlerinin tespiti yapılmış, arazide bu yerlerin topoğrafik, zemin ve jeolojik bakımından uygunluğu incelenmiş ve uydu görüntüleri ile sayısallaştırılmış haritalarla desteklenmiştir. Bütün Porsuk havzası dikkate alındığında, Porsuk Çayı ve yan dereleri üzerinde planlaması öngörülebilecek 8 adet bölgede, yeni baraj yapımına uygun yerler tespit edilmiştir. Porsuk havzasındaki toplam su potansiyeli kullanılarak, 8,42 MW kurulu güç ile 30,212 GWh/yıl elektrik üretmek mümkündür. Bu yatırımların toplam maliyeti yaklaşık 75,65x10⁶ US\$ olacaktır. Hesaplar, Porsuk havzasındaki su kaynaklarının ve yağışın, iklim değişikliği nedeniyle kuraklıktan %30 oranında etkilemesi hali için bulunmuştur. Söz konusu yağışların normal seyretmesi halinde, elde edilecek elektrik enerjisi miktarı daha fazla olacaktır.

Anahtar kelimeler: Elektrik Üretimi, Küçük Hidroelektrik santraller, Porsuk Havzası, Su Potansiyeli

INVESTIGATION OF THE WATER POTENTIAL OF PORSUK BASIN WITH RESPECT TO HYDROELECTRIC ENERGY PRODUCTION

ABSTRACT: In this paper, small hydropower potential in Porsuk river basin has been investigated. For this purpose, Porsuk river basin has been selected as a research area. The objective is to assessment the small hydroelectric plants in Porsuk river basin and to gain region’s/country economy.

In this research, the feasibility of the possible small hydropower plants that can be planed on the Porsuk river and its side branches have been investigated. In this paper, the location of the dams are determined by using 1/25.000 scale maps, the suitability of them is investigated in terms of topographical, soil and geological and supported by satellite pictures. When the whole Porsuk river basin is considered, suitable location for new dam construction have been determined on Porsuk river which is main stream and on considerable 8 regions on Porsuk basin and side branches. It is possible to produce electricity of 30.212 GWh/y with 8.42 MW power by using the total water potential in Porsuk basin. Approximately, the total cost of these investments will be \$75.65x10⁶. The affect of climate changes of Porsuk River is found in conditions when the water resources and rainfall are affected due to drought by 30%. The electrical energy amount received is greater in the case of normal levels of rainfall.

Keywords: Electricity production, Porsuk basin, Small hydropower, Water potential

¹ Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, 26470 ESKİŞEHİR

² Anadolu Üniversitesi Uydu Uzay Bilimleri Enstitüsü, İki Eylül Kampüsü, 26470 ESKİŞEHİR

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON

⁴ Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü, ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Tüketilen enerji miktarı, ülkelerin kalkınmışlık ve refah seviyesini gösteren başlıca göstergelerden birisi olarak kabul edilmektedir. Ancak 21 yüzyılda ülkelerin karşı karşıya bulunduğu sorunlardan en önemlisi, temiz ve ucuz enerji teminidir [1-3]. 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 [1, 3]. Bilindiği üzere fosil kökenli enerji kaynaklarının miktarı sınırlı ve karbon emisyonları nedeni ile iklim değişikliklerine yol açmaktadır [4-7]). Özellikle petrol ve petrol türevi enerji kaynakları, çevre kirliliğine neden olmaktadır [8-9]. Bu kirliliğin başında, atmosfer kirliliği gelmektedir. Yani fosil kökenli enerji kaynakları, küresel bazda büyük sorunlara yol açmaktadır. Nüfus artışı ve gelişen teknoloji sonucu ortaya çıkan enerji gereksinimini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ucuz, yerli ve çevre dostu temiz enerji kaynaklarından faydalanmak için bütün dünyada yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Temiz enerji kaynakları arasında en önemli olanı, hidroelektrik enerjidir. Türkiye'nin sahip olduğu hidroelektrik enerji potansiyeli, güvenilir, sürekli, kaliteli, çevreye etkisi en az olan, ucuz, yerli ve sürdürülebilir üretimi ile hayati bir öneme sahiptir [10-12].

Türkiye'nin kalkınmasında su kaynaklarının, özellikle 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\$'dır [13]. Oysa, Türkiye'nin enerjiye olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır [14]. Enerji ihtiyacı, ülkenin öz kaynaklarından karşılanamadığı için, ihtiyaçlar yurt dışından ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Ülkenin refah seviyesi ve sanayileşmedeki büyümesine paralel olarak, enerji açığı da sürekli artmaktadır. Özellikle, petrol, doğalgaz ve kömür ithalatı büyük rakamlara ulaşmış olup, son yıllardaki enerji ithalatı ve parasal değeri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye'nin son yıllardaki enerji ithalatı (Petrol, Doğalgaz ve İthal Kömür)[14].

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

Türkiye'nin mevcut toplam teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh ve teknik hidroelektrik potansiyeli 216 milyar kWh'dir. Halen, ekonomik olarak değerlendirilebilir toplam hidroelektrik potansiyelimiz yaklaşık 129,5 milyar kWh'tir. Oysa, 2005 yılı itibari ile bu potansiyelin ancak, 45,3 milyar kWh'i üretilebilmiştir [13]. Geriye kalan potansiyel, sadece su olarak boşa akmaktadır. Türkiye'de, boşa akan suların kontrol edilmesi ve enerjiye dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla Türkiye'de havza bazında, mevcut su potansiyellerinin yeniden araştırılması ve revize edilmesi gerekmektedir. Çünkü, ekonomik görülmeyen pek çok akarsu potansiyeli, enerji fiyatlarının çok arttığı bu dönemde ekonomik hale gelmiştir. Cumhuriyetin kuruluşundan bugüne kadar, ülkenin kalkınması için sulama, taşkın, elektrik ve içme-kullanma suyu temini amacıyla, 700 den fazla baraj inşa edilmiştir [13]. Türkiye'de mevcut kalkınma hedefleri doğrultusunda büyük ölçekli barajlar ön planda tutulmuş ve bu projelerin önemli bir kısmı gerçekleştirilmiştir. Ekonomik kalkınmayı en kısa zamanda gerçekleştirmek amacıyla gerekli elektrik enerjisi ihtiyacını temin eden ve faydası en büyük olan büyük barajlar dikkatte alınırken, küçük ölçekli su potansiyelleri bu güne kadar ihmal edilmiştir. Bu gün enerji literatürlerinde, büyük hidroelektrik santraller klasik yenilenebilir kaynak grubunda sayılırken, küçük hidroelektrik santraller, yenilenebilir enerji kaynaklar grubunda değerlendirilmektedir [15-19]. 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'dir. Ancak, söz konusu santrallerin 130 MW kadarı işletilmekte olup, bunların yıllık güvenilir üretim miktarı 225 GWh, yıllık ortalama enerji üretimleri de 450 GWh düzeyindedir

[20-21, 13]. Türkiye’de, potansiyel ve üretim karşılaştırması incelendiğinde, küçük hidroelektrik santrallerin göz ardı edildiğini göstermektedir. Proje seviyesindeki hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerine göre sınıflandırılması Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Proje seviyesindeki hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerine göre sınıflandırılması [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 3’te verilen ilave HES potansiyelini tespit etmiştir [20].

Çizelge 3. Türkiye’de, MEKDEP Projesi ile tespiti yapılan ilave HES potansiyeli [20]

Havza adı	Tespiti yapılan projeler		Rantabl kabul edilen projeler	
	Proje sayısı	Üretilen toplam enerji miktarı (GWh)	Proje Sayısı	Üretilen 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

Türkiye’nin 26 hidrolojik havzasında, yeniden yapılacak ilave HES belirleme çalışmaları ile ekonomik olarak değerlendirilebilir toplam hidroelektrik potansiyel yaklaşık 129,5 milyar kWh’ten 163,174 milyar kWh’e yükselecektir. Ekonomik olarak değerlendirilebilecek bu potansiyelin içindeki Küçük Hidroelektrik Enerji potansiyelin (KHE) payı ise, %2.96’dan, %12’ye çıkacağı tahmin edilmektedir. Uzun dönemde 1300 adet Küçük Hidroelektrik (KHE) tesisin inşa edilmesi beklenmektedir [2, 22].

II. 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. Havza, Doğu-Batı yönünde 202 km, kuzey-güney yönünde 135 km uzunluğundadır. Porsuk havzası, Eskişehir ve Kütahya il merkezleri ile bu illere bağlı 7 ilçe merkezini, Ankara, Uşak ve Afyon il sınırları içinde kalan bazı kısımları da ihtiva etmektedir (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 [23]. Porsuk havzasının uzun süreli yıllık ortalama yağış yüksekliğinin 450 mm olması nedeniyle, su potansiyeli azdır. Havzanın toplam yıllık su potansiyeli 481 hm³'tür [13]. Yani, kurulu gücü büyük olan santrallerin çalışması için yeterli hidrolik potansiyel mevcut değildir. Ancak, küçük hidrolik santrallerin kurulması bakımından uygun bulunmuştur.



Şekil 1. Araştırma alanı, Porsuk havzası.

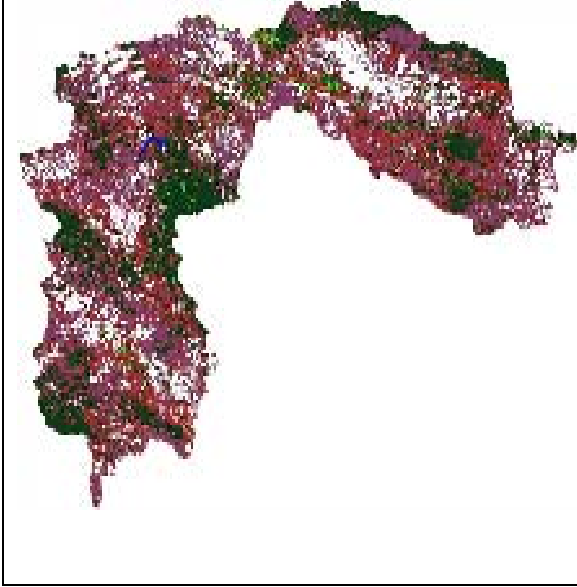
II. 1. Akarsular

Porsuk Çayı, havzanın güneyinden, Murat Dağı eteklerinden ve Tokul köyü civarlarından doğmakta ve yan kollarla birleşerek bir süre kuzey yönüne doğru akmaktadır. Kütahya ili civarından geçtikten sonra Eskişehir'e doğru kıvrılmakta ve Eskişehir il merkezinden geçtikten sonra doğuya doğru devam ederek, Sakarya Nehrine, yaklaşık 436 km yol kat ettikten sonra dökülmektedir. Porsuk Çayı ana kolunun önemli yan kolları şunlardır.: Kokar Çayı, Çat deresi, Felent Çayı, Kargın Deresi, Sarısu Deresi, Mihaliççık Deresi ve Pürtek Deresi'dir (Şekil 1).

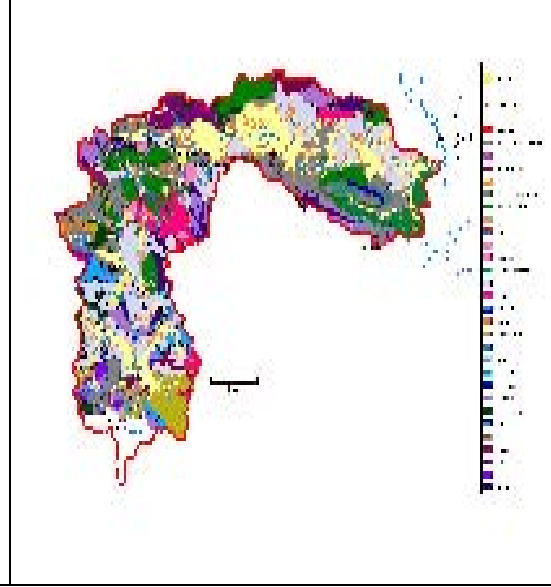
II. 2. Porsuk Havzasının Genel Jeolojik Durumu

Porsuk havzası geniş bir bölge olup, 11325 km²'lik bir alana sahiptir. Havzada, farklı amaçlarla pek çok jeolojik ve hidrojeolojik etütler, Devlet Su İşler (DSİ) ve Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılmıştır. Jeolojik çalışmaları genelde MTA Genel Müdürlüğü, hidrojeolojik çalışmalar ise DSİ Genel Müdürlüğü yapmış ve yapılan bu çalışmaların bir kısmı yayınlanmıştır [23-55]. Bu çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntüleri ile havzanın jeolojik yapısı da belirlenmiştir. Porsuk havzasının geneli için, DSİ ve MTA'nın harita ve raporlarından faydalanılmıştır. Ancak boyutlandırma esas kriter olarak, baraj planlaması için öngörülen noktaların jeolojik yapısı, uydu görüntüleri (Şekil 2) ve 1/500.000 ölçekli sayısallaştırılmış Türkiye jeoloji haritası (Şekil 3) dikkate alınmıştır. Uydu görüntüleri, Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsünde, Erdas Imagine 8.6 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Havza için toplam 21 adet aster uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu çalışmalara göre, Porsuk havzasında, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler hakimdir. Paleozoyik yaşlı birimler metamorfik kayalar ile temsil edilir. Mesozoyik üst sisteminde altta metamorfikler ve ofiyolit görülür. Üste doğru karbonat ve karbonatlı kayaların hakim olduğu formasyonlar bulunur. Bu üst sistemde ofiyolit yerleşimi de bulunmaktadır. Senozoyik üst sisteminde, daha çok kırıntılardan oluşmuş çökel birimler hakimdir. Bunlar içinde karbonatlı kayalar ile volkanik kayalar da görülmektedir. Bütün bu birimler akarsu vadisi, ovalar ve yamaçlar üzerlerinde güncel çökeller ile örtülmüşlerdir. Bölgede farklı zamanlarda gelişmiş magmatik etkinliklerle granitik sokulumlar, volkanik lav ve piroklastiklerin oluşturduğu birimleri de görmek mümkündür. Ayrıca, havzanın uydu görüntülerinden, havzaya ait genel zemin sınıflandırması Şekil 4'te verilmiştir. Burada, orman sınıfı olarak 1 ve 2. satırda ince ve geniş yapraklı ormanların toplam alanı $279502+11273=290775$ ha= $2907,75$ km²; tarla sınıfı olarak 3, 4 ve 5. satırlarda görülen araziler $4473,9+284086 +22783,3=311343,2$ ha= $3113,43$ km²; kaya sınıfı olarak (sağlam kaya ve kireç taşı) 6 ve 7. satırlarda $320046+196551=516597$

ha=5165,97 km²); su alanları 8. sırada 1513,64 ha=15,13 km²'dir. Hepsinin toplamı alanı, havza alanı olup, 11202,28 km²'dir. Oysa, havza alanı gerçekte 11325 km²'dir. Aradaki fark uydu görüntülerinin havza sınırları ile tam rektifiye edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu kadar büyük bir coğrafyada hata mertebesi yaklaşık 0,0108 dir. Bu hata mertebesi %1 olup kabul edilebilir sınırlar içindedir.



