

Araştırma Makalesi/Research Article

Seydisuyu Havzasının Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması

Investigation Of Hydroelectric Potential Of Seydisuyu Basin

Yıldırım Bayazıt^{1*}, Recep Bakış²

Özet- Türkiye, hızla gelişmekte olan bir ülkedir. Bu gelişmeye paralel olarak, enerji ihtiyaçları da hızla artmaktadır. Bu nedenle, enerji, Türkiye için çok önemlidir. Ancak, Türkiye'nin sahip olduğu fosil enerji kaynakları, ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Eksik enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yurt dışından petrol doğalgaz ve kömür ithal etmek zorundadır. Bu ithalat için 2012 yılında 70 milyar dolar ödemiştir. Bu rakam her geçen yıl artarak devam etmektedir. Bundan dolayı, yerel enerji kaynaklarını geliştirmek ve enerji açığını kapatmak için, Türkiye'nin sahip olduğu su potansiyelini enerjiye dönüştürmesi bir zorunluluktur. Bu amacı gerçekleştirmek için hidroelektrik enerji potansiyelini geliştirmesi gerekir. Bu çalışmada, küçük havzaların hidroelektrik enerji potansiyellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Seydisuyu Havzasının sahip olduğu hidroelektrik enerji potansiyeli incelenmiştir. Havzadaki su potansiyelinin değerlendirilmesi ve hidroelektrik enerji potansiyelinin geliştirilmesi için gerekli veriler (datalar), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS-GIS) ve Simahpp yazılımları yardımı ile elde edilmiştir. Araştırma alanında inşası tamamlanmış ve işletmede olan 2 adet sulama barajının (Çatören ve Kunduzlar barajları) hidroelektrik enerji potansiyelleri ve bu barajların mansabında yeni bir baraj planlaması yapılmıştır. Bu barajın olası maliyetleri, buradan temin edilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı da hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Seydisuyu Havzasında bulunan 2 adet hazır kurulu barajın ve planlanan bir adet yeni barajın toplam kurulu güçleri 1.463 MW ve yıllık üretebileceği elektrik enerjisi miktarı ise 6.31 GWh olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Baraj Planlama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Hidroelektrik Enerji, Seydisuyu Havzası, Su Potansiyeli

Abstract- Turkey, a country that is developing rapidly. Parallel to this development, energy needs are rapidly increasing. Therefore, the energy, is very important for Turkey. However, Turkey's fossil energy resources, not meet the requirements. In order to meet missing energy demand, has to import oil, natural gas and coal from abroad. For this import, it paid \$ 70 billion in 2012. This figure continues to increase with each passing year. Therefore, to develop the spatial energy resources and to close the energy gap, it is a necessity conversion of Turkey's water potential to the energy. To accomplish this goal, need to develop the hydroelectric energy potential. In this study, it is aimed to develop hydroelectric energy potential of small basins. For his purpose, Seydisuyu Basin investigated the potential of its hydroelectric energy. Datas which necessary for evaluation of the basin water potential and for development of the hydroelectric energy potential, were obtained with the help of Geographic Information Systems (GIS) and Simahpp softwares. There is 2 irrigation dam (Catoren and Kunduzlar Dams) which was completed and in operation. It is investigated these dams of hydroelectric energy potential and it was planned a new dam where downstream of the existing dams. The potential costs of this dam and the amount of the annual electrical energy were calculated. As a result, total installed capacity 1.463 MW and amount of annual energy produce 6.31 GWh of 2 existing dam and a new planned dam where is in the Seydisuyu Basin.

Keywords- Dam Planning, Geographic Information Systems (GIS), Hydroelectric Energy, Seydisuyu Basin, Water Potential

I. GİRİŞ

Türkiye'de sanayinin hızla büyümesi ve gelişen sosyo-ekonomik kalkınma ile beraber hayat standardının hızla yükselmesi, elektrik enerjisine olan talebin giderek artmasına neden olmaktadır. Türkiye'de, enterkonekte sistemin yaygınlaştırılması ve en küçük yerleşim birimine kadar uzatılması nedeniyle tüketiciye sağladığı kullanım kolaylığı, elektriğin toplam enerji tüketimi içindeki payının hızla artmasına neden olmuştur. Bu talebin sürekli artması sebebi ile elektrik enerjisi, sanayinin ve sosyal hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Türkiye'de enerjinin büyük bir kısmı elektrik enerjisi olarak tüketilmektedir. 2004 yılında, 150,4x10⁹

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gülümbe/Bilecik

²İletişim: rbakis@anadolu.edu.tr

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü Mühendislik Fakültesi, Eskişehir

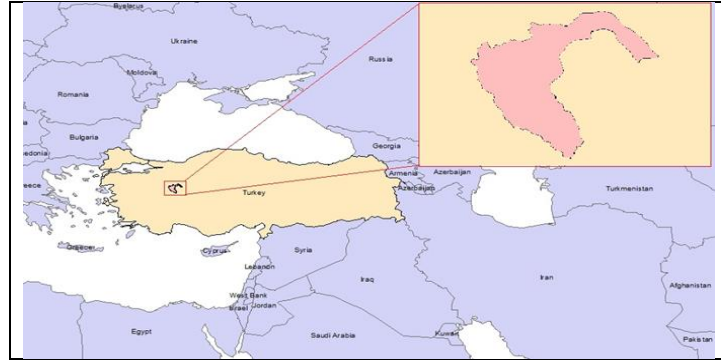
kilowatsaat (kWh), 2008 yılında, 161,9476x109 kWh ve 2010 yılı sonunda 200x109 kWh tüketim seviyesine ulaşmıştır. Elektrik tüketiminin 2011 yılı sonunda, 214x109-216x109 kWh seviyesi arasında olacağı tahmin edilmiştir (Bakış, 2012; TÜİK, 2011). Bu verilere göre 2011’de, kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak (214x109-216x109/75x109 kişi) 2880 kWh’tir. Dünya ortalaması 2500 kWh ve gelişmiş ülkelerde 8500 kWh olup, USA’da bu rakam 12322 kWh’tir (DSİ, 2010, Bakış, 2012). Türkiye’nin elektrik enerjisindeki yıllık artış talebi, 2030 yılına kadar yapılmış projeksiyonlara göre %6-8 arasında olacaktır ve kişi başına tüketimin 5200 kWh olacağı planlanmıştır (DPT, 2010). Bu talebin karşılanmasında, çevre ve toplum hassasiyetlerini de göz önüne alarak, mevcut su kaynaklarının daha efektif kullanılması ve ülke kalkınmasına sunulması çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından en zengin potansiyeli su kaynaklarıdır. Sürdürülebilir bir kalkınma ve dışa bağımlılığı azaltmak için su kaynaklarının geliştirilmesi ve boşa akan suların ekonomiye kazandırılması, stratejik bir kaynak haline gelmiştir. Yenilenebilir kaynaklarından biri olan hidroelektrik santraller (HES) dünyadaki elektrik gereksiniminin yaklaşık olarak %22’ni karşılamaktadır. Büyük HES’lerin alt grubu olan küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin (KHES) önemi, enerjinin değerli olması sebebi ile günümüzde daha değerli hale gelmiştir [1]. Bu makalede, Seydisuyu havzasına ait su kaynaklarının geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir kalkınma için mevcut havzadaki akarsu potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi, su potansiyellerinin daha efektif kullanılması amacıyla, Seydisuyu üzerinde ve yan kolları üzerindeki hazır kurulu sulama barajları ve yeni planlaması yapılabilecek hidroelektrik santrallerin fizibil olup olmadıkları konusu araştırılmıştır. Ayrıca, bu tesislerden elektrik üretme imkânının bulunup bulunmadığı ve ekonomisi incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Araştırmada, Seydisuyu havzası ve havza civarındaki komşu havzaları kapsayacak şekilde 1/25.000 ölçekli 54 adet raster harita (verisi taranmış ve rektifiye edilmiş) ve 54 adet vektör (sayısal harita) harita, UTM 36N zonunda European Datum 1950 (ED50) koordinat sisteminde, DSİ III Bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Araştırmada, Seydisuyu havzasının mekânsal analizleri (spatial analysis), Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı ile analiz edilmiştir [2-4]. Havzanın meteorolojik özelliklerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma) uzun dönemli büyüklüklerin belirlenmesi için gerekli veriler, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden (DMİ) ücretsiz temin edilmiştir [5]. Seydisuyu havzadaki akarsular üzerinde halen ölçüm yapan veya kapatılmış olan Akım Gözlem İstasyonlarına (AGİ) ait akımlar, Devlet Su İşleri III Bölge Müdürlüğün (DSİ) temin edilmiştir [6, 7]. Ancak, bu verilere ait bazı yılların dataları, mevcut olmadığından, eksik yıllara ait debi değerleri, korelasyonla doldurulmuştur [8, 9]. Seydisuyu havzasında, Seydisuyu ve yankoları üzerinde, baraj planlamasına uygun olabilecek baraj aks yerleri araştırılmış ve alternatifler değerlendirildikten sonra, nihai baraj aks yerlerine karar verilmiştir. Baraj planlanması açısından uygun bulunan noktalardaki akım verilerinin kullanılması için, AGİ’lerin akım verileri, alan oranı metodu ile taşınmıştır. Baraj noktalarına taşınan debiler, barajların seçilen düşüm yüksekliğine göre simahpp-4 (Simulation to Evaluate the Feasibility of Hydropower Projects) programı ile barajın kurulu gücü ve üreteceği elektrik enerjisi miktar ve parasal getirisi hesaplanmıştır.

