



Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Porsuk Havzasında Uygun Baraj Yeri Tespiti ve Bu Barajların Hidroelektrik Enerji Üretimi Yönünden İncelenmesi

Recep BAKIŞ¹

Alper ÇABUK²

Hakan UYGUÇGİL²

Elif GÜMÜŞLÜOĞLU²

¹Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, İkiyül Kampusu, 26470 ESKİŞEHİR

²Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, ESKİŞEHİR

*Sorumlu Yazar

rbakis@anadolu.edu.tr

Özet

Bu bildiriye, Porsuk Havzasının küçük hidroelektrik enerji potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanı Porsuk Havzası seçilmiştir. Araştırmada, Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde yeni planlaması yapılabilecek küçük hidroelektrik santrallerin yapılabilir olup olmadıkları araştırılmıştır. Çalışmada, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) ile 1/25.000'lik vektör ve Raster haritalar kullanılarak, uygun baraj yerlerinin tespiti yapılmıştır. Arazide bu yerlerin topoğrafik, zemin ve jeolojik bakımından uygunluğu incelenmiştir. Bütün Porsuk Havzası dikkate alındığında, Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde planlaması öngörülebilecek 8 adet bölgede, yeni baraj yapımına uygun yerler tespit edilmiştir. Porsuk Havzasındaki toplam su potansiyeli kullanılarak, 5,92 MW kurulu güç ile 24,22 GWh/yıl elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Su kaynakları, Hidroelektrik, Baraj, Porsuk Havzası

Determination of the Suitable Dam Locations in the Porsuk Basin using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) Techniques and Investigation of These Dams with respect to Hydroelectric Energy Production

Abstract

In this paper, the small hydropower potential of the Porsuk River Basin has been investigated. For this purpose, Porsuk River Basin has been selected as the research area. In this research, the feasibility of the possible small hydropower plants that can be planned on the Porsuk Creek and its side branches have been investigated. In this study, the suitable locations of the dams are determined by using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) techniques with the cover of 1/25.000 scale vector and raster maps. The suitability of these locations in terms of topography, soil and geology were investigated on the terrain. When the whole Porsuk River Basin is considered, suitable locations for the constructions of new dams have been determined on the main stream and side branches in 8 possible regions. It has been calculated that 24,22 GWh/yr electricity can be produced with the 5,92 MW of installed power by using the total water potential in the Porsuk Basin.

Keywords: Remote sensing, Water resources, Hydroelectric, Dam, Porsuk Basin

GİRİŞ

Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları, baraj sahalarının belirlenmesinde karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Özellikle, çok sıcak ve çok soğuk hava şartlarında, engebeli ve dik arazi şartlarında, arazinin gezilmesi ve yerinde incelenmesi, ölçümlerin yapılması çok zor ve pahalı bir işdir.

Uzaktan algılama verileri bu açıdan incelendiğinde, havzanın ekolojik, jeolojik ve topoğrafik durumunun belirlenmesinde bir üstünlük sağlamaktadır. Dolayısıyla, fizibilite öncesi çalışmalarda bu yolla elde edilecek veriler büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Baraj sahası araştırmalarında, jeolojik bakımından: sahanın ön araştırması, sahanın detaylı araştırılması ve sahadaki temel tabakaların jeolojik araştırmaları safhalarını kapsar [1,2]. Topoğrafik bakımından ise fizibilite aşamasında: dar vadilerin seçilmesi ekonomik yönden ve su depolama açısından en uygun seçenektir.

Akarsu boyunca, alternatif seçenekler bakımından daha uygun baraj aks yerleri bulunabilir. Bu nedenle araştırmanın en uygun baraj yeri bulununcaya kadar devam ettirilmesi gerekir.

Ön saha araştırması için harcanacak para miktarı, havza ve baraj tipine göre değişir. Deneyimli Hidrolojist, jeolojist ve harita mühendislerinin çalışmalarından gerekli dataları elde edebilmeleri için sarf edilecek para miktarı, baraj maliyetinin %2-3'ü civarındadır. Havzanın uzak ve engebeli olması ve daha önce havza hakkında yeterli bilgi olmaması halinde ise bu rakam %6'ya kadar ulaşabilir. Baraj drenaj alanı, barajın büyüklüğü ve yerine göre saha araştırmaları 3 yıl kadar sürebilir. Bölge halkının görüşü ve çevresel etkiler dikkate alındığında bu süreye 2 yıl daha eklemek gerekir. Ayrıca maliyetlerde bu süreye bağlı olarak artacaktır [3]. Başka bir havzanın seçilmesi halinde de aynı süre, zaman ve paranın harcanması söz konusu olacaktır.

Ülkemizde, hidroelektrik potansiyel belirleme çalışmaları ve analizleri klasik yöntemlerle, devlet kuruluşları (EİE, DSİ) ve özel sektör tarafından zaten yıllardan beri yapılmaktadır [4]. Araştırma ve analiz yöntemlerinin coğrafi bilgi sistemlerine entegre edilmesi ile çalışmalar daha kapsamlı yapılar hale gelmiştir. Bunda, bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme ve donanım yazılım fiyatlarının düşmesinin yanında günümüzde çok fazla mekânsal veri toplanmasının da büyük rolü olmuştur. CBS teknolojisi sayesinde bu verilerin birbirleriyle ilişkilendirilebilmeleri, küresel, ülkesel ve bölgesel çok değişik tipteki problemlerin çözümünde kullanılabilmesi sağlanmıştır [5].

Hidroloji ve su kaynakları çalışmalarında son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile sağlanan uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, Uydu verileri ile yersel ölçümlere göre daha hızlı ve ekonomik çözümler elde edilebilmektedir.

Bu teknolojileri kullanarak, herhangi bir havza üzerinde,

Nehir havzası yönetimi,

Erozyon-sediment tahmini, kontrol ve korunması işlemleri,

İçme suyu, atıksu ve kentsel yağmursuyu şebekesi tasarım ve yönetimi,

Baraj yeri seçimi, kot-alan-hacim eğrilerinin çıkarılması, rezervuar işletmesi,

Su kalitesi modellemesi, gözlenmesi ve yönetimi,

Yeraltı suyu gözlenmesi ve modellemesi,

Taşkın kontrol ve tahmini, taşkın haritalarının hazırlanması,

Su kaynakları planlaması ve yönetimi,

Sulanabilir alanların belirlenmesi, rekolte tahmini, kanal güzergâhı bulunması,

Toprak sınıflandırılması,

Havza için sayısal yükselti modelinin (SYM) çıkarılması,

Nehir sisteminin çıkarılması ve derecelendirilmesi,

Havza sınırının oluşturulması ve özelliklerinin çıkarılması,

Sentetik birim hidrograf çıkarılması,

Değişik hidrolojik modellerin CBS yazılımlarıyla ilişkilendirilerek çalıştırılması,

Arazi kullanımı ve kamulaştırma çalışmaları, yapılabilmektedir [4, 6-8].

Su kaynakları çalışmaları konusunda dünyada ve ülkemizde bu teknolojiler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle dağlık ve ulaşılması mümkün olmayan bölgeler ve havza analizinde veri elde edilebilmesi için çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir,

Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) olmayan havza akımlarının belirlenmesi için, Solaklı havzasının arazi karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla IRS P6, IRS P5 uydu verisi kullanılmış ve bölgeye ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM veya DEM) çıkarılarak havzanın akış yönü ve yüzey akış haritaları, CBS yazılımında analiz edilmiş ve havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur. Topografik parametreler ve eşyağış eğrilerinden elde edilen ortalama alansal yağış bilgileri çoklu regresyonla elde edilen akım denkleminde kullanılarak istasyon noktalarına ait akım

değerleri hesaplanmıştır. Uzaktan algılama uygulamaları bu konuda geniş bir alan bulmuştur. [8, 9].

Porsuk Havzası 11113,66 km²'lik bir alana sahiptir. Havzada ortalama yağış yüksekliği 451 mm ve havzanın toplam yıllık su potansiyeli 481 hm³'tür. Bu nedenle, havzada, kurulu gücü büyük olan santrallerin çalışması için yeterli hidrolik potansiyel mevcut değildir. Havzada, UA ve Sayısallaştırılmış haritalar kullanılarak, küçük hidrolik santrallerin kurulması bakımından 8 noktada, küçük Hidroelektrik Santrallerin (KHES) kurulabileceği bildirilmiştir [10].

Galyan vadisinde yer alan Atasu barajının CBS ortamında heyelana duyarlı alanların, eğim grupları ve kirlenmeye maruz kalabilecek risk bölgelerine ait parametrelerin tespiti yapılmıştır [11].

Karen (Kahramanmaraş Elektrik Üretim A.Ş.) tarafından Karaman ili, Ermenek ilçesi sınırları içerisinde yer alan, Balkusan Deresi üzerine; Balkusan I HES ve Balkusan II HES Barajlarının planlanmasında yine UA teknikleri kullanılmıştır [12].

Türkiye'nin kuzey doğusunda yer alan Karasu Havzasında, dağlık arazilerin, karla kaplı alanları ve albedo verilerinin MODIS uydu verileri ve yer gözlem verileriyle karşılaştırılarak yorumlanması, ayrıca, Uydudan Tespit Edilen Karla Kaplı Alanların Hidrolojik Modellemede Kullanım çalışmaları, UA teknikleri ile belirlenmiştir [13, 14].

Nepal, çok dağlık ve yağışı bol olan bir bölgedir. Burada uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) faydalanarak, kırsal alanlardaki HES'lerin geliştirilmesine devam edildiği bildirilmektedir [15].

Güney Afrika'da, hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi için dijital harita eğimleri ve akış tahminleri kullanılmıştır. Değişken katsayılar ve düşük akım indexleri, akım ölçümleri ve riski konusunda iyi çözümler elde edilmiştir. Kullanılan metodoloji ile küçük ve büyük ölçekli hidroelektrik potansiyellerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile hızlı belirlenmesine olanak sağlamıştır. Çok dik, nemli ve kayalık bölgelerde CBS metodu kullanılmıştır [6].

Zap Havzasına yakın olan Kuzey Irak bölgesinde, yeraltı suyu kullanımı ile ilgili çalışmalarda, CBS teknolojisi uygulanmıştır. Bu çalışmalarda, mevcut yeraltı suyu akımı araştırılmış ve yeraltı suyunun içme-kullanma ve sulama amaçları değerlendirilmiştir [16].

Yine güney sınırlarımıza yakın inşa edilen Bekhme barajının incelemesi CBS sistemleri ile yapılmıştır [7]. Bekhme barajı, Büyük Zap Suyu üzerinde inşa edilmiş bir barajdır.

Irak'ta su yönetimi, tamamen UA ve CBS yöntemlerle analiz etmektedir. Özellikle Fırat ve Dicle nehirlerinden gelen suların kontrolü, dağıtım ve baraj planlamalarında bu yeni teknolojiler kullanılmaktadır. Bu çalışmalar aynı zamanda Zap suyunu da kapsamaktadır [17].

İtalya'da, akarsu debilerinden daha iyi faydalanmak için akarsuların debi-süreklilik ilişkisi ve küçük hidroelektrik enerji üretimini geliştirmek için UA ve CBS sistemlerini tek havza üzerinde uygulamışlardır [18].