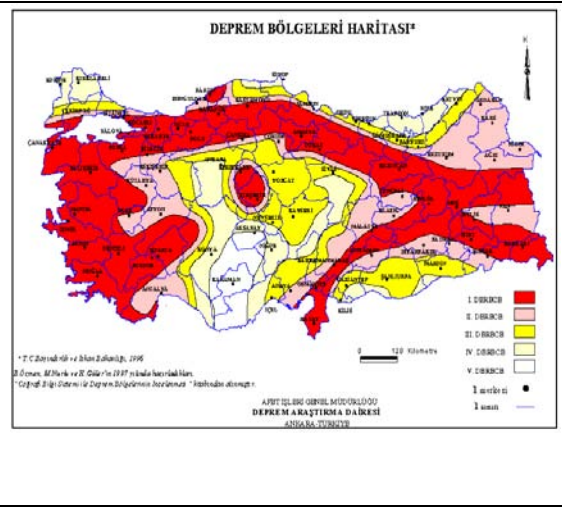
Şekil 2. Uydu görüntüleri ile belirlenen Porsuk havzası genel jeolojik yapısı.



Şekil 3. 1/500.000 Ölçekli genel jeoloji haritası [52].

Sıra	Alan (km ²)	Yükseklik (m)	Yerleşim	Yerleşim	Yerleşim	Yerleşim	Yerleşim
0	70879083						1,127 4, 000
1	12555597	7500	2740				275000
2	901019	4078-3	0000				1127000
3	1988-0	0					227000
4	12630-2	343187	00000	00000			224000
5	1012980	725-9	7347	0470			227800
6	1422279	20880	42	37	0,4		227000
7	8777621						0000
8	67773	0					1913,64

Şekil 4. Uydu görüntüsü analizlerine göre Porsuk havzasındaki zemin sınıflandırması.



Şekil 5. Porsuk havzasının deprem bölgeleri haritasındaki konumu.

II. 3. Deprem Durumu

Porsuk havzası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 1996 yılında yayınlanmış olduğu ve 5 bölgeye ayrılmış olan “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası”na göre 1., 2., 3. ve 4. derecede deprem bölgeleri içinde, Mercalli Cetveline göre en yüksek VII ve VIII şiddetinde deprem zonları içinde kalmaktadır. Deprem bölgeleri haritası Şekil 5’te verilmiştir. Uygulamada, seçilecek baraj yerleri ve barajların hesabında deprem durumu ayrıca dikkate alınmalıdır.

Çalışma alanı çevresindeki büyük ölçekli aktif faylar, 80 km kuzeydeki Kuzey Anadolu fayı ve 80 km güneybatıdaki Simav fayı ile Gediz fayları oluşturur. Havzanın güneyinde, Aslanapa-Altıntaş fayları, Kütahya fayı ve kuzeyde İnönü-Dodurga fayı ile Eskişehir fayı aktif faylardır. Havza içindeki bu faylar, Kuzey Anadolu fayı ile Ege grabenlerine göre aktivite açısından ikincil faylanmalar olduğu söylenebilir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Deprem Araştırma Dairesi tarafından 1881-1986 yılları arasında, havzayı da içine alan bölgede [(38,68-40,84)N – (28,52-32,56)E koordinatları] 4,2 magnitüdden yüksek 299 adet deprem kaydedilmiştir.

II. 4. Hidrojeoloji

Porsuk havzasının hidrojeolojik özelliği, havzadaki jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri, ovalar ve kaynakların hidrojeolojik özellikleri ise, Havzada stratigrafik temelde yer alan Paleozoyik-Alt Triyas yaşlı Porsuk havzası Metamorfikleri gnays, şist ve mermerler ile temsil edilmektedir. Metamorfikler, şist ve gnays hakim olan yerlerde geçirimsiz-az geçirimli, mermerlerin hakim olduğu yerlerde geçirimlidir. Orta-Üst Triyas yaşlı Karkın Formasyonu kısmen geçirimsiz, az geçirimli, kireçtaşı seviyeleri geçirimlidir. Triyas’da sürüklenme ile bölgeye yerleşmiş olan Ofiyolitler litolojileri gereği geçirimsizdirler [56-59].

II.4.1. Porsuk havzası içinde kalan ovaların hidrojeolojik özellikleri

Porsuk havzası içinde güneyde Aslanapa, Altıntaş, Kütahya ve Köprüören ovaları ile kuzeyde İnönü, Eskişehir ile kuzeydoğuda Alpu ve Aşağı Porsuk ovaları yer alır. Altıntaş ovasından doğu-batı yönde Kokar Çayı, batı-doğu yönde Değirmen Dere ile drene edilmekte ve Adaköy civarında birleşerek Porsuk Çayına ulaşmaktadırlar. Köprüören ovasını batı-doğu yönde akan Felent Çayı ve kolları drene etmektedir. Bu çay, Kütahya kuzeyinde Porsuk Çayı ile birleşmektedir. İnönü Ovası batı-doğu yönde akan Sarısu Çayı ve kolları ile drene edilmekte ve

bu çay Eskişehir il girişinde Porsuk Çayı'na kavuşmaktadır. Bu ova çayına bir çok yan dere birleşmektedir. Bu ovalarda derin ve sığ kuyuları ile sulama için yeraltı suyundan yararlanılmaktadır. Alüvyon ile kaplı ovalarda yeraltı suyu seviyesi yamaçlara doğru derinleşmekte, akarsu yakınlarında yüzeye yaklaşmakta ve yer yer bataklık ortamı oluşturmaktadır. Yine bu ovalardaki kanal sistemi ile yapılan yüzey sulamaları nedeni ile yeraltı suyunda bir miktar artış olabilmektedir [56-59].

II. 4. 2. Kaynaklar

Porsuk havzasında, yeraltı suyu boşalımları şeklinde birçok kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların bir çoğundan içme-kullanma suyu temin edilmektedir. Havzada daha önce DSİ tarafından yapılmış olan Hidrojeolojik etütlerde belirlenen kaynaklar hakkında ayrıntılı bilgi bulunmaktadır [58-59]. Eskişehir içindeki Ilıca kaynağı, Kütahya'nın kuzeydoğundaki Yoncalı ve Alpu'nun güneyindeki Uyuz Hamamı kaynakları havzadaki sıcak su kaynaklarını oluştururlar [57-59].

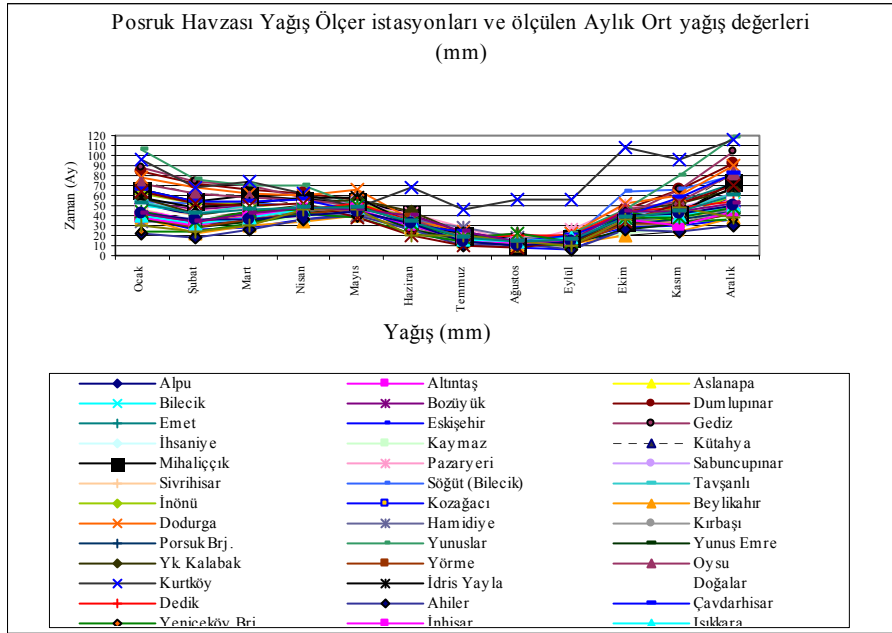
III. İKLİM VE SU KAYNAKLARI

III. 1. Akım Gözlem İstasyonları ve İklim karakteristikleri

Porsuk havzası sınırları içinde kalan ve çalışma alanını kapsayan alandaki 44 adet gözlem istasyonuna (AGİ) ait veriler, Porsuk havzası su potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Şekil 6'da, bu istasyon adları verilmiştir. Bu istasyonlarda uzun süreli ölçülen her aydaki ortalama yağışlar (mm) aynı şekilde verilmiştir. Porsuk havzası, İç Batı Anadolu Bölgesinde, Ege ve Marmara Bölgesi'nin geçiş ikliminden, İç Anadolu Bölgesinin karasal iklimine geçit teşkil ettiği bir bölgededir. Kışları sert, uzun ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak geçer. Porsuk havzasının yağış alanı Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgeleri arasında oluşan bir geçiş bölgesindedir. Genellikle İç Anadolu bölgesi yağış rejimi hakimdir. Porsuk barajı yağış alanının Orta Anadolu kara iklimine nazaran biraz daha fazla olan yağışları kış ve ilkbahar aylarına isabet eder. Kar yağışı Kasım-Nisan ayları arasında olmaktadır.