A. Araştırma Alanı

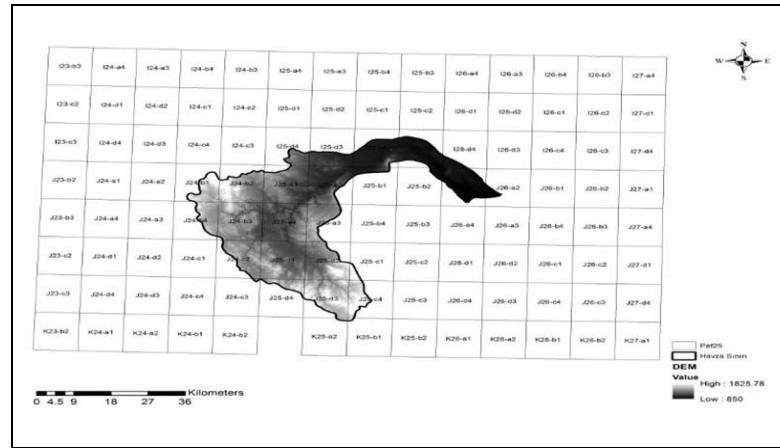
Araştırma alanı, Sakarya havzasının bir alt havzası olan seydi suyu havzasıdır. Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesinde, 38° 85'-39° 36' kuzey enlemleri ile 30° 16'-31° 07' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Havza suları Seydisuyu tarafından, Sakarya Nehrine deşarj edilmektedir. Seydisuyu Havzası; Kuzeyde Sakarya-Sarısu, Porsuk-Sarısungur, Porsuk-Kalabak; güney batıda Büyük Menderes, Gediz, Porsuk-Sarısungur, güneydoğuda ise Sakarya-Bardakçı ve Akarçay havzaları ile çevrilidir. Hidrolojik havza sınırı olarak, havza alanının büyük bir kısmı Eskişehir il sınırları içinde, küçük alan parçaları da Afyon ve Kütahya İl sınırları içerisinde yer almaktadır. Havzada; Eskişehir İline bağlı Seyitgazi, Mahmudiye, İlçeleri ile Kırka Bucağı ve 51 köy bulunmaktadır. Seydi suyu Havzasının toplam alanı 1816,1 km² olup, Eskişehir yüzölçümünün yaklaşık % 13’ünü kaplamaktadır. Havzada, hidroelektrik üretimi amacı ile mevcut herhangi bir tesis yoktur. Kunduzlar ve Çatören barajları, sulama amacı ile kurulmuş iki adet baraj olup, bunların dışında herhangi bir rezervuar veya yapay göl yoktur. Havzanın Türkiye’deki konumu Şekil 1’de verilmiştir.



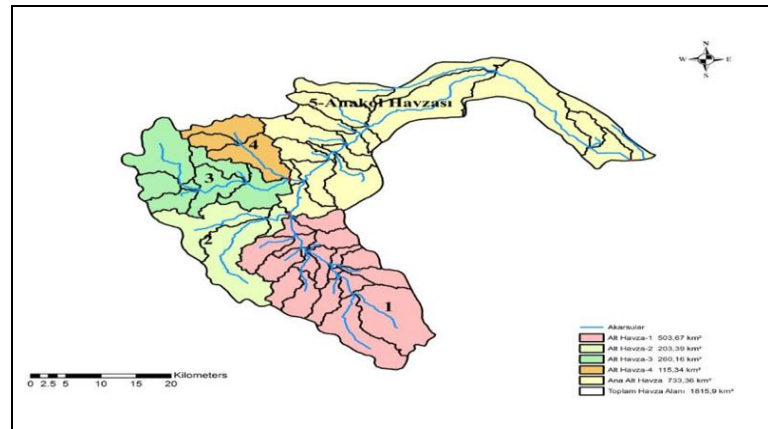
Şekil 1. Seydisuyu havzasının Türkiye'deki konumu

III. SEYDİSU YU HAVZASININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE İNCELEMESİ

Seydisuyu havzasına ait hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi için havza yüzey analizlerinin yapılması ve havzaya ait topoğrafik ve jeolojik analizlerinin birlikte kullanılması gerekmektedir. Meteorolojik ve hidrolojik verilerin analizi ve yüzey özelliklerinin belirlenmesi halinde, havzaya ait hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi daha kolay olacaktır. Bu amaçla, havzaya ait özellikler, sayısallaştırılmış haritalar yardımı ile belirlenmiştir. Havzanın Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM), 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış vektör haritalar kullanılarak, çıkarılmış ve havza sınırlarına göre kesilmiştir. CBS yazılımı ile elde edilen DEM kullanılarak, ana havzayı oluşturan, alt havzalar otomatik olarak elde edilebilmektedir. Ayrıca, her alt havzanın ana akarsuyu da belirlenmiş olmaktadır. Seydisuyu Havzasına ait DEM ve alt havzalar Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Seydisuyu havzasının bütünü için Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve kullanılan 1/250.00'lik vektör haritaları gösterir indeks



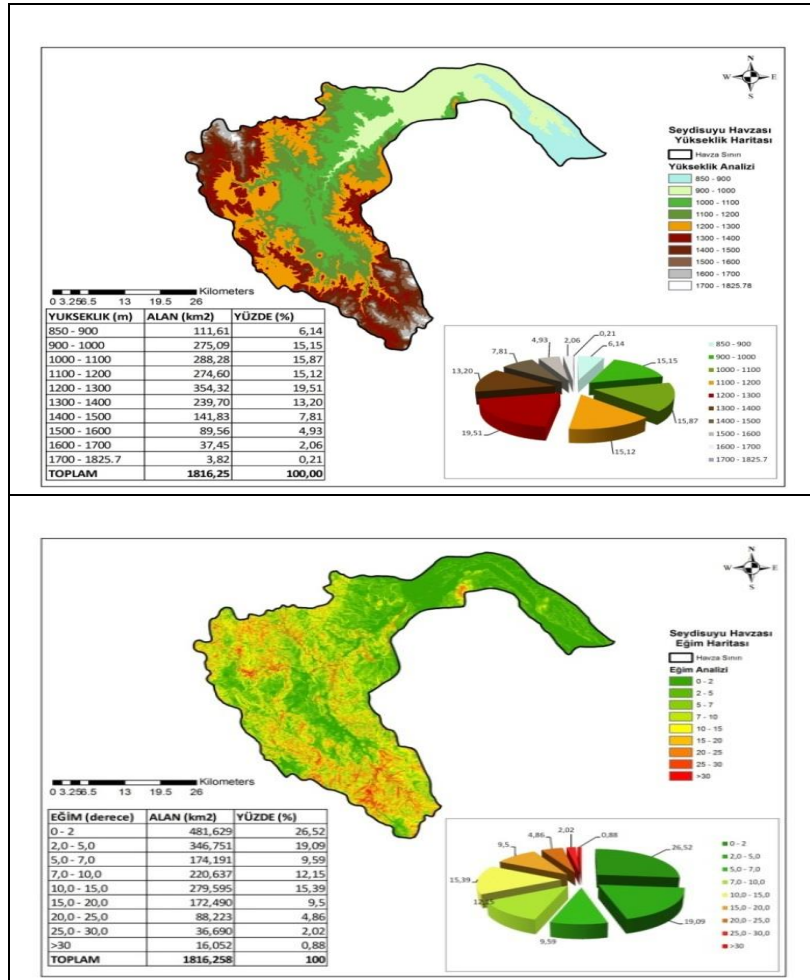
Şekil 3. Seydisuyu havzası ve alt havzaların drenaj ağı ve havza sınırları (1/25000'lik vektör haritalar kullanılarak üretilen havza sınırları ve drenaj ağları)