İran'da, Zayand-e-Rood havzasının alt havzası olan Pelasjan havzasında kar erimesi ile oluşan akışlar, UA ve CBS sistemleri ile modellemesi yapılmıştır [19].

Tayland'ın kuzeyinde, nehir tipi hidroelektrik tesislerin tasarımı için UA ve CBS sistemleri kullanılmıştır [20].

Etyopya'da, su kaynaklarının kullanımı ve havza bütününde değerlendirilmesi için yapılacak yeni barajların yeni bir yaklaşımla planlaması gerektiği vurgulanmış ve çalışmalarda UA ve CBS yöntemlerine vurgu yapılmıştır. Su, Etiyopya için çok önemli olduğundan, çalışmaların çevre ile beraber değerlendirilmesi ve çalışmaların CBS kullanılarak havza modellemesi ile yapılması kararlaştırılmıştır [21].

Uganda da, küçük hidroelektrik potansiyellerin kurulması için havza araştırmaları, UA VE CBS ile yapılmıştır [22].

Hindistan'da, himalaya dağlarındaki akım gözlem istasyonu olmayan havzalarda küçük hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi için UA teknikleri kullanılmıştır. Özel sektör tarafından su kaynaklarının geliştirilmesi için elinde yeterince veri olmadığı dolayısıyla çalışmaların, bu yöntemle, sektöre yardımcı olacağı vurgulanmıştır [23].

Himalya dağlarında, Sutlej Nehri ve yan kolları üzerinde, yükseklik ve bitki örtüsü hakkında dijital veriler elde etmek ve bu verileri kullanarak yağışın havza üzerinde dağılımını bulmak için uzaktan algımla ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılmıştır. Bu model çalışmanın sonunda havzada oluşacak erozyon, bulanık mantık ile ilişkilendirilerek araştırılmıştır [24].

Görüldüğü üzere, dünyanın pek çok ülkesinde ve ülkemizde, su kaynaklarının analizi ve kontrolü, arazi sınıflandırması vs. amacıyla UA ve CBS'nin sunmuş olduğu olanaklar nedeniyle kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır.

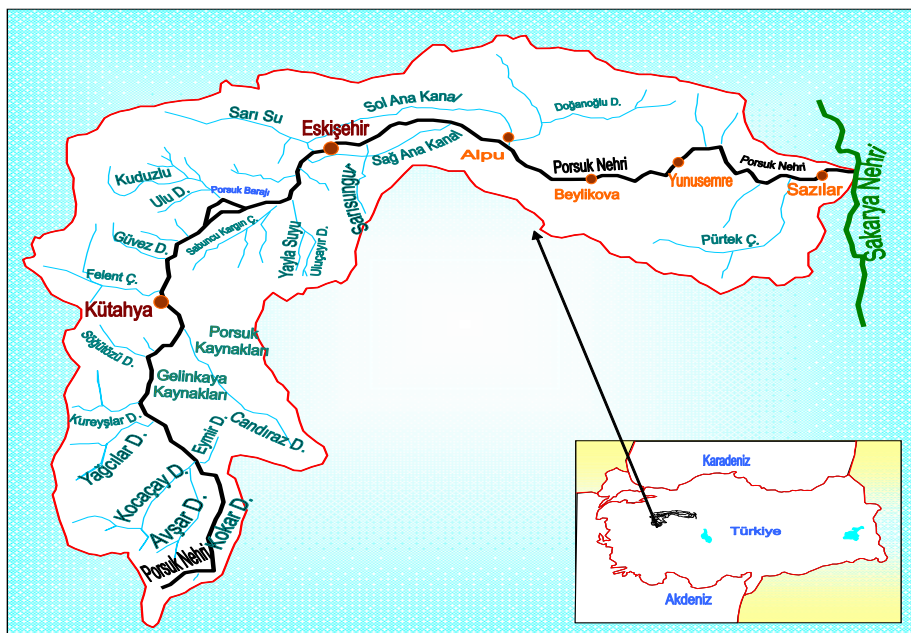
Bu bildiriye, Porsuk Havzasının sahip olduğu Küçük hidroelektrik enerji potansiyeli araştırılmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için havzada seçilecek baraj aks yerlerinin UA, sayısal haritalar ve CBS teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Böylece büyük bir alan incelenmiş ve zamandan büyük tasarruf sağlanarak uygun olabilecek baraj yerleri belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

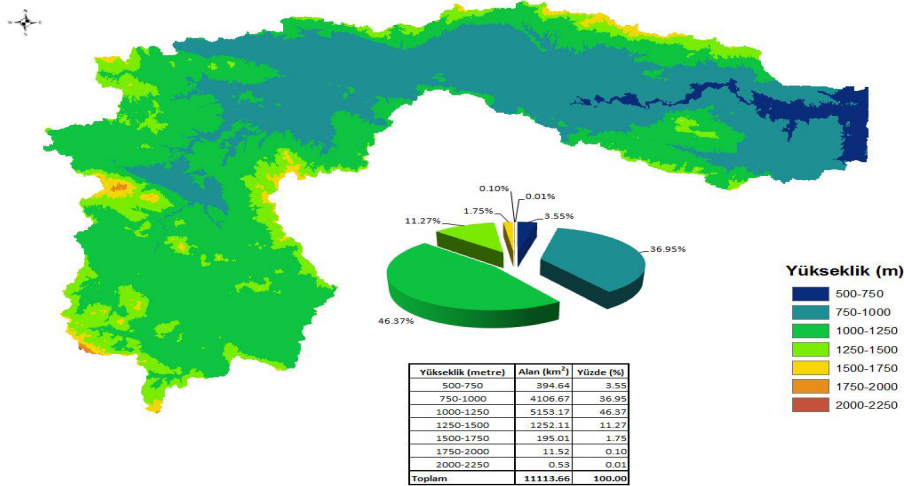
Bu çalışmada 21 adet Aster 3A uydu görüntüsü, 1/25000 ölçekli 112 adet sayısallaştırılmış (Vektör) harita ve 112 adet topoğrafik (Raster) harita kullanılmıştır. Haritalar, Harita Genel Komutanlığından (HGK) temin edilmiştir. Porsuk Havzasında bulunan Porsuk Çayı ve yan kolları üzerinde kurulu Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ), uzun yıllara ait ölçüm verileri, DSİ III. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Uydu görüntüleri ve sayısal haritalar, Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsünde değerlendirilmiştir. Çalışmalarda Erdas 8.6 uydu görüntüsü işleme programı ve ArcGIS programı 9.3 ile haritalama, coğrafi analizler, veri hazırlama, veri yönetimi ve görüntüleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

ARAŞTIRMA ALANININ TANITILMASI

Araştırma alanı Porsuk Havzasıdır. Porsuk Havzası, Sakarya Havzasının bir alt havzası olup, kuzeybatı Anadolu'da 11113,66 km²'lik bir alan 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 436 km yol kat ettikten sonra, Sazılar mevkiinde, 660 m kotunda, Sakarya nehrine dökülür. Porsuk Havzasının uzun süreli yıllık ortalama yağış yüksekliğinin 451 mm olması nedeniyle, su potansiyeli azdır. Havzanın toplam yıllık su potansiyeli 481 hm³'tür [25, 26]. 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.



Şekil 2. Porsuk Havzası yükseklik haritası

Porsuk Havzasının Karakteristik Özellikleri (Mekânsal Analizi)

CBS, coğrafi sorgulamalarda çok sayıda veriyi sentezleme yeteneği, koordinat sistemlerine dönüştürülebilirlik özelliği, ampirik ve istatistiksel modeller uygulayarak nesnelere arasındaki coğrafi ilişkileri gösterme özelliğine sahiptir.

Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) yararlanarak, yükseklik, eğim, bakı ve diğer üç boyutlu haritalar üretilebilmektedir. Porsuk Havzası alanını kapsayan yüzey modellerinin oluşturulmasında, HGK tarafından üretilmiş 1/25000 ölçekli 112 adet sayısal topografik harita ve sayısallaştırılmış eşyüksekti verileri kullanılmıştır. Yüzey modellemelerinde CBS programlarından ArcInfo 9.3.1 yazılımı kullanılmıştır.

Porsuk Havza alanını kapsayan, HGK tarafından hazırlanmış, Datum European Datum 1950 (ED50) zon utm 38 projeksiyon sisteminde sayısallaştırılmış 112 paftaya ait eşyüksekti verileri ArcInfo Coğrafi bilgi sistemi programına aktarılarak shp formatında birleştirilmiştir. Koordinatlı ve yükseklik verisine sahip vektör veriden süreklilik gösteren yüzeylerin raster olarak gösterimine alternatif bir veri modeli biçimi olan TIN (Triangulated Irregular Network) modeli oluşturulmuştur. Elde edilen TIN modelinin, yüzey analizleri için uygun olmaması sebebiyle kare grid şeklindeki raster modeline (SAM) dönüştürülmüştür. Raster veri (SAM) çalışma alanı olan havza sınırlarında kesilerek havza sınırları elde edilmiştir. TIN modelinin oluşturulmasıyla birlikte z yükseklik

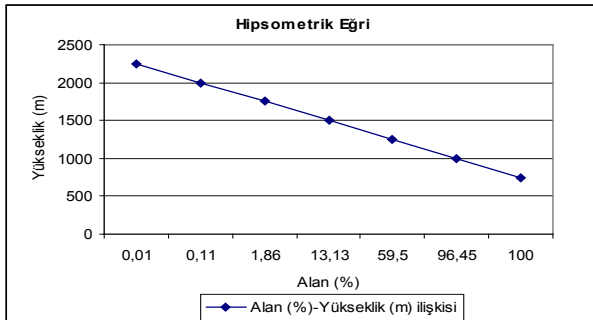
değeri kullanılarak enterpolasyon yöntemi ile eşyüksekti eğrilerinin üretimi ve yükseklik değişim bölgelerinin oluşumu, eğim ve bakı hesaplamaları, yüzey alanları ve yüzey uzunluklarının bulunması, yüzey profilinin üretilmesi gibi birçok analize altlık sağlamıştır.

Yükseklik haritası

Mevcut SAM raster haritası kullanılarak 250 m'lik aralıklarla yükseklik haritası üretilmiştir (Şekil 2). Havzada yükseklik modelinden sorgulama yapılarak yükseklik alan verileri elde edilmiştir. Porsuk Havzası 500 m ile 2250 m kotları arasında değişen yükseltilere sahiptir. Havzada ağırlıklı olarak 750-1000 ve 1250-1500 arasında değişen yükseklikler hâkimdir. Bu yükseklik aralığı bölgenin 4106 ve 5153 km²'lik alanını oluşturmaktadır. Bu da toplam Porsuk Havzasının yaklaşık % 83.31'lik bölümünü temsil etmektedir. Havzaya ait hipsometrik eğri (yükseklik-alan değişimi) Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'e göre Porsuk Havzasının %50'si 1200 m'den yüksektir.