III. 2. Yağışlar ve Meteoroloji istasyonları

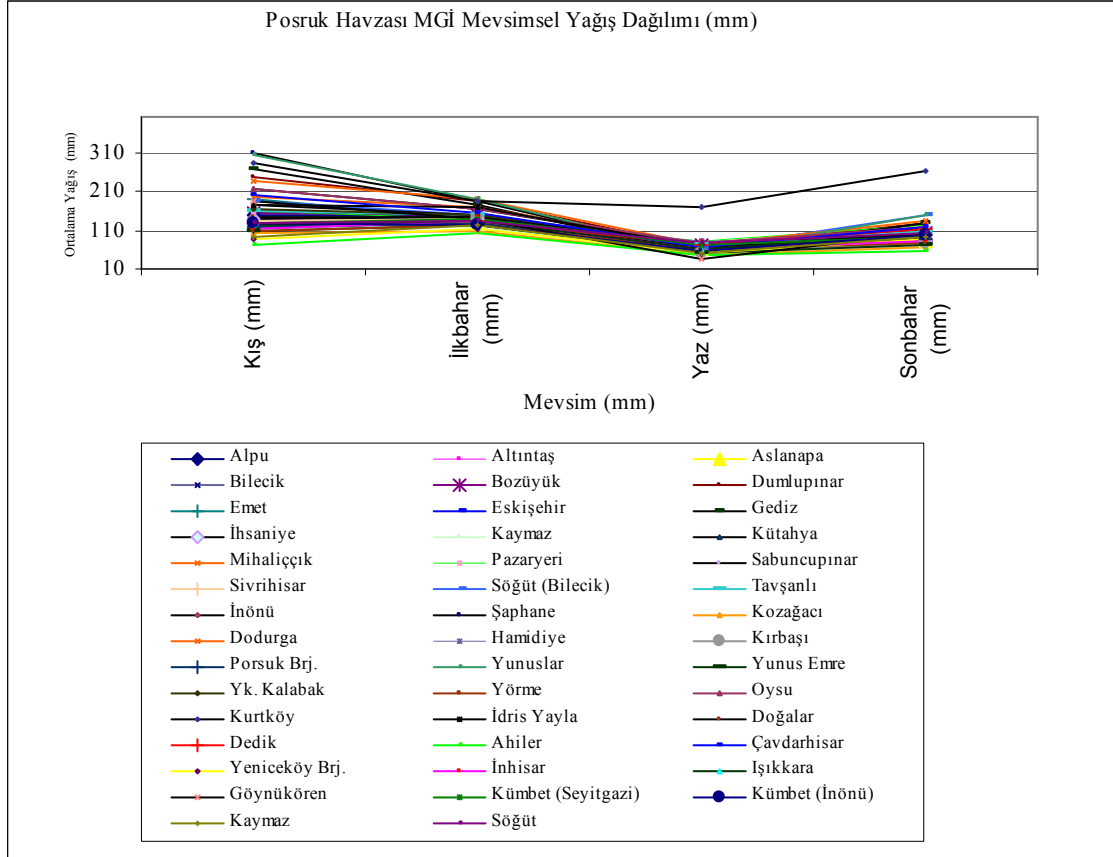
Porsuk havzası yağış alanı, bir geçiş bölgesindedir. Bu geçişin etkileri yağışlarda da görülmektedir. Genellikle İç Anadolu bölgesi yağış rejimi hakimdir. Şekil 6'da Porsuk havzası yağış alanı ve civarındaki Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) ait aylık ortalama toplam yağış değerleri gösterilmiştir [56-59]. Porsuk havzası'na ait yağışların %34'ü kış, %31'i ilkbahar aylarında düşmektedir (Şekil 7). Baraj planlamalarında ve baraj inşaatı sırasında mevsimsel yağış dağılımının bilinmesi istenir. Bu nedenle, Porsuk havzasına ait MGİ'lerinin mevsimlik yağış dağılımları Şekil 7'de verilmiştir. Marmara ikliminin etkisi altındaki İnönü Ovası ve Sarısu havzası'nın Eskişehir Ovası'na göre daha fazla yağış almaktadır. Porsuk Çayı havzası'nın yıllık toplam yağış miktarı, DSİ izohiyet yöntemiyle hesaplamalarına göre 451 mm olarak bulunmuştur. Porsuk havzası yağış alanını temsil eden Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının DMİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 2 adet sinoptik büyük klima, 5 adet büyük klima, 13 adet küçük klima, 4 adet yağış istasyonu olmak üzere 24 adet MGİ bulunmaktadır. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 20 adet meteoroloji gözlem istasyonunda yağış gözlemi, bunlardan 9 adedinde yağış gözlemlerinin yanı sıra buharlaşma gözlemi yapılmaktadır [56-61].



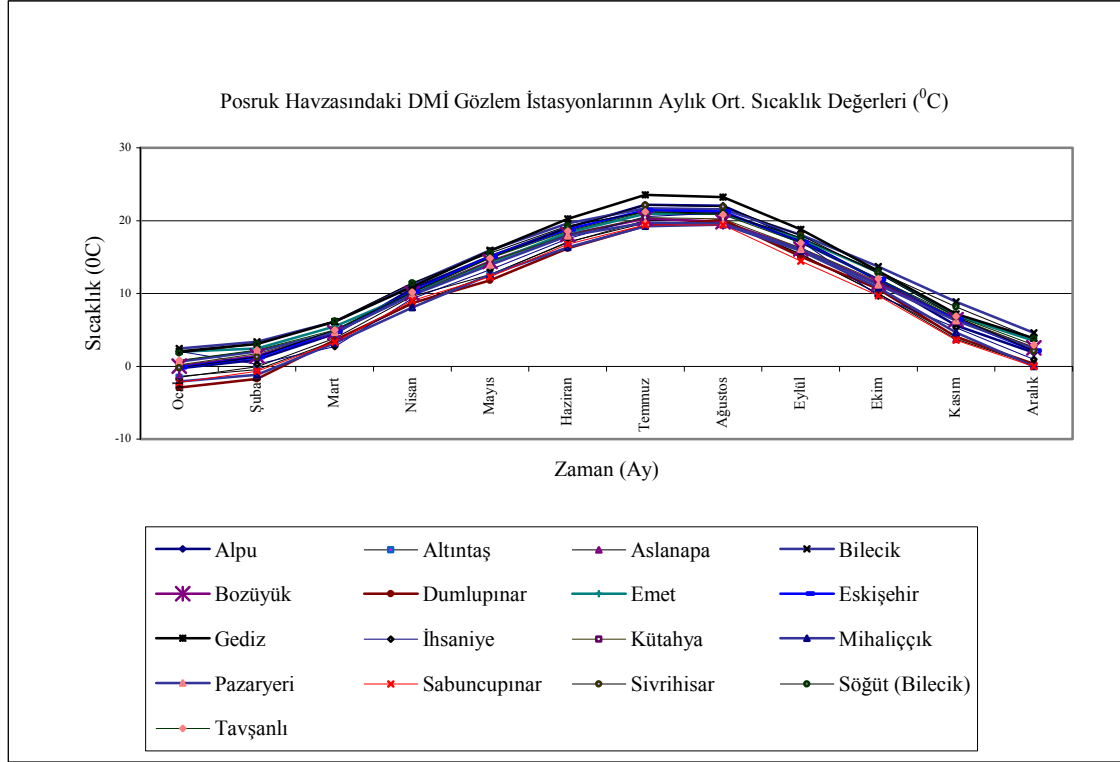
Şekil 6. Porsuk havzası yağış alanı ve civarındaki DMİ/DSİ meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık ortalama yağış değerleri (mm).

III. 3. Sıcaklık

Proje sahasında İç Anadolu karasal iklimi hakimdir. Bölgede en soğuk ay Ocak, en sıcak ay Temmuz ayı'dır. Porsuk havzası yağış alanı ve civarında sıcaklık gözlemi yapan MGİ'lerinin aylık ortalama sıcaklıkları Şekil 8'de verilmiştir. Havza içinde yıllık ortalama sıcaklıklar 8.8 °C ile 12.3 °C arasında değişmektedir.



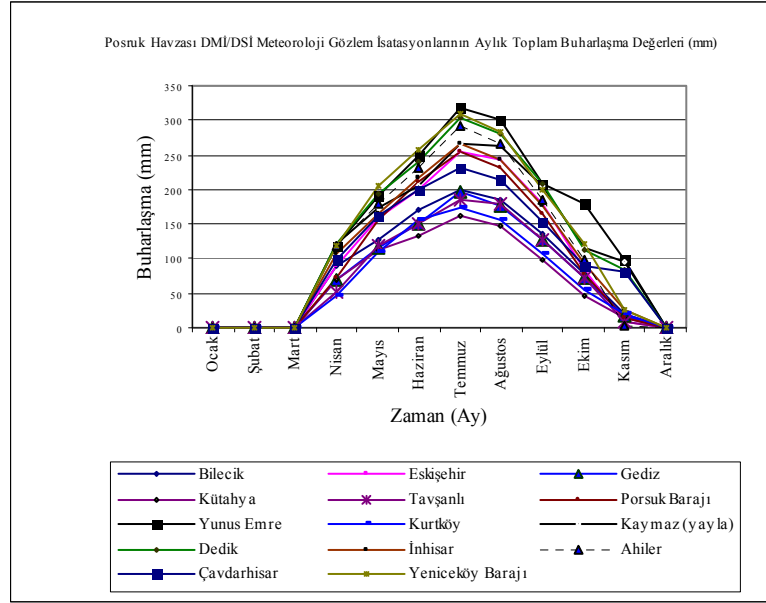
Şekil 7. Porsuk havzası yağış alanı ve civarındaki MGİ'lerinin mevsimsel yağış dağılımları.



Şekil 8. Porsuk havzası yağış alanı ve civarındaki DMİ meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri (mm).

III. 4. Buharlaşma

Porsuk havzasında yuvarlak tava ile buharlaşma gözlemi yapan MGİ'lerinin aylık toplam buharlaşma değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Buharlaşma, en fazla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelmektedir [56-62]. Temmuz ve Ağustos aylarında, sıcaklık artışına paralel olarak buharlaşma kayıplarının daha da artığı görülmüştür.



Şekil 9. Porsuk Çayı yağış alanı ve civarındaki DMI/DSİ meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık toplam buharlaşma değerleri (mm).

III. 5. Havzada Hidroelektrik Enerji Üretimi İçin Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Porsuk havzasında, sadece, “Porsuk Eskişehir Projesi, Porsuk Barajı HES ve Gökçekısık HES Planlama Çalışmaları” adı altında bir planlama çalışması 1980 yılında DSİ III. Bölge Müdürlüğü tarafından tamamlanmış, ancak bir türlü hayata geçirilememiştir. Bu planlama çalışmaları, Porsuk barajı HES ve Gökçekısık HES-kanal güzergahı ve santral yerlerinin mühendislik jeolojisi planlama raporlarını da kapsamaktadır. Bu planlama çalışmasında, Porsuk barajı için, Porsuk barajından içme ve kullanma suyu temini ve sulama suyu mansap bölgesine verilirken, sadece bir hidroelektrik santral ilavesi yapılması ile 2 MW gücünde ve toplam üreteceği yıllık enerji miktarı yaklaşık 20 GWh olan bir santralin kurulması planlanmıştır (Porsuk barajı HES santral kotu 845 m). Ayrıca, bu santralin kuyruk suları tekrar alınarak, bir iletim kanalı ile 18 km ileride düşürüleceği bir nehir santrali inşasını (Gökçekısık HES 817 m kotu) kapsıyordu. Bu planlama çalışmasına göre, bu nehir tipi santralin kurulu gücü de 2 MW ve toplam üreteceği yıllık enerji miktarı, 9,03 GWh olacaktı [30]. Bu çalışmalar dışında, porsuk havzasında ayrıca bir planlama yapılmamıştır.

IV. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Porsuk havzasında akarsu akışları çok düzensiz olduğundan, depolamalı küçük hidroelektrik santraller düşünülmüştür. Depolamalı hidroelektrik santrallerde, zaman içinde rasgele bir değişken niteliğinde olan akım, depolama yapılmak suretiyle düzenlenmekte ve bu düzenli debiyle akarsudan daha fazla enerji üretilmektedir [63] . Bu amaçla, Porsuk havzasında, topoğrafik bakımından baraj yapımına uygun yeni baraj aks yerleri araştırılmıştır. Uygun bulunan aks yerlerinin teknik ve ekonomik bakımından baraj yapımına uygun olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, havzaya ait 1/250.000'lik haritalardan uygun baraj yerleri (Rezervuar olması muhtemel yerler) tespit edilmiş ve daha küçük ölçekli haritalardan (1/25.000) bu yerlerin jeolojik, topoğrafik ve zemin yapısı ile hidrolojik (akım verileri) bakımından uygunluğunun tespiti için masa ve arazi çalışmaları yerinde yapılmıştır. Tespiti uygun bulunan noktadaki akım değerleri, DSİ III. Bölge müdürlüğünden alınmış ve hidroelektrik enerji potansiyeli belirlenmiştir. Bu verilerin uygunluğu, uydu görüntüleri, jeolojik haritalar ve arazide yapılan keşiflerle desteklenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken, ÇED prosedürü gereği, proje yer seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar ve ülke mevzuatı gereği korunması gerekli alanlara bağlı kalmıştır.

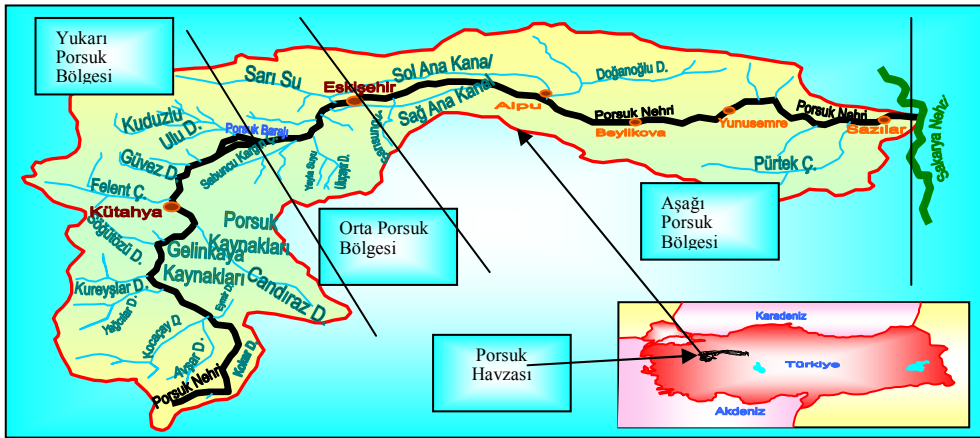
IV. 1. Projelendirmede izlenen yol

IV. 1.1. Akım değerleri ve Porsuk havzasında enerji amaçlı çalışma kademeleri

Porsuk havzası hidroelektrik enerji potansiyelinin tespiti amacıyla, Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri ve Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilen ve ölçümü yapılan Akım Gözlem (AGİ) istasyonları tespit edilmiş ve bu istasyonlara ait uzun süreli yılların aylık ortalama akım verileri (m^3/sn) kullanılmıştır. Yıllık bazda, günlük ortalama debiler, DSİ ve EİE'den temin edilmediği için, debi süreklilik eğrileri elde edilememiştir. Bilindiği üzere, debi süreklilik eğrisi herhangi bir akarsuda belli bir istasyondaki günlük, haftalık, aylık (veya başka bir zaman aralığında) akımların miktarı ile frekansı arasındaki ilişkiyi karakterize eder. Söz konusu istasyona ait debi gidiş çizgisinden faydalanılarak debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri taşınırsa debi

süreklilik eğrisi elde edilir. Bu eğrilerden faydalanarak, güvenilir (firm) güç hesaplarında, yılın %50'sinde var olan debi esas alınabilir [63-66, 5].