Tablo 1. Seydisuyu havzasının alt havza alanları

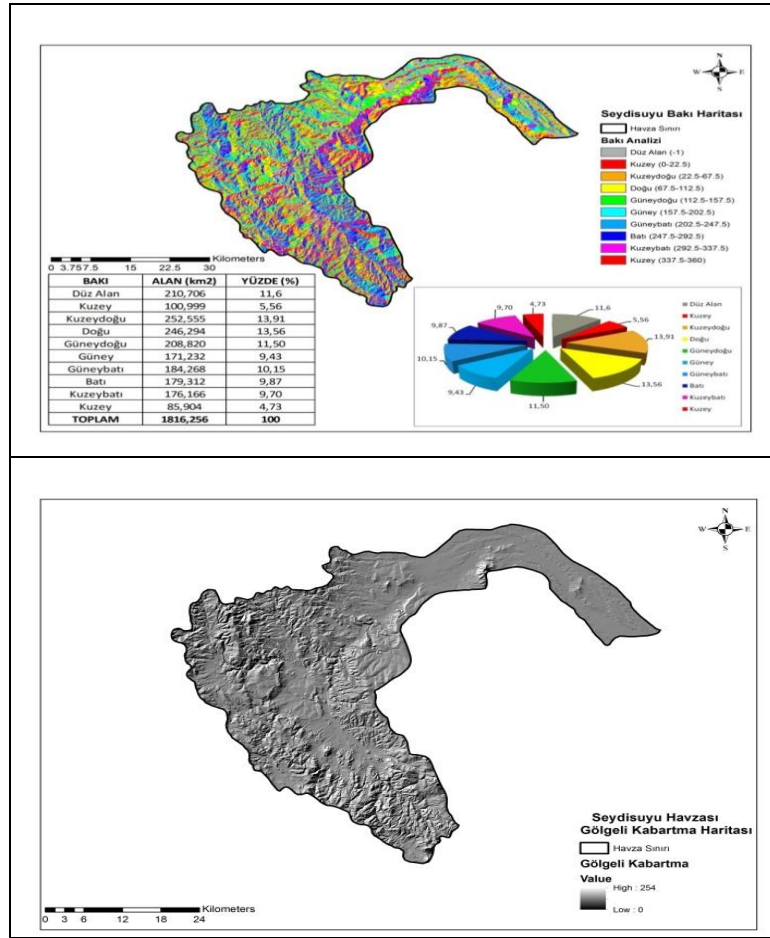
Havza No	Havza Alanı (km ²)
1	503,67
2	203,39
3	260,16
4	115,34
5-	733,36
Anakol	
Toplam	1816,1

Bu araştırmada, her bir alt havzadaki ana akarsuyun ve diğer derelerin sayısı, toplam dere uzunlukları, her bir derenin eğimi gibi önemli veriler de elde edilmiştir. Ana akarsuların boyuna kesitleri çıkarılmıştır. Hidrolojik bakımdan Seydisuyu havzasının toplam alanı 1816,1km²'dir. Seydisuyu havzası esas olarak 5 alt havzadan oluşmaktadır. Bunun en büyük kısmını 5 nolu anakol havzası (733,36 km²) oluşturmaktadır.

Seydisuyu Havzanının DEM'i kullanılarak, havzaya ait Yükseklik, Eğim, Bakı, Gölge kabartma haritası ve buna benzer daha pek çok veri ve haritanın elde edilmesi ile havza ait mekânsal özellikler incelenebilmektedir. Her bir veri, baraj planlamasında önemli bir bilgidir. Havzaya ait mekânsal özellikler, jeo-istatistik yöntemle sınıflandırılarak, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Seydisuyu havzasına ait mekânsal haritalar

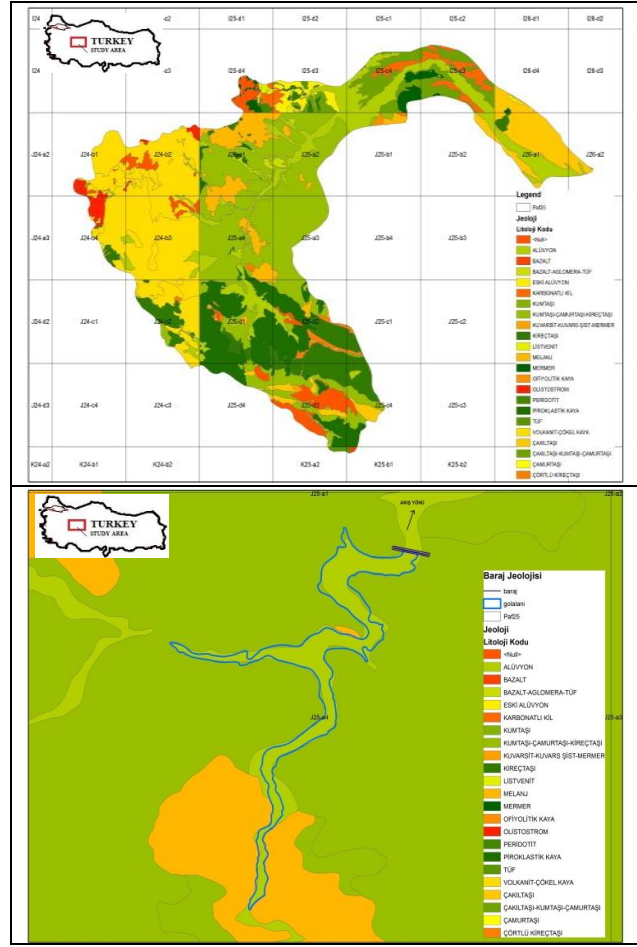


Şekil 4 (devamı). Seydisuyu havzasına ait mekânsal haritalar

Seydisuyu havzasının topoğrafik haritaları incelendiğinde yüksekliğin 850-1825 m arasında değiştiği görülmektedir. 1000-1300 m arasındaki havza alanı, toplam alanın %50,5'i olup, 917,2 km²'sini oluşturmaktadır (Şekil 4). Havza eğimi, 0-10 derece arasında %67,37 (1223,08 km²) olup, havzanın büyük kısmının düz alanlardan oluştuğu görülmektedir. Daha yüksek kısımlar, havzanın batı kısımlarında bulunmaktadır. Havzanın >30 derece' den fazla alan yüzdesi %0,88 (16,052 km²) olup, havzanın küçük bir alanını temsil etmektedir. Baki analizleri, yüzeyin kuzeyle yaptığı coğrafik açı olup, araştırma alanının yaklaşık %25,06'sı (455,114 km²) Doğu-Güneydoğu yönüne bakan yamaçlardan oluşmaktadır.

A. Seydisuyu Havzasının Jeolojik Durumu

Seydisuyu Havzasındaki baraj yerlerinin seçilmesinde, geçirimsiz alanlara ait jeolojik yapının yeri ve mevcut durumunun bilinmesi son derece önemlidir. Barajların, planlama safhasında jeolojik etütleri yapılmalıdır. Araştırmanın bu safhasında, baraj yerinin temel durumunun anlaşılması, jeolojik yapının (toprak ve kaya katmanlarının çeşidi, faylaşma ve deprem durumu) göl alanının jeolojik özelliklerinin bilinmesi ve baraj inşaatında kullanılacak malzemenin belirlenmesi gerekir. Jeolojik etütler ile barajların inşa edileceği zeminlerin mühendislik karakteristiklerinin bilinmesi, baraj emniyet bakımından hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle, Seydisuyu havzasına ait jeolojik harita incelenerek uygun baraj yeri araştırılmıştır (Şekil 5). Ayrıca, Kunduzlar ve çatören barajlarının planlanması aşamasında, DSİ tarafından yapılan jeolojik çalışma raporlarından faydalanılmıştır (DSİ, 1970).