Eğim haritası

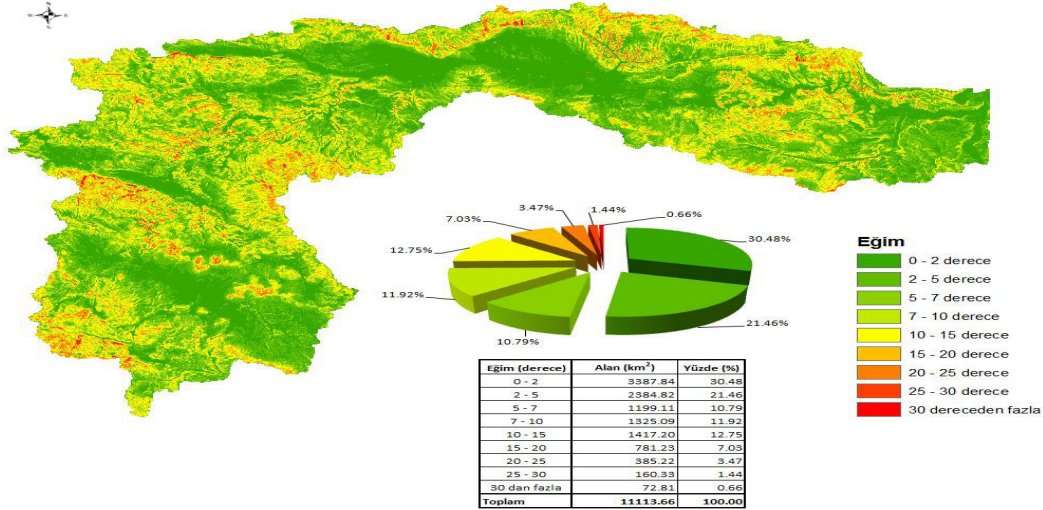
Porsuk Havzasında, Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılarak, düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjant açısıyla ifadesi olan derece cinsinden eğim hesaplaması yapılmıştır. Dokuz sınıf oluşturulmuş ve her bir sınıf aralığına düşen eğim yüzeylerinin alanları ve bu alanların yüzdelik dilimleri hesaplanmıştır (Şekil 4). Çalışma alanının toplam yüzey alanı 11113,66 km² ve bölgenin eğimi azdır. Bölge genel olarak 15 derece



Şekil 3. Porsuk Havzası Hipsometrik eğrisi

Tablo1. Yüzeyin kuzeyle yaptığı açı

Yön	Azimet (Derece)	Yön	Azimet (Derece)
Düz Alan	-1	Güney	157,5 -202,5°
Kuzey	0 - 22,5°	Güneybatı	202,5 - 247,5°
Kuzeydoğu	22,5 - 67,5°	Batı	247,5 - 292,5°
Doğu	67,5 - 112,5°	Kuzeybatı	292,5 - 337,5°
Güneydoğu	112,5 - 157,5°	Kuzey	337,5 - 360°



Şekil 4. Porsuk Havzası eğim haritası

eğimden düşük eğime sahiptir. Porsuk Havzasının %1,44'lük bölümü olan yaklaşık 160,33 km²'lik alanın eğimi, 30° derecenin üzerinde bir topografyaya sahiptir.

Bakı haritası

Yüzeyin kuzeyle yaptığı coğrafik açı değerindedir. Bir başka ifade ile yüzeyin 0° dan 360° a kadar sıralanan pusula yönleridir. Kuzey 0°dır ve saat yönünde, 90 doğu'dur, 180 güney'dir, ve 270 batı'dır (Tablo 1). Eğim derecesi 0 olan düz olanlar -1 değeri ile temsil edilir. Çalışma alanının yaklaşık 3790,96 km² 'sini güney, güneydoğu ve güneybatı'ya bakan yamaçlar oluşturmaktadır (Şekil 5).

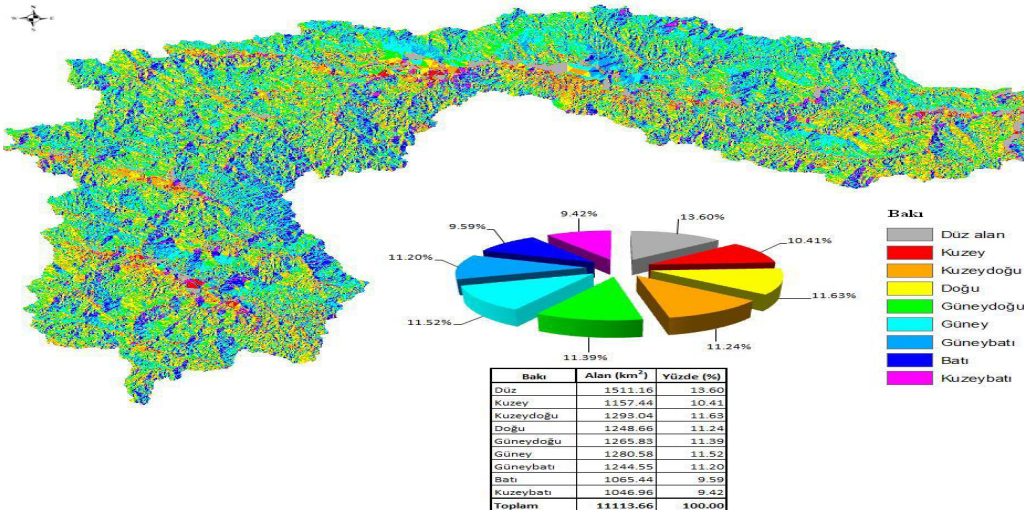
Porsuk Havzasındaki Akarsular, Genel Jeolojik Durumu ve Toprak sınıflandırması

Porsuk Çayı, Porsuk Havzasının ana koludur. Porsuk Çayının başlıca yan kolları şunlardır: Kokar Çayı, Çat Deresi, Felent Çayı, Kargın Deresi, Sarısu Deresi, Mihaliççik Deresi ve Pürtek Deresi'dir (Şekil 1).

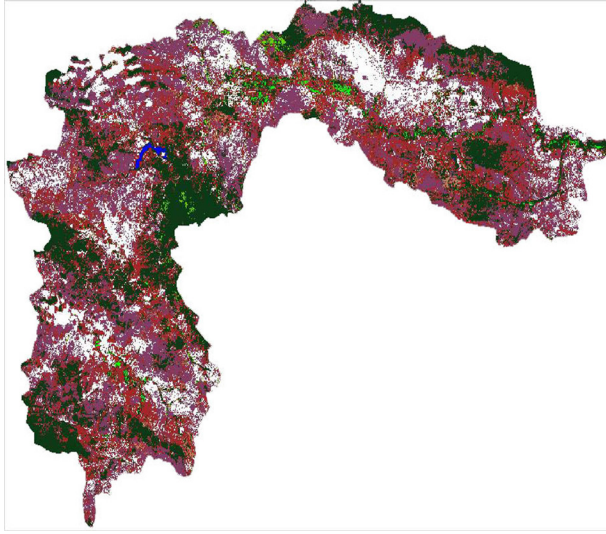
Bu çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntüleri ile havzanın jeolojik yapısı belirlenmiştir. Porsuk Havzasının geneli için, DSİ ve MTA'nın harita ve raporlarından da faydalanılmıştır. Jeolojik çalışmalar MTA Genel

Müdürlüğü tarafından, hidrojeolojik çalışmalar ise DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış ve yayınlanmıştır [25-41]. Baraj planlaması için öngörülen baraj yerlerinin jeolojik yapısı hakkındaki bilgiler, uydu görüntülerinden (Şekil 6) ve 1/500.000 ölçekli sayısallaştırılmış Türkiye jeoloji haritasından (Şekil 7) alınmıştır. 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. Senozoyik üst sisteminde, daha çok kırıntılardan oluşmuş çökel birimler hakimdir. Bütün bu birimler akarsu vadisi, ovalar ve yamaçlar üzerlerinde güncel çökeller ile örtülmüşlerdir. Bölgede farklı zamanlarda gelişmiş magmatik etkinlikle granitik sokulumlar, volkanik lav ve piroklastiklerin oluşturduğu birimleri de görmek mümkündür.

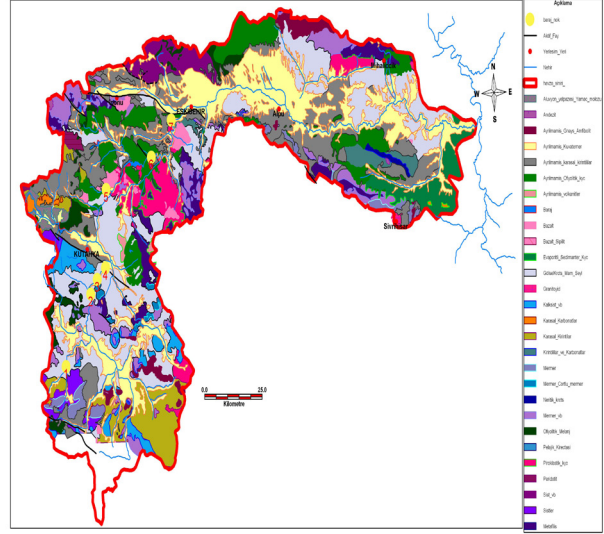
Havzaya ait genel zemin sınıflandırması, uydu görüntülerinden tespit edilerek Şekil 8'de verilmiştir. Orman sınıfı, 1 ve 2. satırda ince ve geniş yapraklı ormanların toplam alanı 279502+11273=290775



Şekil 5. Porsuk Havzası bakı haritası



Şekil 6. Porsuk Havzası Uydu görüntülerine ait jeolojik yapı



Şekil 7. 1/500.000 Ölçekli genel jeoloji haritası [38].

ha=2907.75 km²; tarla sınıfı 3, 4 ve 5. satırlarda görülen araziler 4473.9+284086 +22783.3=311343.2 ha (=3113.43 km²); kaya sınıfı (sağlam kaya ve kireç taşı) 6 ve 7. satırlarda 320046+196551=516597 ha (=5165.97 km²); su alanları 8. satırda 1513.64 ha (=15.13 km²)'dir. Hepsinin toplamı alanı, havza alanı olup, 11202.28 km²'dir. Oysa, havza alanı gerçekte 11113,66 km²'dir. Aradaki fark uydu görüntülerinin havza sınırları ile tam rektifiye edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu kadar büyük bir coğrafyada hata mertebesi yaklaşık 0.0079'dır. Bu hata mertebesi %0,79 olup kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Porsuk Havzasının Deprem ve Hidrojeolojik Durumu

Porsuk Havzası, "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. Uygulamada, seçilecek baraj yerleri ve barajların statik hesabında deprem durumunun ayrıca dikkate alınması ve hesapların ayrıntılı yapılması zorunludur.

Porsuk Havzasında jeolojik birimler, ovalar ve kaynaklar, 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 [26-41].