Araştırmada, Porsuk havzası üç bölgeye ayrılmıştır ve 1/25.000'lik haritalar üzerinde, mevcut akarsular ve bu akarsular üzerinde yapılması öngörülen baraj yerlerinin ön çalışmaları yapılmıştır (Şekil 10). Buna göre havza; Yukarı Porsuk Bölgesi: Porsuk Barajı Membayı (Porsuk Çayının doğduğu bölge ile Porsuk barajı arasındaki bölge-Şekil 10). Orta Porsuk Bölgesi: Porsuk Barajı-Eskişehir (Porsuk barajı ile Eskişehir girişi arasındaki bölge-Şekil 10). Aşağı Porsuk Bölgesi: Eskişehir mansabı-Sakarya nehri arası (Eskişehir çıkışı ile Sakarya nehrine döküldüğü yer arasında kalan bölge-Şekil 10). Esas olarak Porsuk Çayı üç kısma ayrılarak, her bir kısımdaki, ana akarsu (Porsuk Çayı) ve yan dereler (kolları) araştırılmıştır. Porsuk ana kolunun doğduğu noktadan, Sakarya nehrine döküldüğü yere kadar olan mesafe boyunca, noktaların koordinatları, membaya olan uzaklıkları ayrıca bu araştırmada belirlenmiştir.



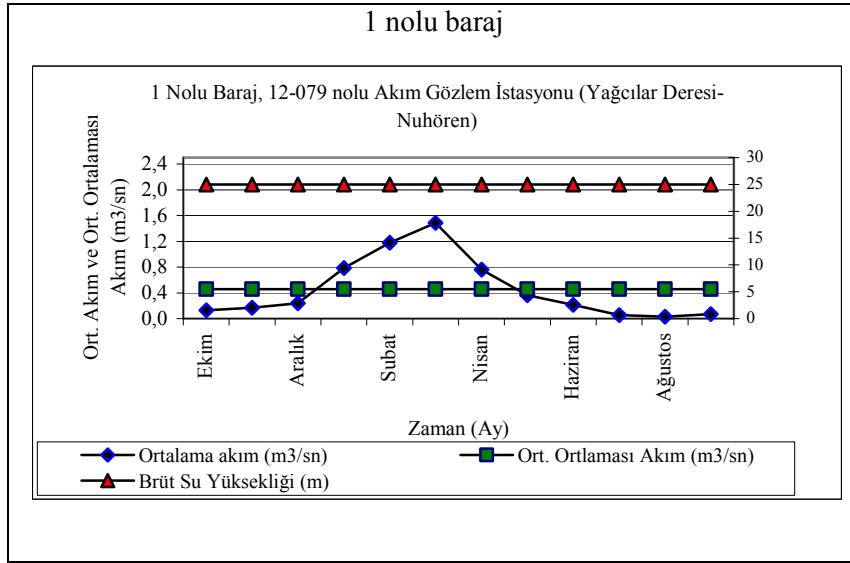
Şekil 10. Porsuk havzasında enerji amaçlı çalışma kademeleri.

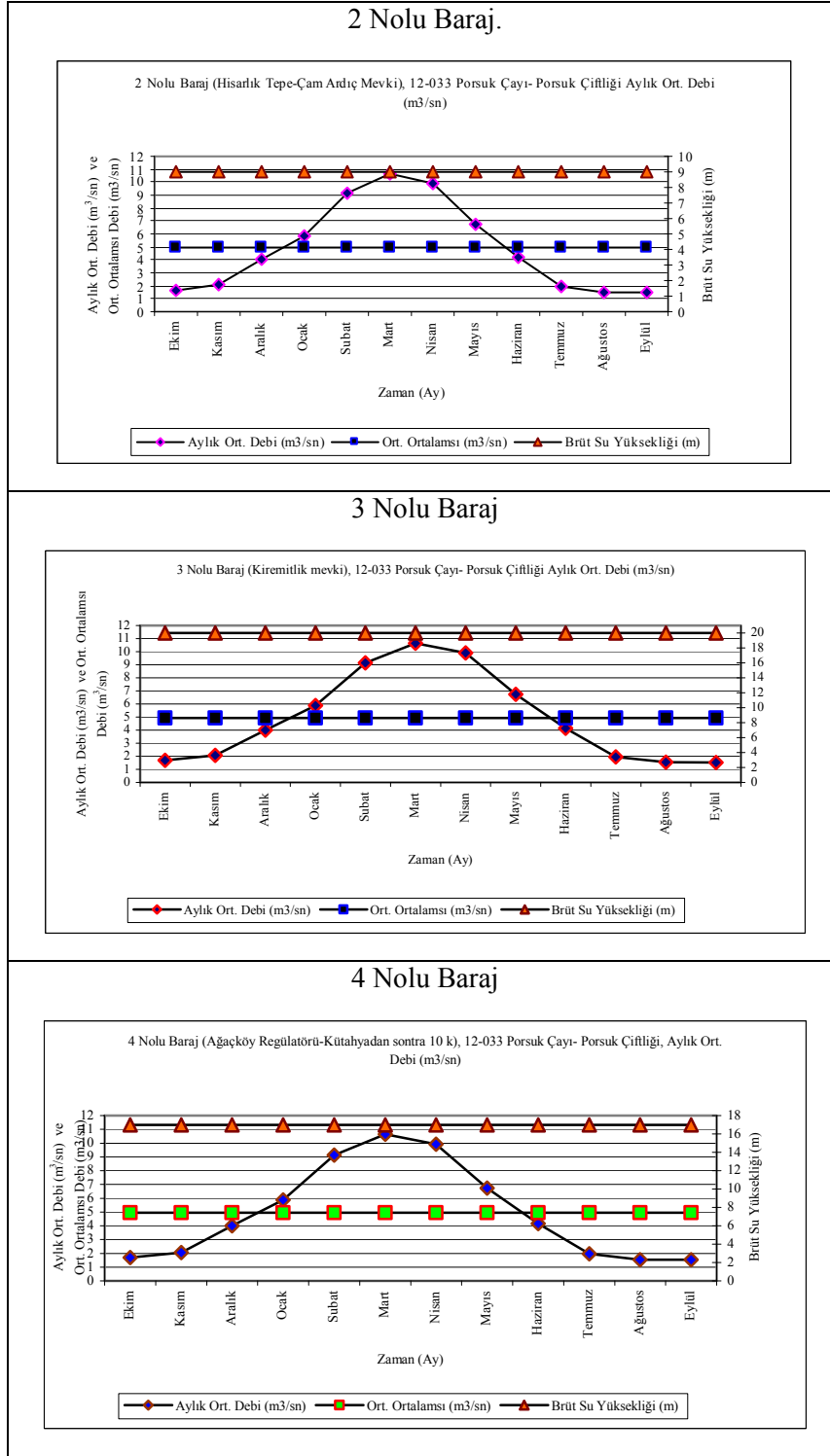
Yukarı Porsuk Bölgesi: Havzanın bu kısmında, toplam 6 noktada baraj planlaması için uygun yerler tespit edilmiştir. Baraj yerlerinin mevkileri, buldukları paftalar, koordinatları, planlanan yükseklikleri ve kret uzunlukları, Tablo 4'te verilmiştir. Bütün bu değerler, GPS, uydu görüntüleri ve 1/25.000'lik haritalardan ve oluşacak göl suyu seviyelerinin kotları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Yukarı Porsuk havzanın bu kısmında, toplam 6 noktada baraj planlaması için uygun bulunan notalara ait uzun süreli akım değerleri, Şekil 7'de verilmiştir.

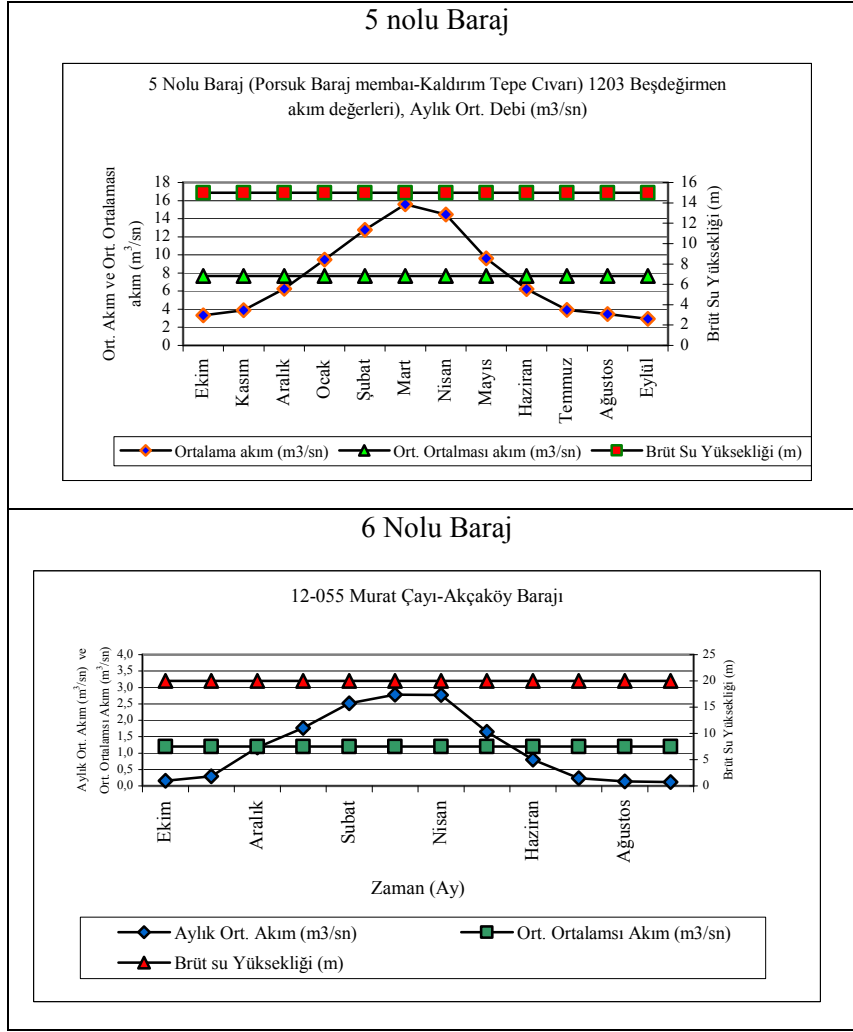
Tablo 4. Yukarı Porsuk havzasında planlaması uygun bulunan baraj yerleri ve özellikleri

Baraj Adı (No'su)	Bulunduğu Pafta	Mevki	Koordinatları	Düşünölen Kret kotu (m)	Akarsu talveg kotu (m)	Yaklaşık Baraj Yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)
1	Kütahya J23-c4	Gurbetmezarıkaşı sırtları-Damlaca sırtları	29 ⁰ 51.458D 39 ⁰ 07.059K	1130	1097	33	200
2	Kütahya J23-b3	Hisarlık Tepe-Çam Ardıç	29 ⁰ 59.164D- 39 ⁰ 18.197K	1005	995	10	180
3	Eskişehir J24-a4 ve J23-b3	Kiremitlik mevki	39 ⁰ 20.386 K 30 ⁰ 01.487D	990	967	23	380
4	Eskişehir J24-a4 Eskişehir J24-a1	Saraycık Tepesi-Derekaşı Sırtları	39 ⁰ 22.135 K 30 ⁰ 04.046D	950	930	20	200
5	Eskişehir İ24-d4	Yaylakaya Sırtları-kaldırım Tepesi	39 ⁰ 34.230 K 30 ⁰ 04.773D	910	892	18	250
6	Eskişehir J24-d4, Kütahya J23-c3 ve Uşak k23-b2	Akçaköy civarı	30 ⁰ 02.495D 39 ⁰ 03.527K	1052	1027	25	300

**Şekil 11.** Yukarı Porsuk havzasında 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/sn).



Şekil 11. (Devam) Yukarı Porsuk havzasında 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/sn).



Şekil 11. (Devam) Yukarı Porsuk havzasında 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/sn).

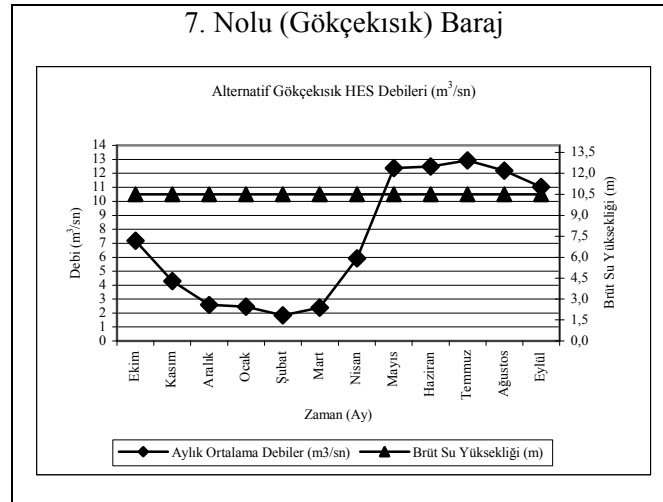
Orta Porsuk Bölgesi: Havzanın bu kısmında, toplam 2 noktada baraj planlaması için uygun yerler tespit edilmiştir. Benzer şekilde, baraj yerlerinin mevkileri, buldukları paftalar, koordinatları, planlanan yükseklikleri ve kret uzunlukları, Tablo 5’te verilmiştir. Bu bölgede seçilen yerlerin alternatifi olabilecek durumlar da ayrıca potansiyel ve ekonomi bakımından da incelenmiştir.