Şekil 5. Seydi suyu havzasına ait jeolojik harita indeksi ve barajın oturduğu jeolojik yapının mevcut durumu

IV. HAVZAYA AİT METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesinin karakteristik iklim özelliklerini yansıtır. Ancak, az da olsa Ege bölgesinin tesiri altına girmektedir. Havzanın batısı ile doğu kesimleri arasında iklimsel farklılıklar bulunmaktadır. Genelde, Seydisuyu havzanın yazları kurak ve sıcak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Havzayı çevreleyen, Eskişehir, Kütahya ve Afyon illerinde bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (MGİ) ait yağış (mm), sıcaklık (°C), buharlaşma (mm), nisbi nem (%) gibi uzun yıllara dayanan ölçülmüş aylık ortalama meteorolojik verilerin 1991-2010 yılları arasında (19 yıl) alınmıştır [5]. Bu ham veriler, düzenlenerek aylık ortalama, minimum ve maksimum meteorolojik veriler elde edilmiştir. Bu veriler, “Uzaklığın Tersine Ağırlıklandırma Entenpolasyon Metodu” (Inverse Distance Weighted – IDW Interpolation Method) ile CBS yazılımında, bu veriler modellenerek, sıcaklık, yağış ve buharlaşma haritaları elde edilmiştir (Şekil 6).

IDW, yakın noktalara uzak noktalardan daha yüksek ağırlık değeri atayan ve mümkün olan tüm örnek noktalarını dikkate alan bir tahminleme yöntemidir. Her örnek noktası, değeri tahmin edilecek noktaya olan uzaklığına göre ters oranda ağırlık değeri alır. x_p noktasındaki tahmini değer eşitlik 3’de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$W_j = \frac{1}{d_i^p(x_i)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p(x_i)} \quad (2)$$

$$Z^*(x_p) = \sum W_j \cdot Z(x_j) \quad (3)$$

Burada;

$Z^*(x_0)$: x_0 noktasındaki tahminin değerini,

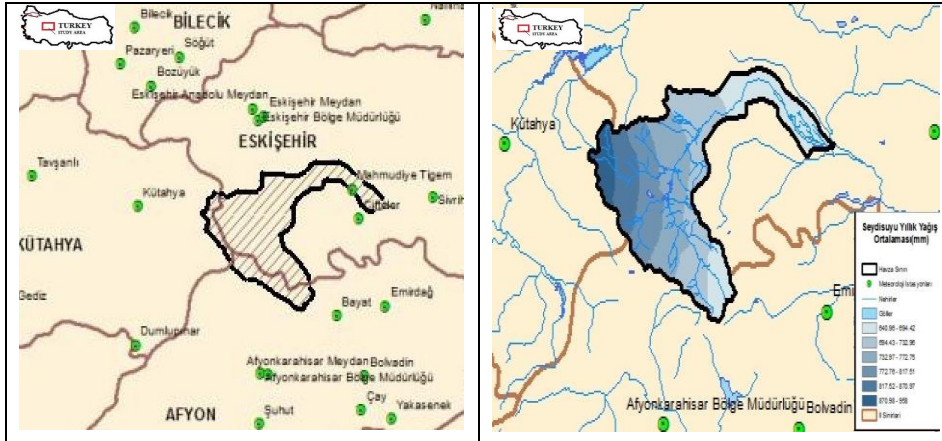
$Z(x_i)$: x_i noktasındaki örnek noktasının değerini,

W_i : x_i noktasındaki örneğin x_0 noktasına göre ters uzaklık ağırlığını,

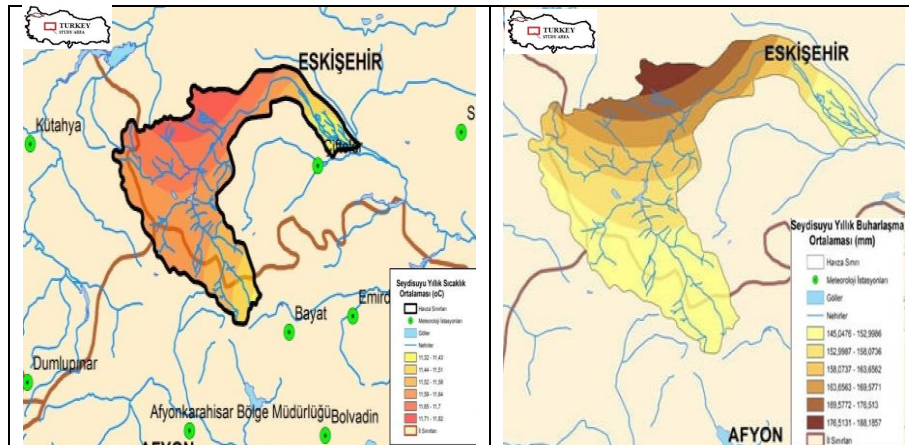
d : örnek noktası ile tahmini yapılacak nokta arasındaki uzaklığı,

p : üssel değeri,

n : örnek nokta sayısını ifade etmektedir.



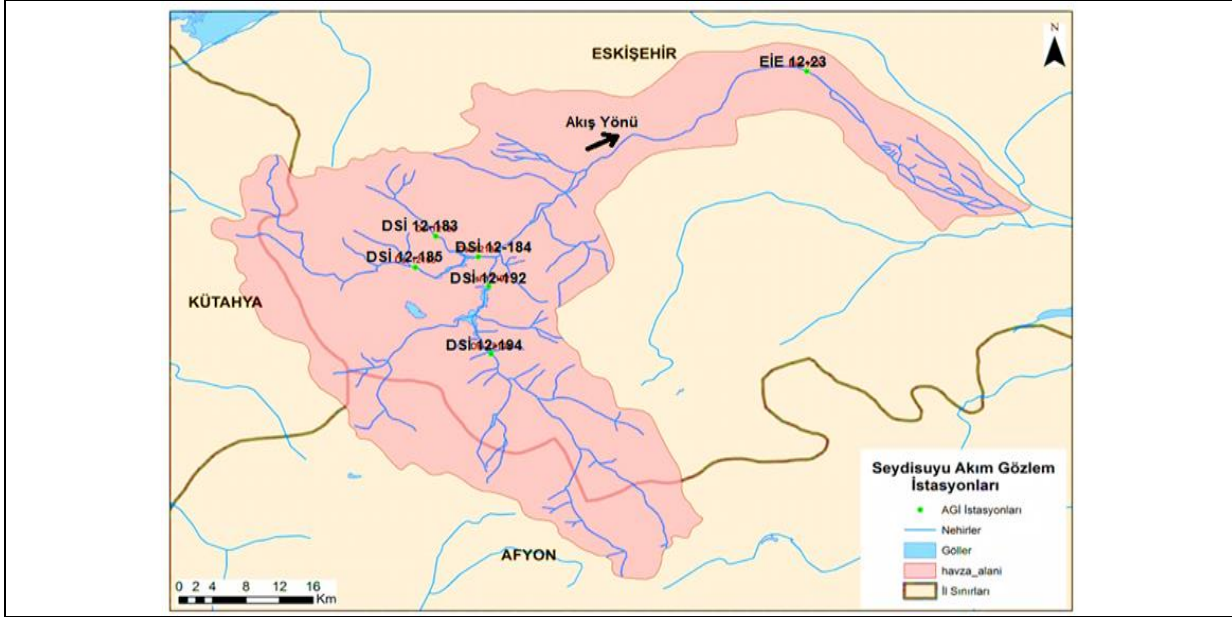
Şekil 6. Seydisuyu havzası civarındaki MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma dağılımlarının, IDW metoduna göre modellenmesi.



Şekil 6 (devamı). Seydisuyu havzası civarındaki MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma dağılımlarının, IDW metoduna göre modellenmesi.

V. HAVZANIN HİDROLOJİK ÖZELLİKLERİ

Seydisuyu havzasında, anakol üzerindeki baraj yerlerinin su potansiyellerini hesaplayabilmek için akım gözlem istasyonlarının (AGİ) aylık ortalama akım verileri (m^3/s) kullanılmıştır. Mevcut kurulu barajların membaında bulunan AGİ'lerin akım değerleri doğal akış olarak alınmış ve bu debi değerleri alan oranı metodunda kullanılmıştır. Seydisuyu üzerinde EİE ve DSİ tarafından işletilen ve açık olan AGİ'ler topluca Şekil 7'de gösterilmiştir.