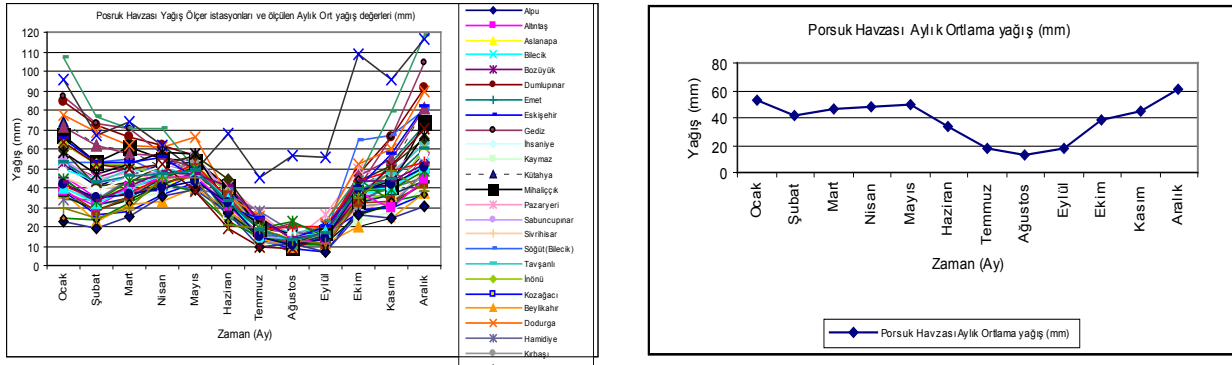
İklim ve Su Kaynakları

Akım Gözlem İstasyonları ve İklim karakteristikleri

Porsuk Havzası sınırları içinde kalan ve çalışma alanını kapsayan alanda, 44 adet Meteoroloji Gözlem istasyonuna (MGİ) ait veriler, Porsuk Havzası su potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu istasyonlarda uzun süreli ölçülen her aydaki ortalama yağışlar (mm) Şekil 9'da, verilmiştir. Porsuk Havzasında, kışlar sert, uzun ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak geçer. Porsuk Havzasının yağış alanı Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgeleri arasında oluşan bir geçiş

Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names	Area
0	75873083		0	0	0	0	Unclassified	1.70714e+006
1	12422295		354902	27451	31961	1	orman1	279502
2	501019		407843	19608	0	1	orman2	11272.9
3	198840		0	1	0	1	tarla1	4473.9
4	12626042		343137	56863	56863	1	tarla2	284086
5	1012590		72549	17647	34706	1	tarla3	22783.3
6	14224279		509804	43137	0.4	1	kaya1	320046
7	8735621		1	1	1	1	kaya2	196551
8	67273		0	0	1	1	su	1513.64

Şekil 8. Uydu görüntüsü analizlerine göre Porsuk Havzasındaki zemin sınıflandırması



Şekil 9. Porsuk Havzası yağış alanı ve civarındaki DMİ/DSİ meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık ortalama ve yıllık ortalama yağış değerleri (mm).

bölgesindedir. Genellikle İç Anadolu bölgesi yağış rejimi hâkimdir. 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.

Yağışlar ve Meteoroloji istasyonları

Porsuk Havzası yağış alanı ve civarındaki Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (MGİ) ait aylık ortalama toplam yağış değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir [10, 39-42]. Porsuk Havzası'na ait yağışların %34'ü kış, %31'i ilkbahar aylarında düşmektedir. Baraj planlamalarında ve baraj inşaatı sırasında mevsimsel yağış dağılımının bilinmesi istenir. Bu nedenle, Porsuk Havzasına ait MGİ'lerinin mevsimlik yağış dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Marmara ikliminin etkisi altındaki İnönü Ovası ve Sarısu havzası, 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 Havzasında yağışölçer Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının sayısı 24 tanedir. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 20 adet meteoroloji gözlem istasyonunda yağış gözlemi ve 9 adedinde yağış gözlemlerinin yanı sıra buharlaşma gözlemi de yapılmaktadır [39-42]. Yıllık ortalama yağış yüksekliği, Eskişehir'de, 367,7; Kütahya'da 565,3 mm'dir.

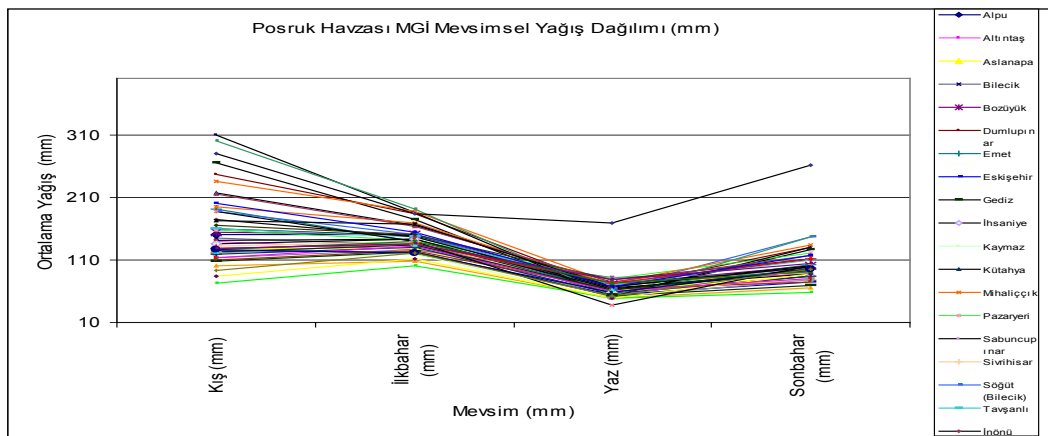
Sıcaklık ve Buharlaşma

Araştırma sahasında İç Anadolu'nun karasal iklimi hâkimdir. 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 11'de verilmiştir. Havza içinde yıllık ortalama sıcaklıklar 8.8 °C ile 12.3 °C arasında değişmektedir.

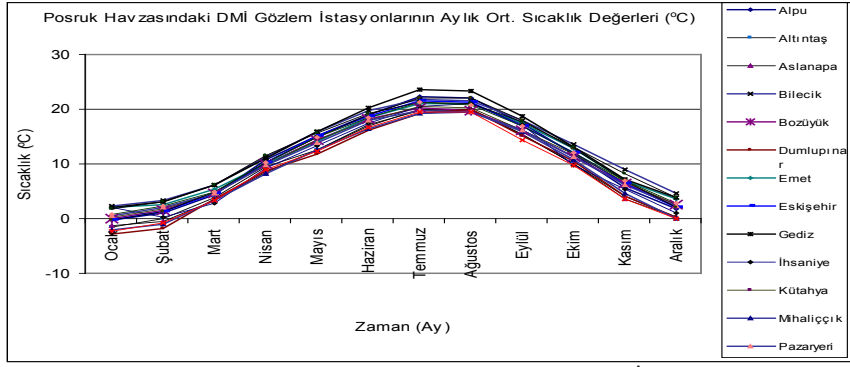
Porsuk Havzasında yuvarlak tava ile buharlaşma gözlemi yapan MGİ'lerinin aylık toplam buharlaşma değerleri Şekil 12'de verilmiştir. Buharlaşma, en fazla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelmektedir [39-42]. Temmuz ve Ağustos aylarında, sıcaklık artışına paralel olarak buharlaşma kayıplarının daha da arttığı görülmüştür. Yıllık toplam buharlaşma miktarı Eskişehir'de ortalama 1218,9 mm ve Kütahya'da 786,5 mm olmaktadır.

Havzada Hidroelektrik Enerji Üretimi İçin Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

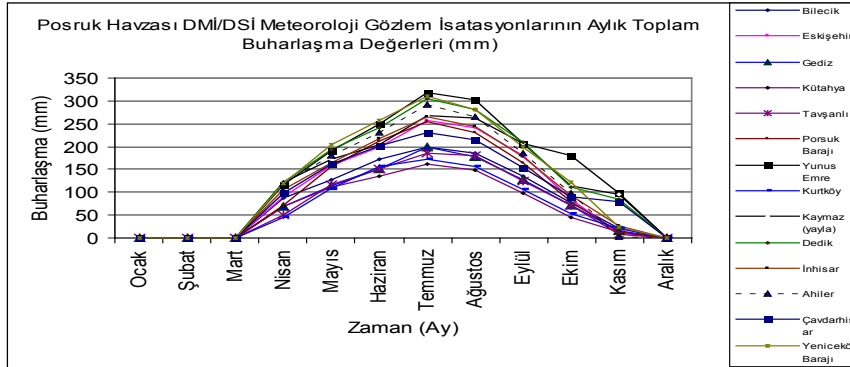
Porsuk Havzasında, "Porsuk Eskişehir Projesi, Porsuk Barajı HES ve Gökçekısık HES Planlama Çalışmaları" adı altında 1980 yılında DSİ III. Bölge Müdürlüğü tarafından bir planlama çalışması tamamlanmış, ancak uygulanmamıştır. Bu planlama çalışmasında, Porsuk barajından 2 MW kurulu gücünde ve toplam üreteceği yıllık enerji miktarı yaklaşık 20 GWh olan bir santralin kurulması, ayrıca, bu santralin kuyruk suları tekrar



Şekil 10. Porsuk Havzası yağış alanı ve civarındaki MGİ'lerinin mevsimsel yağış dağılımları.



Şekil 11. Porsuk Havzası yağış alanı ve civarındaki DMI meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri (mm).



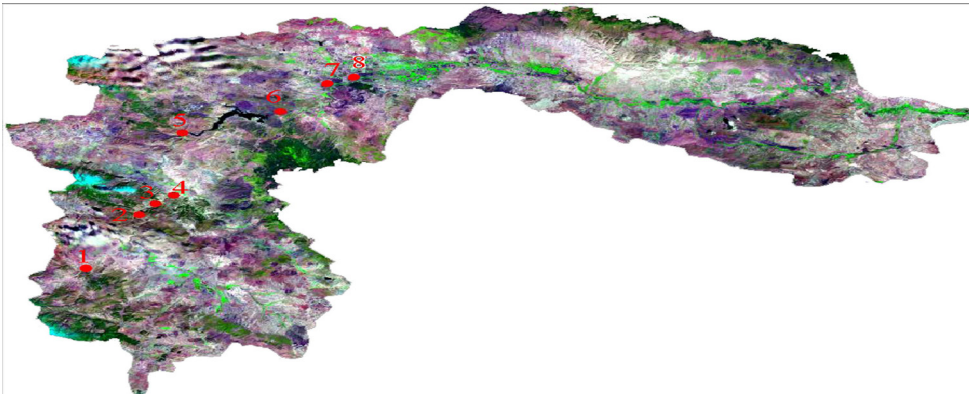
Şekil 12. Porsuk Çayı yağış alanı ve civarındaki DMI/DSİ meteoroloji gözlem istasyonlarının aylık toplam buharlaşma değerleri (mm).

alınarak, bir iletim kanalı ile 18 km ileride düşürüleceği bir nehir santrali inşasını (Gökçekısık HES 817 m kotu) kapsıyordu. Nehir tipi santralin kurulu gücü de 2 MW ve toplam üreteceği yıllık enerji miktarı, 9.03 GWh olacaktır [31].

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 debi ile akarsudan daha fazla enerji üretilmektedir [43]. Bu amaçla, Porsuk Havzasında, topoğrafik bakımından baraj yapımına uygun, su depolama yeteneği olan vadilerin baraj aks yerleri araştırılmıştır. Uygun bulunan

aks yerlerinin teknik ve ekonomik bakımından baraj yapımına uygun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmada, Ofis çalışmalarına müteakip arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, uydu görüntüleri ve 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 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 alanlar'a ve yönetmeliklere bağlı kalınmıştır.



Şekil 13. Planlaması düşünülen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajların (uydu görüntüsü ve koordinatları kullanılarak) Porsuk Havzasındaki konumları.

Projelendirmede İzlenen Yöntem

Akım verileri ve Porsuk Havzasında hidroelektrik enerji potansiyelinin incelenmesi

Şekil 13'te, planlaması uygun bulunan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajların yerleri, uydu görüntüsü ve koordinatları (Tablo 2) kullanılarak Porsuk Havzasındaki mevcut konumları gösterilmiştir.