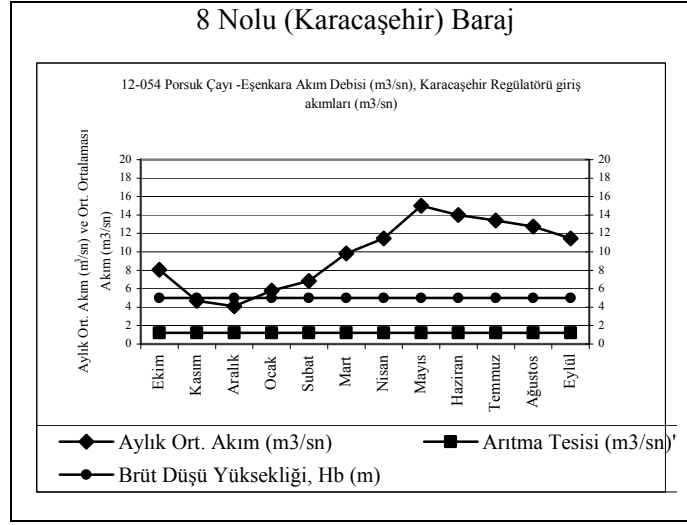
Tablo 5. Orta Porsuk havzasında planlaması uygun bulunan baraj yerleri ve özellikleri

Baraj Adı (No'su)	Bulunduğu Pafta	Mevki	Koordinatları	Düşünülen Kret kotu (m)	Akarsu talveg kotu (m)	Yaklaşık Baraj Yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)
7	Eskişehir İ24-c1 ve İ24-c2	Gökçekısık Çobanların Deresi Öncesi	39°39'157 K 030°19'646 D	832	820	12	180
8	Eskişehir İ24-c2	Eskişehir-Kütahya karayolunun 5. km.'si, Karacaşehir köyü	39°44'650 K 030°27'959 D	810	803	5 m	20

Orta Porsuk Bölgesinde, Gökçekısık köyü yakınlarında, 7 nolu Gökçekısık Barajı ve 8 nolu Karacaşehir Regülatörü planlama için uygun bulunmuştur. Bu barajlara ait akım değerleri, Şekil 12'de verilmiştir.

Aşağı Porsuk Bölgesi: Havzanın bu kısmında, çalışma yapılmamıştır. Çünkü, 1/25.000 haritaların ve arazi incelenmesi sonucu bu bölgede baraj yapmaya uygun bir yer tespit edilememiştir. Bu bölge, topoğrafik bakımından düz ve su depolaması için herhangi bir vadisi yoktur. Nehir tipi santral yapılabilir mi diye araştırılmış, ancak, debilerin ufak ve düşümlerinin son derece küçük kalması nedeni ile uygun olamayacağı kanaatine varılmıştır.

**Şekil 12.** Orta Porsuk Bölgesinde 7 ve 8 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/sn).



Şekil 12. (Devam) Orta Porsuk Bölgesinde 7 ve 8 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/sn).

IV. 2. Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmuş hususlar

• Bir hidroelektrik santral tesisi minimum yatırımla kurulmalı ve maksimum enerji üretmelidir. Bir tesisten üretilen hidroelektrik enerji miktarını hesaplamak için; Brüt baraj yüksekliği =H (m), Debi miktarı =Q (m³/sn), Suyun birim hacim ağırlığı = γ : (kg/m³), Net düşü yüksekliği =H_N (m), Toplam kayıplar= ΔH (m), Türbin verimi= η_t : (%), Jenartör verimi= η_g : (%), Trafo verimi= η_{tr} : (%)’nin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada, genel olarak sudan elde edilecek enerji miktarı aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [5, 9, 66-69].

$$N = \frac{\eta \cdot \gamma \cdot (H_b - \Delta H)}{75} \quad (\text{Buhar Beygiri}=BG) \text{ veya } N = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_N \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

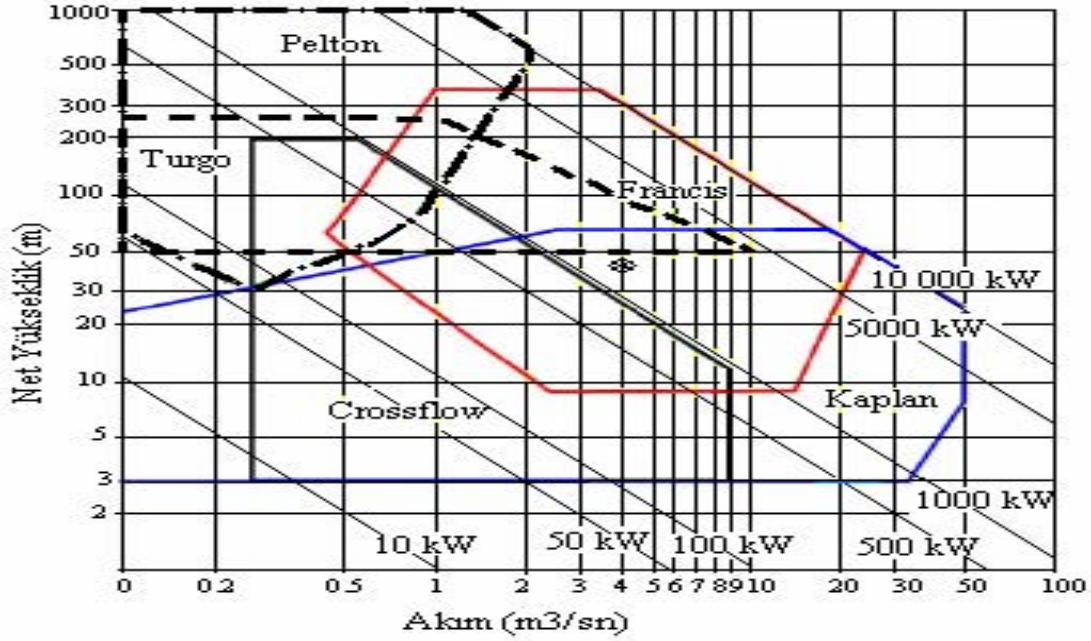
$$H_N = H_b - \Delta H \quad (\text{m}) \quad \text{Net Düşü yüksekliği} \quad (2)$$

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

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \xi \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \quad \text{Toplam verim katsayısı} \quad (4)$$

- DSİ’deki kabullere göre, η_t : Türbin verimi (%92); η_g : Jenartör 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 (1) denkleminde kullanılan $\eta_g \cong 8,0$ alınmıştır [68].
- Barajlardan minimum, ortalama ve maksimum debilerin çıkması durumuna göre, 1 türbinin çalışması halinde, 2 türbinin çalışması halinde veya daha fazla türbinin çalışması halindeki debinin, L (m) uzunluğunda bir cebri borudan (barajın mansabında, türbinlerin yerleştirileceği en uygun yere göre, alınan mesafe) geçeceği varsayılan debilere göre, meydana gelecek ΔH kayıpları, (3) denkleminde göre hesaplanmıştır. (3) denklemindeki yersel kayıpların hesaplanmasında, boru, dirsek, vana vs. meydana gelen kayıpların toplam katsayısı, $\xi = 2-3$ arası alınmıştır.
- Porsuk havzasındaki yağışlar düzensiz olduğundan, planlaması yapılacak barajlar, akarsuyun rejimini düzenleyeceğinden diğer bir deyişle akarsuyun taşıdığı düzensiz akışlar (debiler), barajların mansabına düzenli verileceğinden, gelen suların ortalamaları ile çalışılması daha makul bulunmuştur. Planlaması düşünülen barajların kurulu güçleri ya hesapla veya debi-net düşü’ye göre Türbin seçimi için ESHA tarafından Şekil 13’te verilen abak kullanılabilir [66].
- Kurulu güç hesabında, η_t : Türbin verimi (% 88); η_g : jenartör verimi (% 95); η_{tr} : Trafo verimi (% 98) alınmıştır. Toplam verim katsayısı ise, $\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} = 0,88 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,819 \cong 0,82$ alınarak, (1) denkleminde göre, her ayda üretilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. 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 düşecektir. Bu nedenle, hesaplarda ortalama $\eta_t = 0,88$ alınması daha uygun görülmüştür.
- İşlenme zorluğu nedeni ile seçilen cebri boru çapları, 2.5 m’den büyük alınmamıştır.
- Bu barajlardan yılda üretilebilecek enerji miktarı, beklenilmeyen sebepler (Kuraklık) nedeniyle %70 oranında gerçekleşeceği kabul edilmiştir.
- 1 kWh’lik enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0,05 cent olduğu kabul edilerek, yıllık enerji üretim bedeli, hesaplanmıştır. Buna göre elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırımın, ne kadarlık bir süre sonunda kendini amorti edeceği belirlenmiştir. Yatırım bedeli çıkarıldıktan sonra, üretilecek enerji maliyeti sadece işletme ve bakım giderlerini kapsayacağından, kWh enerji maliyeti bedeli, 0,01~0,02 cent’e düşecektir.



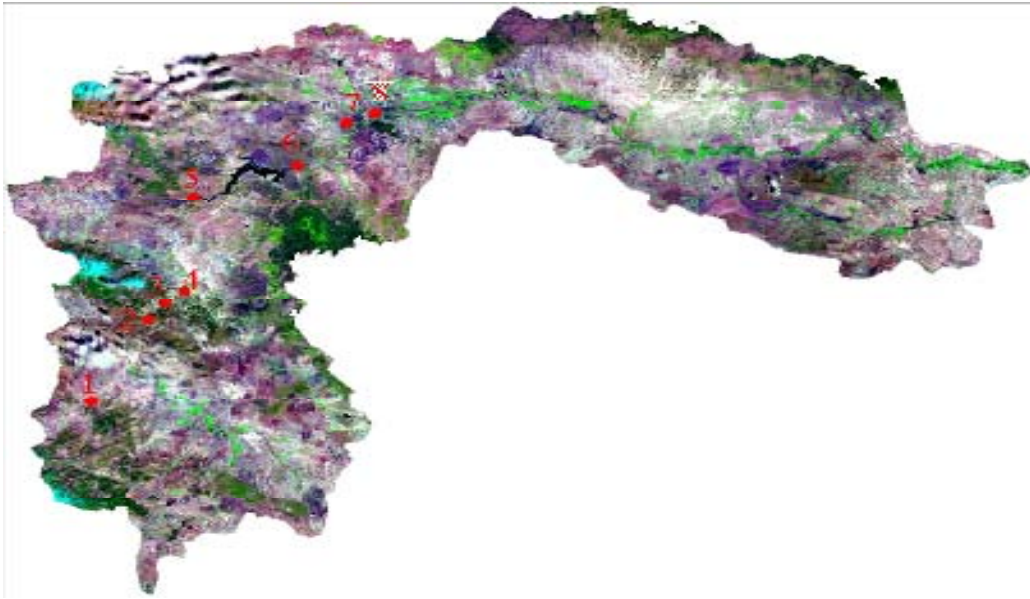
Şekil 13. Debi-net düşü'ye göre türbin seçimi [66].

IV. 3. Tesis yatırım bedellerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulan hususlar

- İnşaat işleri keşif bedelleri hesabında, Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları kullanılmıştır [70].
- Planlaması yapılan barajların, ekonomik olması ve hızlı inşası bakımından, ön yüzü beton tip barajlar olarak düşünülmüştür. Bu barajlarda şev eğimleri, Düşey: 2.4/Yatay :3 olarak alınmıştır [71-74]. Kret genişlikleri 5~6 m ve temel derinlikleri, jeologlarla arazide yapılan incelemeler ve mevcut benzer sondaj loglarından faydalanılarak tespit edilmiştir.
- HES'lerin, enerji işletme çalışması yapılırken, tüm akımlar (0.5 m³/sn Porusk barajı-Gökçekısıık santrali arası su hakkı hariç) türbinlenerek maksimum kurulu güç altında elde edilebilecek enerjileri hesaplanmıştır.
- Masraflar, yatırım periyodundaki masraflar olarak düşünülmüştür. Tesis Bedeli: Proje kapsamındaki tesislerin planlama aşaması için hesaplanan keşif bedelinin "bilinmeyen masraflar" için %15 mertebesinde arttırılmasıyla bulunmuştur. Proje, Kontrollük ve İdari Gider olarak, tesis bedelinin %15'i olarak kabul edilmiştir.