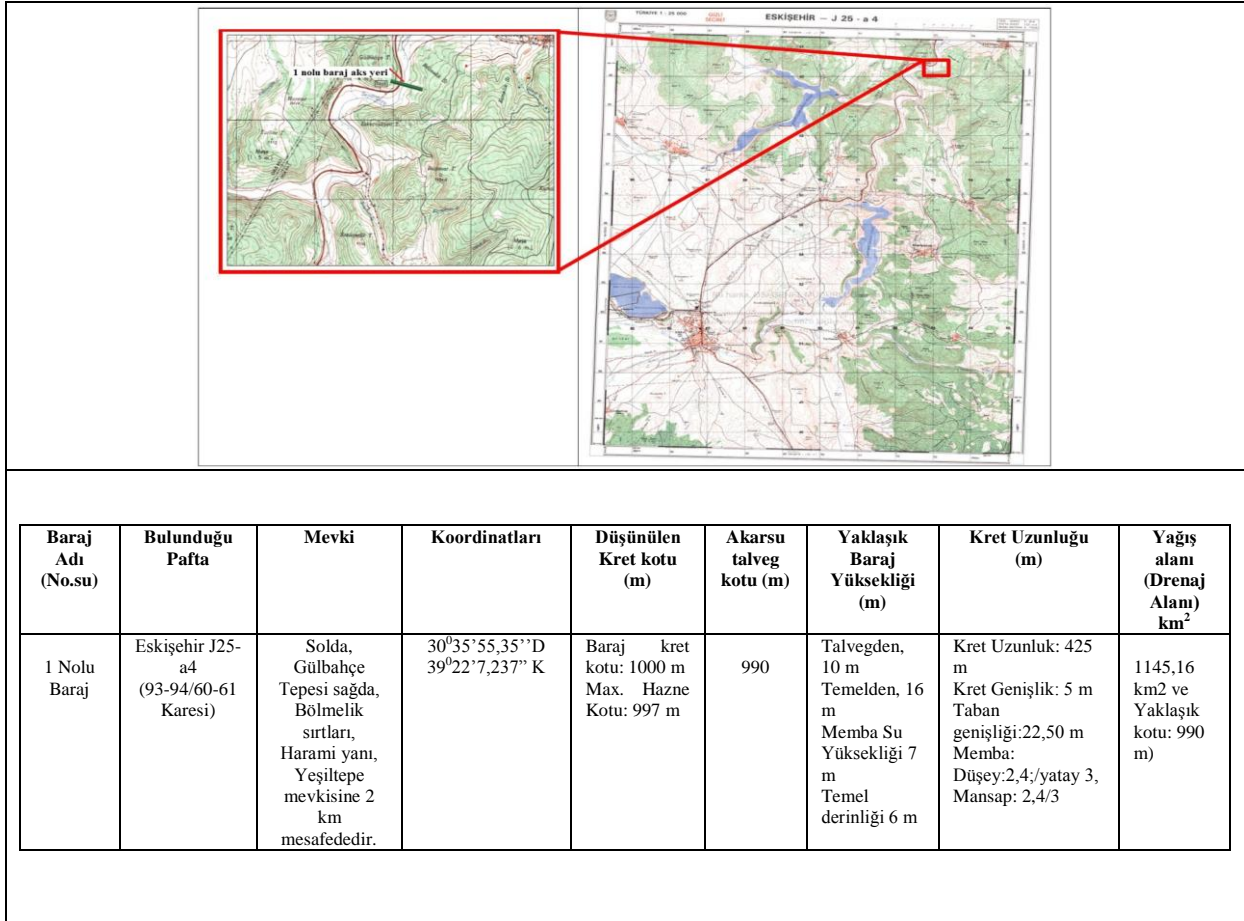


AGİ- İstasyon No	İstasyon Adı	İli	Koordinatı	Kotu (m)	Havza Alanı (km ²)	Ölçüm yılı	Ölçüm Yıl Sayısı
DSI 12-183	Keçeliözü Deresi-Göknebi	Eskişehir	39°22' 51"K 30°31' 38"D	2032	4,85	1986-2005	19
DSI 12-184	Kunduzlar Barajı-Baraj Çıkışı	Eskişehir	39°21' 27"K 30°34' 23"D	1857	406	1986-2005	19
DSI 12-185	Akin Deresi-Gemiş	Eskişehir	39°20' 43"K 30°30' 19"D	1742	218,23	1986-2005	19
DSI 12-192	Çatören Barajı-Baraj Çıkışı	Eskişehir	38°43' 36"K 31°02' 51"D	1005	712	1988-2005	17
DSI 12-194	Haramidere-Karaören	Eskişehir	39°14' 49"K 30°35' 12"D	1045	517	1990-2005	15
EİE 1223	Seydisuyu-Hamidiye	Eskişehir	39°34' 07"K 30°55' 37"D	895	1636,3	1953-1997	44

Şekil 7. Seydisuyu havzasında bulunan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ)

VI. 1 NOLU BARAJ YERİNİN SEÇİMİ VE PLANLANMASI

Araştırmalara Seydisuyu havzasındaki, 1/25.000'lik haritalardan başlanmıştır. İncelemeler, Eskişehir J25-a4 paftasından (1/25000) görülebilir. Bu paftada, 93-94/60-61 ve Koordinat: 30°35'55,35''D, 39°22'7,237'' K, üst kotları 1000 m ve daha aşağısı olabilecek bir baraj yeri tespit edilmiştir. 990 m kotlarında baraj yapımına uygun olduğu düşünülen bu noktada, nispeten dar bir vadi (Şekil 7) mevcuttur. Barajın kret kotu 1000 m ve kret uzunluğu, 425 m civarında olmaktadır. Bu noktada akarsu talveg kotu 990 m olup, yaklaşık 6 m alüvyon tabakası olduğu kabul edilmiştir. Burada, 990 m kotlarında baraj planlanır ise 7 m yüksekliğinde küçük bir baraj (Regülatör) yapılabilir. Oluşacak göl suyu yüksekliği ile Çatören ve kunduzlar barajlarının talveg kotları arasında en az 3 m kot farkı oluşacaktır.



Şekil 8. 1 Nolu baraj yeri planlaması (Eskişehir J25-a4 paftası) için uygun görülen yerin 1/25000'lik haritadaki yeri.

Barajın yeri ve karakteristik özellikleri Şekil 8 içerisindeki tabloda özetlenmiştir. Bütün sonuçlar, CBS programı ile elde edilmiştir. Alternatif çalışmalarda, farklı baraj aks yerleri araştırılmış ancak, jeolojik ve topoğrafik yapının uygun olmaması nedeni ile elenmişlerdir.

Planlanan 1 nolu barajın aks yeri, Çatören ve Kunduzlar barajlarının mansabında bulunmaktadır. Baraj sırası ile Kunduzlar barajının 3,621 km ve Çatören barajının 5,265 km mansabındadır. Planlanan barajın membaında, DSİ12-183, DSİ 12-184, DSİ 12-185, DSİ 12-192 ve DSİ 12-194 nolu AGİ'ler bulunmaktadır. Mansabında ise EİE 12-23 nolu AGİ bulunmaktadır (Şekil 7). Bu AGİ'lere ait akım değerleri ve tekerrür periyotlarına ait akım büyüklükleri her bir Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar bulunmuştur.