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 yılların aylık ortalama akım verileri (m^3/s) kullanılmıştır. Aylık ortalama akımlar kullanılarak, her bir baraj için debi-zaman ve debi-süreklilik eğrileri aylık ortalama debilerden elde edilmiştir. 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 (debi zaman grafiği) faydalanılarak debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak düşey ekseninde debiler, yatay ekseninde zaman yüzdeleri taşınırsa debi süreklilik eğrisi elde edilir. Bu eğrilerden faydalanarak, güvenilir (firm) güç hesaplarında, yılın %50'sinde var olan debi esas alınabilir [43-47, 50-52].

Araştırmada, Porsuk Havzasının 1/25.000'lik haritaları üzerinde, mevcut akarsular ve bu akarsular üzerinde yapılması öngörülen baraj yerlerinin ön çalışmaları yapılmıştır (Şekil 14).

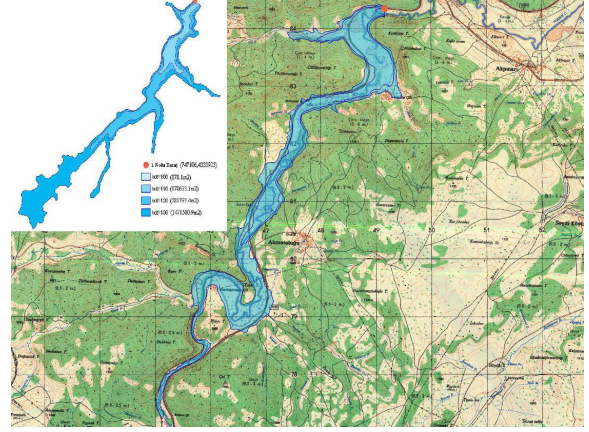
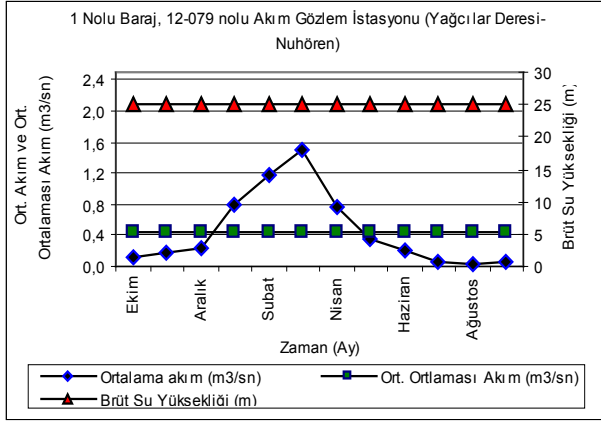
Porsuk Havzasında toplam 8 noktada baraj planlaması için uygun yerler tespit edilmiştir. Baraj yerlerinin mevkileri, buldukları paftalar, koordinatları, planlanan yükseklikleri ve kret uzunlukları, Tablo 2'de verilmiştir. Bütün bu değerler, GPS, uydu görüntüleri ve 1/25.000'lik haritalardan ve oluşacak göl suyu seviyelerinin kotları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Planlaması düşünülen baraj yerleri genelde, Porsuk Havzasının üst kotlarında bulunmaktadır.

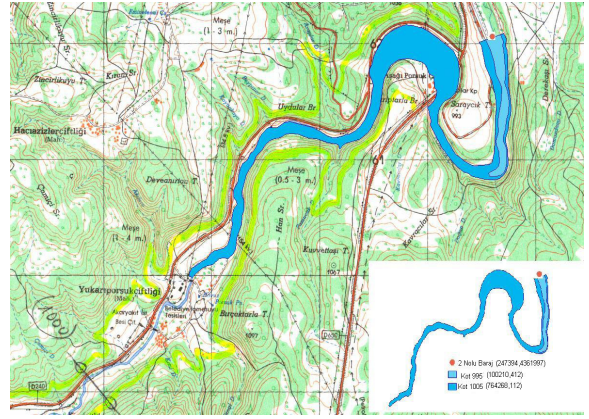
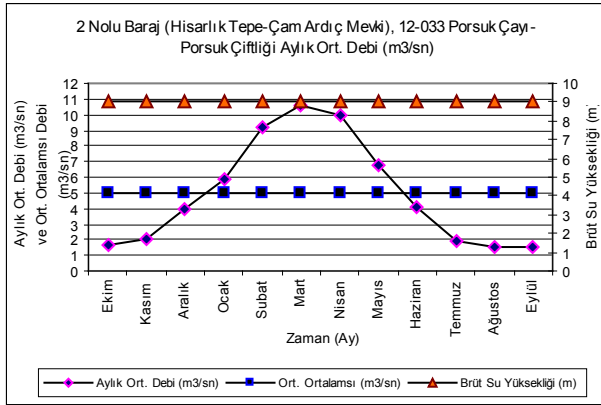
Şekil 14'te, sol tarafta her bir barajın no'su, aylık ortalama akımı, Ort. Ortalaması akım ve baraj brüt yüksekliği verilmiştir. Aynı şeklin sağ tarafında, baraj yüksekliğine göre oluşacak göl suyu alanı ve suyun basacağı topraklar haritalar üzerinde gösterilmiştir. Planlanan barajların giriş akımlarına ait uzun süreli yılların, aylık ortalama akımları (m^3/s) alınmıştır. Yıllık bazda, ortalama aylık debilerin, debi-zaman eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerden faydalanarak, güvenilir (firm) güç hesaplarında, zamanın %50'sinde var olan debi esas alınmıştır [44-48, 49]. Güvenilir olmayan (Sekonder) güç ise zamanın geri kalanında var olan debi varsayılmıştır.

Tablo 2. Porsuk Havzasında planlaması uygun bulunan barajlara ait pafta numaraları, koordinatları, yerleri ve özellikleri

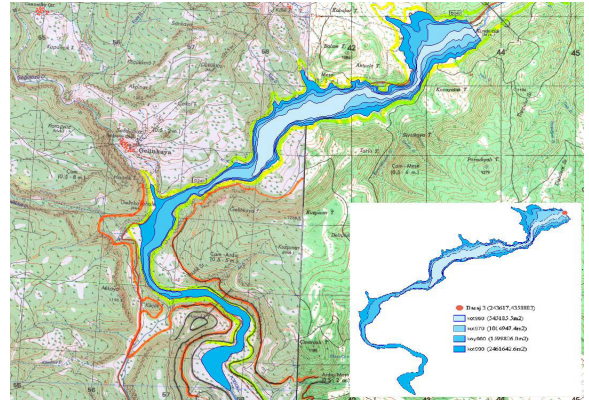
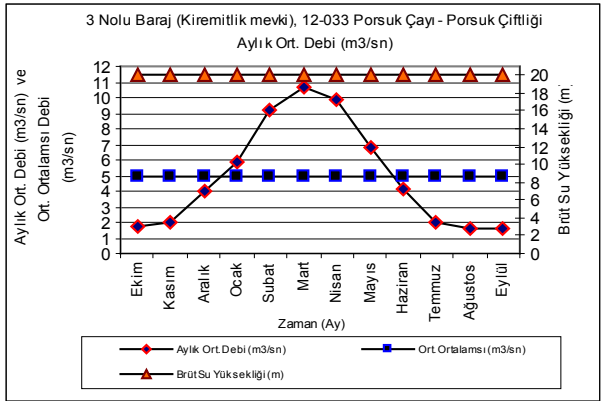
Baraj Adı (No'su)	Bulunduğu Pafta	Mevki	Koordinatları	Düşünülen Kret kotu (m)	Akarsu talveg kotu (m)	Yaklaşık Baraj Yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)
1	Kütahya J23-c4	Gurbetmeazarıkaşı sırtları-Damlaca sırtları	29°51.458D 39°07.059K	1130	1097	33	200
2	Kütahya J23-b3	Hisarlık Tepe-Çam Ardıç	29°59.164D 39°18.197K	1005	995	10	180
3	Eskişehir J24-a4 ve J23-b3	Kiremitlik mevki	39°20.386 K 30°01.487D	990	967	23	380
4	Eskişehir J24-a4 Eskişehir J24-a1	Saraycık Tepesi-Derekaşı Sırtları	39°22.135 K 30°04.046D	950	930	20	200
5	Eskişehir İ24-d4	Yaylakaya Sırtları-kaldırım Tepesi	39°34.230 K 30°04.773D	910	892	18	250
6	Eskişehir J24-d4, Kütahya J23-c3 ve Uşak k23-b2	Akçaköy civarı	30°02.495D 39°03.527K	1052	1027	25	300
7	Eskişehir İ24-c1 ve İ24-c2	Gökçekısıık 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



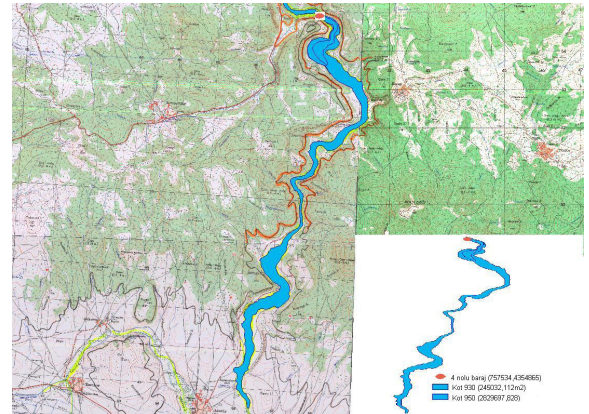
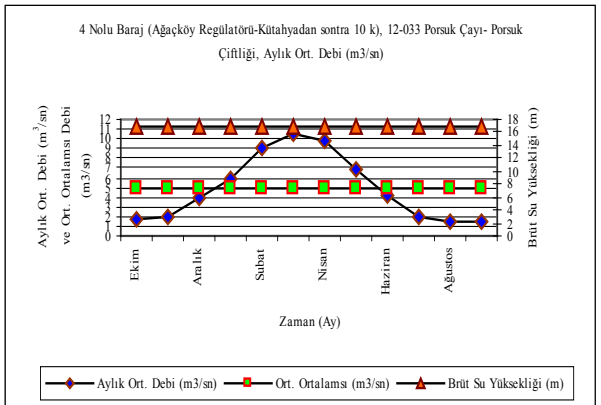
1 Nolu Baraj



2 Nolu Baraj

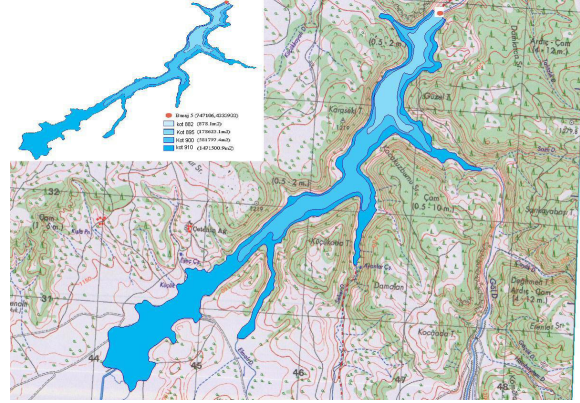
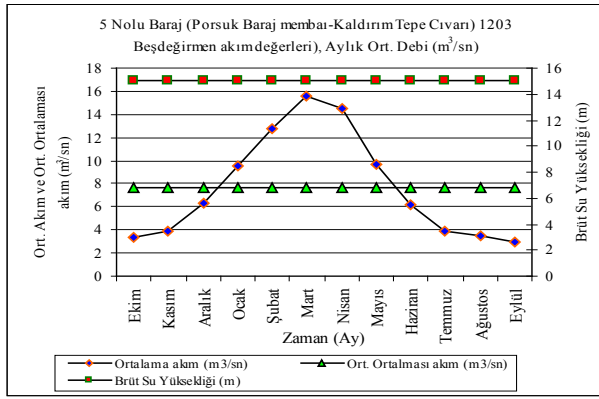