- Kamulaştırma değeri olarak tesislerin geçtiği yerlerin hazine arazisi olması nedeni ile kamulaştırma değeri hesaplanmamıştır. Aksi durumda, günün rayiç bedellerinden hesaplanması gerekir. Göl alanı içinde kalacak Karayolu ve Demiryollarının hesabı, günün rayiç bedellerine göre belirlenmiştir.
- Çalışma konusu ile ilgili olarak, Türbin-Jeneratör-Transformator gibi elektromekanik cihazların bu günkü anahtar teslim fiyatları, Türkiye’de, ilgili firmalardan alınmıştır [75]. Firma, anahtar teslim fiyatı Hidroelektrik Santral (HES) kurmaktadır. Elektromekanik teçhizat için önerilen fiyat 385 EUR/kW’tır. Bu fiyata, giriş vanası, türbin (Francis tipi), jeneratör, elektriki teçhizat, otomatik kontrol sistemi, ikaz sistemi, montaj, test ve devreye alma dahildir. Buraya, yapılacak yatırımın takribi maliyeti, hesaplanmış ve beher (MW) güç karşılığı yapılacak yatırımın büyüklüğü incelenmiştir.
- Tesislerin maliyeti, 2007 yılı için 1 \$ = 1,5 YTL olarak alınmıştır.

Şekil 14’te, planlaması yapılan 1, 2 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajların uydu görüntüsü ve koordinatları kullanılarak Porsuk havzasında buldukları konumları gösterilmiştir. Planlaması yapılan barajların konumları, ürettikleri enerji miktarı ve maliyetleri konusunda, örnek olması bakımından, V Bölümde, 5 nolu baraja ait hesaplar detaylı verilmiştir.



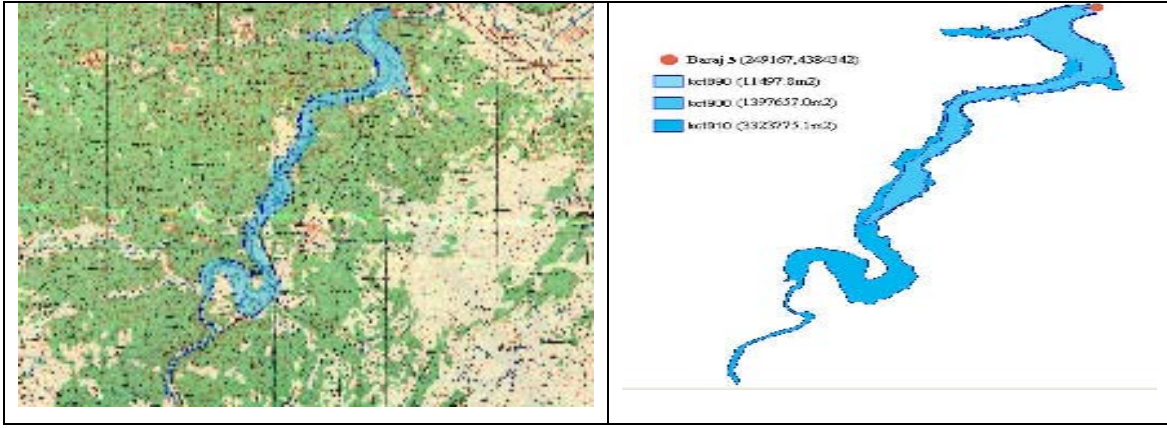
Şekil 14. Planlaması düşünülen 1, 2 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajların (uydu görüntüsü ve koordinatları kullanılarak) porsuk havzasındaki konumları.

V. 5 NOLU BARAJA AİT HİDROELEKTRİK POTANSİYEL ENERJİ MİKTARI VE MALİYET HESABI

V. 1. 5 nolu barajın konumu

Araştırmalara, havza su ayırım çizgisinin yakınlarından, ana kol deresinin başlangıcı ve yan kollar incelenerek, 1/250.000'lik ve sonra 1/25.000'lik haritalardan, akış istikametinde uygun baraj aks yerleri ve depolamaya müsait bölgelerden başlanmıştır. Akış istikametinde, 5 nci nokta olarak belirlenen baraja ait aks yeri, baraj yapımına çok uygun bulunmuştur. Porsuk Barajı gölü membanın üstünde (910 m kotlarından) kalan bu bölge, I24-d4 paftasından (1/25.000) görülebilir. Aks yerinin konumu ve özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. 910 m kotlarında baraj yapımına uygun olduğu düşünölen bu noktada, dar bir vadi (Şekil 15) mevcuttur. Barajın kret uzunluğu 250 m civarında olmaktadır. Bu noktada akarsu talveg kotu 892 m (892 max. Porsuk baraj göl seviyesi) olup, yaklaşık 10 m alüvyon tabakası olduğu jeologlar tarafından tahmin edilmiştir. 950 m kotlarında bir baraj düşünöldüğünde, Kütahya ili sular altında kalmaktadır (Şekil 16). Bu nedenle kret kotu en fazla 910 m kotlarında olabilecek bir baraj planlaması yapılabilir. Diğer bir değişle, bu noktada, 18 m yüksekliğinde bir baraj yapılabilir (Tablo 4). Baraj yerine ait arazi görünüşü Şekil 17, a) ve b)'de verilmiştir.

Burada tasarlanacak bir barajın kuyruk suyu (892 m kotlarından), Porsuk baraj gölüne akacaktır. Taşkınlar nedeni ile Porsuk Baraj gölünde oluşacak kabarmalardan etkilenmesi söz konusu değildir. Çünkü, Porsuk baraj gölü maksimum 892 kotlarına kadar kabarmaktadır. Diğer taraftan, planlanan bu barajın suları, Beşdeğirmen civarlarına kadarki bölgeyi (taşkın suları söz konusu olduğunda 910 kotlarına kadar) sular altında bırakacaktır. 5 nolu baraj olarak düşünölen bu noktadaki akım değerleri, aslında Porsuk barajı giriş akım değerleri olup, Porsuk barajından savaklanan sularla aynıdır.



Şekil 15. 5 nolu baraj planlaması için uygun görülen yerin 1/25000'lik haritadaki yeri.

Şekil 16. Sayısallaştırılmış haritalardan elde edilen 5 nolu barajın çeşitli kotlarda inşa edilmesi halinde oluşacak göl alanı.

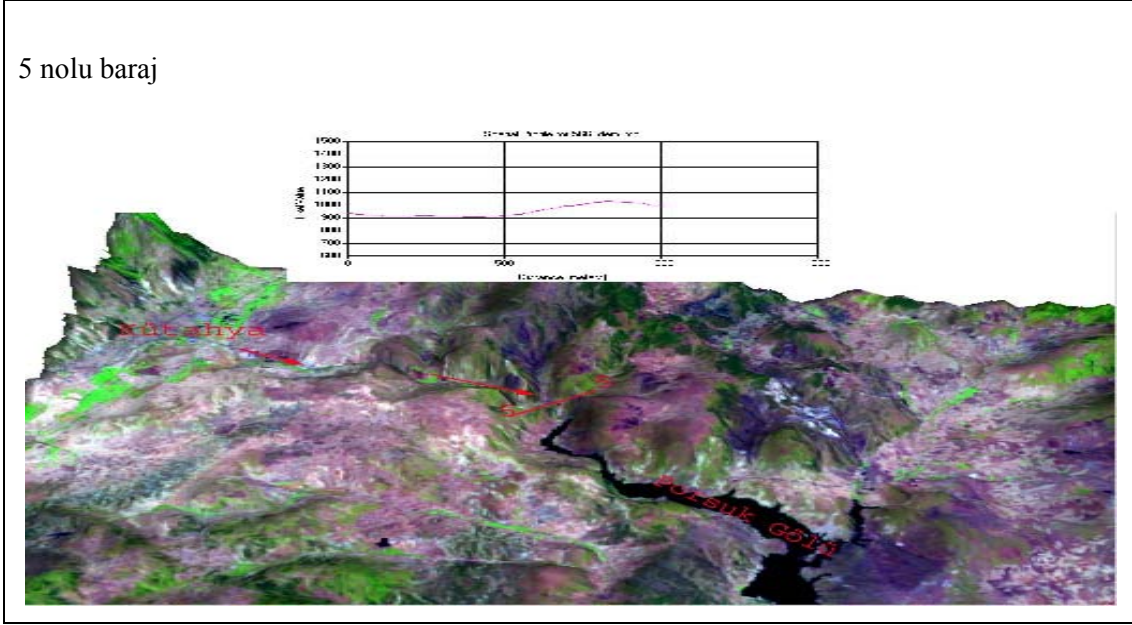


a)

b)

Şekil 17. a) ve b) 5 nolu baraj planlaması için uygun görülen yerin arazi fotoğrafları.

5 nolu barajın topoğrafik uydu görüntüsü ve seçilen yerdeki arazi enkesiti, aşağıda Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. 5 nolu baraj yerine ait uydu görüntüsü ve topoğrafik kesiti.

V. 2. 5 nolu barağa ait hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi

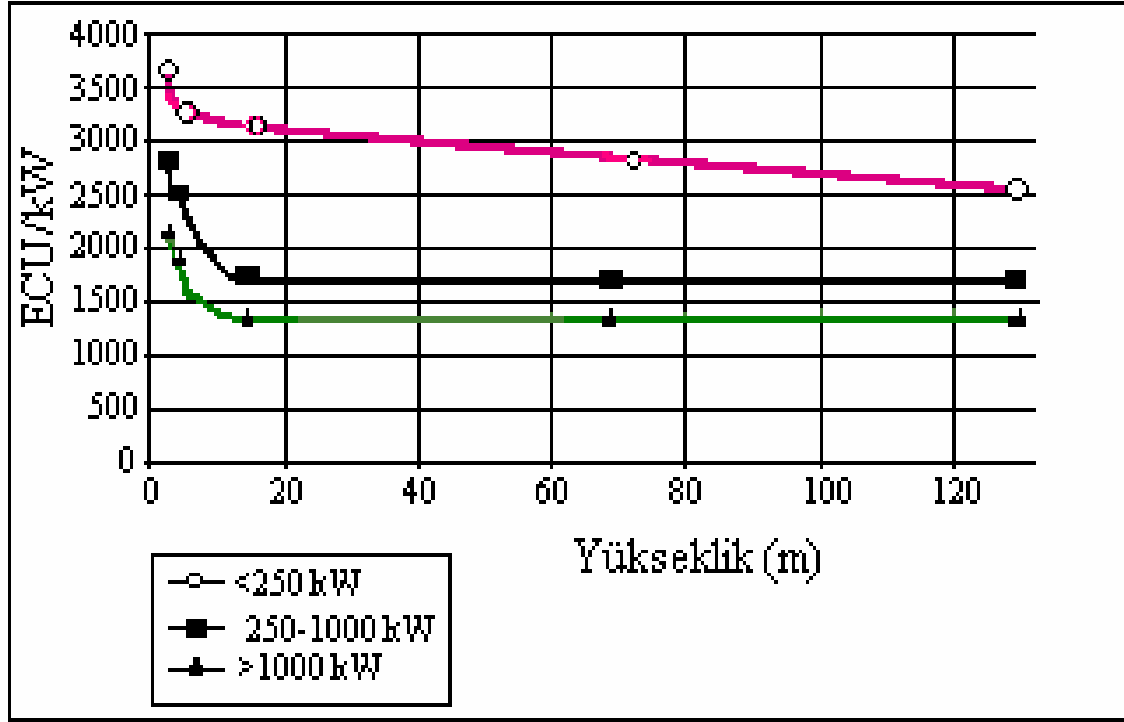
5 nolu barağa ait akım gözlem değerleri, 12-03 Porsuk Çayı-Başdeğirmen akım gözlem istasyonuna ait akım verileridir [58, 59]. Bu akım ölçer istasyonuna ait uzun süreli (36 yıl) veriler elde edilmiştir. Burada ortalama akım değeri $7.66 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve drenaj alanı 3938.4 km^2 ’dir. Burada planlaması düşünölen barajdan üretilecek elektrik miktarının hesabı için brüt düşü sırasında meydana gelecek toplam ΔH kayıpları, Tablo 7’de verilmiştir. Akımların ortalaması aylara bağlı olarak Şekil 11’de verilmiştir. Halihazırda, diğer hidroelektrik santrallerde olduğu gibi, 5 nolu barajın suları kontrollü olarak mansaba verilecektir. Enerji üretimi ile ilgili çalışmalarda, burada, düzenli bir rejim altında, sular tek bir üniteden türbinlenerek, enerji elde edilebilir. Ancak, bu durumda, randımanı düşük olur. Bu nedenle, türbin sayısının arttırılması hem türbinlerin yüksek randımanla çalışması sağlanır hem de mansap şartlarını sağlayacak sular temin edilmiş olur. Türbin sayısı, tek ünite yerine 4 ünite alınır ise, ünite sayısı, gelen debilerin miktarına göre çalışacaktır (Tablo 8). 5 nolu barajından elektrik üretimi amacıyla yapılan bu

çalışmanın sonunda, takriben $4 \times 0.5 = 2$ MW kurulu gücündeki türbinlerle, en yüksek verimde elektrik üretilbileceği 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 8’de verilmiştir. Bu kurulu güç ünitesi, Şekil 13’ten grafik olarak ta seçilebilir.