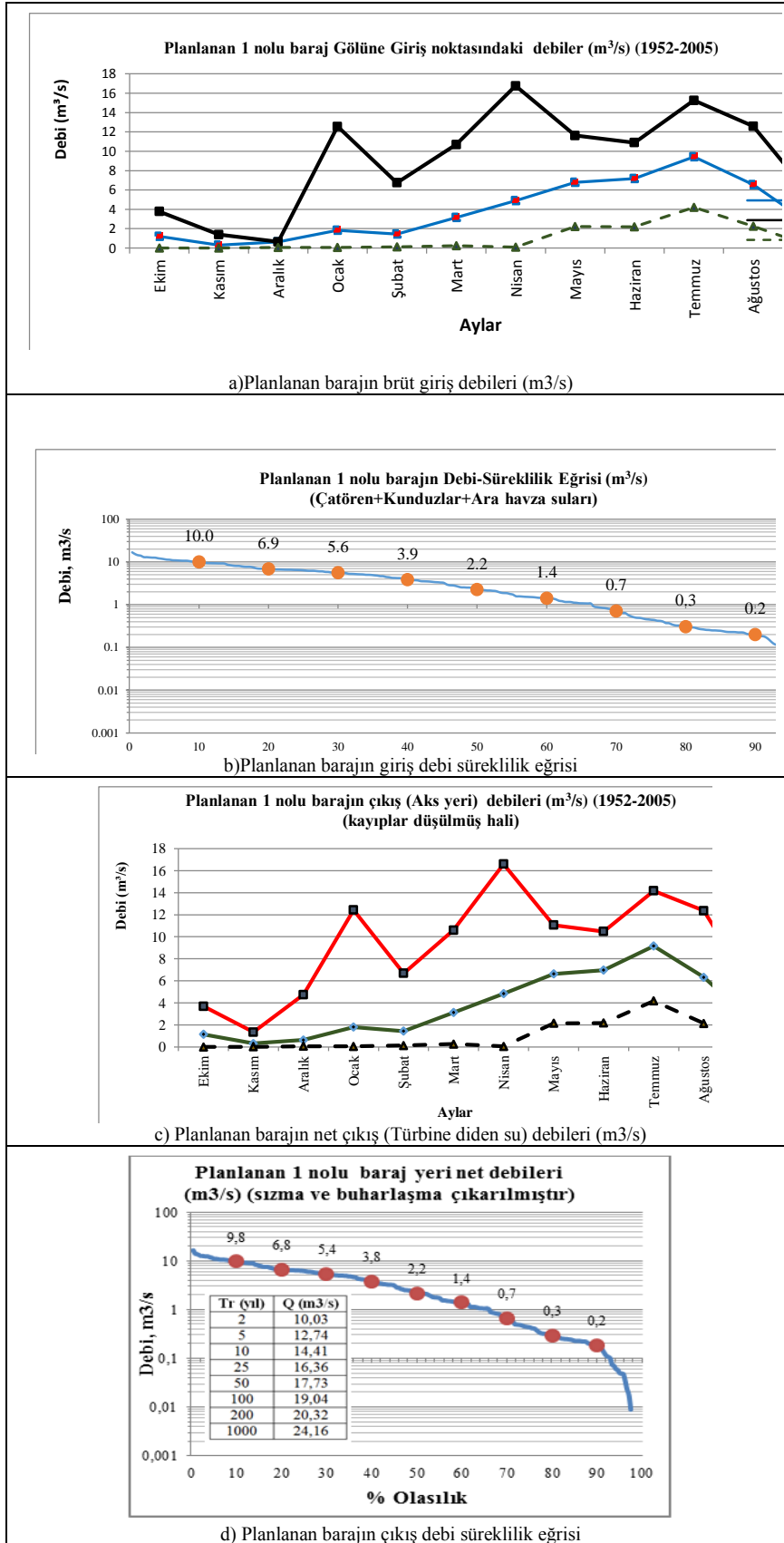
Baraj aksındaki brüt debileri hesaplamak için alan oranı metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre havza karakteristiklerinin bir yansıması olan ϕ ve K (akım katsayıları), DSİ 12-183 ve ara EİE12-23 AGİ'lerin akımları kullanılarak bulunmuştur. Buna göre, ortalama $\phi = 0,139506$ ve $K = 2,34927$ bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Alan oranı metodunda kullanılan ϕ ve K katsayıları

AGİ, İst No	DSİ-12-183	EİE-12-23	Toplam			Toplam	
			ϕ_i	$_{12}K_i$	$_{21}K_i$	K_i	Arada kalan alan, (km ²)
Yağış Alanı (km ²)	94,85	1636,3	ϕ_{ort}	Aylık debiye göre değişiyor	Aylık debiye göre değişiyor	K_{ort}	27,16
ϕ_{ort}, K_{ort}			0,139506			2,34927	

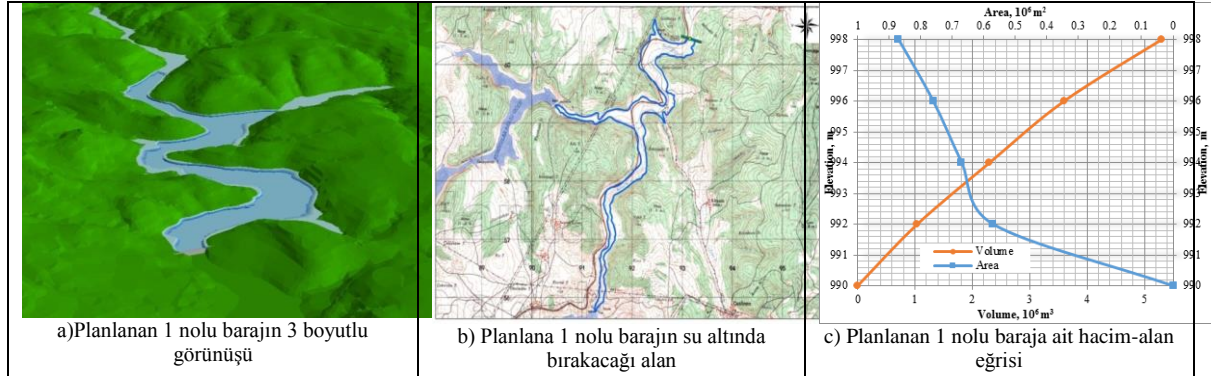
Baraj aks yerindeki debilerin hesaplanmasında akım şartları bozulmamış akım gözlem istasyonlarına ait (AGİ) doğal debiler kullanılmalıdır. Baraj yerine en yakın DSİ 12-183 nolu AGİ'ye ait debileri bu şartı sağladığı için alan oranı metodu ile planlanan baraj yerine taşınmıştır.

Baraja giren brüt debiler ve barajdan çıkan net debiler, Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Baraj yeri brüt ve net debileri

Baraj maksimum göl alanında meydana gelen gerçek buharlaşma miktarının hesabı için tava katsayısı 0.7 alınmış ve buharlaşma miktarı (m^3/s) hesaplanmıştır. Ayrıca, toplam göl aynasında meydana gelen sızma kayıpları %10 kabul edilerek, her ay meydana gelen toplam sızma kayıpları hesaplanmıştır. Baraj gölüne giren brüt debilerden (Şekil 9, a, b), toplam kayıplar çıkarılmış ve net debiler bulunmuştur. Böylece baraj aks noktasından, çıkması beklenen net debiler, enerji hesabında kullanılmıştır. Bu net debiler, elektrik üretimi için türbine verilen net sulardır. Barajın maksimum göl alanına göre, CBS ortamında ArcGIS yazılımında, ArcMap 10 ve ArcScene 10 modülleriyle barajın 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır. Şekil 10 (a, b, c)'de, planlanan 1 nolu baraja ait 3 boyutlu görünüşü (Şekil 10 a), arazide, harita üzerinde maks. göl alanının kapladığı alan (km^2) (Şekil 10 b) ve bu baraja ait hacim-alan eğrisi (Şekil 10 c) verilmiştir. Şekil 14, d'de, maksimum göl seviyesinde, 998 kotunda barajın su hacmi $5,3 \times 10^6 m^3$, baraj gölalanı $0,87 \times 10^6 m^2$ hesaplanmıştır. Bütün sonuçlar GIS yazılımı ile bulunmuştur.



Şekil 10. 1 nolu baraja ait görünüş ve alan özellikleri

1 nolu barajın inşaatında kullanılacak çevirme tüneli ve dolusavak boyutlarının hesabı için, 25 ve 1000 yıl tekerrürlü debiler hesaplanmış ve bu debiler bir katsayı ile artırılmıştır. $Q_{25} = 2 \times 16,36 = 32,72 m^3/s$ ve $Q_{1000} = 4 \times 24,16 = 96,64 m^3/s$ alınmıştır. Nedeni ise daha büyük periyotlarda gelmesi muhtemel maksimum taşkın debilerinin baraja zarar vermeden mansaba geçirilmesini temin etmektir.

A. Planlanan 1 Nolu Barajın Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Planlanan 1 nolu baraja ait topoğrafik, jeolojik ve hidrolojik çalışmaların yapılmasından sonra, barajın toplam maliyeti, yılda üreteceği elektrik enerjisi miktarı, enerjinin toplam parasal değeri ve kendini kaç yılda ödeyeceği gibi veriler Simahpp yazılımı ile (Simulation to Evaluate the Feasibility of Hydropower Projects, www.hydroxpert.com) hesaplanmıştır. Sonuçlar, Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 1 nolu baraja ait Simahpp analiz sonuçları

Project(s) Characteristics :	
Project Characteristics	1
Net Head (m)	10.000
Design Flow (m ³ /s)	6.320
Design Time of Operation (%)	40
Power Production (kW)	619.992
Energy Production (kWh/Year)	2172451.958
Energy Revenue (EUR/Year)	199431.091
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Coal	1303.471
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Gas	434.490
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-fuel	895.185
Carbon Market (EUR/Year)-Mean	8110.487
Investment Cost (EUR)	1689340.163
Investment Cost/kWh (EUR/kWh)	2724.777
Investment Cost/kWh (EUR/kWh)	0.778
O&M Cost (EUR/Year)	16893.402
NVP: Net Present Value (EUR)	3664042.000
IRR: Internal Rate of Return (%)	11
Payback Period (Years)	9.255
Amortization Plan (Yearly)	60161.000
Suggested Turbine Type	Francis
Exchange Rate (03.05.2012), 1 EUR =	1.000000 EUR

Planlanan 01_Nolu Baraj
Dizayn debisi : 6.320 m^3/s
Kurulu Güç : 0.620 MW
Yıllık Enerji Üretimi : 2.17 GWh/yıl
Yıllık Enerji Parasal Getirisi : 0.260×10^6 US\$
kWh Başına Yatırım Bedeli : 3546.78 US\$
Kendini Ödeme Süresi : 9.3 yıl

VII. HAZIR KURULU (KUNDUZLAR VE ÇATÖREN BARAJLARININ HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ)

Seydisuyu havzasında, halihazırda inşaatı tamamlanmış ve işletmede olan iki adet sulama barajı (Çatören ve kunduzlar) bulunmaktadır. Bu barajlardan üretilebilecek toplam hidroelektrik enerji potansiyeli ayrıca araştırılmıştır. Barajlar işletmede olduğu için, kışın birikildikleri suları, özellikle sulama mevsiminde

mansaba vermektedirler. Sulama mevsiminde ve taşkın zamanlarında, rezervuardan verilen debileri kullanarak barajın mansabında kurulacak bir ilave türbin jeneratör sistemi ile elektrik üretmek mümkündür.