3 Nolu Baraj

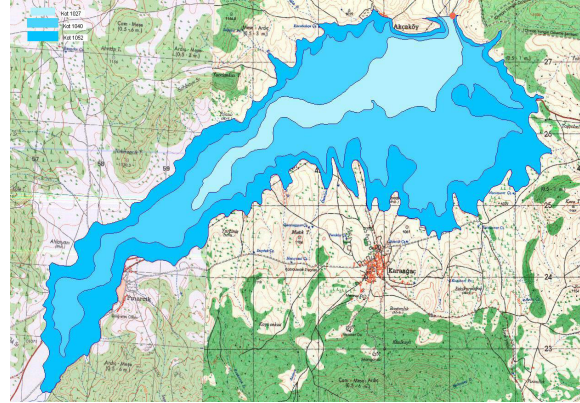
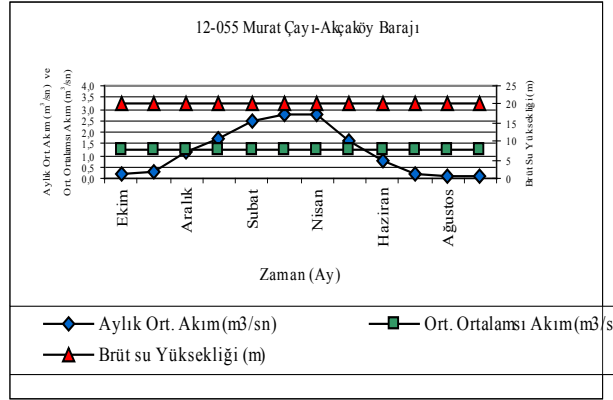


4 Nolu Baraj

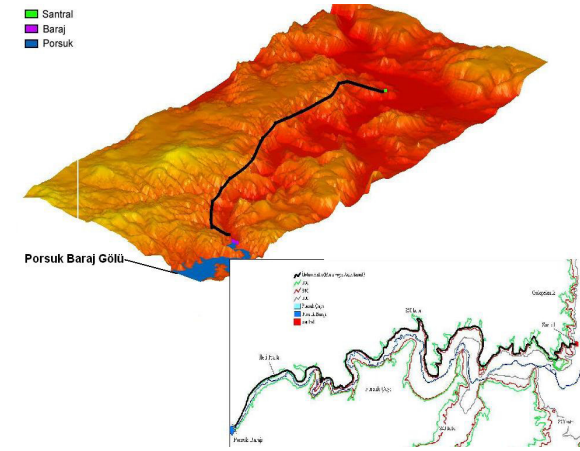
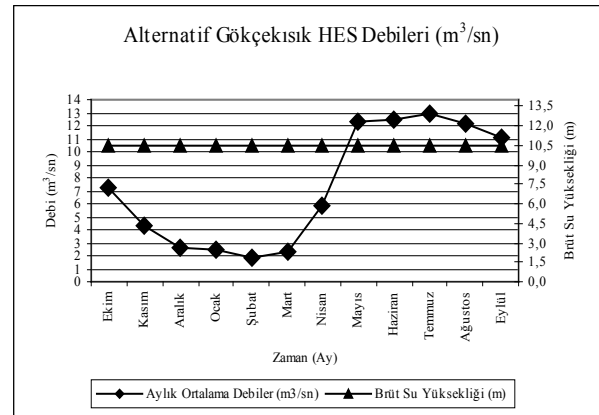
Şekil 14. Porsuk Havzasında 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/s), haritadaki konumları ve rezervuar göl alanları



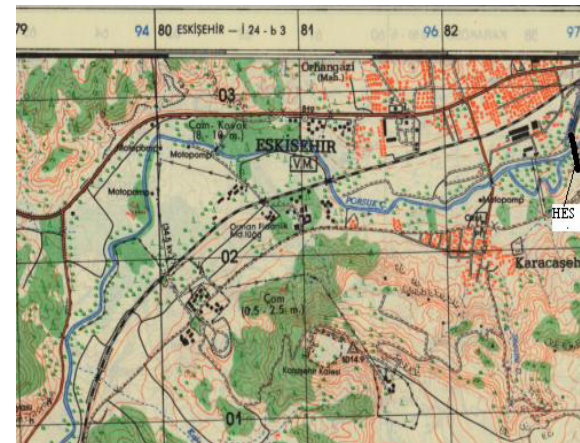
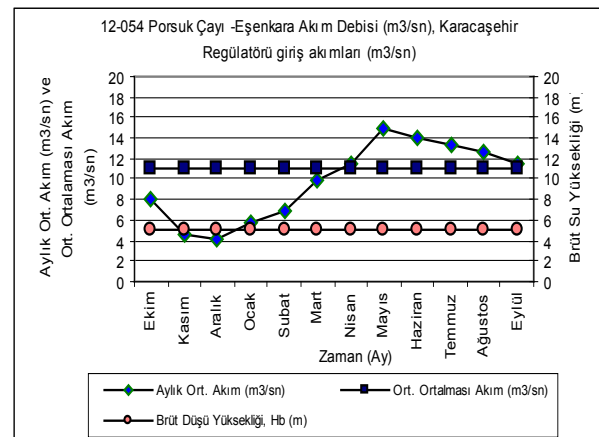
5 Nolu Baraj



6 Nolu Baraj



7. Nolu (Gökçekışık) Baraj



8 Nolu (Karacaşehir) Baraj

Şekil 14. Porsuk Havzasında 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu barajlara ait uzun süreli akım değerleri (m³/s), haritadaki konumları ve rezervuar göl alanları

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/s); Suyun birim hacim ağırlığı, g (kg/m³); Net düşü yüksekliği, H_N (m); Toplam kayıplar, DH (m); Türbin verimi, h_t (%); Jenartör verimi, h_g (%); Trafo verimi, h_r (%)’nin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, genel olarak sudan elde edilecek enerji miktarı aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [46, 47, 51-53].

$$N = \frac{\eta \cdot \gamma \cdot (H_b - \Delta H)}{75} \quad (\text{Buhar Beygiri=BB})$$

veya

$$N = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_N \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

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

$\Delta H = \Delta H_k + \Delta H'_k$, sürekli ve yersel kayıplar ve denklemi ise:

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

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

DSİ’deki kabullere göre, h_t, Türbin verimi (%92); h_g, Jenartör verimi (%95); h_r, Trafo verimi (%98)’dir. Toplam verim katsayısı = h_t · h_g · h_r = 0,92 · 0,95 · 0,98 = 0,87 ve (1) denkleminde kullanılan h_g @ 8,0 alınmıştır [52].

Cebri boru uzunluğu L(m) ve toplam kayıplar DH hesaplanmalıdır. DH sürekli ve yersel kayıpların toplamı olup, (3) denkleminde göre hesaplanmıştır. (3) denklemindeki yersel kayıpların hesaplanmasında, boru, dirsek, vana vs. meydana gelen kayıpların toplam katsayısı, x=2-3 arası alınmıştır.

Porsuk Havzasındaki yağışlar düzensiz olduğundan, planlaması yapılacak barajlar, akarsuyun rejimini düzenleyecektir. Akarsuda, zamanın %50’sindeki debi, dizayn debisi kabul edilmiştir.

Kurulu güç hesabında, h_t: Türbin verimi (% 88); h_g: jenartör verimi (% 95); h_r: Trafo verimi (% 98) alınmıştır. Toplam verim katsayısı ise, h = h_t · h_g · h_r = 0,88 · 0,95 · 0,98 = 0,819 @ 0,82 alınarak, (1) denkleminde göre, her ayda üretilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Ancak, muhtemelen kullanılacak Francis Türbinlerinin verimleri her ne kadar h_t=0,92 değerine kadar çıkabiliyorsa da, türbine gelecek esas debilerin proje debisinden daha az olması durumunda, h_t değerleri, daha aşağı düşecektir. Bu nedenle, hesaplarda ortalama h_t=0,88 alınması daha uygun görülmüştür.

İşlenme zorluğu nedeni ile seçilen cebri boru çapları, 2.5 m’den büyük alınmamıştır.

Bu barajlardan yılda üretilen 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, üretilen enerji maliyeti sadece işletme ve bakım giderlerini kapsayacağından, kWh enerji maliyeti bedeli, 0,01~0,02 cent’e düşecektir.

Tesis yatırım bedellerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmuş hususlar

İnşaat işleri keşif bedelleri hesabında, Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları kullanılmıştır [54].

Planlaması yapılan barajların, ekonomik olması ve hızlı inşası bakımından, ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tip barajlar önerilmiştir. Bu barajlarda şev eğimleri, Düşey: 2.4/Yatay :3 olarak alınmıştır [55-58]. Kret genişlikleri 5~6 m ve temel derinlikleri, jeologlarla araziye yapılan incelemeler ve mevcut benzer sondaj loglarından faydalanılarak tespit edilmiştir.

HES’lerin, enerji işletme çalışması yapılırken, tüm akımlar (0.5 m³/s Porusk barajı-Gökçekisık santral 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 artırılmasıyla 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-Jenartör-Transformator gibi elektromekanik cihazların bu günkü anahtar teslim fiyatları, Türkiye’de, ilgili firmalardan alınmıştır [59]. 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, elektrikli teçhizat, otomatik kontrol sistemi, ikaz sistemi, montaj, test ve devreye alma dâhildir. Buraya, yapılacak yatırımın takribi maliyeti, hesaplanmış ve beher (MW) güç karşılığı yapılacak yatırımın büyüklüğü incelenmiştir.

Tesislerin maliyeti, 2009 yılı için 1 \$ = 1.5 YTL olarak alınmıştır.

Planlaması yapılan barajların konumları, ürettikleri enerji miktarı ve maliyetleri konusunda, örnek olması bakımından, aşağıda, 5 nolu baraja ait hesaplar detaylı verilmiştir.

5 Nolu Baraja Ait Hidroelektrik Potansiyel Enerji Miktarı ve Maliyet Hesabı

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 Baraj gölü membasının üstünde (910 m kotlarından) kalan bu bölge, I24-d4 (1/25.000) paftasından bulunmaktadır (Şekil 14). Aks yerinin konumu ve özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. 910 m kotlarında baraj yapımına uygun olduğu düşünülen bu noktada, dar bir vadi 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 düşünüldüğünde, Kütahya ili sular altında kalmaktadır (Şekil 11; 5 nolu baraj). Bu nedenle kret kotu en fazla 910 m kotlarında olabilecek bir baraj planlaması yapılabilir. Diğer bir deyişle, bu noktada, 18 m yüksekliğinde bir baraj yapılabilir (Tablo 2).