Bu barajdan yılda üretililecek enerji miktarı 7,597 GWh’tır (Tablo 8). Beklenilmeyen sebepler nedeniyle bu enerjinin %70 oranında gerçekleşeceği düşünülse dahi, yılda 5,318 GWh enerji üretimi söz konusu olacaktır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre 5 nolu barajından çıkan sularla 2 MW kurulu gücü çalıştıracak potansiyele sahiptir. Bir yıl 8760 saat olduğuna göre, $2 \times 8760 = 17520$ MW=17.52 GWh ‘lık bir potansiyel enerji miktarı söz konusudur. Ancak, yaklaşık bu enerjinin %30.35’i üretililecektir. Genel olarak, Türkiye’deki, hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerinin %36’sı civarında bir net üretim gerçekleşmektedir. 1 kWh’lik enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0,05 cent olduğu kabul edilirse, yıllık enerji üretim bedeli, $5318000 \times 0.05 = 265900$ US\$ olacaktır. Bu durumda, 5 nolu barajından elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, çok uzun bir süre sonunda ($17.845 \times 10^6 / 265900 = 67.11$ yıl’da) kendini amorti edecektir. Yatırım bedeli çıkarıldıktan sonra, üretililecek enerji maliyeti sadece işletme, bakım ve tamirat giderlerini kapsayacağından, kWh enerji maliyeti bedeli, 0,01~0,02 cent’e düşecektir. Görüldüğü gibi bu yatırım, fizibil görünmemektedir. Maliyetlerin düşürülmesi için, baraj yüksekliği ve ünite sayısı düşürülür ise, yapım maliyetleri, dolayısı ile diğer maliyetlerde düşecektir. Ancak, enerjinin çok değerli olduğu durumlarda, ekonomik olmayan kararlar alınabilir. Enerji fiyatlarının sürekli artacağı öngörüldüğü için, bu yatırım maliyetleri, daha kısa zamanda kazanılacaktır.

V. 3. 5 nolu barajdan elektrik üretimi için yapılacak takribi yatırım maliyeti

5 nolu baraj, halihazırda kurulmuş ve işletmede olan bir tesis değildir. Bu nedenle barajın inşası için hazırlanacak daha detaylı fizibilite raporu sonucuna göre, proje bedeli, istimlak bedelleri, fizibilite aşamasında ön görülmeyen ilave harcamalar ve baraj inşası için harcanacak masraflar dikkate alınmalıdır. Bu barajdan elektrik enerjisi üretmek amacıyla yapılması gereken takribi maliyetler, hazır kurulu bir barajın maliyetlerine göre daha pahalı olacaktır. Bu şartlar altında, burada yapılacak bir baraj ekonomik bakımından pahalı olacaktır.



Şekil 19. Debi düşü yüksekliğine göre, küçük hidroelektrik santrallerde maliyetler [66].

Küçük hidroelektrik santrallerin maliyeti ile ilgili olarak ESHA, düşü yüksekliğine bağlı olarak, ECU/kW cinsinden, Şekil 19 kullanılarak, takribi yatırım maliyetlerinin bulunabileceğine işaret etmektedir [66]. Bu maliyetler, yeni kurulacak santraller için geçerlidir. Piyasadaki maliyetler dikkate alındığında, 5 nolu barajın yatırım maliyeti, Tablo 6'da hesaplanarak verilmiştir. Buna göre, barajın takribi maliyeti 17.845×10^6 US\$ civarında olacaktır.

Tablo 6. 5 nolu barajın yaklaşık yatırım maliyeti

Yapılan işin mahiyeti	Birim fiyatı (\$)	Miktarı	Birimi	Toplam fiyatı (10 ⁶) (\$)
Baraj Temeli düzenleme kazıları (Toprak)	1,00	131000	m ³	0,131
Düzenleme kazıları (Kaya)	3,00	7700	m ³	0,0231
Alelade kaya dolgu (kazi, nakliye ve sıkıştırma)	5,00	128700	m ³	0,6435
Belli gradasyonda dolgu	10,00	130000	m ³	1,30
Ön yüzü beton kaplama, kalıp ve derz yapımı dahil	80,00	3627	m ³	0,290
Kalıp ve her türlü derz yapımı dahil betonarme betonu	60,00	6240	m ³	0,3744
Betonarme demiri, nakliye ve işçilik dahil	700,00	1150	ton	0,805
Sızdırmalık perdesi	100,00	2860	m ²	0,286
Su alma yapısı, ızgara ve kapakları, dolusavak kapakları ve elektromekanik teçhizat	maktu	maktu		0,85
Sosyal tesisler (3 daire)	50 000	3	Adet	0,15
Yaklaşım yolları	20,00	Mevcut	km	-
Karayolunun üst kotlara taşınması (D650 Karayolu)	1000	7	km	7
Santral binası ve şalt sahası inşaatı	500 000	1		0,50
Türbin jeneratörü, trafo, her türlü elektriki teçhizat, işletme bakım dahil	500 000	2	Adet	1,0
Cebri boru, boru enstrümanları	1950	50	m	0,0975
Elektrik hattı	25000	Mevcut	km	-
Toplam				13,45
Etüd, Proje ve kontrolörlük Hizmetleri %15	maktu	Maktu		2,017
Bilinmeyen harcamalar %15	maktu	maktu		2,017
Genel toplam				17,845

V. 4. 5 nolu baraj yerinin jeolojik yapısı

Tasarımı planlanan 5 nolu baraja ait jeolojik yapı genel olarak deneyimli jeoloji mühendisleri ve tarafından belirlenmiştir. Yamaçlar genel olarak tuf ve hemen altında ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Akarsu tabanı, alüvyon ve altında ultrabazik kayalar yer almaktadır. Buradaki baraj temel kazılarının en fazla 10 m civarlarında olabileceği tahmin edilmiştir. HES civarının genel jeolojisi, deprem durumu, yapı yerlerinin mühendislik jeolojisi ve yapı için gerekli olabilecek doğal yapı malzeme olanakları ile ilgili detaylar, uydu görüntüleri ve bölgeye ait

1/500.000'lik sayışlaştırılmış Türkiye jeoloji haritası incelenerek daha ayrıntılı görülebilir (şekil 2 ve 3).

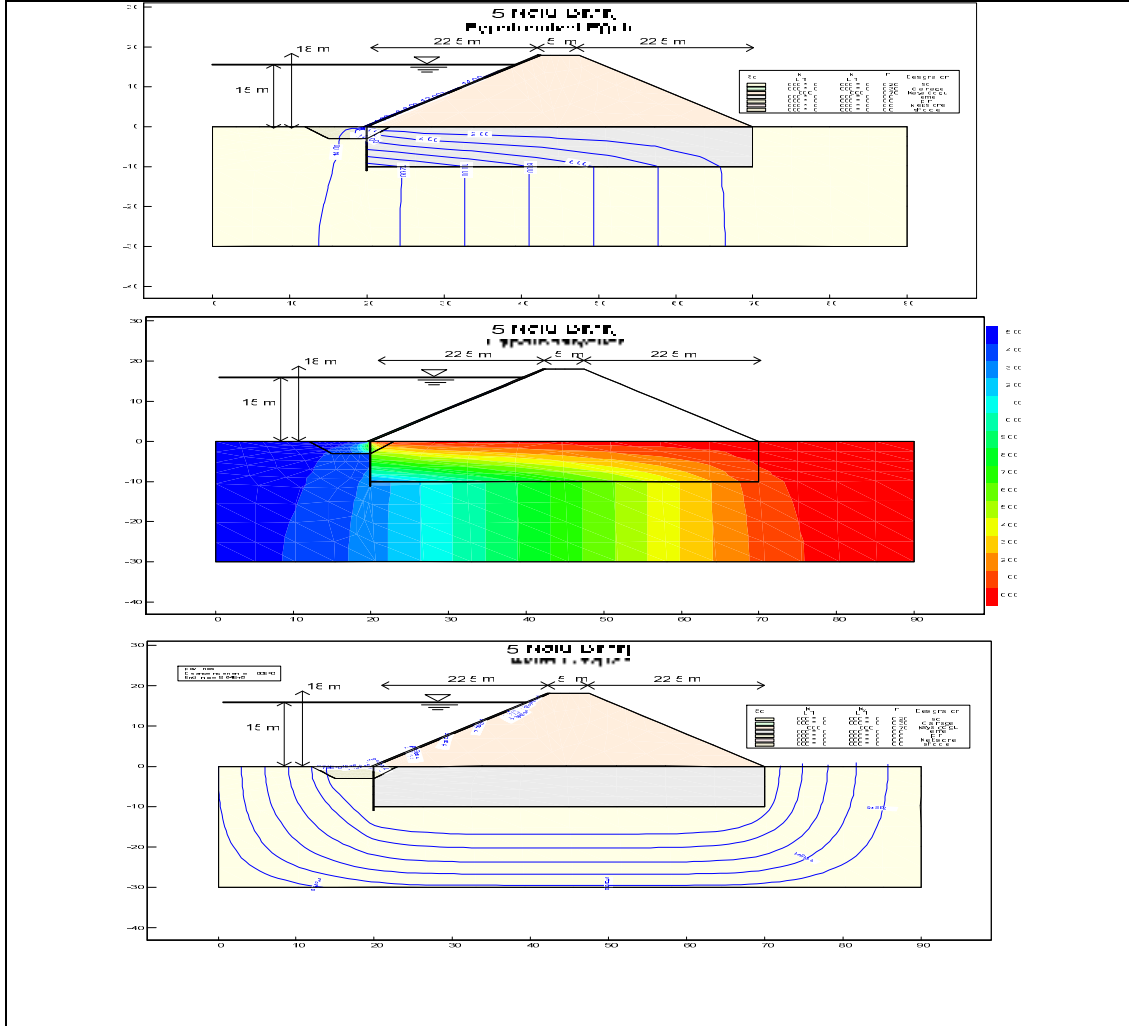
Porsuk havzasında inceleme sonucu, baraj yapımı için uygun bulunan noktalarındaki jeolojik, jeofizik ve jeoteknik özelliklerinin tespit edilmesi çok önemlidir. Bu notalarda tasarlanacak barajların su tutma kapasitelerini, rezervuar alanındaki zemin ve jeolojik yapısı ile doğrudan ilişkisi vardır. Bu nedenle, jeolojik yapının belirlenmesi ve buna bağlı olarak meydana gelecek su kayıplarının tespit edilmesi çok önemlidir. Ancak, proje kapsamında tespit edilen baraj yerleri için ayrıca sondaj çalışmaları yapılamamıştır. Bunun başlıca nedeni, zaman, personel ve para yetersizliğidir. Jeolojik araştırmalar, ön inceleme aşamasında yapılan çalışmalardan sonra seçilen baraj, santral ve diğer mühendislik yapılarının yer alacağı alan ve çevresinin ayrıntılı jeolojik ve jeoteknik araştırmaları kapsar. Baraj yeri ve çevresi ile göl alanındaki kayaçların geçirimsizliği ve dayanımı ile ilgili çalışmaların yapılması gerekir. Yapılacak araştırma sonuçlarının mühendislik jeolojisi raporunda yer alması gerekir. Bütün bu çalışmalar istikşaf, master plan, yapılabirlik ve kesin proje aşamalarında bulunması gerekir. Dolayısı ile Sondaj logları olmadan, baraj aks yerindeki temel kayası ve jeolojik formasyon tam olarak belirlenemez. Bu tip projelerde, baraj aks yeri ve göl alanında pek çok sondajın açılması ve analizinin yapılması gerekir. Dolayısıyla, çalışma bu yönü ile yeni tasarlanacak barajlar için çok yüzeysel kalmıştır. Ancak unutulmamalı ki, havza bazında yapılacak çalışmaların hepsi için sondaj çalışmalarının yapılması mümkün olamaz. Bu işlemler son derece pahalı ve çok zaman gerektiren araştırmalardır. Bu çalışmada, DSİ jeoloji mühendisleri ve danışmanların yerinde yaptıkları incelemeler, gözlemler, harita çalışmaları ve uydu görüntülerine göre belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında, Stabilité analizi için paket program seti-GGU Software-GGU-SS-Flow 2D ile zemin porozitesi (n_{eff} :etkin porozite) permeabilite katsayısı ($k_x=1.10^{-3}$ m/sn, $k_y=1.10^{-3}$ m/sn,), zemin cinsi (kaya, toprak, vs) tanımlanarak, paket program kullanılmış ve özellikle baraj altında meydana gelmesi muhtemel sızma olayları incelenmiştir. Barajların gövdesi kaya dolgu ve önyüzü beton kaplamalı olarak düşünölmüştür. Burada, zemin cinsi (barajın oturduğu zemin tabakası) ve permeabilite değerleri, deneysel olarak belirlenemediği için, jeologların tavsiyesi ve havzada hakim durum (daha önce mevcut inşa edilmiş barajlar için bire bir yapılmış sondaj çalışmaları ile) göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre, 5 nolu barajın planlamasında daha önce kabul edilen ölçüleri göre, baraj altında meydana gelecek Eşpotansiyel ve akım çizgileri aşağıda şekil 20'de verilmiştir.

Enerji Tesis yerleri için de benzer jeolojik ön değerlendirmeler, yüzey jeolojisi çalışmasına göre hazırlanmıştır. Bu yapının uygulanabilir projelendirmesine geçilmeden önce, araştırma sondajı

ve jeofizik laboratuvar deneylerini kapsayan jeoteknik araştırmaların yapılması zorunludur. Proje yapıları, bölgenin depremselliği göz önünde bulundurularak, deprem risk analizi yapılarak projelendirmeye geçilmesi gerekir.

Yapım için gerekli doğal yapı malzemelerinin, civardaki kum-çakıl ocaklarından temin edilebileceği belirlenmiştir. Ancak, projelendirme öncesi bu malzemelerin özellikleri ve miktarları detaylı araştırmalar ile belirlenmesi zorunludur.