B. Çatören Barajının Karakteristik Özellikleri ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Çatören barajı, Seydisuyu havzasında, 1987 yılından beri işletmede olan bir barajdır. İnşa maliyeti sıfırdır. Barajın yeri ve karakteristik özellikleri, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Çatören baraj yeri ve karakteristik özellikleri

Baraj Adı (Nosu)	Bulunduğu Pafta	Mevki	Koordinatları	Düşünülen Kret kotu (m)	Akarsu talveg kotu (m)	Yaklaşık Baraj Yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)	Yağış alanı (Drenaj Alanı) km ²
Çatören Barajı	Eskişehir J25-a4 (93-94/60-61 Karesi)	Solda, Kayrak Tepesi , yaklaşık 2 km sağında Çatören köyü, güneyindeki Numanoluk mevki sine, 2 km mesafededir.	30°34’41,54’’D3 9°19’34,91’’ K	Baraj kret kotu: 1037,20 m Max. Hazne Kotu: 1035,92 m	1005 m	Talvegden, 32,20 m Temelden, 52,20 m Membra Su Yüksekliği 30,92 m Temel derinliği 20 m	Kret Uzunluğu, 230 m Kret Genişliği, 5 m Taban genişliği, 111,6 m Membra: Düşey 2/yatay 3, Mansap: 2 /3	712 km2 ve Yaklaşık kotu: 1005 m)

Çatören barajının çıkış akımları, DSİ 12-192 nolu AGİ verileri olup, DSİ’den temin edilmiştir. Bu verilere göre min debilerin ortalaması 0,08 m³/s, ort. debilerin ortalaması 1,13 m³/s ve maksimum debilerin ortalaması 4,11 m³/s hesaplanmıştır.

Barajın net debilerinin belirlenmesinden sonra, Çatören barajına ait 3 boyutlu görünüş (Şekil 11 a), arazide göl alanının kapladığı alan (Şekil 11 b) ve bu baraja ait hacim-alan eğrisi (Şekil 11 c), CBS yazılımı ile belirlenmiş ve Şekil 11’de toplu halde verilmiştir. Bu şekle göre, 1035 kotunda barajın su hacmi 43,47x10⁶ m³, baraj gölalanı 4,2x10⁶ m² olmaktadır.



Şekil 11. Çatören barajına ait görüntü ve alan özellikleri

Çatören barajı harami çayı üzerinde sulama amaçlı yapılan bir toprak barajdır. Bu barajdan elektrik üretmek istense ne kadar elektrik üretilirdi bunu Simahpp yazılımıyla analizi yapılmıştır.

Tablo 5. Çatören barajına ait Simahpp analiz sonuçları

Project Characteristics :		Catoren
Net Head (m)		32.200
Design Flow (m ³ /s)		0.862
Design Time of Operation (%)		90
Power Production (kW)		272.290
Energy Production (kWh/Year)		2146736.650
Energy Revenue (EUR/Year)		197070.424
Emission Reduction (tCO ₂ /Year)-Coal		1288.042
Emission Reduction (tCO ₂ /Year)-Gas		429.347
Emission Reduction (tCO ₂ /Year)-fuel		686.956
Carbon Market (EUR/Year)-Mean		8014.483
Investment Cost (EUR)		667203.824
Investment Cost/kW (EUR/kW)		2450.343
Investment Cost/kWh (EUR/kWh)		0.311
O&M Cost (EUR/Year)		6672.038
NVP: Net Present Value (EUR)		4904210.000
IRR: Internal Rate of Return (%)		29
Payback Period (Years)		3.504
Amortization Plan (Yearly)		23760.000
Suggested Turbine Type		Francis
Exchange Rate (02.05.2012), 1 EUR =		1.000000 EUR

Çatören baraj
 Dizayn debisi: 0.862 m³/s
 Kurulu Güç: 0.273 MW
 Yıllık Enerji Üretimi: 2.15 GWh/yıl
 Yıllık Enerji Parasal Getirisi: 0.257x10⁶ US\$
 kWh Başına Yatırım Bedeli: 3189.55 US\$
 Kendini Ödeme Süresi: 3.5 yıl

C. Kunduzlar Barajının Karakteristik Özellikleri ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

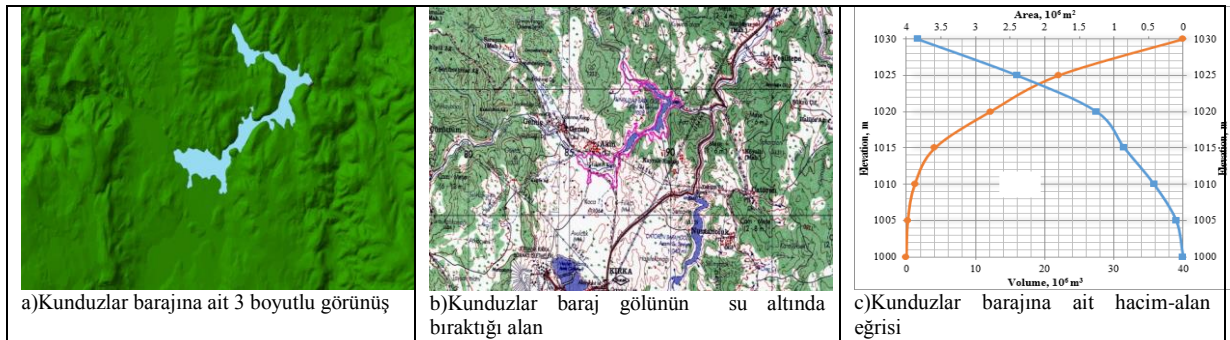
Kunduzlar barajı, Seydisuyu havzasında, 1983 yılından beri işletmede olan bir barajdır. İnşa maliyeti sıfırdır. Barajın yeri ve karakteristik özellikleri, Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Kunduzlar baraj yeri ve karakteristik özellikleri

Baraj Adı (Nosu)	Bulunduğu Pafta	Mevki	Koordinatları	Düşünülen Kret kotu (m)	Akarsu talveg kotu (m)	Yaklaşık Baraj Yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)	Yağış alanı (Drenaj Alanı) km ²
Kunduzlar Barajı	Eskişehir J25-a4 (93-94/60-61 Karesi)	Solda, Kayrak Tepesi, yaklaşık 2 km sağında Çatören köyü, günündeki Numanoluk mevkisine 2 km mesafededir.	30°34'6,009"D3 9°21'28,24" K	Baraj kret kotu: 1028,50 m Max. Hazne Kotu: 1027,10 m	1000 m	Talvegden, 28,50 m Temelden, 48,50 m Memba Su Yüksekliği 27,10 m Temel derinliği 20 m	Kret Uzunluk: 180 m Kret Genişlik: 5 m Taban genişliği: 90,5 m Memba: 27,10 m Düşey: 2/yatay 3, Mansap: 2/3	406 km ² ve Yaklaşık kotu: 1000 m

DSİ'den alınan verilerde Kunduzlar barajının çıkış sularını ölçen DSİ 12-184 nolu AGİ bulunmaktadır. Barajın çıkış akımları bu istasyona göre tespit edilmiştir. Bu istasyondaki verilere göre min debilerin ortalaması 0,34 m³/s, ort. debilerin ortalaması 1,34 m³/s ve maksimum debilerin ortalaması 8,85 m³/s bulunmuştur.