Burada tasarlanacak bir barajın kuyruk suyu (892 m kotlarından), Porsuk baraj gölüne akacaktır. Taşkınlar nedeni ile Porsuk Baraj gölünde oluşacak kabarmadan 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 düşünülen bu noktadaki akım değerleri, aslında Porsuk barajı giriş akımlarıdır. 5 nolu baraja ait debi zaman grafiği ve debi süreklilik eğrisi, Şekil 15’te verilmiştir. Veriler, 36 yılla ait aylık ortalama akım ölçümlerini kapsamaktadır.

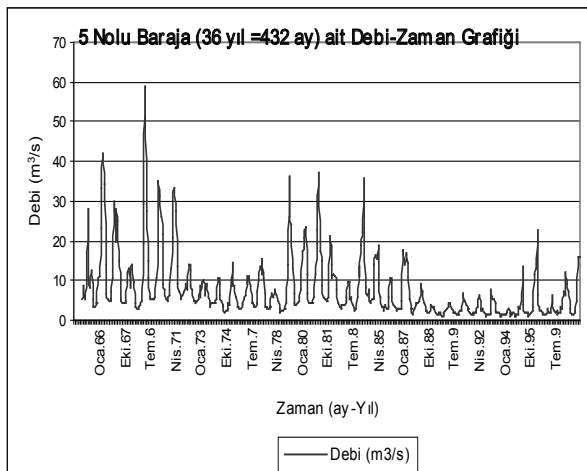
5 nolu baraja ait debi-Zaman(%) grafiğine göre, zamanın %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve %100’e karşılık gelen debiler, sırası ile 17,09; 10,96; 8,02; 5,90; 4,84; 4,15; 3,23; 2,53; 1,80 ve 0,78 (m³/s)’dir. Projelendirmede türbin dizayn debisi, fizibilite aşamasında, zamanın %50’sine karşılık gelen debi (4,84 m³/s) alınmıştır. 5 nolu barajın topoğrafik uydu görüntüsü ve seçilen yerdeki arazi enkesiti, aşağıda, Şekil 16’da verilmiştir.

5 nolu baraja ait hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi

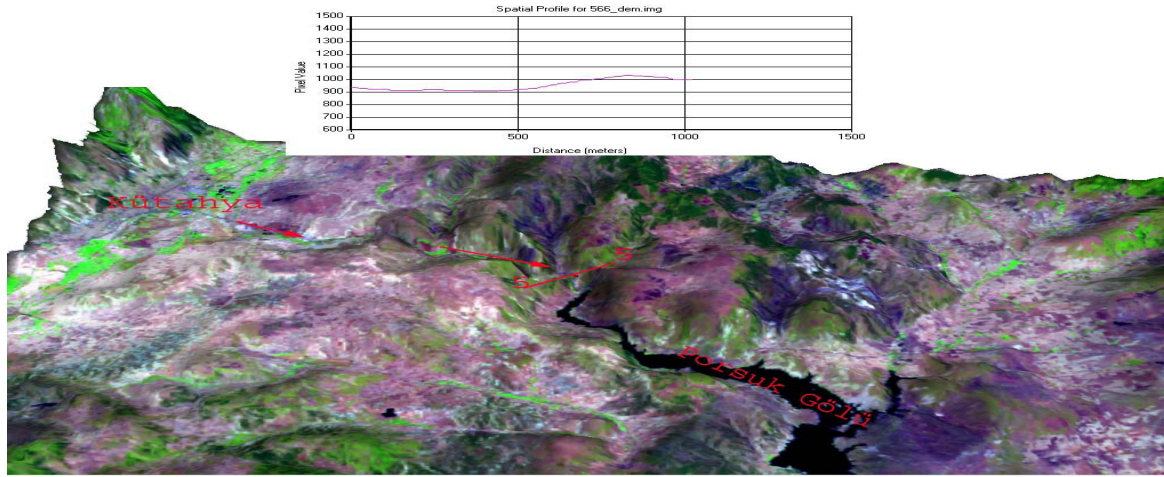
5 nolu baraja ait akım gözlem değerleri, 12-03 Porsuk Çayı-Başdeğirmen akım gözlem istasyonuna ait akım verileridir [25, 26]. Bu akım ölçer istasyonuna ait uzun süreli (36 yıl) veriler elde edilmiştir. İstasyonun drenaj alanı 3938.4 km²’dir.

5 nolu Baraja ait 1964-1999 yılları arası aylık ortalama debilerin ortalaması 7,66 m³/s’dir. Debi süreklilik eğrisinde, zamanın %50’sine karşılık gelen debi miktarı ise, $Q_{50}=4,84$ m³/s’dir. Aynı şekilde 4,84 m³/s’ye karşı gelen ay sayısı 216’dır. Buna göre 5 nolu barajdan 210 ay boyunca deşarj edilen debi 4,84 m³/s ve üzerindedir. Literatürde, Güvenilir güç hesabında, kurulu güç için dizayn debisi, Q_{50} ve maksimum dizayn debisi Q_{15} olarak verilmiştir. Başlangıç tasarım debisi, zamanın %15-%30’a karşı gelen değer olarak alınabileceği ifade edilmektedir [25; 49]. Burada, tasarım debisi $Q_{50}=4,84$ m³/s alınmıştır. $L=50$ m uzunluğunda bir cebri borudan geçeceği varsayılan debilere göre, meydana gelecek DH kayıpları, (3) denkleminde göre hesaplanmıştır. Boru çapı 2 m ve güvenli tarafta kalmak için boru izafi pürüzlülüğü $ks=1,15$ mm, çelik boru alınarak, toplam kayıplar hesaplanmıştır. (3) denklemindeki yersel kayıpların hesaplanmasında, boru, dirsek, vana vs. meydana gelen kayıpların toplam katsayısı, $x=2$ alınmıştır. Hesap sonuçları Tablo 3 ve 4’te verilmiştir. H_b brüt düşü yüksekliği ve meydana gelecek enerji, kayıpları (DH) değerlerinden, H_N (net düşü yüksekliği) bulunmuştur.

Hali hazırda, 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 artırılması hem türbinlerin yüksek randımanla çalışması sağlanır hem de mansap şartlarını sağlayacak sular temin edilmiş olur. Türbin sayısı, tek ünite yerine 3 ünite alınır ise, ünite sayısı, gelen debilerin miktarına göre çalışacaktır (Tablo 4). 5 nolu barajdan elektrik üretimi



Şekil 15. 5 nolu baraja ait debi zaman grafiği ve debi süreklilik eğrisi



Şekil 16. 5 nolu baraj yerine ait uydu görüntüsü ve topografik kesiti.

amacıyla yapılan bu çalışmanın sonunda, takriben $3 \times 0.25 = 0.75$ 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 5,92 GWh olacaktır.

Beklenilmeyen sebepler nedeniyle bu enerjinin %70 oranında gerçekleşeceği düşünülse dahi, yılda 4,15 GWh enerji üretimi söz konusu olacaktır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre 5 nolu barajdan çıkan sularla 0,75 MW kurulu gücü çalıştıracak potansiyele sahiptir.

Aylık akımların ortalamaları, Şekil 14'te verilmiştir. Eğer, aylık ortalama debilere göre hesaplar yürütülür ise bu barajın kurlu gücü 2 MW ve yılda üreteceği enerji miktarı 7,595 GWh olacaktır [60].

Bir yıl 8760 saat olduğuna göre, $0.75 \times 8760 = 6570$ MW=6.57 GWh 'lık bir potansiyel enerji miktarı söz konusudur. Ancak, yaklaşık bu enerjinin %63,16'sı üretilebilecektir. Genel olarak, Türkiye'deki, hidroelektrik santrallerin kurulu güçlerinin %36'sı civarında bir net üretim gerçekleşmektedir. 1 kWh'lık enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0.05 cent olduğu kabul edilirse, yıllık enerji üretim bedeli, $4150000 \times 0.05 = 207500$ US\$ olacaktır. Bu durumda, 5 nolu barajdan elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, çok uzun bir süre sonunda ($17.22 \times 10^6 / 265900 = 82,98$ yıl'da) kendini amorti edecektir. Yatırım bedeli çıkarıldıktan sonra, üretilecek enerji maliyeti sadece işletme, bakım ve tamirat giderlerini kapsayacağından, kWh enerji maliyet 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 zamanlarda, ekonomik olmayan kararlar alınabilir. Enerji fiyatlarının sürekli artacağı öngörüldüğü için, bu yatırım maliyetleri, daha kısa zamanda kazanılacaktır. Bu tip projelerin çok fonksiyonlu tasarlanması halinde (mansaptan düzenli su temini, taşkın, kış sularının biriktirilmesi vb) maliyetlerin daha da azalacağı açıktır.

5 nolu barajın 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.

Piyasadaki maliyetler dikkate alındığında, 5 nolu barajın yatırım maliyeti, Tablo 5'te hesaplanarak verilmiştir. Baraj kret uzunluğu 250 (+5+5 yamaç düzenleme kazısı) m, kret genişliği 5 m, memba ve masap şev eğimi D:2,4/Y:3; baraj yüksekliği 18 m ve temel kazısı alüvyon nedeniyle 10 m alınmıştır. Buna göre, barajın takribi maliyeti 17.22×10^6 US\$ civarında olacaktır.

5 nolu baraj yerinin jeolojik yapısı

Tasarımı planlanan 5 nolu baraja ait jeolojik yapı genel olarak deneyimli jeoloji mühendisleri ve tarafından tahmini belirlenmiştir. Yamaçlar genel olarak tüf ve hemen altında ultrabazik kayalardan oluşmaktadır.

Tablo 3. 5 nolu barajdan dizayn debisi geçmesi halinde meydana gelen (DH) toplam enerji kayıpları

Debi Q (m ³ /s)	Hız V (m/sn)	Reynold's Sayısı Re (x10 ⁶) (-)	Boru İzaflı Pürüzlülüğü k _s /Dx10 ⁻⁴ (-)	Moody Sürtünme katsayısı, f(-)	L/D (-)	Hız Yüksekliği V ² /2g (m)	Sürekli Enerji kayıpı, H _k (m)	Yersel Enerji kayıpı, H' _k (m)	Toplam kayıp ΔH= H _k + H' _k (m)
4,84	1,54	3,08	5,75	0,0175	25	0,121	0,053	0,242	0,295

Tablo 4. 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 /s)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	58,08
Burut su yüksekliği: H _b (m)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
Toplam Enerji kaybı: ΔH	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	
Net Düşü Yüksekliği: H _N =H _b -ΔH	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	17,705	
Elde edilebilecek Güç (kW cinsinden)	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	685,54	
(MW cinsinden)	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	
Kurulu Güç: N (MW)	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	3x0,25	0,75 MW
Ayda Üretilen Enerji: E (GWh)	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	493,59	5,92 GWh/ yıl

$Q_{bz}=4,84 \text{ m}^3/\text{sn}$, $\eta_g \cong 8$, $ks/D=1.15$ mm, $x=2$, $Re=v.D/u$, $u=1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $f2000$ mm, $L=50$ m; ort ay =30 gün

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 sayısallaştırılmış Türkiye jeoloji haritasından faydalanılmıştır. Porsuk Havzasında inceleme sonucu, baraj yapımı için uygun bulunan noktadaki jeolojik, jeofizik ve geoteknik 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 kayaların 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 mühendislerinin önceki çalışmalarına göre yerinde yaptıkları incelemelerden faydalanılarak belirlenmiştir.