Şekil 20. 5 nolu baraja ait (Kaya dolgu barajın-CFRD) eşpotansiyel ve akım çizgileri, (Eşpotansiyel akımların çizgi ve çizgiler arasındaki potansiyel dağılımları renk tonu farkı ile gösterilmiştir).

Tablo 7. 5 nolu barajdan 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 Yüksekl iği V ² /2g (m)	Sürekli Enerji kaybı, H _k (m)	Yersel Enerji kaybı, H' _k (m)	Toplam kayıp ΔH= H _k +H' _k (m)
3	0,611	1,527	4,6	0,017	20	0,019	0,006	0,04	~0,05
6	1,222	3,05	4,6	0,017	20	0,076	0,026	0,15	0,18
9	1,833	4,58	4,6	0,017	20	0,171	0,058	0,34	0,40
12	2,444	6,11	4,6	0,017	20	0,304	0,103	0,61	0,71
16	3,260	8,15	4,6	0,017	20	0,541	0,184	1,08	1,27

Tablo 8. Planlanan 5 nolu HES'ten aylara göre elektrik üretim miktarı

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
5 Nolu HES Debi: Q (m ³ /sn)	3,31	3,88	6,26	9,47	12,77	15,59	14,45	9,62	6,21	3,91	3,45	2,94	91,86
Burut su yükseklği: H _b (m)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Toplam Enerji kaybı: ΔH	0,05	0,05	0,18	0,40	0,71	1,27	1,27	0,40	0,18	0,05	0,05	0,015	
Net Düşü Yükseklği: H _N =H _b -ΔH	14,95	14,95	14,82	14,60	14,29	13,73	13,73	14,60	14,82	14,95	14,95	14,95	
Elde edilebilecek Güç (kW cinsinden) (MW cinsinden)	396 0,396	464 0,464	742 0,742	1106 1,106	1460 1,460	1712 1,712	1587 1,587	1123 1,123	736 0,736	467,6 0,4676	412,6 0,4136	351,6 0,3516	
Kurulu Güç: N (MW)	1x0,5	1x0,5	2x0,5	3x0,5	3x0,5	4x0,5	4x0,5	3x0,5	2x0,5	1x0,5	1x0,5	1x0,5	4x0,5=2 MW
Ayda Üretilen Enerji: E (GWh)	0,285	0,344	0,534	0,796	1,05	1,232	1,142	0,808	0,53	0,336	0,297	0,253	7,597 GWh/yıl

$$Q_{\max}=16 \text{ m}^3/\text{sn}, \quad \eta_g \cong 8 \text{ alındı, } k_s/D=1,15 \text{ mm}, \quad \xi=2, \quad Re=v.D/\nu, \quad \nu=1,10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn},$$

$$\phi 2500 \text{ mm}, \quad L=50 \text{ m}$$

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 araştırmada, Porsuk havzasına ait hidroelektrik enerji potansiyeli araştırılmıştır. Porsuk havzasına ait su kaynaklarının geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir kalkınma için, mevcut akarsu potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi, su potansiyellerinin daha efektif olarak kullanılması amacıyla, Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde yeni planlaması yapılabilecek Küçük Hidroelektrik Santrallerin yapılabilir olup olmadıkları konusu araştırılmış ve elektrik üretme imkanının bulunup bulunmadığı ve ekonomisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 9’da özetlenmiştir.

Tablo 9. Porsuk havzasında planlaması öngörülen barajlardan üretilen elektrik enerjisi miktarı ve yapılması gereken yatırımlar.

Baraj Adı	Kurulu Güç (MW)	Üreteceği Elektrik miktarı (GWh/yıl)	Gerekli Yatırım Miktarı (10 ⁶ US\$)
1 Nolu Baraj	5x0,05(=0,25)	0,747	10,735
2 Nolu Baraj	5x0,15 (=0,75)	2,792	13,967
3 Nolu Baraj	4x0,5 (=2,00)	6,546	16,453
4 Nolu Baraj	3x0,5 (=1,50)	5,507	10,600
5 Nolu Baraj	4x0,5 (=2,00)	7,597	17,845
6 Nolu Akçaköy Barajı	4x0,10(=0,40)	1,38	0,4975
7 Nolu Baraj	4x0,25 (=1,0)	3,403	4,49
8 Nolu Baraj	2x0,26 (=0,52)	2,24	1,060
Toplam	8,42	30,212	~75,65

Yukarı Porsuk havzasında 6 noktada, Orta porsuk havzasında 2 noktada, su potansiyeli ve topoğrafik şartları uygun baraj aks yerleri tespit edilmiştir. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu baraj olarak isimlendirilen bu barajların toplam maliyetleri $75,65 \times 10^6$ US\$'dır. Bu barajların toplam kurulu güçleri, 8,42 MW ve yılda üretecekleri elektrik miktarı, su potansiyellerinin %70 olması halinde bile 30,212 GWh/yıl olacaktır.

Porsuk havzasında, yılda toplam üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı 32,212 GWh'tir. 1 kWh'lik enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0.05 cent olduğu kabul edilirse, yıllık enerji üretim bedeli, $32,212 \times 10^6 \times 0,05 \cong 1610600$ US\$ olacaktır. Bu durumda, toplamda elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, $75,65 \times 10^6 / 2780.000 = 46,97$ 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, $32,212 \times 10^6 \times 0,14 \cong 4509680$ US\$/yıl olacaktır. Bu durumda, elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, toplamda, $75,65 \times 10^6 / 4509680 = 16,77$ yıl'da kendini amorti edecektir. Genelde 1 kWh elektriğin tüketiciye maliyeti düşünöldüğünde, bu tesisler yılda, 4,509 milyon US\$'lık bir katkısı olacaktır. Enerjinin gelecekte daha da pahalı olacağı öngöröldüğünden, yatırım maliyetlerini daha kısa zamanda amorti edeceği açıktır. Ayrıca, 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] İTÜ , Türkiye’de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü, Editör: Abdurrahman SATMAN, 182 s. İstanbul, 2007.
- [2] R. Bakis, and A. Demirbaş, Sustainable Development of Small Hydropower Plants (SHPs), *Energy Sources*, Volume 26, Number 12, pp. 1105-1118, 2004.
- [3] İ. Atılğan, Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Bakış, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* (J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol 15, No 1, 31-47, 2000, ss. 32-47) Cilt 15, No 1, ss. 31-47, 2000.
- [4] 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.
- [5] BHA, A Guide to UK Mini-Hydro Developments, The British Hydropower Association, p. 29., 2005.
- [6] IHA, The Role of Hydropower in Sustainable Development, p. 162 International Hydropower Association (IHA), IHA White Paper, 2003.
- [7] 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.
- [8] ESHA, European Small Hydropower Association -info@esha.be, 2008.
- [9] Andersson B. and Haden E., Power Production and the Price of Electricity: An analysis of a phase-out of Swedish nuclear Power, *Energy Policy*, Vol.25, No.13, pp. 1051-1064, 1997.
- [10] R. Bakis, Electricity Production Opportunities from Multipurpose Dams (Case Study), *Renewable Energy*, 32, 1723-1738, 2006.
- [11] F. Adıgüzel, A. Tutuş, Small hydroelectric power plants in Turkey, Hydro 2002, Development, Management Performance, Proceedings, pp. 283-292, Kiriş Turkey, 2002.
- [12] 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.
- [13] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, (<http://www.dsi.gov.tr>), 2008.
- [14] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2008.
- [15] ISHA, International Small Hydro Atlas, (<http://www.small-hdro.com>), 2003.
- [16] IASH, International Association for Small Hydro, (<http://www.iash.info>), 2003.
- [17] WEC., World Energy Council (<http://www.worldenergy.org>), 2008
- [18] WCD., Trend in the Financing of Water and Energy Resources Projects. Thematic Review III.2, Economic and financial issue, p. 67., 2000.

- [19] UNIDO., United Nations Industrial Development Organization (<http://www.unido.org>), 2003.
- [20] EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, (<http://www.eie.gov.tr>), 2007.
- [21] EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, (<http://www.eie.gov.tr>), 2008.
- [22] N. Bakır, Hidroelektrik Perspektifinden Türkiye ve AB Enerji Politikalarına Bakış, ERE Hidroelektrik Üretim ve Ticaret A.Ş. Ankara, 2008.
- [23] 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_a.
- [24] 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_b.
- [25] DSİ, Porsuk-Eskişehir Darıdere Barajı İlave Sahalar Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1986.
- [26] DSİ, Porsuk Eskişehir Projesi Beylikova Depolama Tesisi ve Sulaması Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1983.
- [27] DSİ, Aşağı Porsuk Projesi Şevkatiye-Adahisar Arası Vadi Sulamaları Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1982..
- [28] DSİ, Altıntaş Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1981_a.
- [29] DSİ, Kütahya ve Köprüören Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1981_b.
- [30] DSİ, Porsuk Eskişehir Projesi Porsuk Barajı HES ve Gökçekısıık HES Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1980.
- [31] DSİ, Kütahya-Merkez Söğüt Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1980_c.
- [32] DSİ, Porsuk-Eskişehir Projesi Karakamış Pompaj Sulaması Ön Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1978.
- [33] DSİ, Eskişehir-Alpu Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1977_a.
- [34] DSİ, Aşağı Kuzfındık Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1977_b.
- [35] DSİ, Eskişehir-Alpu Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1977_c.
- [36] DSİ, Altıntaş Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1976_a.
- [37] DSİ, Porsuk-Eskişehir Projesi Planlama Revizyon ve Aşağı Porsuk Vadi Sulamaları Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1976_b.

- [38] DSİ, Altıntaş Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1976_c.
- [39] DSİ, Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1975_a.
- [40] DSİ, Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1975_b.
- [41] DSİ, Musaözü Projesi Planlama Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1973.
- [42] DSİ, Porsuk Enne Projesi Planlama Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1972.
- [43] DSİ, Porsuk-Boğazkaya Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1971.
- [44] DSİ, Akçaköy Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1970.
- [45] DSİ, Eskişehir Çağlayık-Biçer Ovaları Hidrojeolojik Havza Etüd Rapor, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1965_a.
- [46] DSİ, Sakarya Havzası İstikşaf Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1965_b.
- [47] DSİ, Eskişehir Sarısu (İnönü) Ovası Hakkında Hidrojeolojik Ön Rapor, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1962_a.
- [48] DSİ, Eskişehir Sarısu (İnönü) Ovası Hakkında Hidrojeolojik Ön Rapor, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1962_b.
- [49] DSİ, Köprüören Ovası'nın hidrojeolojik durumu hakkında rapor (Kütahya Vilayeti sınırları dahilinde bulunan), 1960_a.
- [50] DSİ, Kütahya Vilayeti sınırları dahilinde bulunan Köprüören Ovası'nın hidrojeolojik durumu hakkında rapor, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1960_b.
- [51] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara, 2007.
- [52] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara, 2002.
- [53] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi, 1996.
- [54] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Kütahya-Çifteler-Bayat-İhsaniye Yöresinin Jeolojisi, 1984.
- [55] MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Ankara ve İzmir paftaları), 1975.
- [56] R. Bakış, Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Yönünden Araştırılması, Araştırma Projesi No.:AUBAP 050247, 255 s., Eskişehir, 2008.

- [57] DSİ, Yılı Program, Bütçe Takdim Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 2004, 2005.
- [58] 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_a.
- [59] 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_b.
- [60] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (<http://dsi.gov.tr>), 2002, 2005, 2008.
- [61] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir. (<http://dsi.gov.tr>), 2007.
- [62] DMİ, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [63] Yanık, B.ve Avcı, İ., Bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi, *İTÜ dergisi/d, Mühendislik*, Cilt:4, Sayı:5, ss. 19-30, 2005.
- [64] M. Bayazıt, Hidroloji, İkinci baskı, İTÜ Matbaası, 155 s., 1979.
- [65] R. Montanari, Criteria for the economic planning of a low power hydroelectric plant, *Renewable Energy*, 28 (2003) 2129–2145, 2003.
- [66] 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.
- [67] R.K. Linsley and J.B. Franzini, Water Resources Engineering, McGraw-Hill Kogakusha LTD, London, 1976.
- [68] K. Yıldız, Hidroelektrik santraller, hesap esasları ve projelendirilmesi. DSİ Barajlar ve HES Dairesi-HES Şube Müdürü, Ankara, 1992.
- [69] 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.
- [70] T.C. Bayındırlık Bakanlığı, 2006-2007. İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, İller bankası
- [71] M.U.Becerik, The Kurtun concrete-faced rockfill dam nears completion. *International Journal on Hydropower & Dams*. Vol. 9, no. 5, pp. 81-83. 2002.
- [72] G. Hunter and R. Fell, Rockfill Modulus and Settlement of Concrete Face Rockfill Dams, *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg.*, Volume 129, Issue 10, pp. 909-917, 2003.
- [73] P. Choi, Design criteria for the Bakun CFRD, *International Journal on Hydropower & Dams*. Vol. 3, no. 6, pp. 36-39, 1996.
- [74] JB. Cooke, Development of the high concrete faced rockfill dam, *International Water Power & Dam Construction*, Vol. 44, no. 4, pp. 7-9, 1992.
- [75] TEMSAN, TEMSAN, Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş., 2005.