Akım hesaplarının ardından, Kunduzlar barajına ait 3 boyutlu görünüş, arazide göl alanının kapladığı alan ve bu baraja ait hacim-alan eğrisi şekil 12 c'de verilmiştir. Bu şekle göre, 1030 kotunda baraj su hacmi 40x10⁶ m³, baraj gölalanı 3,84x10⁶ m² olmaktadır.



Şekil 12. a) Kunduzlar barajına ait 3 boyutlu görünüş b) Baraj rezervuarının arazide kapladığı alan c) Baraj rezervuarının hacim alan eğrisi

Kunduzlar barajı sulama amaçlı bir baraj olduğu için bu barajın hidroelektrik potansiyeli araştırıldı. Hidroelektrik potansiyeli Simahpp yazılımı ile belirlendi.

Tablo 7. Kunduzlar barajına ait Simahpp analiz sonuçları

Project Characteristics :	
Net Head (m)	28.000
Design Flow (m ³ /s)	2.074
Design Time of Operation (%)	40
Power Production(kW)	569.686
Energy Production (kWh/Year)	1996180.865
Energy Revenue (EUR/Year)	183249.403
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Coal	1197.709
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Gas	399.236
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-fuel	638.778
Carbon Market (EUR/Year)-Mean	7452.410
Investment Cost (EUR)	1274528.368
Investment Cost/kW (EUR/kW)	2237.247
Investment Cost/kWh (EUR/kWh)	0.638
O&M Cost (EUR/Year)	12745.284
NVP: Net Present Value (EUR)	3722474.000
IRR: Internal Rate of Return (%)	13
Payback Period (Years)	7.475
Amortization Plan (Yearly)	45389.000
Suggested Turbine Type	Francis
Exchange Rate (02.05.2012), 1 EUR =	1.000000 EUR

Kunduzlar barajı
Dizayn debisi: 2.07 m³/s
Kurulu Güç: 0.57 MW
Yıllık Enerji Üretimi: 1.99 GWh/yıl
Yıllık Enerji Parasal Getirisi: 0.238x10⁶ US\$
kWh Başına Yatırım Bedeli: 2911.85 US\$
Kendini Ödeme Süresi: 7.47 yıl

Seydisuyu havzasında mevcut hazır kurulu iki adet sulama amaçlı baraj ve yeni planlanan barajın hidroelektrik potansiyellerinin araştırması yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre havzanın toplam hidroelektrik potansiyelini belirlemek mümkündür.

Tablo 7. Havzanın toplam hidroelektrik potansiyeli

	Çatören Barajı	Kunduzlar Barajı	01_Nolu Baraj	TOPLAM
Kurulu Güç (MW)	0.273	0.570	0.62	1.463
Yıllık Enerji Üretimi (GWh/yıl)	2.15	1.99	2.17	6.31
Yıllık Enerji Parasal Getirisi (US\$)	0.242x10 ⁶ 3047,35	0.225x10 ⁶ 2755	0.245x10 ⁶	0.756x10⁶
kWh Başına Yatırım Bedeli (US\$)	Bu rakam yeni planlaması yapılacak bir baraj içindir. Oysa bu hazır kurulu bir barajdır.	Bu rakam yeni planlaması yapılacak bir baraj içindir. Oysa bu hazır kurulu bir barajdır.	3555.28	9649.59
Kendini ödeme süresi (yıl)	3.504	7.475	9.255	

Yaklaşık olarak: 1 US\$=1.7969 TL; 1 Euro=2.2127 TL; 1 Euro/1 US\$=1.231; TC, Merkez Bankası döviz kurları: Efektif Satış Kuru üzerinden, 1 Ağustos, 2012, Çarşamba günü)

VIII. SONUÇLAR

Bu makalede, Seydisuyu havzasındaki mevcut kurulu iki adet hazır sulama barajından ve bu barajların hemen mansabında yeniden planlanan bir adet enerji amaçlı barajdan, toplam üretilebilecek hidroelektrik enerji miktarı araştırılmıştır. Bu çalışma, Seydisuyu havzası için bir örnek çözüm olarak incelenmiştir. Türkiye’de Seydisuyu havzası gibi elektrik üretmeyen inşaatı tamamlanmış birçok hazır baraj veya baraj büyüklüğünde göletler mevcuttur. Benzer düşüncelerle, Türkiye genelinde, hâlihazırda kurulmuş bu tip barajların elektrik üretim potansiyelleri araştırılabilir. Bu barajlardan elde edilecek enerji miktarları göz ardı edilmeyecek büyüklüktedir. Bu tip kurulu hazır tesislerden elektrik üretimi yapmak çok daha kolay ve ucuzdur. Dip savaktan sonra baraj mansabının uygun yerlerine kadar uzatılacak ve inşa edilecek bir cebri boru, santral binası ve şalt sahasının yapımı ile elektrik üretimine çok kısa sürede başlanabilir. Bu tip tesisler, tamamen ucuz ve yerli imkânlarla çalıştırılabilir ve sistemin işletme maliyetleri son derece düşük olacaktır. Daha önceleri karlı görülmeyen havzalardaki akarsuların hidroelektrik enerji potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi amacı ile yapılacak baraj planlamalarında CBS’nin kullanımının etkin bir şekilde yapılması ve değerlendirilmesi için bu çalışma rehber bir konu olarak düşünülebilir.

Sonuç olarak, Seydisuyu havzasından toplam üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı 6.32 GWh/yıl, Kurulu güç miktarı 1.465 MW ve yıllık kazancı 0.756x10⁶ US\$ olacaktır. kWh başına yatırım bedeli 9649.59 US\$ olarak bulunmuştur. Buna göre yeni planlanan 1 nolu barajın kurulu gücü 0.62 MW, üreteceği elektrik enerjisi miktarı 2.17 GWh/yıl, parasal getirisi (fayda) 0.26x10⁶ US\$, kW başına yatırım maliyeti 3547 US\$ ve kendini ödeme süresi 9.3 yıl bulunmuştur. Kunduzlar barajının kurulu gücü 0.57 MW, üreteceği elektrik enerjisi miktarı 1.99 GWh/yıl, parasal getirisi (fayda) 0.238x10⁶ US\$, kW başına yatırım maliyeti 2912 US\$ ve kendini ödeme süresi 7.5 yıl bulunmuştur. Çatören barajının kurulu gücü 0.275 MW, üreteceği elektrik enerjisi miktarı 2.15 GWh/yıl, parasal getirisi (fayda) 0.257x10⁶ US\$, kW başına yatırım maliyeti 3190 US\$ ve kendini ödeme süresi 3.5 yıl bulunmuştur. Bu iki adet sulama barajından ve bu barajların hemen mansabında planlanan 1 nolu enerji amaçlı barajın, toplam kurulu güçleri ≈1.5 MW, üretecekleri elektrik enerjisi miktarı 6.31 GWh/yıl, parasal getirileri (fayda) 0.755x10⁶ US\$, kW başına yatırım maliyetleri ortalama 3216 US\$ ve kendilerini ödeme süresi ortalama 6.76 yıl bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı, DSİ III. Bölge Müdürlüğüne, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne (DMİ), Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne, yazarlar, teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Okot Kilama, D., “Review of small hydropower technology”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, Vol.26, pp 515-520, 2013.
- [2] Anonim, “ArcGIS 9.3.1 Arc/Info User’s Guide”, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc., USA., 2009
- [3] Anonim, “Grid-based Map Analysis and GIS Modelling Workshop”, Innovative GIS, USA, 2010.
- [4] S. N., Miller, D.J., Semmens, R.C., Miller, M. Hernandez, D.C. Goodrich, W.P. Miller, “GIS-Based Hydrologic Modelling: The Automated Geospatial Watershed Assessment Tool”, USDA-ARS Southwest Watershed Research Center, USA, 2000.
- [5] DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (www.dmi.gov.tr), 2010.
- [6] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (dsi.gov.tr), 2010, 2008, 2006.
- [7] EİE, 2010, 2009, 2008, 2007. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (eie.gov.tr).
- [8] A.L. Dahl, A.V. Vecchia and D.G. Emerson, “Evaluation of Drainage-Area Method Used to Estimate Streamflow for the Red River of the North Basin in North Dakota and Minnesota”, *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 2005-5017*, 2005.
- [9] A.A. Elshorbagy, U.S. Panu, S.P. Simonovic, “Group-based estimation of missing hydrological data: I. Approach and general methodology”, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 45(6), pp.849-866, 2000.