Enerji Tesis yerleri için de benzer jeolojik ön değerlendirmeler, yüzey jeolojisi çalışmasına göre hazırlanmıştır. Bu barajın uygulanabilir projelendirilmesine 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.

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 çalışmada, 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 6'da özetlenmiştir.

Porsuk Havzasında 8 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 $74,77 \times 10^6$ US\$'dır. Bu barajların toplam kurulu güçleri, 5,92 MW ve yılda üretecekleri elektrik miktarı, su potansiyellerinin %70 olması halinde bile 24,22 GWh/yıl olacaktır.

Porsuk Havzasında, yılda toplam üretilen elektrik enerjisi miktarı 24,22 GWh'tir. 1 kWh'lik enerjinin trafo çıkışında satış değeri 0.05 cent olduğu kabul edilirse, yıllık enerji üretim bedeli, $24,22 \times 10^6 \times 0.05 @ 1211000$ US\$ olacaktır. Bu durumda, toplamda elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, $74,77 \times 10^6 / 2780.000 = 61,74$ yıl'da kendini amorti edecektir. Yatırım bedeli çıkarıldıktan sonra, üretilen 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, $24,22 \times 10^6 \times 0.14 @ 3390800$ US\$/yıl olacaktır. Bu durumda, elektrik üretimi amacıyla yapılacak yatırım, toplamda, $74,77 \times 10^6 / 3390800 = 22,05$ yıl'da kendini amorti edecektir. Genelde 1 kWh elektriğin tüketiciye maliyeti düşünüldüğünde, bu tesisler yılda, ~3,4 milyon US\$'lık bir katkısı olacaktır. Enerjinin gelecekte daha da pahalı olacağı öngörüldüğünden, 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.

Tablo 5. 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 dâhil	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	0,75	Adet	0,375
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				17.22

Tablo 6. 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	3x0.5 (=0,75)	4,00	16.204
4 Nolu Baraj	3x0.5 (=1.50)	5.507	10.600
5 Nolu Baraj	3x0.75 (=0.75)	4,15	17.22
6 Nolu 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	5,92	24,22	~74,77

Teşekkür

Bu araştırma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 050247/2008). Ayrıca, yazarlar, DSİ, III. Bölge Müdürlüğüne veri temini ve yardımları için teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Fookes, P.G., 1967. Planning and stages of site investigation Engineering Geology, Vol. 2, Issue 2, August 1967, Pages 81-106
- [2] NZAM, 2010. NZ Aerial Mapping (NZAM)., Dam Site Investigation, Lidar&Aerial Photography (<http://www.nzam.com/article.asp?id=mokinui>)
- [3] Graham, A. 1997. The Development of World Wide Web Pages for Dam Design, MEng final year project report, School of Engineering, University of Durham, pp. 50.
- [4] Usul, N., 2009. Taşkın Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanılması, ODTÜ, İnşaat Müh. Böl., Ankara.
- [5] Aronoff, S., 1991., Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publ., Canada.
- [6] Ballance, A., Stephenson, D., Chapman R. A., Muller, J., 2000. A geographic information systems analysis of hydropower potential in South Africa, Journal of Hydroinformatics, IWA Publishing 2000, 02.4, pp. 247-254.
- [7] Kehreman B.,2006. <http://www.envirozan.info>.
- [8] Algancı U., Coşkun H. G., Eriş E., Ağır alioğlu N., Cıgızoğlu K., Yılmaz L., Z. Toprak F., 2009. Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesine Yönelik Uzaktan Algılama ve CBS İle Hidrolojik Modelleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mayıs 2009, Ankara.
- [9] Demirkesen, A.C., 2007. Günümüzde Uzaktan Algılama Uygulamalarına Genel Bir Bakış, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 12 s., Ankara.
- [10] Bakış, R. 2008. Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Yönünden Araştırılması, Araştırma Projesi No.: AUBAP 050247, (Proje Yöneticisi), 255 s., Eskişehir.
- [11] Nişancı R., Yıldırım, V. ve Yıldırım A., 2007. Su Havzalarına Yönelik CBS Veri Tabanı Modellemesi: Trabzon Galyan Vadisi Örneği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon.
- [12] Karen A.Ş., 2008. Balkusan Barajı ve HES Projesi, ÇED dosyası, Konya.
- [13] Şensoy A., Şorman A.A., Pekkan E., Şorman A.Ü., 2009. Uydudan Tespit Edilen Karla Kaplı Alanların Hidrolojik Modellemede Kullanımı, III. Ulusal Kar Kongresi, 17 – 19 Şubat 2009, Erzurum, Türkiye.
- [14] Şorman A.Ü., Akyürek Z., Şensoy A., Şorman A.A., Tekeli A.E. 2007. Commentary on comparison of MODIS snow cover and albedo products with ground observations over the mountainous terrain of Turkey, Hydrological Earth System Science, 11, pp.1353-1360.
- [15] Pathak, M., 2008. Application of GIS and Remote Sensing for Hydropower Development in Nepal, Hydro Nepal, Issue 3, pp. 1-4.
- [16] Travaglia C., Dainelli N., 2003. Groundwater search by remote sensing: A methodological approach *Environment and Natural Resources Working Paper*, No. 13, FAO, Rome, (2003).
- [17] Hanbali F., 2005. Water Management in Iraq, Capability and Marsh Restoration, USACE Hydrologic Engineering Center.
- [18] Julio A, Máximo P., Alessandro D., Alberto., E., 2008. A GIS integrated tool to evaluate the residual potential hydropower production at watercourse scale, 13th IWRA World Water Congress 2008, Montpellier - Francia, 1-4 Settembre 2008, pp. 1-11.
- [19] Najafzadeh R., Abrishamchi A., Tajrishi M., 2001. Runoff simulation with snowmelt runoff modeling using RS and GIS,(Case study: Zayand-e-Rood basin), file://C:\Documents and Settings\amir\Desktop\Najaf Zadeh\runoff_simulation_with_s., 1383/11/21, Dissertation, Iran.
- [20] Tanutpongpalin, N. and Chaisomphob, T., 2004. Proposed Methodology for Site Selection of Run-of-river Type Small Hydropower Project Based on Environmental Criteria, *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)*, 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand.
- [21] Tefera B. and Stroosnijder,L., 2007. Integrated watershed management: A planning methodology for construction of new dams in Ethiopia, Lakes & Reservoirs, *Research and Management*, 12: 247–259.
- [22] Bergström D. and Malmros C., 2005. Finding Potential Sites for Small-Scale Hydro Power in Uganda: a Step to Assist the Rural Electrification by the Use of GIS., A Minor Field Study Degree-thesis in Physical Geography and Ecosystem Analysis (Supervisors) Ulrik Mårtensson and Petter Pilesjö, Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis Lund University.
- [23]. Kumar A. and Singhal M. K., 2009. Hydro power assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques, Alternate Hydro Energy Centre, University of Roorkee, Hydro power assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques.mht, GISdevelopment.net Application Utility.
- [24] Gumbricht, T, Lindholm, H, AÊKre, A, Szczepanek, R, Hessling, M. & Mccarthy, J, 1997. GIS Integrated Modelling of a Himalayan Landscape *Water Resources Development*, Vol. 13, No. 1, pp. 67-78.
- [25] DSİ 2001. 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.
- [26] DSİ, 2001. 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.
- [27] DSİ, 1986. Porsuk-Eskişehir Darıdere Barajı İla ve Sahalar Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [28] DSİ, 1983. Porsuk Eskişehir Projesi Beylikova Depolama Tesisi ve Sulaması Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [29] DSİ, 1981_a. Altıntaş Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [30] DSİ, 1981_b. Kütahya ve Köprüören Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [31] DSİ, 1980. Porsuk Eskişehir Projesi Porsuk Barajı HES ve Gökçekisık HES Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [32] DSİ, 1977 Aşağı Kuzfındık Baraj Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [33] [DSİ, 1973. Musaözü Projesi Planlama Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [34] DSİ, 1972. Porsuk Enne Projesi Planlama Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [35] DSİ, 1970. Akçaköy Projesi Planlama Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [36] DSİ, 1965. Eskişehir Çağlayık-Biçer Ovaları Hidrojeolojik Havza Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [37] MTA, 2007. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara.
- [38] MTA, 2002. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara.
- [39] DSİ, 2004-2005. Yılı Program, Bütçe Takdim Raporu DSİ Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- [40] DSİ, 2002, 2005, 2008. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (<http://dsi.gov.tr>).
- [41] DSİ, 2007. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir. (<http://dsi.gov.tr>).
- [42] DMİ, 2007. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [43] Yanık, B. ve Avcı, İ., 2005. Bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi, *İTÜ dergisi/d, Mühendislik*, Cilt:4, Sayı:5, ss. 19-30.
- [44] Bayazıt, M., 1979. Hidroloji, İkinci baskı, İTÜ Matbaası, 155 s.
- [45] Montanari, R., 2003. Criteria for the economic planning of a low power hydroelectric plant, *Renewable Energy*, 28 (2003) 2129-2145.
- [46] ESHA, 1998. 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.
- [47] BHA, 2005. A Guide to UK Mini-Hydro Developments, The British Hydropower Association, p. 29.
- [48] EİE, 2008. Elektrik İşleri Etüt İdaresi, (<http://www.eie.gov.tr>).
- [49] Nadi Bakır, N., 2008. Hidroelektrik Perspektifinden Türkiye ve AB Enerji Politikalarına Bakış, ERE Hidroelektrik Üretim ve Ticaret A.Ş. Ankara.
- [50] Andersson B. and Haden E., 1997. 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.
- [51] Linsley R.K. and Franzini J.B., 1976. Water Resources Engineering, McGraw-Hill Kogakusha LTD, London.
- [52] Yıldız, K., 1992. Hidroelektrik santraller, hesap esasları ve projelendirilmesi. DSİ Barajlar ve HES Dairesi-HES Şube Müdürü, Ankara.
- [53] Head, C.R., 1999. Multipurpose Dams, Contributing Paper, Draft I, pp. 1-4, Knight Piesold Limited, UK (For further information see <http://www.dams.org>).
- [54] T.C. Bayındırlık Bakanlığı, 2008-2009. İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, İller bankası.
- [55] Becerik, MU., 2002. The Kurtun concrete-faced rockfill dam nears completion. *International Journal on Hydropower & Dams*. Vol. 9, no. 5, pp. 81-83.
- [56] Hunter, G. And Fell, R. 2003. Rockfill Modulus and Settlement of Concrete Face Rockfill Dams, *J. Geotech. and Geoenvir. Engrg.*, Volume 129, Issue 10, pp. 909-917.
- [57] Choi, P. 1996. Design criteria for the Bakun CFRD, *International Journal on Hydropower & Dams*. Vol. 3, no. 6, pp. 36-39.
- [58] Cooke, JB., 1992. Development of the high concrete faced rockfill dam, *International Water Power & Dam Construction*, Vol. 44, no. 4, pp. 7-9.
- [59] TEMSAN, 2005. TEMSAN, Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.
- [60] Bakış, R., Bilgin, M., Tuncan, A., Altan, M., Önsoy, H., 2008. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES' 2008. Porsuk Havzasında, Elektrik Üretmeyen Çok Amaçlı Barajlardan Elektrik Üretiminin Araştırılması, Bildiriler kitabı, ss. 467-478, İstanbul.